УДК 678.05
ББК 30

Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців «Ресурсоенергоефективні процеси, технології та обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: Січкар, 2012. – 120 с. – 100 прим.

Видання містить програму та доповіді (в редакції авторів) Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців, що відбулася на кафедрі хімічного, полімерного і силікатного машинобудування інженерно-хімічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» 18-20 квітня 2012 року.

Для науковців, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

УДК 678.05
ББК 30

Рекомендовано до друку Вченою радою ІХФ НТУУ «КПІ».
Протокол № 3 від 26 березня 2012р.

Відповідальний за випуск
Є.М.Панов, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Упорядкування, редагування, комп'ютерна правка та верстка
В.І.Сівецький, О.Л.Сокольський

© Автори доповідей, 2012
© Національний технічний університет України „КПІ"

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Інженерно-хімічний факультет
кафедра хімічного, полімерного
та силікатного машинобудування

ЗБІРНИК
доповідей
науково-практичної конференції
студентів, аспірантів та науковців

РЕСУРСОЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ПРОЦЕСИ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Київ, 18-20 квітня 2012 року

2012

ЗМІСТ

Стор.

Карвацкий А. Я., Лелека С.В., Лазарев Т.В. Досвід застосування програмних продуктів ANSYS на кафедрі ХПСМ НТУУ «Київський політехнічний інститут» 6

Погорілий О.В., Шилович Т.Б. Використання поліетилену в упаковці 11

Карвацький А.Я., Пулінець І.В., Бабак С.О. Моделювання тепло-гідродинамічного стану печі Рідгамера при випалюванні вуглеграфітових заготовок 13

Карвацкий А. Я., Лелека С.В., Лазарев Т.В., Степура П.В. Дослідження теплоелектричного стану шахтної електропечі при графітуванні нафтового коксу 17

Карвацкий А. Я., Лазарев Т.В., Потебня Н.В., Арсенюк О.М. Оцінка можливості застосування моделі дискретного елемента для моделювання динаміки сипучого матеріалу в електрокальцинаторі 22

Сахаров О.С., Сівецький В.І., Кушнір М.С., Сокольський О.Л., Олексішен В.О., Івіцький І.І. Математичне моделювання процесу плавлення полімеру в каналі черв'ячного екструдера 25

Коваленко К.Г., Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Романченко М.А. Використання в'язкопружних моделей при розрахунках екструзії полімерних матеріалів 28

Бех С.В., Кушнір М.С., Сахаров О.С., Сівецький В.І., Сокольський О.Л. Моделювання процесу змішування розплавів термопластів з різними фізичними властивостями 30

Бех С.В., Кушнір М.С., Коваленко К.Г., Сахаров О.С., Сівецький В.І., Сокольський О.Л. Змішування розплавів термопластів в черв’ячному каналі 32

Гнап К.В., Гондлях О.В., Щербина В.Ю. Чисельне моделювання роботи та модернізація з урахуванням експлуатаційних факторів обертової печі 5х185 м для виробництва цементу 34

Гондлях О.В., Нікітін Р.Є. Чисельне відтворення процесу руйнування біметалевої ректифікаційної колони 36

Шаповал А.А., Панов Є.М., Скрипка К.І., Сауліна Ю.В., Шаповал Арт.А. Контактний термічний опір капілярних структур і теплообмін у теплових трубах та термосифонах 40

Вознюк В. Т., Кравченко Ю. О., Мікульонок І. О. Дослідження комбінованої системи охолодження гофрованих полімерних труб 43

Вознюк В. Т., Крутась І. О., Мікульонок І. О. Інтенсифікація процесу охолодження екструдованого матеріалу 45

Чирка Т.В., Васильченко Г.М., Дудник Ю.В. Математичне моделювання температурних полів в експериментальній установці для визначення теплопровідності сипучих матеріалів 47

Колосов А.Е., Сивецкий В.И., Сидоров Д.Э., Коваль С.Т., Кученко О.К., Кричковская Л.А. Анализ проблемных ситуаций технологического цикла получения армированных изделий из композиций эпоксидных полимеров 49

Колосов А.Е., Сивецкий В.И., Сербин В.П., Полторак В.П., Гришко В.Ф., Колосова Е.П. Расчет ультразвуковых кавитационных устройств 51

Колосов А.Е., Сивецкий В.И., Кривошеев В.С., Сербина Р.В., Изотов В.Ю., Степаненко Б.Е. Особенности патентования методик расчета, сборки и проверки работоспособности ультразвукового кавитационного устройства 54

Сідоров Д.Е., Сівецький В.І., Колосов О.Є., Дудар Ж.О. Вплив ступеня термоусаджування поліпропіленової плівки на якість пакувань 56

Сідоров Д.Е., Дудар Ж.О. Зварювання виробів з орієнтованого поліпропілену 57

Кошляк М.М., Сидоренко С.В., Тимонін О.М., Копиленко А.В., Морару В.Н.,Снігур О.В. Деякі результати дослідження критичного теплового потоку в непрозорих нанорідинах на модернізованому експериментальному стенді 59

Кошляк М.М., Сидоренко С.В., Тимонін О.М., Морару В.Н.,Снігур О.В., Комиш Д.В., Волков М.В. Експериментальні дослідження впливу властивостей нанорідин на критичні теплові потоки при кипінні в умовах вільної конвекції 60

Радич Ю.В., Шилович Т.Б. Торф’яні родовища – як об’єкт раціонального природокористування 62

Михальчишина Н.Ю., Ковтун А.В., Шилович Т.Б. Екологічно вигідні матеріали для виготовлення упаковок 63
Івіцький І.І., Ветрова О.В., Сокольський О.Л. Апарат для сортування полімерних відходів 65
Арсенюк О.М., Коваленко І.В. Сортування полімерних матеріалів методом гідравлічної сепарації 66
Пристайлов С.О., Власюк С.О. Дефекти при виготовленні тари з ПЕТФ та методи їх усунення 68
Власюк С.О., Пристайлов С.О. Сушіння як важливий етап при виготовленні тари з ПЕТФ 69
Пристайлов С.О., Власюк С.О. Дефекти тари з ПЕТФ як фактори впливу на український ринок преформ 71
Слісаренко І.В., Сокольський О.Л. Пакування в модифікованому газовому середовищі 73
Потебня Н.В., Ветрова О.В., Коваленко І.В. Сучасні методи сортування полімерних відходів 76
Гончаренко В.В., Ткаченко А.О. Металлополимерный термоусаживающийся композит с предельно выпрямленными пружинами 79
Мартыненко Н.М., Гончаренко В.В. Терморезисторные металлополимерные ленты и муфты с памятью формы для оперативного ремонта стальных труб 81
Євдокименко Ю.Ф., Гончаренко В.В. Виготовлення блоків для розділення смуг руху з гіпсових композитів 83
Плахотний І.А., Казак І.О. Особливості конструкції, принципу роботи, основні переваги та недоліки віброшнекових живильників 84
Сас А.С., Казак І.О. Про один з шляхів подовження строку служби і підвищення ефективності роботи грохоту вібраційного 85
Шалаєв Є.О., Казак І.О. Підвищення ефективності роботи колосникового грохоту на основі удосконалення системи приводу 87
Казьміренко В.С., Казак І.О. Удосконалення системи очистки рукавного фільтра на основі заміни форми бункера 89
Надолинський О.В., Малиновський В.В. Особливості конструкції і принцип роботи кульового млина 91
Чемерис А.О., Завацький Я.Л. Застосовування ящикового живильника при виготовленні цегли 93
Фесенко А.Ф., Тимонін О.М. Надзвуковий насадок для рідин або газів 94
Сівецький В.І., Рябінін Д.Д., Сокольський О.Л., Кубрак Р.С. Пошук кривих течії поліетилену високої густини , неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналу 95
Сівецький В.І., Рябінін Д.Д., Сокольський О.Л., Герасименко В.О. Залежність кривих течії полімерів від розмірів прямокутних каналів 98
Сівецький В.І., Рябінін Д.Д., Сокольський О.Л., Арсенюк О.М. Кінематичні характеристики полімеру в квадратному каналі 101
Сівецький В.І., Рябінін Д.Д., Сокольський О.Л., Потебня Н.В. Дослідження профілю швидкостей поліетилену у прямокутному каналі із розмірами 8мм х 32мм 103
Пристайлов С.О., Власюк С.О. Основні процеси сушіння ПЕТФ-грануляту та дефекти, що з ними пов’язані 105
Пристайлов С.О., Власюк С.О. Про взаємодію води з ПЕТФ при сушінні грануляту та її вплив на утворення дефектів 106
Гончаренко В.В., Верба А.Ю., Пономаренко А.П. Материал с памятью формы: разработка альтернативных термоусаживающихся композитов на основе нелинейной упругости пружин 108
Гончаренко В.В., Верба А.Ю., Пономаренко А.П. Упруго-демпфирующий амортизатор по типу двойной спирали ДНК 109
Сівецький В.І., Пристайлов С.О., Черниш І.А. Основні шляхи забезпечення можливості використання гумотехнічних відходів 113
Сівецький В.І., Пристайлов С.О., Черниш І.А. Аналіз процесів подрібнення і

переробки гумотехнічних відходів методами обробки тиском 114
Коржик М. В., Гурчик Г. І. Застосування системи ANSYS MULTIPHYSICS в навчальному процесі за напрямом підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» 115
Сідоров Д.Е., Сівецький В.І., Колосов О.Є., Мікульонок І.О., Сахаров О.С., Сокольський О.Л. Енергоресурсоефективна соекструзійна технологія виготовлення та зварювання шарів полімерних гофрованих виробів підвищеної жорсткості 117

УДК 661.666.2

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ ANSYS НА КАФЕДРІ ХПСМ НТУУ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Карвацкий А. Я., д.т.н., проф., Лелека С.В., асист., Лазарев Т.В., асп.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Проаналізовано досвід застосування програмних продуктів ANSYS на кафедрі ХПСМ НТУУ «Київський політехнічний інститут». Показана можливість за допомогою програмного комплексу ANSYS Academic Teaching самостійно створювати складні числові моделі і проводити відповідні розрахунки фізичних полів та аналізувати отримані дані.

Програмний комплекс ANSYS Academic Teaching з 2011 р. використовується при підготовці студентів (інженерів нового покоління – спеціалістів у області наукоємного комп'ютерного інжиніринга) різних напрямків і спеціальностей Інженерно-хімічного факультету (ІХФ) НТУУ «КПІ» («Машинобудування», «Інженерна-механіка», «Хімічна технологія і інженерія», «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології», «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів», «Машини і технологія пакування» та ін.) і, зокрема, на кафедрі ХПСМ, у відповідності з Договором про використання програмних продуктів ANSYS між ЗАТ «CADFEM-CIS», м. Москва, Російська Федерація і ІХФ НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна.

Загальні відомості про сучасні обчислювальні системи, що базуються на таких відомих числових методах, як методи скінченних елементів, скінченних об'ємів, дискретних ординат та ін., які дозволяють розв'язувати різноманітні технічні задачі будь-якої складності, студенти отримують на старших курсах. Починаючи з вересня 2011 р., студенти кафедри ХПСМ докладно вивчають застосування програмного комплексу ANSYS у інженерних розрахунках. Для цього учбовими планами кафедри передбачено як лекційні курси, так і практичні заняття та самостійна робота студентів у комп'ютерному класі, де встановлено ліцензійних програмний комплекс ANSYS Academic Teaching на 25 користувачів. Із застосуванням системи ANSYS студенти виконують курсові проекти, матеріали яких у подальшому використовуються при виконанні дипломних проектів та магістерських дисертацій.

За два семестри поточного навчального року до занять з вивчення досвіду застосування програмних продуктів ANSYS до інженерних розрахунків було залучено 55 студентів кафедри ХПСМ. Це в основному стосується груп ЛД-61, 71, 81, ЛУ-71 та вибірково студентів груп ЛС-71 та ЛП-71.

З метою підвищення стандартів викладання курсів, що пов'язані із застосуванням програмних продуктів ANSYS у навчальному процесі, були задіяні стандартні методичні розробки ANSYS, Inc. ANSYS Theory Guide, User Guide, Tutorial Guide та методичний матеріал авторської розробки, який підготовлено професорсько-викладацьким складом кафедри ХПСМ: для ANSYS FLUENT (v.13) («Плоска багатошарова стінка (2D-задача)», «Водо-водяний теплообмінник труба в трубі (2D-задача)», «Складний радіаційно-кондуктивний та радіаційно-конвективний теплообмін (2D-задача)», «Щілинний радіаційний рекуператор для нагрівання повітря відхідними димовими газами (2D-задача)», «Водо-водяний теплообмінник труба в трубі (3D-задача)», «Розрахунок гарнісажних процесів скловарної печі – Solidification-Melt (2D-задача)», «Дифузійне горіння метану без попереднього змішування у інжекційному пальнику (2D-задача)»); для ANSYS Static Structural Analysis (v.13) («3D статичний аналіз міцності конструкції (пластини, валу)», «3D термостатичний аналіз міцності конструкції на прикладі кришки помпи»); для ANSYS Mechanical APDL («Вигин консольної балки», «Розрахунок посудини під тиском», «Задача механіки рідини – FLOTRAN», «Електродугова піч для плавки чавуну, нестаціонарний теплоелектричний аналіз, миттєвий та підсумковий енергобаланси») та ін.

У якості прикладу застосування програмного комплексу ANSYS Academic Teaching у навчальному процесі кафедри ХПСМ при виконанні дипломного проектування наведемо

результати числового аналізу тепло-гідродинамічного стану при модернізації аноду магнієвого електролізера з метою підвищення сили струму (тобто його продуктивності за металом) за рахунок застосування примусового водяного охолодження.

Числовий аналіз гідродинаміки і теплообміну аноду виконувався за двома варіантами (рис. 1). Математичне формулювання даної задачі базується на осереднених за Рейнольдсом рівняннях Нав'є-Стокса (RANS) у наближені $k-\varepsilon$ моделі турбулентності [1, 2] і включає в себе рівняння нерозривності, збереження кількості руху, енергії, турбулентної кінетичної енергії і швидкості її дисипації:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \rho}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0; \\ \rho\left[\dfrac{\partial \mathbf{V}}{\partial \tau} + (\mathbf{V}\cdot\nabla)\mathbf{V}\right] = -\nabla p + \nabla \cdot \left[(\mu + \mu_t)\left(\nabla \cdot \mathbf{V} + (\nabla \cdot \mathbf{V})^{\mathrm{T}} - \dfrac{2}{3}\rho k\right)\right] + \rho \mathbf{g}; \\ \dfrac{\partial}{\partial \tau}(\rho h) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} h) = \nabla \cdot \left(\left(\dfrac{\lambda}{c_{\mathrm{p}}} + \mu_t\right)\nabla h\right); \\ \dfrac{\partial}{\partial \tau}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} k) = \nabla \cdot \left(\left(\mu + \dfrac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla k\right) + G - \rho\varepsilon; \\ \dfrac{\partial}{\partial \tau}(\rho \varepsilon) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \varepsilon) = \nabla \cdot \left(\left(\mu + \dfrac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\nabla \varepsilon\right) + \dfrac{\varepsilon}{k}(C_1 G - C_2 \rho \varepsilon), \end{cases} \quad (1)$$

де τ – час, с; ρ – густина, кг/м^3; $h = \int_0^T c_{\mathrm{p}}(T)dT$ – масова ентальпія, Дж/кг; T – абсолютна температура, К; $\nabla = \left(\dfrac{\partial}{\partial x}, \dfrac{\partial}{\partial y}, \dfrac{\partial}{\partial z}\right)$ – оператор Гамільтона; $\mathbf{V} = (V_x, V_y, V_z)^{\mathrm{T}}$ – вектор швидкості, м/с; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); c_{p} – масова ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К); $\mu_t = C_\eta \rho \dfrac{k^2}{\varepsilon}$ – коефіцієнт турбулентної в'язкості, Па·с; p – тиск, Па; μ – динамічна в'язкість, Па·с; $\mathbf{g}$ – вектор прискорення вільного падіння, м/с^2; k – турбулентна кінетична енергія, Дж/кг;; ε – швидкість дисипації турбулентної енергії, Дж/(кг·с); $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_\eta, C_1, C_2$ – параметри $k-\varepsilon$ моделі; $G = \eta_t \dfrac{\partial V_i}{\partial x_j}\left(\dfrac{\partial V_i}{\partial x_j} + \dfrac{\partial V_j}{\partial x_i}\right)$, $i, j = \overline{1,3}$; $X(x, y, z) \in R^3$ – декартові координати, м.

Для твердих елементів конструкції розглядається тільки рівняння енергії (тобто третє у системі (1)) без врахування конвективних членів і турбулентної в'язкості μ_t.

Початкові умови:

$$\begin{cases} T(X) = T_0; \\ \mathbf{V}(X) = 0; \\ k(X) = 1; \\ \varepsilon(X) = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Граничні умови (ГУ):

– на вході у кесон

$$\begin{cases} T_{вх} = T_в; \\ G_{вх} = G_в; \\ k(X) = 1; \\ \varepsilon(X) = 1; \end{cases} \quad (3)$$

де $T_{вх}$, $G_{вх}$ – температура (К) і витрати води (кг/с) на вході у кесон, відповідно;

– на виході з кесону

$$\begin{cases} \mathbf{n}\cdot\nabla T = 0; \\ p = 0; \\ k(X) = 1; \\ \varepsilon(X) = 1; \end{cases} \tag{4}$$

де $\mathbf{n}$ – вектор зовнішньої нормалі до поверхні;

– на границях контакту рідина – тверде тіло

$$\begin{cases} \mathbf{V} = 0; \\ \tau_t = \mathbf{n}\cdot(\mu\mathbf{V}), \end{cases} \tag{5}$$

де τ_t – тангенціальне напруження, Па;

– на границях контакту твердих тел.

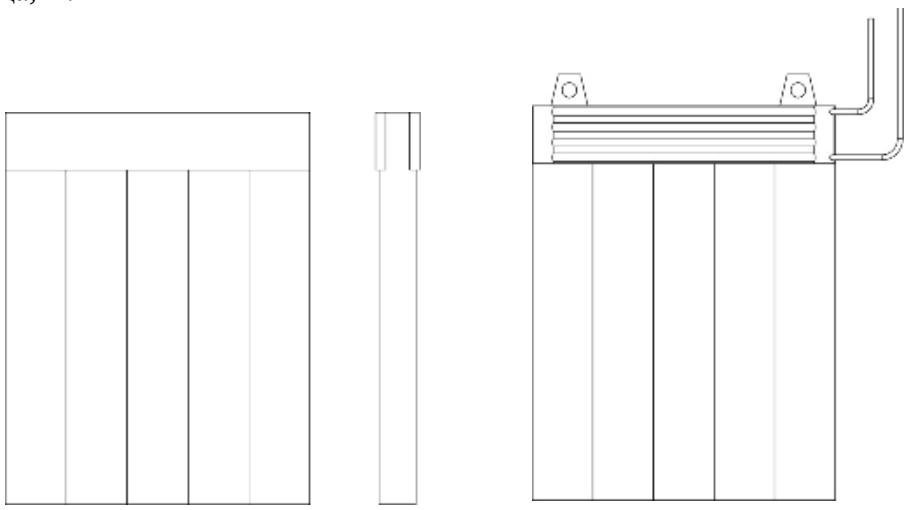
$$\begin{cases} \{T\} = 0; \\ \{\mathbf{n}\cdot\mathbf{q}\} = 0, \end{cases} \tag{6}$$

де $\{T\} = T^+ - T^-$; $\{\mathbf{n}\cdot\mathbf{q}\} = \mathbf{n}^+\cdot\mathbf{q}^+ - \mathbf{n}^-\cdot\mathbf{q}^-$; $\mathbf{q} = -\lambda(T)\nabla T$ – вектор густини теплового потоку, Вт/м^2; "+","–" – означає ліворуч і праворуч від границі, відповідно;

– на границях контакту із зовнішнім середовищем (рис. 2)

$$\mathbf{n}\cdot(-\lambda(T)\nabla T) = \alpha_{\text{ef}}(T)(T - T_{\text{oc}}), \tag{7}$$

де α_{ef} – ефективний коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К); T_{oc} – температура оточуючого середовища, К.



а *б*

Рис. 1 – Варіанти конструкцій аноду: а – вар. 1 – анод без кесона – охолодження повітрям (гравітаційна конвекція); б – вар. 2 – анод з двохходовим водяним кесоном (примусове водяне охолодження)

Математична постановка задачі (1)–(7) реалізована у числових моделях за допомогою програмного продукту ANSYS FLUENT. Числова модель за вар. 1 (рис. 1) включає тільки тверді матеріали (графіт, мідь і сталь), а за вар. 2 (рис. 1) – також і рідину (воду), що циркулює у кесонах. Фізичні властивості води задавались у залежності від температури. Для задання ГУ конвективного типу (7) у обох числових моделях використовувалися User Define Function (UDF-функції) [2], що були спеціально написані на мові програмування високого рівня С у відповідності до схеми задання ГУ (рис. 2). З метою спрощення процедури дискретизації тведотільної моделі аноду та значного зменшення числа невідомих (розрахункових комірок – cells) металеві тонкостінні трубки кесону не будуються, а замість цього застосовуються можливості ANSYS FLUENT [2] із задання товщини стінок та їх матеріалів у ГУ, використовуючи при цьому такі опції: Wall Thickness, Shell Conduction, Material Name. При побудові числових моделей також враховувалась осьова симетрія конструкції (рис. 2). В результаті кількість розрахункових комірок числових моделей становила: за вар. 1 – 144752, а за вар. 2 – 282181.

Результати виконаних числових експериментів за розробленими моделями фізичних полів аноду представлено на рис. 3 і 4.

Розрахункове значення середньої швидкості води на вході у кесон за вар. 2 при її витраті $G_{\text{вх }2}$ = 0,155 кг/с і температурі $t_{\text{вх }2}$ = 20 °С становить $V_{\text{сер }2}$ = 0,41 м/с, втрати статичного тиску – $\Delta p_{\text{стат }2}$ = 345 Па = 0,00345 бар, а повний тиск води на вході у кесон для забезпечення заданої витрати води – $\left(p_{\text{стат}} + p_{\text{дин}}\right)_2$ = 0,0043 бар. Розрахункова температура на виході з кесону – $t_{\text{вих }2}$ = 43,8 °С.

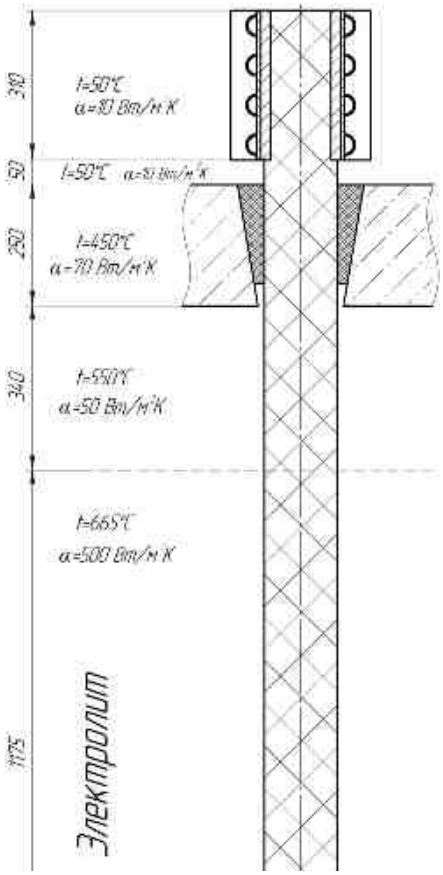
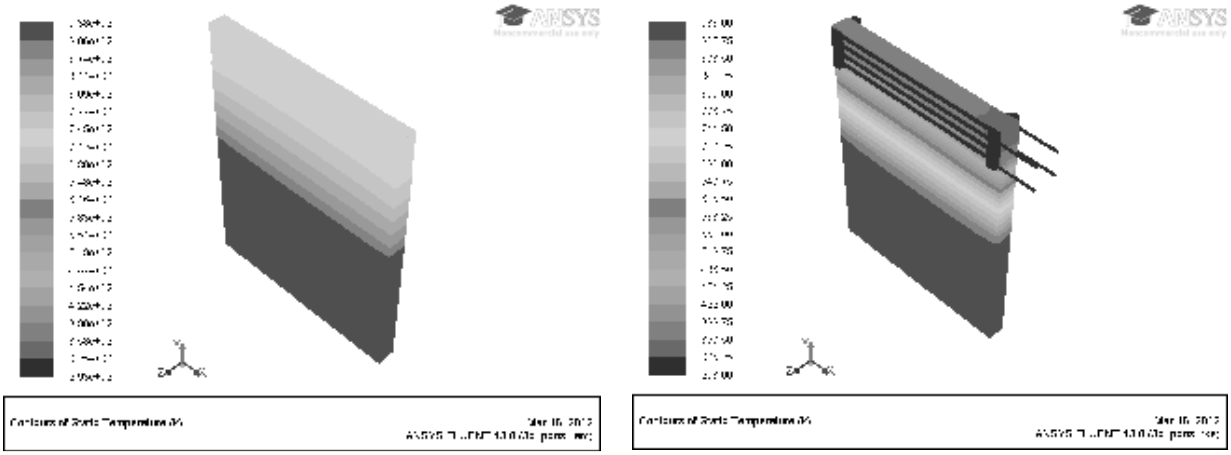
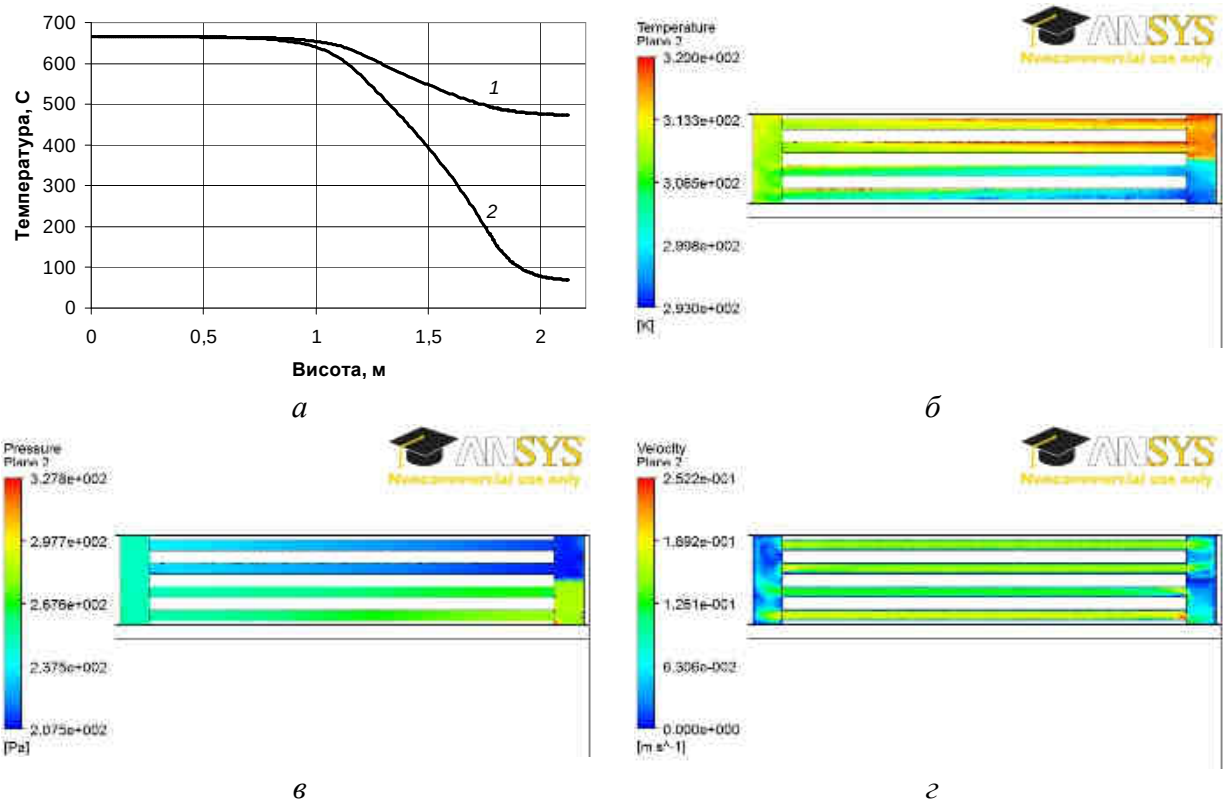


Рис. 2 – Схема задання ГУ для зовнішнього теплообміну аноду



а *б*

Рис. 3 – Результати числового аналізу температурного поля аноду до модернізації (*а*) і після (*б*)



а *б* *в* *г*

Рис. 4 – Результати розрахунків фізичних полів аноду:
а – співставлення розподілу температури по вертикальній осі аноду (1 – вар. 1, 2 – вар. 2);
б –г – повздовжній переріз водяного кесона (вар. 2): б – поле температур;
в – поле статичного тиску; г – поле швидкості руху води

На підставі отриманих результатів числового аналізу теплового стану аноду до і після його модернізації можна визначити теплові втрати, за якими потім виконати оцінку можливості підвищення сили струму на магнієвому електролізері. За вар. 1 маємо, що від половини аноду конвекцією до повітря відводиться така потужність:

$Q_{\text{вар.1}} = 2{,}9$ кВт.

В результаті від електролізера з 18 анодами за вар. 1 знімається теплова потужність у такій кількості:

$Q_{\Sigma\text{вар.1}} = Q_{\text{вар.1}} \cdot 2 \cdot 18 = 104{,}4$ кВт.

За вар. 2 маємо, що від половини аноду за рахунок охолодної води кесону відводиться:

$$Q_{\text{вар.2-1}} \approx G_{вх} c_p \left(T_{вх} - T_{вих}\right) = \frac{0{,}155 \cdot 4182(316{,}8 - 293)}{1000} = 15{,}7 \text{ кВт.}$$

В результаті від електролізера з 18 анодами за вар. 2 можна зняти таку теплову потужність:

$Q_{\Sigma\text{вар.2}} = Q_{\text{вар.2}} \cdot 2 \cdot 18 = 565{,}2$ кВт.

На підставі отриманих даних нескладно провести оцінку граничної величини підвищення сили струму на магнієвому електролізері за рахунок застосування примусового водяного охолодження його анодних пристроїв. Спочатку визначимо величину збільшення тепловідводу у вар. 2 порівняно з вар. 1:

$\Delta Q_{\Sigma\text{вар.2}} = Q_{\Sigma\text{вар.2}} - Q_{\Sigma\text{вар.1}} = 565{,}2 - 104{,}4 = 460{,}8$ кВт,

Якщо прийняти за робочу напругу на магнієвому електролізері значення $u_{\text{р}} = 5{,}55$ В, то за вар. 2 будемо мати, що гранична величина підвищення сили струму (ΔI) буде становити:

$$\Delta I = \frac{\Delta Q_{\Sigma\text{вар.2}}}{u_{\text{р}}} = 460{,}8/5{,}55 = 83 \text{ кА,}$$

що відповідає підвищенню продуктивності за магнієм на електролізері з модернізованими анодами:

$$\Delta P = 24\Delta I \cdot \gamma \cdot \eta = 24 \cdot 83 \cdot 0.454 \cdot 0.8 \approx 723{,}5 \text{ кг/доб.}$$

де $\gamma = 0{,}454$ г/(А·год) – електрохімічний еквівалент одержання магнію; $\eta = 0{,}8$ – вихід за струмом.

Висновки

Досвід впровадження програмних продуктів ANSYS Academic Teaching у навчальний процес на кафедрі ХПСМ ІХФ НУТУ «КПІ» можна оцінити як позитивний. За досить короткий термін, при вдалому методичному супроводі, можна навчити студентів проводити складний числовий аналіз фізичних полів у елементах конструкцій майже будь-якого промислового обладнання. Більшість студентів, що були задіяні у проекті, отримали основи сучасного наукоємного комп'ютерного інжинірингa і здобули достатню кваліфікацію, щоб за допомогою програмного комплексу ANSYS Academic Teaching самостійно створювати складні числові моделі і проводити відповідні розрахунки фізичних полів та аналізувати отримані дані.

Список використаної літератури

1. Poinsot T. Theoretical and numerical combustion / Thierry Poinsot, Denis Veynante. — 2nd ed. — Philadelphia : Edwards, 2005. — 522 p.
2. ANSYS, Inc. ANSYS FLUENT User's Guide Documentation.
Режим доступу: http://www.ansys.com.

УДК 621.789

ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНУ В УПАКОВЦІ

Погорілий О.В., студ., Шилович Т.Б., доц.
Національний технічний університет України

Відомо, що поліетилен - найпопулярніший пластик в світі, а в Україні з усіх полімерів поліетилен має найбільше поширення [1]. Різні полімери мають різні фізичні властивості. Такі властивості полімерів як, наприклад, крихкість та міцність, залежать від температури. В залежності від методу отримання, розрізняють поліетилен низької густини (ПЕВТ) і поліетилен високої густини (ПЕНТ), які відрізняються своїми властивостями та сферами застосування. Ці відмінності виявляються в температурі плавлення, твердості, жорсткості й міцності [2]. На сьогодняшній день споживання полімеру в світі зростає і постійно знаходяться нові способи його застосування. В данній роботі розглянуто використання ПЕВТ в упаковці.

ПЕВТ використовується для виготовлення таких видів упаковки:

1. Плівка із ПЕВТ; володіють комплексом таких властивостей: стійкість до ударів і розривів; збереження міцності; придатність для зберігання продуктів чутливих до окислення [3].
2. Термоусадкова плівка із ПЕВТ [4].
3. Пакеты із ПЕВТ (гладкі, блискучі, м'які на дотик, міцні при розтягуванні, стійкі до ударів і розривів, пакети ПЕВТ (найпоширеніша упаковка) водонепроні і морозостійкі, можуть служити упаковкою для родин [5].
4. Стретч-плівка із ПЕВТ, має ряд переваг в порівнянні з термоусадочной плівкою:

- заощаджує енергію (відсутність операції розігріву в усадочній камері);
- витрачається меньша кількість матеріалу (більш тонкі плівоки);
- потребує меншої виробничої площі;
- не вимагає використання подвійного плівки (можливість загортання піддонів з вантажем, попередньо упакованими в термоусадочну плівку, уникаючи при цьому можливого зварювання або ламінування плівок окремих упаковок).

Стретч-плівка оптимальна для упаковки харчових продуктів:

- забезпечує безпеку продукції;
- зберігає свіжість продуктів (завдяки високій повітро-і вологопроникність);

- створює додаткові зручності (використовується для пакування практично готової до вживання продукції, яка має ряд переваг, включаючи невеликі витрати часу на її приготування);
- абсолютно безпечна (в США стретч-плівки використовуються вже понад 30 років, в Європі - близько 25 років, при цьому вченими неодноразово була підтверджена їх абсолютна безпека) [6].

5. Харчова плівка із ПЕВТ - допомагає зберегти властивості продуктів, запобігає їх швидке висихання, захищає від впливів зовнішнього середовища і просочування сторонніми запахів [7].
6. Пакети з вирубною ручкою із ПЕВТ- естетичні, практичні, довговічні і, при цьому, недорогі [8].

ПЕВТ отримують при високому тиску шляхом полімеризації етилену в автоклаві або в трубчастому реакторі. Процес в реакторі відбувається по радикальному механізму під дією кисню, органічних пероксидів (лаурил, бензил) або їх сумішей. Змішаний з ініціатором, нагрітий до 700 °С і стислий компресором до 25 МПа, етилен спочатку надходить в першу частину реактора, де розігрівається до тисячі вісімсот градусів, а потім у другу - для полімеризації при температурі від 190 до 300°С і тиску від 130 до 250 МПа. В середньому етилен знаходиться в реакторі від 70 до 100 с. Ступінь перетворення до двадцяти відсотків, все залежить від типу та кількості ініціатора. З отриманого поліетилену видаляють не прореагувавший етилен, потім його охолоджують і гранулюють. Гранули підсушують і упаковують. Товарний ПЕВТ випускають у вигляді нефарбованих і забарвлених гранул [9].

Переваги упаковки з ПЕВТ: добре переробляється будь-якими з існуючих способів, можна застосувати різноманітні методи зварювання, а саме контактне зварювання, зварювання тертям, гарячим газом або присадним прутком, упаковка з поліетилена високого тиску (ПЕВТ) унікальна, вона надзвичайно стійка до ударів і різноманітним механічним впливам, універсальна і багатофункціональна, дешева у виробництві, є прекрасним ізолятором і ідеально схильна до вторинної переробки, і багато іншого, упаковка з ПЕВТ має надзвичайно привабливий зовнішній вигляд, м'який блиск і гладку фактура - одні з найважливіших якостей даного типу поліетилену, тобто упаковка з ПЕВТ тривалий час зберігають привабливий зовнішній вигляд і відрізняються високою стійкістю до зносу [10].

Недоліки упаковки з ПЕВТ:

1. Пакети з ПЕВТ мають більшу товщину, так як у них менша початкова міцність, що в свою чергу призводить до підвищення ціни виготовлення [11].
2. Для деяких видів упаковок із ПЕВТ потрібна відносно висока ресурсомісткість і технологічна складність [12].
3. Недоліки плівки із ПЕВТ - це уразливість перед маслами, жирами і газами. Однако при виробництві плівки ПЕВТ може застосовуватися двошарова технологія: ПНВ + ПНД, що дозволяє домогтися більш високих характеристик міцності, мікробіологічних параметрів, споживчих якостей [13].

Література

1. "Полиэтилен" http://www.polymerservice.com.ua/rawmaterial/
2. "Полиэтилен высокого и низкого давления" http://interrais.com.ua/produkcia/sirie-polietilen/4-syre-poliyetilen-vysokogo-i-nizkogo-davleniya.html
3. "ПВД пленки" http://optplenka.ru/index.php?topic=stat1
4. "Термоусадочная пленка" http://www.packmash.narod.ru/plenka.html
5. "Пакеты ПВД" http://www.razbudim.com/services/pvdpack/
6. "Стретч-пленка" http://www.packmash.narod.ru/plenka.html
7. "Пищевая пленка" http://www.packmash.narod.ru/plenka.html
8. "Пакеты с вырубной ручкой" http://www.tulapack.ru/paketvyrubnoy.html
9. "ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ" http://www.camelotplast.ru/info/proizvodstvo-polietilena.php
10. "Переваги упаковки з ПЕВТ" http://nordvestoil.ru/
11. "Недоліки пакетів з ПЕВТ" http://www.optipack.ru/paket.html
12. "Технологічна складність" Автор: Погорілий О.В., висновок
13. "Недостатки пленки из ПВД" http://www.inter-film.net/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=7

УДК 669.046.41:519.6

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛО-ГІДРОДИНАМІЧНОГО СТАНУ ПЕЧІ РІДГАМЕРА ПРИ ВИПАЛЮВАННІ ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ЗАГОТОВОК

КАРВАЦЬКИЙ А.Я., д.т.н., проф., ПУЛІНЕЦЬ І.В., асп., БАБАК С.О., студ.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» м. Київ

Розроблено математичну модель тепло-гідродинамічного стану камери багатокамерної печі випалу з врахуванням радіаційного теплообміну і процесу горіння природного газу.

Процес випалювання електродних заготовок проводиться у багатокамерних кільцевих печах типу Рідгамера. Внаслідок конструкційних особливостей робота печей випалу характеризується досить великою нерівномірністю розподілу температури по камері печі, великою тривалістю (350–480 год) та значними питомими витратами енергії (ПВЕ) 3,9–4,5 ГДж/т. Тому однією з найважливіших і актуальних задач виробництва вуглеграфітових виробів є розробка науково-обґрунтованих технологічних регламентів процесу випалу, що забезпечують необхідну якість кінцевого продукту при зменшенні тривалості процесу та ПВЕ. При цьому для визначення раціональних регламентів роботи печей випалу доцільно використовувати методи математичного моделювання [1], що дає змогу значно зменшити матеріальні витрати та скоротити термін розробок.

Зважаючи на складний теплообмін, гідродинамічні процеси при горінні природного газу, великі розміри та ін., печі Рідгамера є досить складним об’єктом для математичного моделювання фізичних полів, що протікають у процесі випалу. Це в основному і визначило те, що кількість робіт присвячена цій проблемі в літературних джерелах є дуже обмеженою [2, 3]. У цих роботах в основному розглядаються спрощені математичні моделі без врахування процесу горіння та ін.

В даній роботі розроблена математична модель тепло-гідродинамічного стану камери багатокамерної печі з врахуванням радіаційного теплообміну і процесу горіння природного газу.

У відповідності зі сформульованою фізичною моделлю багатокамерної печі [4] математична модель нестаціонарного дифузійного згоряння природного газу в турбулентному потоці може бути побудована на базі осереднених за Рейнольдсом рівнянням Нав’є-Стокса (RANS) в наближені $k-\varepsilon$ моделі з врахуванням стисливості рідини [6] включає в себе рівняння нерозривності, збереження кількості руху, транспорту хімічних компонентів реакції горіння, енергії в ентальпійному вигляді, турбулентної кінетичної енергії і швидкості її дисипації [5]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\overline{\rho}}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\widetilde{\mathbf{V}}\right)=0; \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}\widetilde{\mathbf{V}}}{\partial\tau}+\left(\overline{\rho}\widetilde{\mathbf{V}}\cdot\nabla\right)\widetilde{\mathbf{V}}=-\nabla p+\nabla\cdot\overline{\overline{\tau}}_{\text{eff}}+\overline{\rho}\mathbf{g}; \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}\widetilde{Y}_k}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\widetilde{\mathbf{V}}\widetilde{Y}_k\right)=\nabla\cdot\overline{\mathbf{J}}_k+\overline{\dot{\omega}}_k,\quad k=\overline{1,N}; \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}\widetilde{h}}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\widetilde{\mathbf{V}}\widetilde{h}\right)=\overline{\dot{\omega}}_T+\dfrac{\overline{Dp}}{D\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\lambda\nabla T}+\overline{\dfrac{\mu_t}{\mathrm{Sc}_t}\nabla h}\right)+\overline{\overline{\tau}_{\text{eff}}:(\nabla\cdot\mathbf{V})}-\nabla\cdot\overline{\left(\rho\sum_{k=1}^{N}\mathbf{J}_k h_k\right)}+E\left(\widetilde{T}\right); \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}k}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\widetilde{\mathbf{V}}k\right)=\nabla\cdot\left[\left(\mu+\dfrac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla k\right]+G_k+G_b-\overline{\rho}\varepsilon-Y_M; \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}\varepsilon}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\widetilde{\mathbf{V}}\varepsilon\right)=\nabla\cdot\left[\left(\mu+\dfrac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\nabla\varepsilon\right]+\overline{\rho}C_1 S\varepsilon-\overline{\rho}C_2\dfrac{\varepsilon^2}{k+\sqrt{\nu\varepsilon}}+C_{1\varepsilon}\dfrac{\varepsilon}{k}C_{3\varepsilon}G_b, \end{cases} \qquad (1)$$

де $\overline{\rho}$ – густина осереднена за Рейнольдсом, кг/м^3; τ – час, с; ∇ – оператор Гамільтона; $\widetilde{\mathbf{V}}$ – вектор швидкості осереднений за Фавром [5], м/с; p – тиск, Па; $\overline{\overline{\tau}}_{\text{eff}}$ – тензор ефективних напружень розтягу-стискання, Па; $\mathbf{g}$ – вектор прискорення вільного падіння, м/с^2; Y_k – масова частка компоненти хімічної реакції горіння; N – кількість компонент реакції горіння; $\overline{\mathbf{J}}_k$ – вектор дифузного турбулентного потоку k-ої компоненти, кг/(м^2·с); $\overline{\dot{\omega}}_k$ – джерело за рахунок середньої швидкості реакції k-ої компоненти, кг/(м^3·с); $\widetilde{h}_k$ – ентальпія k-ої компоненти, Дж/кг; T – температура, К; $\overline{\dot{\omega}}_T$ – об'ємне джерело теплоти за рахунок горіння, Вт/м^3; $\overline{\frac{Dp}{D\tau}}$ – субстанціональна похідна від тиску, Вт/м^3; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); **:** – оператор лінійного відображення; $E\left(\widetilde{T}\right)$ – об'ємна густина радіаційного теплового потоку «сірого» середовища, Вт/м^3; μ_t – турбулентна в'язкість, Па·с; Sc_t – число Шмідта; μ – динамічна в'язкість, Па·с; k – турбулентна кінетична енергія, Дж/кг; ε – швидкість дисипації турбулентної кінетичної енергії, Дж/(кг·с); ν – кінематична в'язкість, м^2/с; G_k, G_b, Y_M, C_1, C_μ, $C_{3\varepsilon}$, σ_k, σ_ε, $C_{1\varepsilon}$, C_2 – параметри і константи $k-\varepsilon$ моделі [6].

Перший член у правій частині рівняння енергії (1) пов'язаний з джерелом теплоти хімічної реакції горіння, другий – з роботою тиску, третій – з теплопровідністю, четвертий – з дисипацією в'язкості, п'ятий – з дифузією компонентів хімічної реакції і шостий – з тепловим випромінюванням.

Для твердих елементів печі система рівнянь (1) спрощується до одного рівняння енергії (теплопровідності) виду:

$$\frac{\partial \rho h}{\partial \tau} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + q_{\text{volat}} \qquad (2)$$

При цьому теплопровідність пересипки приймається ефективною величиною – λ_{eff}, а в q_{volat} (Вт/м^3) – враховуються теплота утворення летючих в заготовках.

Аналіз горіння метану у печі ґрунтується на припущенні повного згорання природного газу до CO_2 і H_2O. Тоді рівняння хімічної реакції горіння буде мати вид:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O. \qquad (3)$$

Реакція (3) визначається стехіометричними коефіцієнтами і миттєвими термодинамічними параметрами, від яких залежить її швидкість. Турбулентне змішування реагентів є фактором, що обмежує швидкість реакції. Турбулентно-хімічна взаємодія при горінні природного газу описується за допомогою двох моделей: перша – модель обмеженої швидкості реакції на основі закону Ареніуса [5]; друга – модель вихрової дисипації (Магнусена) [7]. В результаті використовується менше з отриманих значень по швидкості реакції.

Джерело k-ої компоненти хімічної реакції (3) у відповідності з моделлю обмеженої швидкості реакції визначається як:

$$\overline{\dot{\omega}}_k = W_k Q_k, \qquad (4)$$

де W_k – молекулярна вага компоненти, кг/моль; Q_k – молярна швидкість утворення/розкладання компонентів реакції, моль/(м^3·с).

Реакція горіння (3) в узагальненому вигляді може бути представлена як:

$$\sum_{k=1}^{N} \nu'_k \Re_k \xleftrightarrow{K_f, K_r} \sum_{k=1}^{N} \nu''_k \Re_k, \qquad (5)$$

де ν'_k, ν''_k – стехіометричні коефіцієнти k-го реагенту і продукту реакції, відповідно; $\Re_k$ – символ, який визначає k-у компоненту; K_f, K_r – константа швидкості прямої і зворотної реакції, відповідно, 1/с.

Молярна швидкість розкладу компонентів прямої реакції визначається як:

$$Q_k = \nu_k \left(K_f \prod_{j=1}^{N} \left[X_j\right]^{\nu'_j} - K_r \prod_{j=1}^{N} \left[X_j\right]^{\nu''_j} \right), \tag{6}$$

де $\nu_k = \nu''_k - \nu'_k$; $\left[X_j\right] = \rho Y_j / W_j = \rho_j / W_j$ – молярна концентрація j-го компонента, моль/м^3.

Константа швидкості прямої реакції горіння визначається із закону Ареніуса [5]:

$$K_f = A \exp\left[-\frac{E}{RT} \right], \tag{7}$$

де $A = BT^{\alpha}$ – частотний фактор, 1/с; B, α – постійні реакції; E – енергія активації, Дж/моль.

Константа швидкості зворотної реакції визначається через K_f:

$$K_r = K_f \left[\left(\frac{p_a}{RT} \right)^{\sum_{k=1}^{N} \nu_k} \exp\left(\frac{\Delta s^0}{R} - \frac{\Delta h^0}{RT} \right) \right]^{-1},$$

де p_a = 1 бар; Δs^0, Δh^0 – зміна мольної ентропії (Дж/(моль·К) і ентальпії (Дж/моль) реакції, відповідно.

Молярна швидкість розкладання компонентів прямої реакції у відповідності з моделлю вихрової дисипації визначається як:

$$Q_k = \nu'_k W_k A \rho \frac{\varepsilon}{k} \min_R \left(\frac{Y_R}{\nu'_R W_R} \right), \tag{8}$$

$$Q_k = \nu'_k W_k AB \rho \frac{\varepsilon}{k} \frac{\sum_P Y_P}{\sum_{j=1}^{N} \left(\nu''_j W_j \right)}, \tag{9}$$

де A=4, B=0,5 – емпіричні константи Магнусена [7] для реагентів і продуктів реакції, відповідно; індекси R, P – відносяться до реагентів і продуктів реакції, відповідно.

У рівняннях (8), (9) швидкість реакції визначається масштабом часу змішування великих вихорів і відношенням k/ε як в моделі Сполдінга [8].

Початкові умови:

$$\begin{cases} T(X) = T_0; \\ \mathbf{V}(X) = 0; \\ Y_k(X) = Y_{0k}, \quad k = \overline{1, N}; \\ k(X) = k_0; \\ \varepsilon(X) = \varepsilon, \end{cases} \tag{10}$$

де $X(x, y, z) \in \Omega$ – декартові координати, м; Ω – розрахункова область.

Граничні умови (ГУ):

– на вході природного газу (11) і окислювача (гази з попередньої камери) (12) і на виході із камери печі (13):

$$\begin{cases} G = G_{\text{inlet}-\text{g}}; \\ Y_{\text{CH}_4} = Y_{\text{CH}_4-\text{inlet}}; \\ T = T_{\text{inlet}-\text{g}}; \\ k = k_{\text{inlet}-\text{g}}; \\ \varepsilon = \varepsilon_{\text{inlet}-\text{g}}, \end{cases} \tag{11}$$

$$\begin{cases} G = G_{\text{inlet}-\text{oxid}}; \\ Y_{\text{O}_2} = Y_{\text{O}_2-\text{inlet}}; \\ T = T_{\text{inlet}-\text{oxid}}; \\ k = k_{\text{inlet}-\text{oxid}}; \\ \varepsilon = \varepsilon_{\text{inlet}-\text{oxid}}, \end{cases} \tag{12}$$

$$\begin{cases} P_{\text{outlet}} = 0; \\ Y_{\text{O}_2} = Y_{\text{O}_2\text{-outlet}}; \\ T = T_{\text{outlet}}; \\ k = k_{\text{outlet}}; \\ \varepsilon = \varepsilon_{\text{outlet}}, \end{cases} \tag{13}$$

де G – масові витрати, кг/с;

– на границях контакту твердих елементів конструкції печі (абсолютний контакт) (14), газовий тракт печі – канали печі (15) і огородження печі з оточуючим середовищем (16)

$$\begin{cases} \{T\} = 0; \\ \{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}\} = 0, \end{cases} \tag{14}$$

$$\begin{cases} \mathbf{V} = 0; \\ \{T\} = 0; \\ \{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} - \mathbf{q}_r\} = 0, \end{cases} \tag{15}$$

$$\mathbf{n} \cdot (-\lambda \nabla T) = \alpha_{\text{eff}} (T)(T - T_{\text{env.sp}}), \tag{16}$$

де $\{T\} = T^+ - T^-$; $\{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}\} = \mathbf{n}^+ \cdot \mathbf{q}^+ - \mathbf{n}^- \cdot \mathbf{q}^-$; $\mathbf{q} = -\lambda \nabla T$ – вектор густини теплового потоку, Вт/м^2; $\mathbf{n}$ – вектор нормалі до поверхні контакту; $\mathbf{q}_r$ – вектор густини радіаційного теплового потоку, Вт/м^2; α_{eff} – ефективний коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К); $T_{\text{env.sp}}$ – температура оточуючого середовища, К.

Запропонована математична модель (1)–(16) дозволяє теоретично досліджувати процес випалу та відпрацьовувати технологічні регламенти, що забезпечують необхідну якість кінцевого продукту при зменшенні тривалості процесу та ПВЕ.

Література

1. Power saving at production of electrode products [Текст] / Ye.N. Panov, S.V. Kutuzov, A.Ya. Karvatsky [et al.] // XVII Intern. Conf. «Aluminium of Siberia», V Conf. «Metallurgy of Non-Ferrous and Rare Metals», VII Symp. «Gold of Siberia», (Krasnoyarsk, Russia, Sept. 7–9, 2011) : Proceed. of the Intern. Congress, Krasnoyarsk : «Verso», 2011. — P. 412—423.
2. Малахов С. А. Совершенствование технологи обжига углеграфитовой продукции в многокамерных печах обжига закрытого типа: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук : спец. 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» / С. А. Малахов. — Владикавказ, 2004. — 30 с.
3. Шибалов С. Н. Совершенствование тепловых процессов с целью повышения качества обжига заготовок из углеграфитовых материалов: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук : спец. 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» / С. Н. Шибалов. — М., 2004. — 30 с.
4. Карвацький А. Я. Математична модель тепло-гідродинамічного стану багатокамерної печі при випалюванні електродних заготовок / А. Я. Карвацький, І. В. Пулінець, І. Л. Шилович // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 1/4 (55). — С. 33—37.
5. Poinsot T. Theoretical and numerical combustion [Текст] / Thierry Poinsot, Denis Veynante. — 2nd ed. — Philadelphia : Edwards, 2005. — 522 p.
6. A New $k-\varepsilon$ Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation [Текст] / T.-H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, J. Zhu // Computers Fluids. — 1995. — Vol. 24, No. 3. — P. 227—238.
7. Magnussen B. F. On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion [Текст] / B. F. Magnussen, B. H. Hjertager // In 16th Symp. (Int'l.) on Combustion. The Combustion Institute. — Pittsburgh, 1976 — P. 719—727.
8. Spalding D. B. Mixing and chemical reaction in steady confined turbulent flames [Текст] / D. B. Spalding // In 13th Symp. (Int'l.) on Combustion. The Combustion Institute. — Pittsburgh, 1971 — P. 649—657.

УДК 66.041.38

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОЕЛЕКТРИЧНОГО СТАНУ ШАХТНОЇ ЕЛЕКТРОПЕЧІ ПРИ ГРАФІТУВАННІ НАФТОВОГО КОКСУ

КАРВАЦЬКИЙ А.Я., д.т.н., проф.., ЛЕЛЕКА С.В., асист., ЛАЗАРЄВ Т.В., асп.,
СТЕПУРА П.В., магістр
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Розроблено математичну і числову моделі теплоелектричного стану при графітуванні нафтового коксу у однофазній електропечі опору. Проведено верифікацію розробленої числової моделі за даними натурного експерименту і виконано розрахунки теплоелектричного стану печі при пускових режимах.

Постановка задачі

Математична модель, що представлена в роботах [1, 2], достатньо повно відображає фізичні процеси, які протікають під час графітування нафтового коксу, але є складною для практичної реалізації. Тому для виконання числового аналізу фізичних полів шахтної електропечі запропоновано спрощену математична модель, яка базується на таких припущеннях. Основою технологічного процесу безпосереднього нагрівання нафтового коксу, що рухається у робочому просторі шахтної електропечі, є фізичний процес виділення джоулевої теплоти при протіканні змінного струму через нього. Тепловий процес нагрівання нафтового коксу також супроводжується його рухом через робочий простір і розсіюванням теплоти, що ввтрачається через конструкційні елементи печі у навколишнє середовище.

Для математичного описання теплового стану шахтної електропечі за спрощеною фізичною моделлю можна скористатись зв'язаною системою диференціальних рівнянь теорії поля, яка включає в себе: нестаціонарне нелінійне неоднорідне рівняння теплопровідності і квазістаціонарне нелінійне рівняння безвихрового поля електричного потенціалу та спеціальний алгоритм, що враховує переміщення коксу вздовж робочого простору печі під час його графітування:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial H}{\partial \tau} = \nabla \cdot [\lambda(T)\nabla T] + \dfrac{\lfloor \nabla u \rfloor^2}{\gamma(T)}, \ \tau > 0; \\ \nabla \cdot \left[\dfrac{\nabla u}{\gamma(T)} \right] = 0; \\ H \int\limits_0^T c_p^*(T)\rho^*(T)dT; \\ \mathbf{q} = -\lambda(T)\nabla T, \ \mathbf{j} = -\dfrac{\nabla u}{\gamma(T)}, \end{cases} \qquad (1)$$

де H – об'ємна ентальпія, Дж/м^3; ρ^* – густина, кг/м^3; T – температура, К; c_p^* – масова ізобарна теплоємність, в якій для матеріалів, що містять вологу, врахована теплоємність води та теплота пароутворення шляхом вводу температурного інтервалу згладжування, Дж/(кг·К); τ – час, с; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); γ – питомий електричний опір (ПЕО), Ом·м; u – електричний потенціал, В; $\mathbf{q}$ – вектор густини теплового потоку, Вт/м^2; $\mathbf{j}$ – вектор густини електричного струму, А/м^2; $\nabla = \left(\dfrac{\partial}{\partial x}, \dfrac{\partial}{\partial y}, \dfrac{\partial}{\partial z} \right)$ – оператор Гамільтона; $(x, y, z) \in \Omega$ – координати, м.

Об'ємна ентальпія (1), в якій враховується вологовміст матеріалу, може бути представлена у вигляді співвідношення:

$$H = \int_0^{T_{\text{т}}-\Delta T/2} c_{p\text{т}-0}(T)\rho_{\text{т}-0}(T)dT +$$

$$+\frac{\left[c_{p\text{т}-0}\left(T_{\text{т}}-\frac{\Delta T}{2}\right)\rho_{\text{т}-0}\left(T_{\text{т}}-\frac{\Delta T}{2}\right)+c_{p\text{т}+0}\left(T_{\text{т}}+\frac{\Delta T}{2}\right)\rho_{\text{т}+0}\left(T_{\text{т}}+\frac{\Delta T}{2}\right)\right]\Delta T}{2}+L_{\text{т}}+$$

$$+\int_{T_{\text{т}}+\Delta T/2}^{T>T_{\text{т}}+\Delta T/2} c_{p\text{т}+0}(T)\rho_{\text{т}+0}(T)dT,$$

де $T_{\text{т}}$ – температура пароутворення (фазового переходу), К; ΔT – температурний інтервал згладжування [1], К; $c_{p\text{т}-0}, \rho_{\text{т}-0}$ і $c_{p\text{т}+0}, \rho_{\text{т}+0}$ – властивості ліворуч та праворуч від температури фазового переходу; L_m – теплота пароутворення (фазового переходу 1-го роду), Дж/м^3.

В матеріалах без вологи маємо:

$$c_p^* = c_p,\ \rho^* = \rho \text{ та } H = \int_0^T c_p(T)\rho(T)dT .$$

Для замкнення системи рівнянь (1) записуються відповідні початкові та граничні умови:

Початкові умови:

$$T\big|_{\tau=0} = T(x, y, z). \qquad (2)$$

Для поля електричного потенціалу початкові умови не задаються.

Граничні умови для рівняння теплопровідності при $\tau > 0$:

– на границі контакту огородження печі (Γ) з навколишнім середовищем задаються граничні умови III роду:

$$-\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial n}\bigg|_{\Gamma} = \alpha_{\text{еф}}(T - T_{\text{нс}}), \qquad (3)$$

де n – нормаль до поверхні (краю); $\alpha_{\text{еф}}$ – ефективний коефіцієнт тепловіддачі, в якому враховується радіаційна складова теплообміну, Вт/(м·К); $T_{\text{нс}}$ – температура навколишнього середовища, К.

На осях симетрії задаються адіабатні умови:

$$\frac{\partial t}{\partial n} = 0 . \qquad (4)$$

Граничні умови для рівняння електричного потенціалу.

Для шахтної електропечі на верхньому торці верхнього електрода задається діюча електрична напруга помножена на $\cos\varphi$:

$$u\big|_{\Gamma\text{в}-\text{ел}} = u_{\text{д}}(\tau)\cos\varphi, \qquad (5)$$

оскільки при змінному струмі активна електрична потужність, що йде на нагрівання нафтового коксу, дорівнює:

$$P_{\text{а}} = u_{\text{д}} I_{\text{д}} \cos\varphi, \qquad (6)$$

де $u_{\text{д}} = \frac{u}{\sqrt{2}}$ – діюче значення напруги, В; $I_{\text{д}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$ – діюче значення сили струму, А.

На нижньому торці нижнього електрода задається нульовий електричний потенціал:

$$u\big|_{\Gamma\text{н}-\text{ел}} = 0, \qquad (7)$$

а на решті поверхонь умови відсутності протікання струму:

$$\frac{\partial u}{\partial n} = 0 . \qquad (8)$$

На границях контакту між різними матеріалами печі задаються умови абсолютного контакту.

Постановка (1)–(8) дозволяє організувати наскрізний розрахунок теплоелектричних полів у шахтній електропечі та використати для цього програмний комплекс (ПК) ANSYS Mechanical APDL (ANSYS Parametric Design Language) [3], що входить до програмних продуктів ANSYS Academic Teaching. Саме ПК ANSYS Mechanical APDL дозволяє написання макросів авторської розробки, що дає можливість запрограмувати алгоритм імітації руху коксу вздовж вертикальної осі печі.

Алгоритм імітації руху сипучого матеріалу

Для імітації руху сипучого матеріалу через робочий простір шахтної електропечі виконана розробка спеціального алгоритму, який базується на відстежуванні уявних переміщень вузлів скінчених елементів двовимірної осесиметричної числової моделі електропечі, що відповідають сипучому матеріалу, за рахунок вивантаження певної об'ємної дози сипучого матеріалу з робочого простору печі. У даному алгоритмі імітація руху частинок сипучого матеріалу виконується за рахунок завдання початкового розподілу температур, в якому враховано переміщення сипучого матеріалу, при покроковому розрахунку теплоелектричних полів електропечі.

Розглянемо більш докладно макроетапи роботи розробленого алгоритму:

1. Спочатку записуємо масив координат (радіус і висоту) вузлів числової моделі, що відповідають робочому простору електропечі або сипучому матеріалові (коксу, який графітується).
2. Визначаємо границі (лінії, осьову – ліву і утворюючу – праву), що описують робочий простір електропечі.
3. Через кожний вузол із робочого простору печі умовно проводимо горизонтальні лінії і визначаємо координати двох точок перетину з граничними лініями (відрізками) робочого простору. Записуємо у відповідні масиви координати цих точок і параметри граничних відрізків робочого простору (наприклад, координати початку і кінця).
4. У відповідності з об'ємною дозою вивантаження сипучого матеріалу $(\Delta V_{\text{д}})$ із печі і середньозваженим нахилом граничних відрізків (ліній) робочого простору для кожного вузла, що відповідає сипучому матеріалу, визначається координата пробної точки, яка переміститься у даний вузол сітки за рахунок вивантаження сипучого матеріалу. Координати пробних точок заносяться у масиви, відповідно до номерів вузлів.
5. За визначеними координатами пробних точок вузлів, шляхом інтерполяції між вузлами відповідних скінчених елементів, знаходяться значення температур пробних точок. При цьому, якщо вертикальна координата пробної точки перевищує максимальну вертикальну координату робочої зони, то її температура приймається рівною температурі вхідного матеріалу. Температури пробних точок заносяться у масив, номери якого відповідають вузлам, для яких визначались параметри пробних точок.
6. Перед виконанням кожного кроку інтегрування за часом задається початковий розподіл температур у вузлах сітки, який для робочого простору електропечі переписується із масиву температур пробних точок вузлів, що знайдені у п. 5. Далі виконується розрахунок теплоелектричного стану печі. Після чого, якщо доза не змінюється, то розрахунки повторюються з п. 5. Інакше, при зміні дози вивантаження, виконується перехід у п. 4.

У розглянутому алгоритмі вертикальні переміщення часток (вузлів) сипучого матеріалу (Δz) вважаються однаковими у горизонтальних січеннях робочого простору печі, але змінюються по висоті в залежності від радіусу утворюючої тіла обертання (правої границі робочого простору). Тобто для нижньої зони вивантаження, де радіус циліндричної частини робочого простору печі є максимальним $r_{\max}$, маємо мінімальне переміщення:

$$\Delta z_{\min} = \frac{\Delta V_{\text{д}}}{S_{\max}},$$

де $S_{\max} = 2\pi r_{\max}^2$ – площа горизонтального перерізу зони вивантаження, м^2.

А у вузлах сітки, у яких радіальна координата правої границі робочого простору печі менша за r_{max}, тобто $r_Г < r_{max}$, їх переміщення стають більшими і визначаються співвідношенням:

$$\Delta z = \Delta z_{min} \frac{S_{max}}{S},$$

де $S = 2\pi r_Г^2 < S_{max}$ – площа горизонтального перерізу у зонах, де робочий простір печі, звужується, м^2.

Результати числових експериментів

На базі програмного комплексу ANSYS Mechanical APDL розроблено числову осесиметричну модель теплоелектричного стану шахтної печі при графітуванні нафтового коксу з врахуванням його руху у робочому просторі печі, яка включає: 3247 – скінчених елементів і 3386 – розрахункових вузлів. Числова модель печі створена на основі спеціально розроблених макросів на мові ANSYS Parametric Design Language.

Побудова числової моделі шахтної електропечі складається з таких етапів:

– підбір фізичних властивостей конструкційних матеріалів шахтної електропечі;

– визначення граничних умов для рівнянь теплопровідності та електричного потенціалу;

– розробка макросів для виконання автоматизованого розрахунку нестаціонарних температурних та квазістаціонарних електричних полів у шахтній електропечі без та з врахуванням просадки нафтового коксу. Розроблені макроси містять у собі такі етапи:

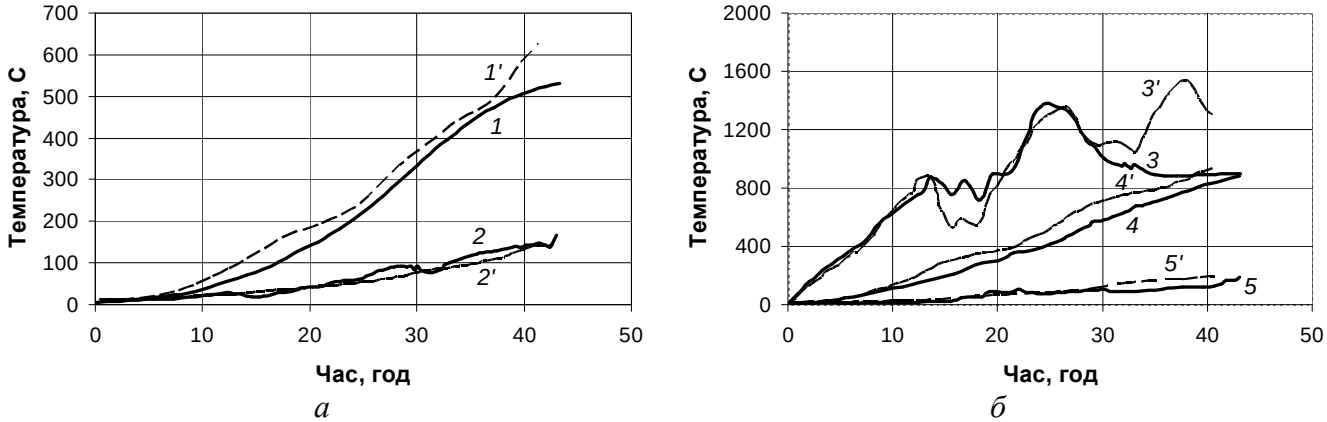
– побудова осесиметричної геометрії шахтної електропечі;

– виділення областей з однаковими властивостями для завдання фізичних властивостей матеріалів;

– виділення ліній на моделі для завдання граничних умов;

– завдання на проведення розрахунків і запису результатів розрахунків із заданим інтервалом часу за такими параметрами (час; напруга; сила струму; потужність; середня, мінімальна та максимальна температури і темп нагрівання нафтового коксу, температури характерних точок для співставлення з натурним експериментом та ін.).

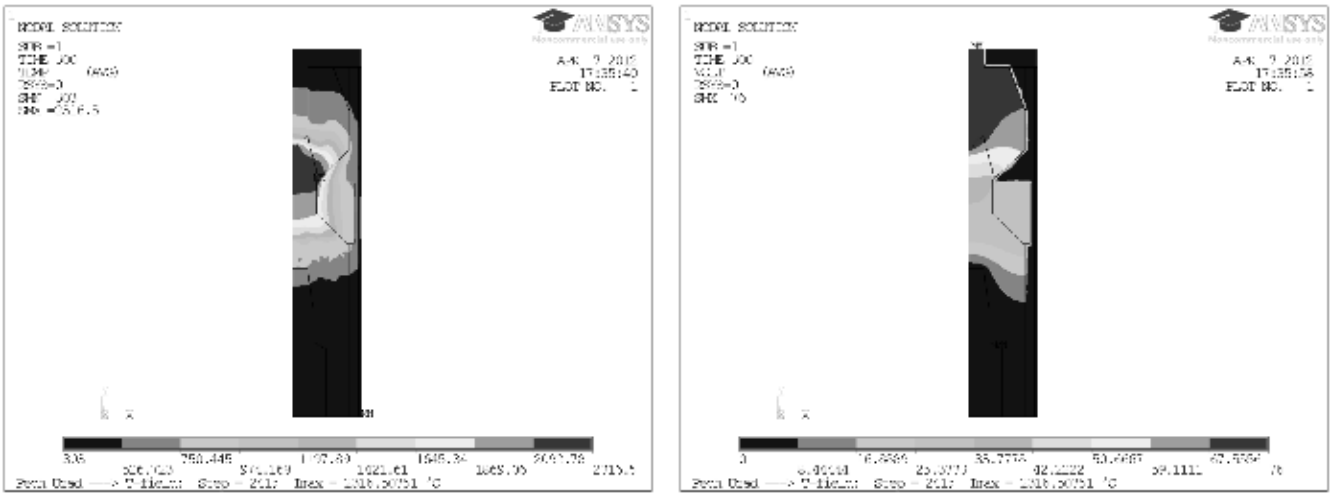
Результати співставлення розрахункових даних с даними натурного експерименту [4] показали збіжність в межах похибки у 20–25 % (рис. 1), що є цілком достатнім для виконання інженерних розрахунків. Результати теплоелектричних полів на кінець пускового режиму приведено на рис. 2.



а *б*

а – температури над дросель-шайбою; *б* – температури на верхньому перерізі дросель-шайби; *1–5* – експериментальні дані; *1'–5'* – дані розрахунків

Рис. 1. Співставлення розрахункових даних с даними натурного експерименту



а *б*

а – поле температур (°С); *б* – поле електричного потенціалу (В)

Рис. 2. Теплоелектричні поля шахтної електропечі на кінець пускового режиму

Висновки

1. Розроблена математична модель теплоелектричного стану шахтної електропечі при графітуванні нафтового коксу, в якій використовується спеціально розроблений алгоритм для імітації руху сипучого матеріалу спричинений його вивантаженням із печі.
2. На базі програмного комплексу ANSYS Mechanical APDL розроблено числову модель теплоелектричного стану шахтної печі при графітуванні нафтового коксу з врахуванням його руху у робочому просторі печі. Числова модель печі створена на основі спеціально розроблених макросів на мові ANSYS Parametric Design Language.
3. Проведена верифікація розробленої числової моделі електропечі за даними натурного експерименту показала, що похибка розрахункових даних оцінюється в межах 20–25 %, що є цілком достатнім для виконання інженерних розрахунків пускових режимів роботи шахтної електропечі при графітуванні нафтового коксу.
4. Розроблена числова модель печі дозволяє теоретично дослідити процес графітування нафтового коксу та відпрацювати технологічний регламент пускового і робочого режимів його одержання у шахтній однофазної електропечі опору.

Література

1. Теоретичні та експериментальні дослідження теплоелектричного та механічного стану високотемпературних агрегатів [Текст] : моногр. / А. Я. Карвацький, Є. М. Панов, С. В. Кутузов та ін. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 352 с.
2. Моделювання графітування нафтового коксу в шахтній електропечі неперервної дії [Текст] / Є. М. Панов, А. Я. Карвацький, С. В. Кутузов, С. В. Лелека [та ін.] // Вісник НТУУ “КПІ”. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. — 2011. — №1(7). — С. 48—52.
3. ANSYS, Inc. ANSYS FLUENT User’s Guide Documentation.
Режим доступу : http://www.ansys.com.
4. Power saving at production of electrode products [Text]/ Ye. N. Panov, S. V. Kutuzov, A. Ya. Karvatsky [et al.] // XVII International Conference «Aluminium of Siberia», V Conference «Metallurgy of Non-Ferrous and Rare Metals», (Krasnoyarsk, Russia, Sept. 7—9, 2011) : Proceedings of the Intern. Congress, Krasnoyarsk : «Verso», 2011. — P. 412—423.

УДК 621.365.3

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ ДИСКРЕТНОГО ЕЛЕМЕНТА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ В ЕЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОРІ

КАРВАЦЬКИЙ А.Я., д.т.н., проф., ЛАЗАРЄВ Т.В., асп, ПОТЕБНЯ Н.В., маг., АРСЕНЮК О.М., маг.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Розглянуто особливості моделювання процесів обробки сировини для виготовлення електродної продукції в електрокальцинаторі. Проаналізовано сучасні можливості аналізу динаміки сипучого середовища. Приведено співставлення результатів розрахунків з натурним експериментом.

Виробництво вугільної та графітової електродної продукції складний та енергоємний технологічний процес. Тому пошук шляхів підвищення ефективності та зменшення енерговитрат актуальна задача підприємств електродної промисловості. Одним з прикладів напрямів розвитку та вдосконалення технології виготовлення графітованої продукції є застосування електрокальцинаторів в технології виготовлення сипучого наповнювача електродних виробів (наприклад, прожареного антрациту та графітованого коксу). Завдяки використанню електрокальцинаторів зменшуються кількість етапів виробництва і питомі витрати енергії, підвищується ефективність процесу та якість готового продукту.

Електрокальцинування вуглецевої сировини полягає у його нагріванні до високих температур (1250–2500 °С) за рахунок джоульової теплоти, що виділяється при проходженні електричного струму крізь матеріал. Електрокальцинатор являє собою шахтну електропіч опору і складається з металевого циліндричного корпусу, футерованого вогнетривкими та теплоізоляційними матеріалами, двох осьових електродів, механізмів завантажування та розвантажування.

Матеріал, що оброблюється в електрокальцинаторах – це нафтовий кокс та антрацит. Це сипучі матеріали і принцип роботи електроаліцинатора базується на фундаментальних законах руху сипучого середовища у робочому просторі печі.

Сипуче середовище – це середовище, що складається з великої кількості окремих твердих частинок, які втрачають механічну енергію при взаємодії між собою. Як відомо за характером поведінки та властивостями воно займає проміжне положення між рідиною та твердим тілом [1].

Моделювання фізичних процесів, що відбуваються в електрокальцинаторі не можливе без врахування особливостей динаміки руху сипучого матеріалу.

Наразі, все більш широкого застосування знаходять числові методи розв’язання складних прикладних задач. Так, наприклад, завдяки використанню паралельних обчислень стало можливим моделювання руху сипучого матеріалу як системи, що складається з окремих (дискретних) частинок, які взаємодіють між собою. Такий підхід відкриває нові можливості та дозволяє вивчати різноманітні особливості механічної поведінки сипучих матеріалів.

Розповсюдженим способом числового аналізу великих систем, що можуть складатися з понад 1 000 000 частинок (гранул), є Метод Дискретного Елемента (Discrete element method (DEM)).

У математичній моделі DEM динаміка сипучого матеріалу описується рівняннями руху Ньютона та Ейлера:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\vec{r}_i}{dt^2} = \dfrac{1}{m_i}\vec{F}_i; \\ \dfrac{d^2\vec{\varphi}_i}{dt^2} = \dfrac{1}{J_i}\vec{M}_i, \end{cases} \quad i = \overline{1, N}, \tag{1}$$

де $\vec{r}_i$ – вектор положення частинки, м; m_i – маса частинки, кг; $\vec{F}_i$ – результуюча сила, Н; $\vec{\varphi}_i$ – вектор кутової орієнтації частинки, рад; J_i – момент інерції, кг·м^2; $\vec{M}_i$ – результуючий момент сил, Н·м; N – кількість частинок у системі.

До початкових умов системи рівнянь (1) відносяться: значення координат $\vec{r}_i(t=0)$, швидкості $\vec{v}_i(t=0)$, кутів Ейлера $\vec{\varphi}_i(t=0)$ та кутової швидкості $\vec{\omega}_i(t=0)$ частинок $i=\overline{1,N}$. Граничні умови описують область моделювання, наприклад плоску поверхню чи стінки бункера, з якими взаємодіють гранули [4].

Кожна гранула у моделі DEM представляється як сфера з радіусом *R*, вектором положення $\vec{r}$, масою та іншими параметрами. Сили, що діють на частинку, включають гравітацію та контактну взаємодію. Визначаючи сили та інтегруючи диференційні рівняння (1), отримують траєкторії руху всіх гранул [3,4].

Модель DEM реалізована у багатьох комерційних та некомерційних програмних продуктах (відкрите програмне забезпечення (Open-source software)).

Серед відкритого програмного забезпечення широкого застосування дістав код LAMMPS (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator) [2,5], що використовується для широкого спектру задач молекулярної динаміки, а для задач руху сипучих тіл розповсюдженою є модифікована версія LAMMPS під назвою LIGGGHTS (LAMMPS Improved For General Granular And Granular Heat Transfer Simulations) [6].

За допомогою коду LIGGGHTS можна моделювати рух сипучого матеріалу у промисловому обладнанні, зокрема, в електрокальцинаторі. Підготовчим етапом до такої складної задачі є визначення фізичних властивостей нафтового коксу, які необхідні для програми LIGGGHTS. Такими параметрами є коефіцієнт тертя та коефіцієнт тертя кочення сипучого матеріалу. Для визначення цих коефіцієнтів було проведено серію розрахунків та верифікаційних натурних експериментів з визначення кута вільного відкосу.

Експеримент проходив таким чином. Нафтовий кокс, який використовується для термообробки в електрокальцинаторі, засипався у циліндр діаметром 100 мм та висотою 100 мм. Далі циліндр різко підіймався вгору і матеріал вільно розсипався утворюючи гірку. Ця гірка і була предметом дослідження та аналізу. Результати досліджень представлено на рис. 1.

Аналогічна задача моделювалася у програмі LIGGGHTS. Було проведено серію розрахунків з різними значеннями коефіцієнтів тертя та тертя кочення. Результати моделювання наведені на рис. 2.

Співставлення розрахунків з натурним експериментом наведено на рис. 3.

Рис. 1. Гірка нафтового коксу

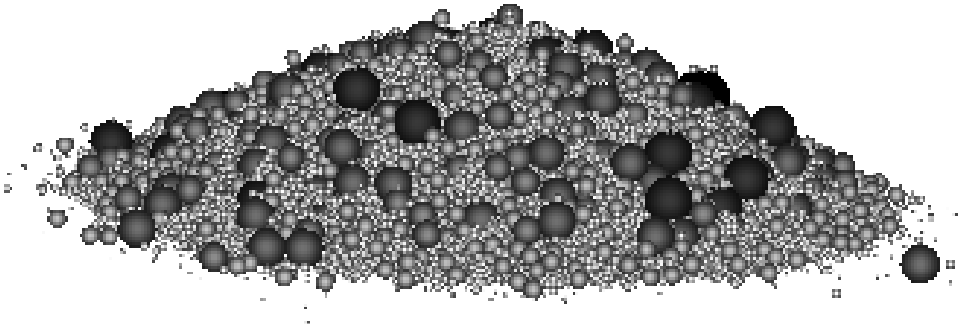


Рис. 2. Гірка сипучого матеріалу змодельована у програмі LIGGGHTS

Рис. 3. Порівняння результатів розрахунку моделі DEM з натурним експериментом

Висновки

Враховуючи принцип роботи електрокальцинатора, на додачу до складних нестаціонарних електротермічних процесів, які протікають в робочому просторі, також потрібно враховувати рух сипучого матеріалу. Цю задачу можливо розв'язувати за допомогою Методу Дискретного Елемента (Discrete element method (DEM)), використовуючи відкрите програмне забезпечення LIGGGHTS. Поведена серія розрахунків та експериментів підтвердила адекватність та реалістичність використаної моделі.

Література

1. Клейн Г. К. Строительная механіка сипучих тел [Текст] / Г. К. Клейн – М. : Стройиздат, 1977. – 256 с.
2. Plimpton S. Fast Parallel Algorithms for Short-Range Molecular Dynamics [Text] / S. Plimpton // J. Comp. Phys. –1995. – Vol. 117. – P. 1 – 19.
3. Kesava Rao K. An introduction to granular flow [Text] / K. Kesava Rao, R. Prabhu Nott. – Cambridge University Press, 2008. – 490 p.
4. Pöschel T. Computational granular dynamics models and algorithms [Text] / T. Pöschel, T. Schwager – Springer, Berlin Heidelberg New York, 2005. – 322 p.
5. LAMMPS Molecular Dynamics Simulator. [Електронний ресурс]. – Дата доступу : квіт. 2012 р. – Режим доступу : http://lammps.sandia.gov
6. LIGGGHTS Open Source Discrete Element Method Particle Simulation Code. [Електронний ресурс]. – Дата доступу : квіт. 2012 р. – Режим доступу : http://www.liggghts.com

УДК 678.057

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ПОЛІМЕРУ В КАНАЛІ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ЕКСТРУДЕРА

Сахаров О.С., д.т.н., проф., Сівецький В.І., к.т.н., проф., Кушнір М.С.,
Сокольський О.Л., к.т.н., доц., Олексішен В.О., Івіцький І.І.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна, м.Київ

Більшість черв'ячних екструдерів для переробки термопластів живляться твердим гранульованим або порошкоподібним полімером. Під час переробки гранульованих та порошкоподібних термопластів екструзійним методом, як правило, в екструдері виділяють три функціональні зони: живлення, плавлення і дозування.

В існуючих на сьогодні моделях [1-3] процес плавлення полімеру в каналі черв’яка полягає в наступному. На вході полімеру в зону плавлення внаслідок сил тертя і конічної форми осердя черв’яка тиск між гранулами і робочими поверхнями збільшується і проміжки між ними суттєво зменшуються, що призводить до оплавлення гранул на контактних поверхнях і частково між собою та злипання їх у твердий пористий моноліт – пробку. Завдяки інтенсивному тертю по поверхнях контакту і підведенню теплової енергії від нагрівників, що встановлені на циліндрі, полімер починає утворювати поблизу внутрішньої поверхні циліндра плівку розплаву.

Утворений розплав спочатку заповнює вільні проміжки між гранулами поблизу поверхні циліндра і утворює поверхневий шар розплаву. Необхідною умовою для цього є те, що тертя між пробкою і циліндром в цілому повинно бути більшим, ніж тертя між пробкою і черв’яком. Загальне тертя на поверхні пробки складається з комбінації сухого та в’язкого тертя. Співвідношення між цими видами тертя залежить від реологічних властивостей розплаву, коефіцієнтів тертя між поверхнями циліндра і черв’яка та пробкою, температури, тощо.

Коли товщина плівки розплаву перевищить розмір зазору між гребенем витка і стінкою циліндра, розплав починає зрізатися гребенем витка і утворює зону розплаву перед штовхальним гребенем, яка транспортується вздовж нього. Утворений розплав притискує твердий полімер до осердя черв’яка і пасивного боку гребеня. Таким чином, внаслідок безперервного зрізання розплаву товщина плівки залишається малою і в цій плівці відбувається інтенсивний процес дисипації енергії.

Таким чином, не враховується пористість пробки, яка впливає на термомеханічні властивості полімеру, процеси тепло- та масопереносу в ній. Теплопередачею від штовхальної стінки черв’яка до шару розплаву та в напрямку осі циліндра нехтують. Вважається, що плавлення відбувається в тонкому шарі на поверхні розділу розплав – пробка.

Авторським колективом розроблено уточнену фізичну модель процесу плавлення термопластів в каналах черв’ячних машин. Згідно запропонованої моделі, процес плавлення здійснюється таким чином. Рух пробки вздовж каналу завдяки дисипації і теплопровідності зумовлює зростання температури плівки розплаву над пробкою та приграничного з плівкою шару гранул пробки. Гранули в цьому шарі розм’якшуються і поверхневий шар гранул та плівка втрачають міцність. За рахунок великого перепаду тиску в розплаві і порах розплав прориває плівку пограничного з плівкою розплаву шару і заповнює пори між гранулами, змішуючись з поровим газом, тобто відбувається фільтрація розплаву в пористий масив гранул. Для гранул, що опинились в оточенні розплаву, зникають сили, що притискували їх до масиву пробки, і вони під дією дотичних напружень розплаву відриваються від пробки і потрапляють в рідинний шар суміші розплаву з твердими частинками полімеру та газу. Та частина розплаву, що потрапила в пори передає своє тепло оточуючим гранулам пробки, частково твердне і утворює плівку розплаву, що перешкоджає подальшій фільтрації розплаву в глиб пробки. Після надходження нової порції тепла до утвореної плівки процес повторюється, пробка поступово зменшується і руйнується на окремі включення, оточені розплавом.

Принциповою відмінністю представленої фізичної моделі є те, що майже весь процес плавлення відбувається в межах суміші твердої і рідинної фаз, де розплав є диспергуючим, а тверді залишки гранул і газ – диспергованими середовищами. Теплова ж енергія, що підводиться до поверхні розділу суміші і пробки, по суті витрачається на руйнування пробки. Враховується те, що термопласт є матеріалом аморфним і перехід від твердого стану до розплаву відбувається поступово із неперервною зміною фізико-механічних і теплофізичних властивостей

Запропонована фізична модель є більш адекватною реальним процесам зони плавлення черв'ячних машин. Вона дозволяє пояснити підвищену швидкість процесу плавлення в реальних умовах порівняно з розрахунками на класичних моделях. Інтенсивне теплоутворення за рахунок дисипації і передача тепла твердій фазі згідно пропонованої моделі відбувається в одному і тому ж об'ємі шару суміші, причому загальна поверхня теплообміну частинок твердої фракції в суміші з проникненням розплаву в поровий простір набагато більша за плоску поверхню теплообміну через полімерну плівку між твердою пробкою і розплавом, згідно традиційних моделей [1-3].

Реалізацію розробленої моделі здійснено в рамках підготовки магістерських атестаційних робіт на програмному комплексі ANSYS Academic Teaching за допомогою програмного продукту ANSYS FLUENT [4].

Як приклад чисельного моделювання процесу плавлення поліетилену в черв'ячному каналі екструдера розглянемо зону плавлення екструдера з черв'яком зовнішнім діаметром 63мм, діаметром осердя 49мм, кроком гвинтової нарізки 63мм, товщиною гребеня 6мм, кутом конусності осердя $\varphi=0{,}26^{o}$. Загальний вигляд скінченноелементної моделі каналу екструдера в зоні плавлення приведено на рис. 1.

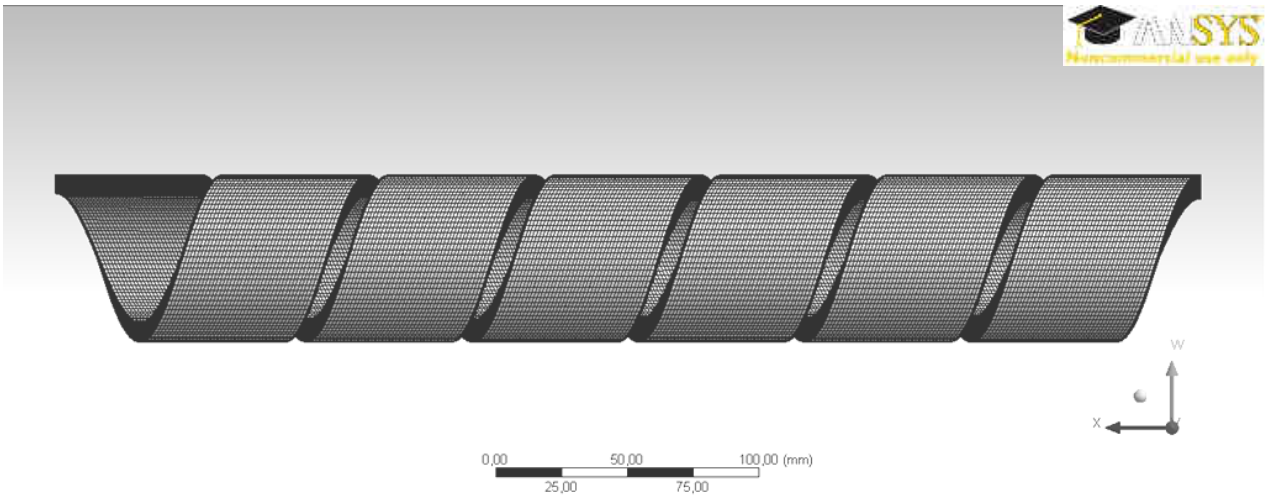


Рис. 1. Скінченноелементна модель каналу зони плавлення екструдера

Залежність в'язкості розплаву та суміші розплаву з гранулами вважаємо функцією температури та швидкості деформацій зсуву. Теплопровідність матеріалу змінюється в залежності від температури, а об'ємна теплоємкість – C_V = 205,8 Н/(см^2·К) для всіх температур, крім 115°С, для якої C_V = 2060Н/(см^2·К). В інтервалах температур 110°С-114,9°С та 115,1°С-120°С, що відповідають діапазону плавлення гранул в суміші, значення теплоємкості визначається інтерполяцією. Об'ємна доля твердої фракції в пробці складає 0,8.

Температура матеріалу на початку каналу зони плавлення прийнята рівною 90°С. Температура на внутрішній поверхні циліндра збільшується по лінійному закону вздовж осі обертання від 90°С до 180°С. Температура поверхні черв'яка – 90°С. Систему координат зв'язана з черв'яком, а відносно неї обертається циліндр з швидкістю n = 60об/хв. Для моделювання руху матеріалу в перерізі на початку каналу задавалась вимушена швидкість матеріалу V = 0,1 м/с. На поверхнях контакту матеріалу з циліндром екструдера і черв'яком розташовані приграничні скінчені елементи, які призначені для врахування сил тертя. Від їх

співвідношення на межі з поверхнями циліндра й черв'яка в значній мірі залежить процес руху та плавлення матеріалу в каналі.

Механізм фазового перетворення досліджували по розподілу значень в'язкості полімеру в перерізах каналу екструдера. Поведінка полімеру в твердому стані моделювалася підвищенням в'язкості в 10^3 разів. Зміна розподілу в'язкостей у вигляді ізополів в поздовжніх перерізах каналу зони плавлення екструдера приведена на рис. 2.

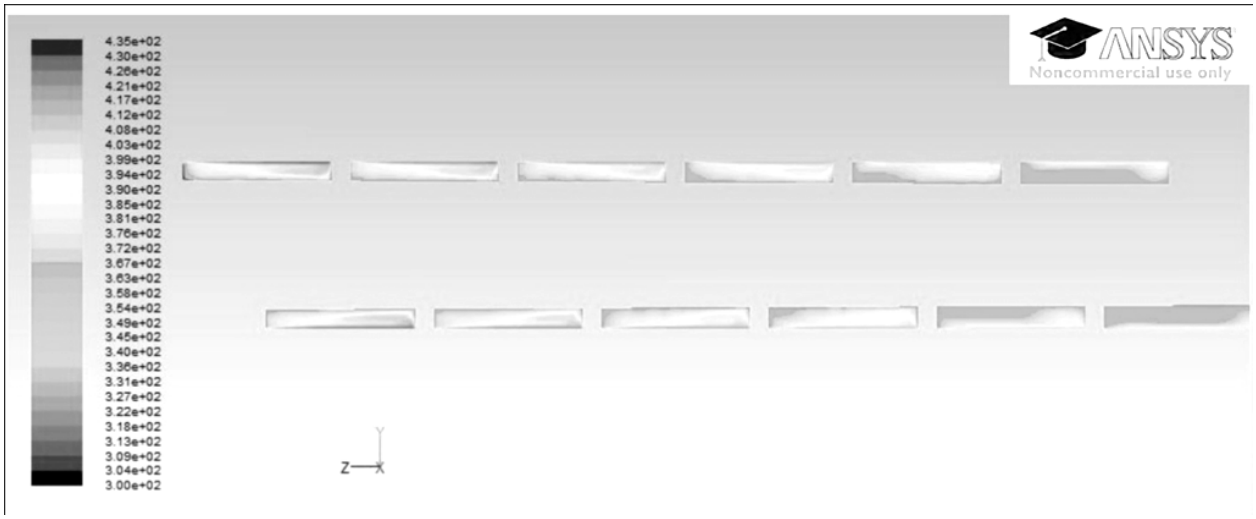


Рис. 2. Розподіл в'язкості матеріалу (Па·с) в перерізах каналу екструдера в зоні плавлення

На початку зони плавлення, коли температура пробки в черв'ячному каналі ще не досягла інтервалу плавлення, величина в'язкості по всьому перерізу відповідає твердій фракції. Із зростанням температури по довжині каналу у відповідності до експериментальних даних в'язкість полімеру суттєво зменшується біля поверхні циліндра, тобто шар полімеру біля нього починає плавитись.

В області штовхальної стінки черв'яка пробка полімеру швидко розм'якшується по висоті каналу, руйнується і виходячи з розрахованих значень в'язкості, переходить в шар рідинної суміші залишків гранул та розплаву. Процес фазових перетворень в наступних перерізах зміщується в бік пасивної стінки черв'яка, тверда частина пробки при цьому приймає вигляд трапеції, яка на відміну від класичної гіпотези суттєво відрізняється від прямокутника. За шаром суміші з розплаву і твердих частинок розташовується повністю розплавлений полімер, так що товщина шару суміші майже не змінюється.

На завершальному етапі залишки твердої фази полімеру оточуються з усіх боків розплавом і поступово перетворюються в текучу суміш, яка переміщується через перехідну зону в зону гомогенізації екструдера.

В результаті чисельного моделювання також отримані дані розподілу швидкостей, температури та концентрації твердої фракції в суміші розплаву та нерозплавлених гранул в перерізах каналу екструдера. Досліджена еволюція процесів руйнування та плавлення пробки гранул та виявлені основні фактори, що суттєво впливають на ці процеси.

Література

1 Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров. [Текст] / Р.В. Торнер - М.: Химия, 1977, 461 с.

2 Тадмор З. Теоретические основы переработки полимеров. Пер. с англ. [Текст] / З.Тадмор, К.Гогос – М.: Химия, 1984. – 632 с.

3 Радченко Л.Б. Переробка термопластів методом екструзії. [Текст] / Л.Б. Радченко - К.: ІЗМН, 1999. – 220 с.

4 ANSYS, Inc. ANSYS FLUENT User's Guide Documentation. Режим доступу: http://www.ansys.com.

УДК 678.027.3

ВИКОРИСТАННЯ В'ЯЗКОПРУЖНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РОЗРАХУНКАХ ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

КОВАЛЕНКО К.Г., аспірант, СІВЕЦЬКИЙ В.І., к.т.н., проф.,
СОКОЛЬСЬКИЙ О.Л., к.т.н., доц., РОМАНЧЕНКО М.А., магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна, м.Київ

Проведений огляд доцільності застосування в'язкопружних моделей для неньютонівських рідин та обґрунтований один із методів розрахунку екструзії полімерного матеріалу.

Неньютонівська поведінка полімерів має багато особливостей. Серед них залежності в'язкості від швидкості зсуву, наявність нормальної напруги у в'язкісній течії, висока стійкість до деформації подовження і ефектів пам'яті, пов'язаних з еластичністю рідини. Теоретичне завдання полягає в тому, щоб перевести складні властивості реології полімерних рідин до відповідних рівнянь, а також використовувати ці моделі для прогнозування течії при складній геометрії [1].

Реалізація розробленої моделі здійснена на програмному комплексі ANSYS Academic Teaching POLYFLOW [2].

ANSYS POLYFLOW пропонує широкий спектр моделей як для в'язких в'язкоеластичних рідин, так і для в'язкопружних. Проблемою моделювання є підбір відповідної функції нелінійної в'язкості, яка доступна до апроксимації віскозиметричних даних.

Для різних в'язкопружних течій, ANSYS POLYFLOW вирішує матеріальні рівняння для тензора напружень з урахуванням рівнянь стану полімеру, рівнянь руху, рівняння нестисливості і (для неізотермічних течій) рівняння енергії.

В якості рівнянь стану використовується декілька в'язкопружних моделей.

Модель Максвела є однією з найпростіших в'язкопружних визначальних рівнянь. У ній представлені постійна в'язкість і квадратичне рівняння різниці нормального напруження. З урахуванням її реологічної простоти, модель рекомендується тільки тоді, коли доступно небагато інформації про течію, або коли достатній якісний прогноз. Не дивлячись на свою чисельну простоту, ця модель може бути складна з обчислювальної точки зору. Чисельні експерименти з її використання показали великий час розрахунку та об'єм оперативної пам'яті.

Для верхньо-конвективної моделі Максвела, в'язкопружна компонента T_1 обчислюється з рівняння:

$$T_1 + \lambda \overset{\nabla}{T_1} = 2\eta_1 D, \tag{1}$$

де λ - час релаксації полімеру, $\overset{\nabla}{T_1}$ - верхньо-конвективна похідна по часу в'язкопружного напруження, η_1 - в'язкість, визначена за однією з моделей для в'язкопружної компоненти *T, D* - швидкість зміни тензора деформації.

В рівнянні моделі Максвела чисто в'язкий компонент напружень (T_2) приймається рівним нулю.

Модель Олдройта-В, як і модель Максвела, одна з найпростіших в'язкопружних визначальних рівнянь. На відміну від моделі Максвела, вона дозволяє включення чисто в'язкої компоненти додаткового напруження, яка може привести до кращої поведінки чисельної схеми. Модель Олдройта-В є більш доцільною для опису стану рідин, що володіють дуже високою подовжньою в'язкістю.

Для моделі Олдройта-В в'язкопружна компонента T_1 обчислюється за формулою (1), а чисто в'язка компонента T_2 за необхідності розраховується з рівняння:

$$T_2 = 2 \cdot \eta_2 \cdot D \tag{2}$$

де η_2 - коефіцієнт в'язкості для ньютонівської компоненти тензора напруження. Коли використовується багаторежимна в'язкопружна модель, чисто в'язка компонента тензора напруження визначається через перший порядок, точніше, відповідні в'язкості будуть визначатися добутком $\eta_1 \eta_2$.

Модель Джисекуса є однією з найреалістичніших диференціальних в'язкопружних моделей. У ній представлені розрідження при зсуві і неквадратичне рівняння різниці першого нормального напруження при високих швидкостях зсуву [3].

Модель Джисекуса визначає в'язкопружну компоненту T_1 з рівняння:

$$\left(I + \frac{\alpha\lambda}{\eta_1} T_1\right) T_1 + \lambda \overset{\nabla}{T_1} = 2\eta_1 D$$

де I - одиничний тензор; α - матеріальна константа. Ненульове значення α призводить до обмеженої стійкості об'ємної в'язкості і залежності швидкості зсуву від зсувної в'язкості. Чисто в'язка компонента T_2 розраховується за необхідності з рівняння (2). Коли використовується багаторежимна в'язкопружна модель, чисто в'язкий компонент тензора напружень визначається тільки через перший порядок, точніше, відповідна в'язкість визначатиметься з добутку $\eta_1 \eta_2$.

В якості прикладу на рис. 1 наведено графічне відображення результатів розрахунку швидкостей течії в формуючому інструменті при екструзії поліетилену низької густини (ПЕНГ), в'язкопружні властивості якого описані з використанням моделі Джисекуса (час розрахунку 5 год.; кількість скінченних елементів - 205010). Різниця швидкостей в порівнянні з чисто в'язкою моделлю Бьорд-Каро склала до 20%. Час розрахунку за в'язкою моделлю складав біля 10 хвилин.

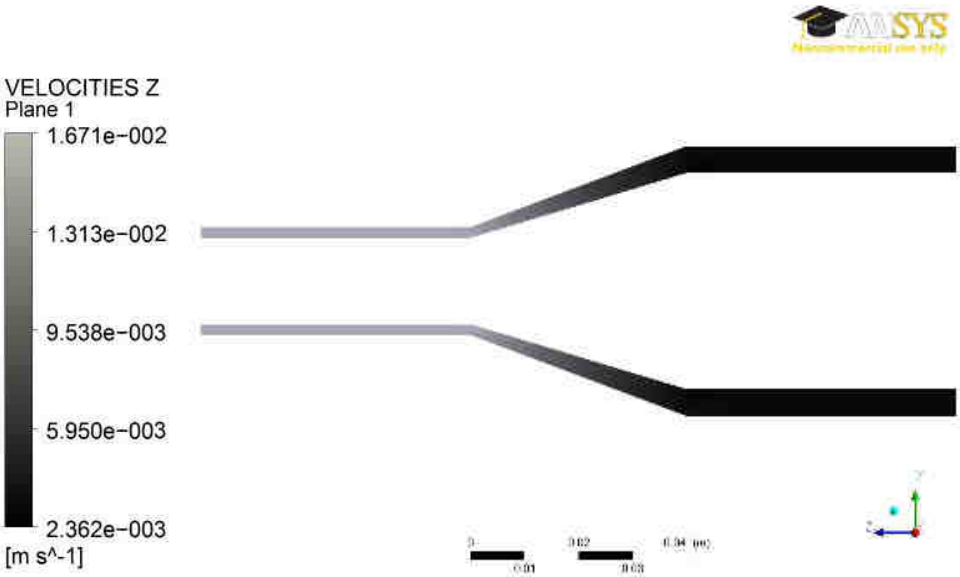


Рис. 1. Розподіл швидкості в каналах формуючого інструменту при екструзії ПЕНГ

При моделюванні процесу екструзії у формуючому інструменті, для отримання повнішої картини поведінки рідини в каналах формуючого інструменту, необхідною умовою є використання в'язкопружних моделей течії полімеру.

Література

1. Хан Ч.Д. Реология в процессах переработки полимеров [Текст] / Пер. с англ. яз.; Под ред. Г.В. Виноградова и М.Л. Фридмана - М.: Химия, 1979. - 368 с.

2. ANSYS, Inc. ANSYS POLYFLOW User's Guide Documentation. Режим доступу: http://www.ansys.com.

3. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчёты [Текст] / Пер. с англ. яз.; Под ред. В.П. Володина - СПб.: Профессия, 2007. - 472 с.

УДК 678.057

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ РОЗПЛАВІВ ТЕРМОПЛАСТІВ З РІЗНИМИ ФІЗИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

С.В. БЕХ, М.С. КУШНІР, аспірант, О.С. САХАРОВ, д-р. тех. наук, проф.,
СІВЕЦЬКИЙ В.І., к.т.н., проф., О.Л. СОКОЛЬСЬКИЙ, к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна, м.Київ

Проведено чисельне моделювання з використанням методу кінцевих елементів процесу змішування в'язких рідин в коаксіальному зазорі між двома циліндрами один з яких обертається.

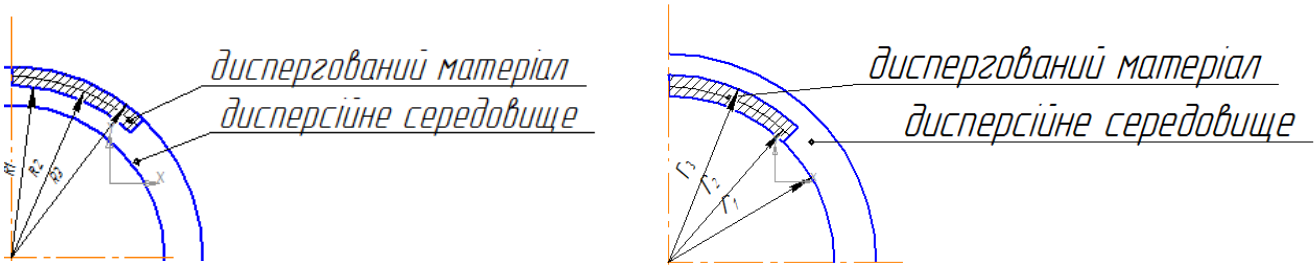
При виробництві і переробці полімерних матеріалів у більшості випадків в полімер доводиться вводити такі добавки, як стабілізатори, наповнювачі, барвники, пластифікатори та інші речовини. Для ефективного проведення цих процесів важливо знати основні закономірності процесів змішування. Дані дослідження присвячені чисельному моделюванню процесу змішування, методом скінчених елементів [1] на базі математичної моделі [2].

Реологічні властивості суміші моделювали за формулою [3]:

$$\lg \mu_c = \alpha \lg \mu_1 + (100 - \alpha) \lg \mu_2,$$

де μ_c - в'язкість суміші, μ_1 - в'язкість дисперсійного середовища, μ_2 - в'язкість диспергованого матеріалу, α - концентрація диспергованого матеріалу.

Розглядається процес змішування двох полімерів в коаксіальному зазорі в двох варіантах (рис. 1): між внутрішнім обертовим та нерухомим зовнішнім циліндрами (див. рис. 1 а)) та між обертовим зовнішнім та нерухомим внутрішнім циліндрами (див. рис. 1 б)) за різних витрат та значень концентрацій полімерних рідин при їх течії вздовж коаксіального зазору та моделюванні зміни концентрації полімерів в діапазоні відношення в'язкостей диспергованого матеріалу до дисперсного середовища від 1:0.1 до 1:10 відповідно. Чисельне дослідження процесу змішування двох полімерів розглядали для декількох випадків їх введення в різних ділянках радіальних площин коаксіального зазору (див. рис. 1).



а) б)

Рис.1. Схема введення полімерів в коаксіальний зазор: а) диспергований матеріал вводиться біля зовнішнього циліндру, б) диспергований матеріал вводиться біля внутрішнього циліндра

Діаметр внутрішнього циліндра - 72мм і зовнішнього циліндра - 90мм. Довжина робочого коаксіального зазору між циліндрами складає 300мм. Швидкість обертання внутрішнього циліндру – 16рад/с. Швидкість осьової подачі рідин в коаксіальний зазор складає 0,1м/с.

Представлення результатів чисельних досліджень наведено в вигляді графічних зображень змішуючої ефективності при взаємодії двох полімерів в різних перерізах коаксіального зазору по його довжині. Концентрація диспергованого матеріалу в виділених

сегментах (див. рис. 1) приймаємо рівною 100 одиниць, тоді як концентрація диспергованого матеріалу в дисперсному середовищі в решті кільцевого перерізу каналу приймаємо рівною 0.

Для кількісного сприйняття динаміки зміни розподілу концентрації диспергованого матеріалу в дисперсійному середовищі (рис.2) представлено графік її зміни при русі полімерів по довжини каналу в площинах R3 (див. рис. 1 а)) та r3 (див. рис. 1 б)). Змішуюча ефективність характеризується стабілізацією концентрації дисперсної фази в дисперсійному середовищі з наближенням до типу ідеальної суміші.

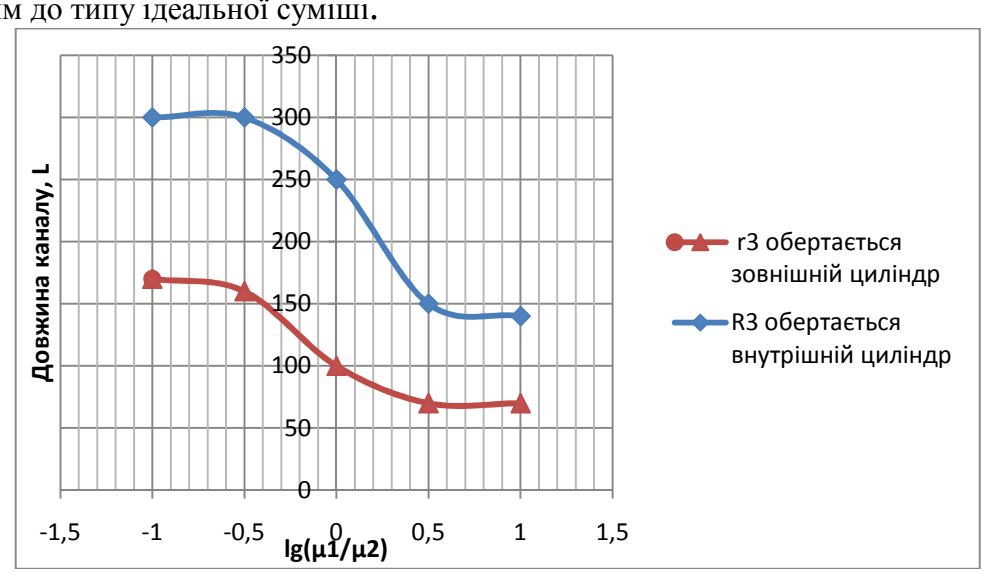


Рис. 2. Графік залежності змішуючої ефективності коаксіального зазору від його за різних співвідношень дисперсного середовища до диспергованого матеріалу при їх русі в коаксіальному зазорі

При русі двох полімерів в коаксіальному зазорі якість змішування стабілізується, тобто спостерігаємо вирівнювання кривої при логарифмічних координатах від -1 до -0,5 та від 0,5 до 1, що свідчить про те що, подальше зростання співвідношення не впливає на змішуючу ефективність. Змішуванні двох полімерів при $\lg(\mu 1/\mu 2) = 0{,}5$ коли обертається зовнішній циліндр, усереднення концентрації досягається на відстані 70мм, при обертанні внутрішнього на відстані 150мм. Це пояснюється тим, що у варіанті коли обертається внутрішній циліндр накопичується значно більше деформації зсуву чим у варіанті коли обертається зовнішній циліндр. Тенденція змішування в двох варіантах введення полімерів є практично незмінною.

Висновок

Проведені результати вказують на те, що співвідношення 1:5 та 5:1 є оптимальним, тобто при їх збільшенні не змінюється ефективність змішування двох полімерів. Доцільно використовувати варіант введення диспергованого матеріалу при обертанні зовнішнього циліндру для досягнення більшої ефективності змішування.

Література

1. Сахаров А.С. Метод конечных элементов в механике твердых тел [Текст] / Под общ. ред. А.С. Сахарова и И.Альтенбаха – К.: Вища школа, 1982. – 480 с.

2. Сахаров А.С. Моделирования процесса смешения полимерных композицій в экструзионном смесителе барьерного типа [Текст] // А. С. Сахаров, А.Е. Колосов, А.Л. Сокольский, В.И. Сивецкий. Москва : Химическое и нефтегазовое машиностроение, № 12/2011 – С. 3-7.

3. Власов С.В. Основы технологии переработки пластмасс [Текст] / С.В.Власов, Э.Л.Калинчев, Л.Б. Кандырин и др.: учебник для вузов / под ред. В.Н. Кулезнёва и В. К. Гусева. — М.: Химия, 2004. — 596 с.

УДК 678.057

ЗМІШУВАННЯ РОЗПЛАВІВ ТЕРМОПЛАСТІВ В ЧЕРВ'ЯЧНОМУ КАНАЛІ

С.В. БЕХ, М.С. КУШНІР, аспірант, К.Г. КОВАЛЕНКО, аспірант,
О.С. САХАРОВ, д-р. тех. наук, проф.,
СІВЕЦЬКИЙ В.І., к.т.н., проф., О.Л. СОКОЛЬСЬКИЙ, к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна, м.Київ

Проведено чисельне моделювання з використанням методу кінцевих елементів процесу змішування в'язких рідин в черв'ячному каналі з обертанням шнеку.

Змішування мають важливе значення при переробці композицій полімерних матеріалів у виробі, тому-що якість змішування безпосередньо визначає якість виробу. В багатьох випадках якість змішування оцінюється за такими параметрами як накопичена деформація, час перебування, напруження зсуву та ін. Як правило, ці показники є інтегральними і не завжди дають можливість отримати повне уявлення про процес змішування. Дані дослідження присвячені чисельному моделюванню процесу змішування, методом скінчених елементів [1] на базі математичної моделі [2].

Реологічні властивості суміші моделювали за формулою [3]:

$$\lg \mu_c = \alpha \lg \mu_1 + (100 - \alpha) \lg \mu_2,$$

де μ_c - в'язкість суміші, μ_1 - в'язкість дисперсійного середовища, μ_2 - в'язкість диспергованого матеріалу, α - концентрація диспергованого матеріалу.

Розглядається процес змішування двох полімерів в черв'ячному каналі при обертанні шнеку за різних витрат та значень концентрацій полімерних рідин при їх течії вздовж каналу та моделюванні зміни концентрації полімерів при відношенні в'язкостей диспергованого матеріалу до дисперсного середовища 1:1. Чисельне дослідження процесу змішування двох полімерів розглядали в площині, яка знаходяться вздовж осі обертання (див. рис. 1).

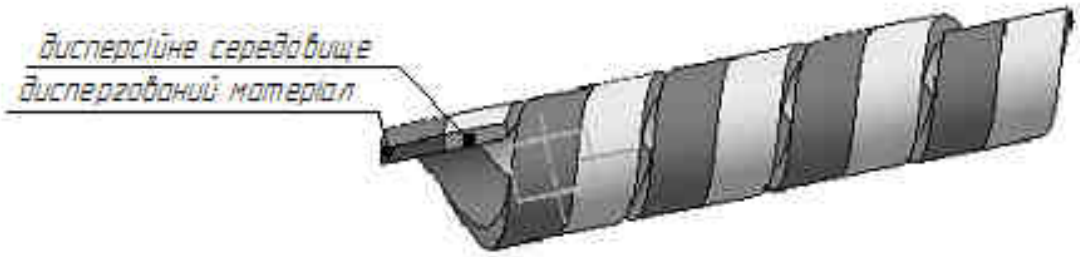


Рис.1. Схема введення полімерів в черв'ячному каналі

Зовнішній діаметр каналу – 90мм, товщина стінки – 13.5мм. Довжина каналу складає 300мм. Швидкість обертання шнеку – 8рад/с. Швидкість осьової подачі рідин в канал складає 0,1м/с.

Результати чисельних досліджень наведено в вигляді якісних картинок змішуючої ефективності при взаємодії двох полімерів в черв'ячному каналі в перерізі вздовж осі обертання. Концентрація диспергованого матеріалу в виділених сегментах (див. рис. 1) приймаємо рівною 100 одиниць, тоді як концентрація диспергованого матеріалу в дисперсному середовищі в решті каналу приймаємо рівною 0.

Для якісного сприйняття динаміки зміни розподілу концентрації диспергованого матеріалу в дисперсійному середовищі на різних витках шнеку представлено рисунки її зміни

при русі полімерів по довжини каналу в перерізах вздовж осі обертання (рис.2). Змішуюча ефективність характеризується стабілізацією концентрації дисперсної фази в дисперсійному середовищі з наближенням до типу ідеальної суміші.

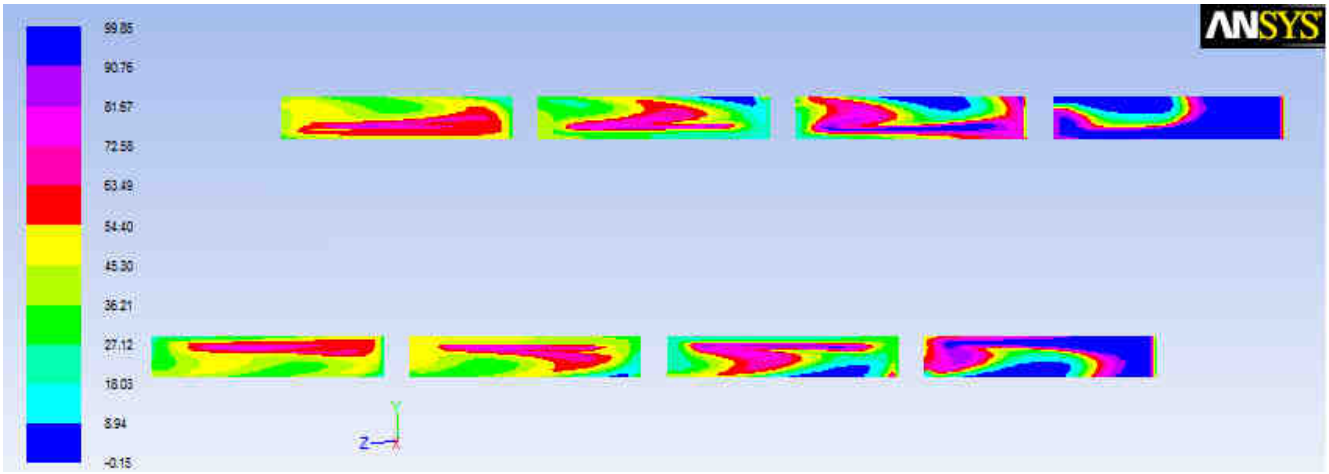


Рис. 2. Розподіл концентрації в черв'ячному каналі в площині, що знаходиться вздовж осі обертання.

При русі двох полімерів в черв'ячному каналі спостерігаємо розподіл концентрації при кожному витку, тобто спостерігається змішування. Диспергований матеріал розподіляється в дисперсійному середовищі прямуючи до усередненого значення концентрації суміші. Якість змішування наприкінці каналу повністю не стабілізується, тобто суміш на виході не є однорідною. Концентрація диспергованого матеріалу в дисперсному середовищі на виході с каналу коливається від 27 до 54.

Висновок

Проведені результати вказують на те, що для більшої ефективності процесу змішування потрібно використовувати шнек з більшою кількістю витків або з більшою обертовою швидкістю. В такому випадку ми отримаємо суміш наближену до типу ідеальної з концентрацією диспергованого матеріалу в дисперсійному середовищі близькою до 50.

Література

1. Сахаров А.С. Метод конечных элементов в механике твердых тел [Текст] / Под общ. ред. А.С. Сахарова и И.Альтенбаха – К.: Вища школа, 1982. – 480 с.

2. Сахаров А.С. Моделирования процесса смешения полимерных композицій в экструзионном смесителе барьерного типа [Текст] // А. С. Сахаров, А.Е. Колосов, А.Л. Сокольский, В.И. Сивецкий. Москва : Химическое и нефтегазовое машиностроение, № 12/2011 – С. 3-7.

3. Власов С.В. Основы технологии переработки пластмасс [Текст] / С.В.Власов, Э.Л.Калинчев, Л.Б. Кандырин и др.: учебник для вузов / под ред. В.Н. Кулезнёва и В. К. Гусева. — М.: Химия, 2004. — 596 с.

УДК 64.04:658.52

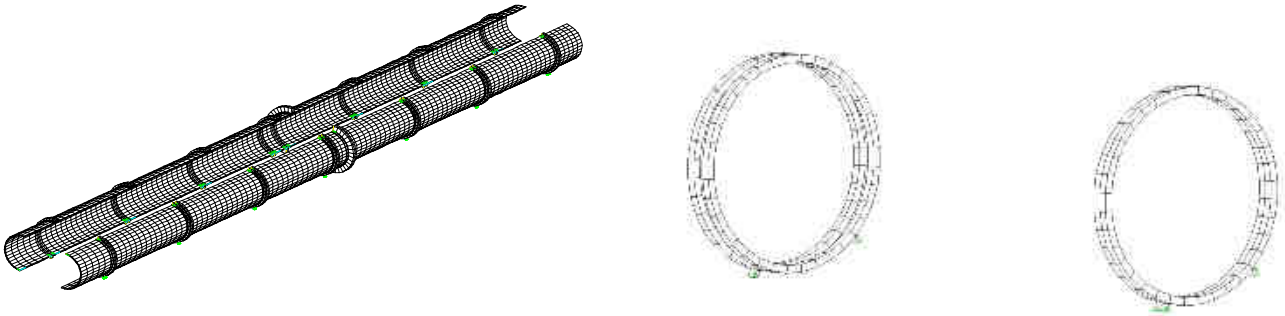
ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ 5Х185 М ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЦЕМЕНТУ

К.В. ГНАП, студент, О.В. ГОНДЛЯХ, д.т.н., проф., В.Ю. ЩЕРБИНА, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Обертова піч 5х185 м, що розглядається в даній роботі, використовується в цементній промисловості будівельних матеріалів для виробництва цементу «мокрим» способом [1]. Механічне обладнання в промисловості будівельних матеріалів є найбільш складним й енергоємним у комплексі будівельної індустрії. Багато видів цього обладнання є унікальним не тільки по розмірах, але й по складності конструкції, до них відноситься піч 5х185 м. Разом з цим, конструкція печі не є досконалим механічним апаратом. Тому питання зниження її (печі) собівартості є вкрай актуальним.

Обертова піч 5×185 м моделюється як просторова конструкція, виконана із сталі з врахуванням складових конструктивних елементів , та встановленими, на відміну від традиційного конструктивного рішення, подвійними роликовими опорами [2] (рис. 1,б). Визначення напружено-деформованого стану печі проводилося на основі ефективного варіанту метода скінченних елементів – моментної схеми, яка інтегрована в системи розрахунків на міцність VESNA [3] та APROKS [4]. При побудові скінченно-елементної моделі печі застосовувалися изопараметричні восьмивузлові скінченні елементи. Розрахункова схема печі (рис. 1) включає корпус печі, футерівку, підбандажні обичайки, бандажі, вінцеву шестерню та опори (кут між кожною парою опор сладає-60˚) (рис. 1,б). Визначення напружено-деформівного стану печі проводилося в статичній постановці з врахуванням масових сил всіх конструктивних елементів та експлуатаційних факторів.



а) Розрахункова схема печі б) Модернізовані бандажі

Рис.1 Розрахункова схема

Аналіз результатів чисельного моделювання свідчить про те, що максимальний прогин конструкції виникає в зоні встановлення вінцевої шестерні та становить 2,1 мм у верхньому перетині.

Розподіл по довжині печі приведених згідно енергетичній теорії міцності напружень (рис.2) свідчить про те, що максимальні приведені напруження для корпусу з вінцевою шестернею виникають в місцях кріплення опор та вінцевої шестерні і становлять 55,6 МПа.

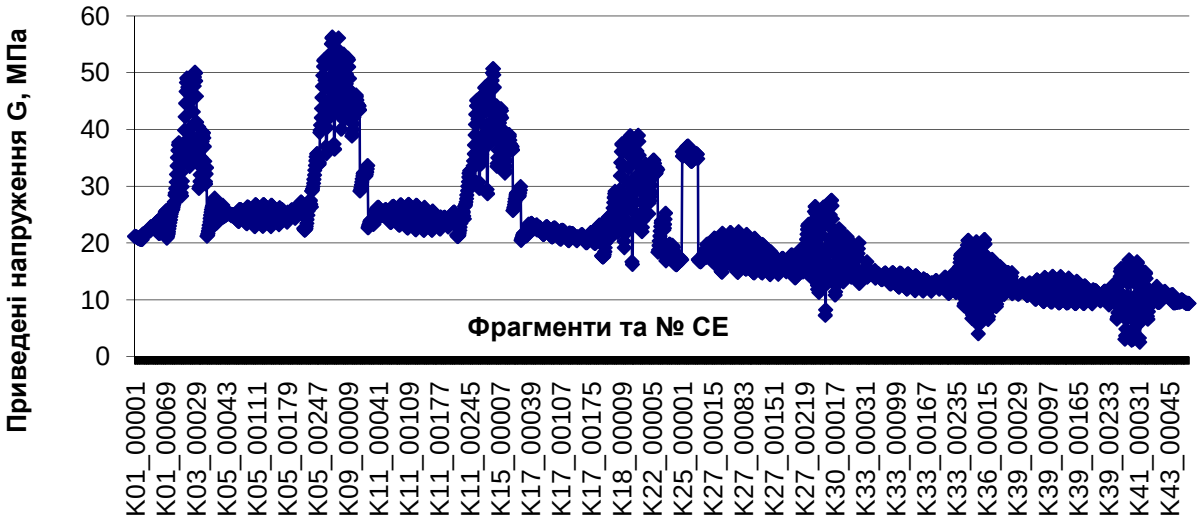


Рис.2. Розподіл по довжині печі приведених напружень.

Отримані значення напружень в обертовій печі з опорами не перевищує допустимих напружень для сталі, що використовується у конструкції печі ($[\sigma]_{доп}$=60Мпа). Тому встановлення бандажів такого типу на опорах є допустимим за показниками міцності конструкції. Максимальні напруження в опірних стійках становлять 24,8 МПа, що також є допустимим.

Запропонована математична модель дозволяє ефективно моделювати роботу печі з можливістю визначати еволюцію напружено-деформованого стану корпуса та ii конструктивних елементів з урахуванням експлуатаційних факторів на протязі усього життєвого циклу печі. Розрахунки показали, що максимальні напруження в модернізованій печі 5х185 м, не перевищують допустимих, а модернізація її дає змогу зменшити масу конструкції на 50 т та збільшити строк служби опорних роликів печі на 1,7 роки.

Література

1. Энциклопедия машинобудування. Машини и апарати хімічних и нафтохімічних віробництв. Т.IV-12 / М.Б. Генералов, В.П. Александров, В.В. Алексеев и др. Под общ. ред. М.Б. Генералова. – М.: Машинобудування. 2004 – 832с.; ил.

2. Федеральна служба по інтелектуальній власності, патентам і товарним знакам (19) SU 1416834 (51) МПК 7 B02C17/06

3. О. С. Сахаров, В. Ю. Щербина, О. В. Гондлях, В. І. Сівецький. САПР. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості: Навчальний посібник – К.: ТОВ “Поліграф Консалтинг”, 2006. – 156 с.

4. Гондлях О.В., Сахаров О.С.,Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Чемерис А.О. САПР. Чисельне моделювання нелінійного деформування та руйнування багатошарових елементів хімічного обладнання. - К.: ВП “Едельвейс”, 2011. – 172 С.

УДК 64.04:658.52

ЧИСЕЛЬНЕ ВІДТВОРЕННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ БІМЕТАЛЕВОЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ

ГОНДЛЯХ О.В., д.т.н., професор, НІКІТІН Р.Є., студент каф. ХПСМ НТУУ «КПІ»

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

На основі чисельного моделювання по відтворення процесу руйнування біметалевої ректифікаційної колони отримана залежність розкриття берегів тріщини від її довжини, а також залежність зміни тиску в часі. Приведені еволюційні схеми розвитку тріщини в ректифікаційній колоні в залежності від рівня тиску. Приведено порівняння з даними аварійного руйнування колони.

В хімічній промисловості за останні 50 років дуже великого застосування набули зварні оболонки і апарати із біметалів. Як правило в промисловості застосовуються матеріали зі складу: вуглецевих сталей (СтЗсп, сталь 20К), низьколегованих сталей (16ГС, 09Г2С), конструкційних сталей (12МХ, 12ХМ) з плакируючим шаром корозійностійких сталей (08Х13, 12Х18Н10Т). Із всієї кількості біметалів 80% приходяться на долю сталі із плакируючим шаром 08Х13 [1].

Об’єкти хімічної промисловості відносяться до категорії небезпечних об’єктів. Багато сосудів і апаратів відслужили свій термін роботи і повинні підлягати ремонтним роботам, що включають в себе переварювання великих ділянок апарату з заміною елементів. Їх подальша придатність повинна бути підтверджена результатами експертизи промислової безпеки.

Практика експлуатації зварених біметалевих сосудів і апаратів показала, що при порушенні технології зварювання можливо виникають дефекти, які можуть спричинити руйнування біметалевих посудин і апаратів.

Маються випадки руйнування біметалічних посудин і апаратів при навантаженнях значно нижчих від запланованих.

В роботі [2] описано руйнування корпуса ректифікаційної колони діаметром 3200 мм і товщиною стінки 28 мм (в зоні руйнування). Корпус ректифікаційної колони виконано з біметалевої сталі: 16ГС + сталь 08Х13 (25мм + 3 мм). Колона експлуатувалась більше ніж 15 років під внутрішнім тиском 0,9 МПа та при температурі 420°С [2]. Фізичні властивості матеріалу з якого виготовлена колона такі: для сталі 16ГС модуль пружності $E=2\cdot10^5$ МПа, границя текучості для залишкової деформації. $\boldsymbol{\sigma_T}$=300 МПа; 08Х13 – $E=2{,}17\cdot10^5$ МПа, $\boldsymbol{\sigma_T}$=280 МПа, коефіцієнт Пуассона – 0,3 для обох матеріалів.

Згідно з даними роботи [2], руйнування корпуса колони відбулось при температурі 20°С при проведені гідравлічного випробування колони після її ремонту, зв’язаного з переварюванням окремих ділянок зварних швів. Нормальний пробний тиск випробування не повинен бути перевищено 2,8 МПа. Руйнування ректифікаційної колони відбулось при тиску 1,2 МПа. При цьому утворилась тріщина довжиною ~6,6 м і шириною розкриття до 120 мм [2].

Оскільки колона виготовлена із пластичних матеріалів, розвиток тріщини проходить не миттєво, а на протязі певного часу. В зв’язку з цим моделювання процесу розповсюдження тріщини, в даному випадку зводиться до рішення нелінійної задачі, яка передбачає одночасне

вирішення двох проблем: 1) – з якою швидкістю буде розповсюджуватись тріщина і 2) – як буде змінюватись тиск в колоні з часом.

Використовуючи відоме співвідношення, приведене в роботі [3], для визначення витрат повітря через тріщину:

$$G = \frac{0{,}0404 \mu f p_1}{\sqrt{T_1}}, \qquad \text{кг;}$$

де: μ – коефіцієнт витрат; f – площа отвору, м^2; p_1 – тиск в колоні, Па; T_1 – температура повітря, К.

В зв'язку з тим, що величина вектора переміщення, що характеризує розкриття тріщини, по закінченню процесу її розвитку в 5 разів перевищує товщину стінки ректифікаційної колони, в зв'язку с наявністю залишкових деформацій, чисельне моделювання даного процесу необхідно проводити в фізично та геометрично нелінійній постановці. Через це при використанні системи для розрахунку на міцність АПРОКС застосовувалася алгоритм PLD, який складається із трьох основних блоків.

1 – блок покрокового ведення змінних в часі умов навантаження, (з моменту утворення початкової тріщини до моменту повного виходу надлишкового повітря із колони);

2 – блок метода змінних жорсткостей (для моделювання розповсюдження в часі зон пластичної деформації матеріалу) і

3 – блок додаткових навантажень (для моделювання геометрично нелінійного деформування конструкції).

В результаті чисельного моделювання було встановлено, що при заданих початкових умовах тиску і величині розкриття тріщини 120 мм, при загальній довжині руйнування 6,6 м, зафіксованими після аварії колони, середня швидкість розповсюдження тріщини повинна була становити 0,6 м/с. Чисельне моделювання цього процесу дало можливість визначити не тільки кількісні параметри руйнування, такі як швидкість розповсюдження тріщини, а також вияснити основні етапи її еволюційного розвитку. Встановлено, що з початку при високому тиску збільшення параметру ширини розкриття тріщини змінюється відповідно з експоненціальним законом (рис.5,а). В подальшому за рахунок падіння внутрішнього тиску відбувається сповільнення параметрів росту ширини розкриття тріщини, і після досягнення максимального розкриття (рис.5,б), починається процес закриття берегів тріщини з відповідним збільшенням її загальної довжини (рис.5,в). Кінцевий етап нелінійного процесу руйнування характеризується повною зупинкою руху устя тріщини і поступовим зменшенням величини параметру її розкриття (рис.5,г). Цей процес продовжується до моменту повного падіння тиску в ректифікаційній колоні. Всі ці етапи приведені на рис 4.

Для підтвердження достовірності результату численного моделювання процесу руйнування ректифікаційної колони було зменшено крок руху тріщини в часі. Аналіз рис.4. свідчить про дійсну збіжність результатів (крива з кружком відповідає приросту інтервалу часу 0,5 с. і крива з квадратиком відповідає приросту інтервалу часу 1 с.)

Висновки: Результати дослідження по численному відтворення процесу руйнування біметалевої ректифікаційної колони показали, що отримані результати відрізняються від натурних не більше ніж на 10% по величині залишкового розкриття тріщини. Це свідчить про те, що основні фактори розробленої математичної моделі розрахунку розповсюдження тріщини в ректифікаційній колоні було враховано вірно.

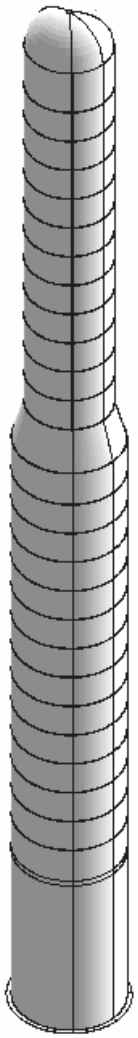


Рис.1. Загальний вид ректифікаційної колони.

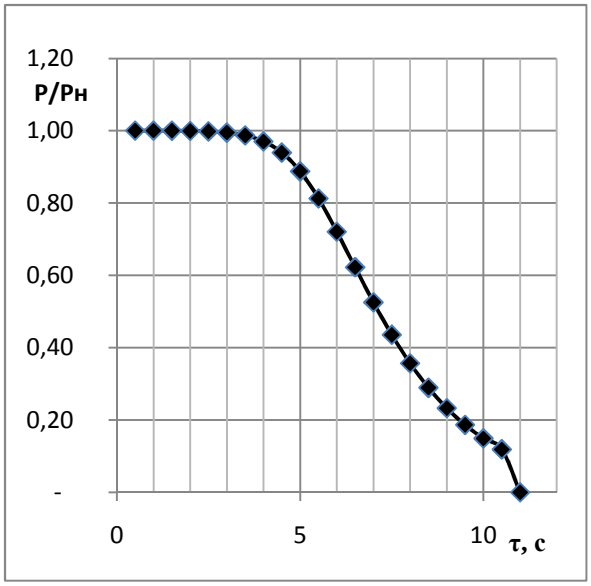


Рис.3. Змінення тиску газу в залежності від часу.

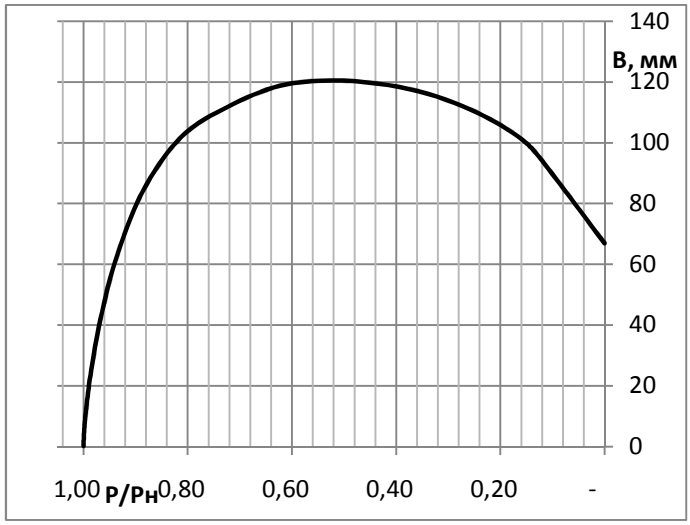


Рис.2. Залежність величини розкриття тріщини від внутрішнього тиску

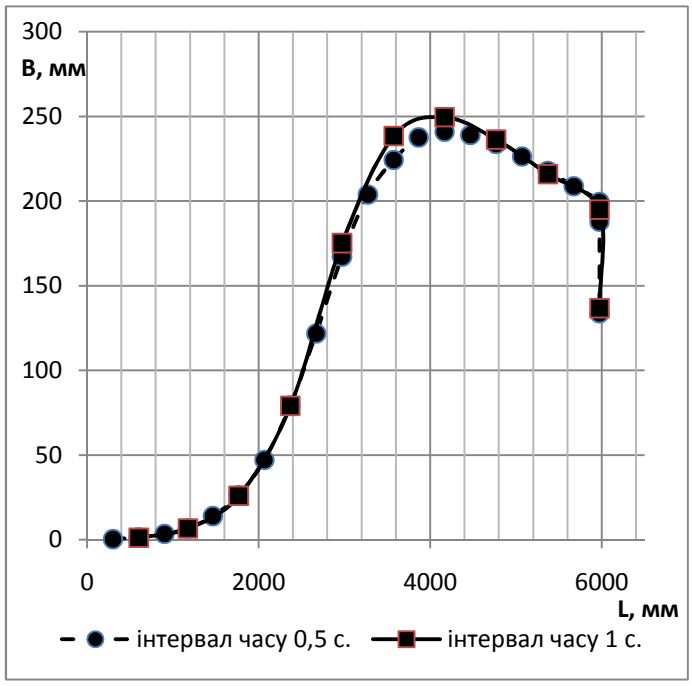


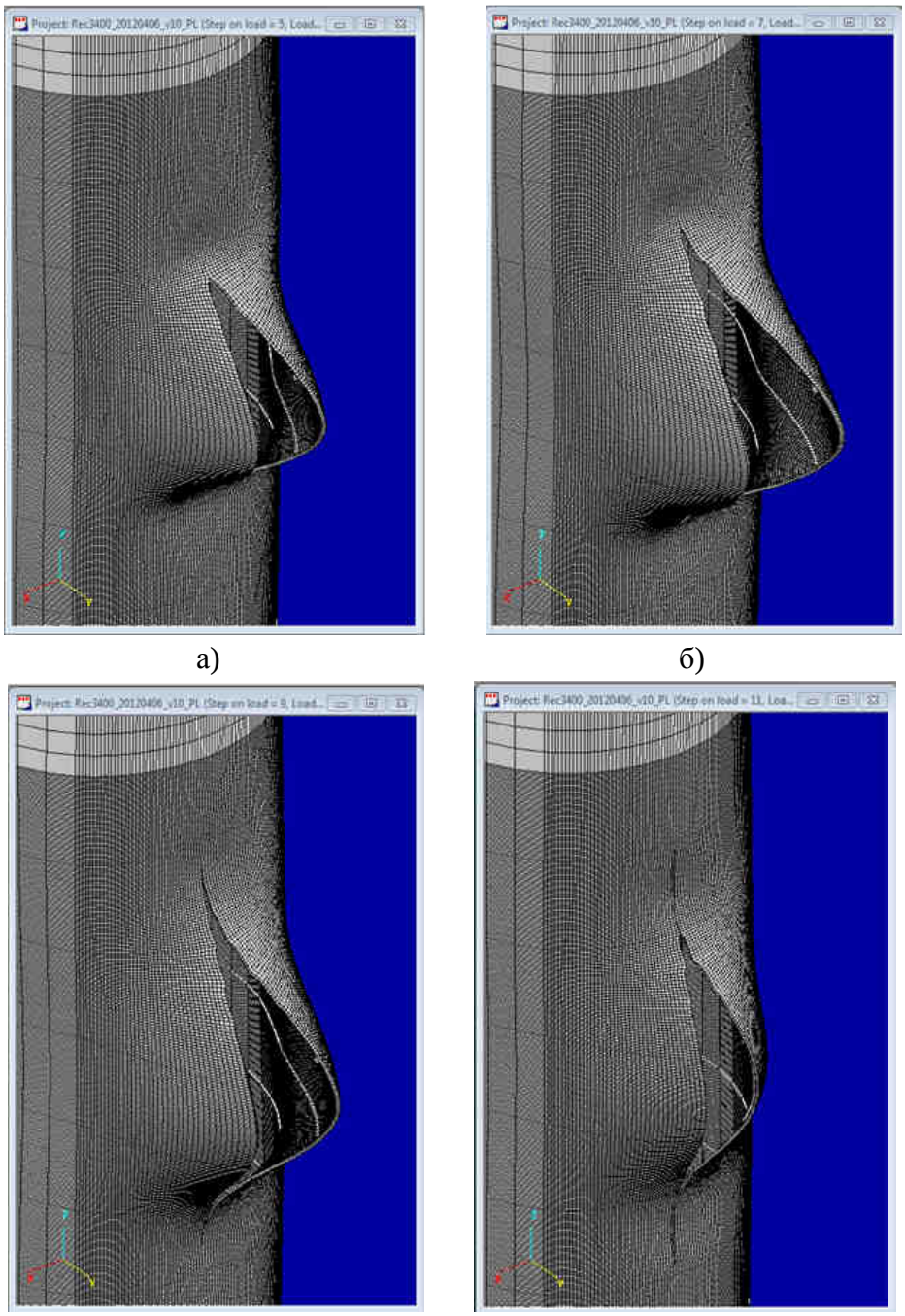
Рис.4. Змінення величина розкриття тріщини в залежності від її довжини.

1 - процес бурного розкриття тріщини;

2 - спад швидкості розкриття і підхід до максимуму;

3 - закриття тріщини;

4 - зупинка процесу розкриття тріщини.



а) б)

в) г)

Рис.5. Процес розповсюдження тріщини в ректифікаційній колоні: а) бурхливий ріст; б) максимальне розкриття; в) сходження берегів; г) деформований стан ректифікаційної колони при нульовому тиску.

Література:

1. В.Н. Мухин, Л.Е. Ватник: Исследование причин хрупких разрушений биметаллических аппаратов. - НТРС «Эксплуатация обрудования», 1983, №1. С 3-7
2. В.Н. Мухин, Ю.Н. Самохин, А.В. Гришин: Особенности экспертизы промышленной безопасности биметаллических сосудов и аппаратов. - Химическая техника, №5, 2010. С 20-24.
3. Е.В. Герц. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник. - М.: Машиностроение, 1981, 408 с., ил.

УДК 537.311.4 : 629.7.048.7

КОНТАКТНИЙ ТЕРМІЧНИЙ ОПІР КАПІЛЯРНИХ СТРУКТУР І ТЕПЛООБМІН У ТЕПЛОВИХ ТРУБАХ ТА ТЕРМОСИФОНАХ

ШАПОВАЛ А.А., к.т.н., с.н.с., ПАНОВ Є.М., д.т.н., проф., СКРИПКА К.І., магістрантка,
САУЛІНА Ю.В., інж., ШАПОВАЛ Арт.А., інж.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Представлено результати експериментальних досліджень впливу способів приєднання металевих волокнистих структур до суцільних технічних поверхонь на інтенсивність теплообміну при кипінні води. Отримано емпіричні формули для розрахунків інтенсивності двофазного теплообміну в зонах нагрівання теплових труб і термосифонів з пористими волокнистими структурами.

Прогрес у розвитку вітчизняного енергозберігаючого обладнання і устаткування зв'язаний з розробкою і виробництвом теплообмінників-рекуператоров нових типів, основою яких є теплові труби (ТТ) і термосифони. Теплотрубні теплообмінники [ТТТ] мають технічні та експлуатаційні характеристики, що забезпечують ряд переваг, порівняно з класичними рекуператорами. Крім простоти конструкції ТТТ, високої надійності та ремонтоздатності, використання ТТ дозволяє ефективно утилізувати теплоту, що викидається в атмосферу, при відносно низьких значеннях температури газів.

Теплофізичні характеристики ТТ багато в чому залежать від досконалості капілярних структур (КС); останні повинні забезпечувати як оптимальні гідродинамічні характеристики (швидке транспортування рідин-теплоносіїв до зон нагрівання ТТ), так і високі теплофізичні параметри (високу інтенсивність двофазного теплообміну всередині ТТ). Металоволокнисті КС [1,2], розроблені в Інституті проблем матеріалознавства НАН України, є одними з кращих сьогодні і здатні забезпечувати високі показники ТТ та, відповідно, ТТТ.

Недостатньо досліджено вплив на процеси двофазного теплообміну (зокрема, процеси кипіння) умов контакту КС із корпусами ТТ. Проблема актуальна для технологій виробництва ТТ, тому що при виготовленні теплових труб не завжди вдається досягнути ідеального контакту пористих КС із суцільними металевими корпусами-оболонками (остання умова забезпечується лише при якісних технологіях спікання).

Метою досліджень, таким чином, стало дослідження вплив умов контакту волокнистих КС із суцільними поверхнями нагрівання на інтенсивність двухфазного теплообміну в режимах, типових для роботи ТТ. Використано експериментальну установку (рис. 1), створено ряд дослідних зразків металоволокнистих (МВ) КС із різними характеристиками пористості $\Theta_{кс}$, теплопровідності $\lambda_{кс}$ та товщини $\delta_{кс}$.

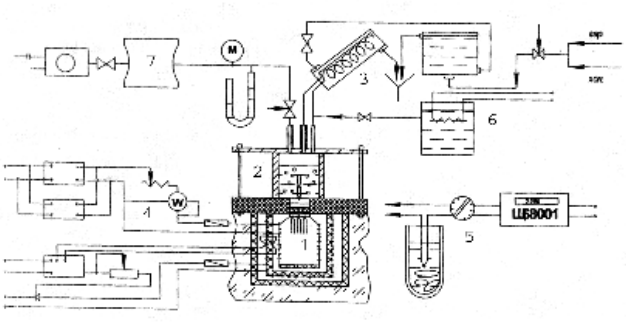


Рис. 1. Схема конструкції експериментальної установки для досліджень теплообміну при кипінні на поверхнях із пористими капілярними структурами

1 – блок підведення тепла до зразка пористої структури; 2 – зона кипіння рідини на поверхні з пористою капілярною структурою; 3 – система конденсації пари; 4 – система підведення, регулювання і вимірювання електричної потужності; 5 – система вимірювання температур; 6 – система охолодження конденсату; 7 – система вакуумування та підтримання тиску

Ряд експериментальних результатів, отриманих як в умовах якісного, так і погіршеного контакту МВКС із поверхнею нагрівання, представлено на рис. 2. Експерименти проводили як при вільному русі води на поверхнях з МВКС (режим роботи термосифонів), так і при її капілярному транспорті (режим роботи теплових труб).

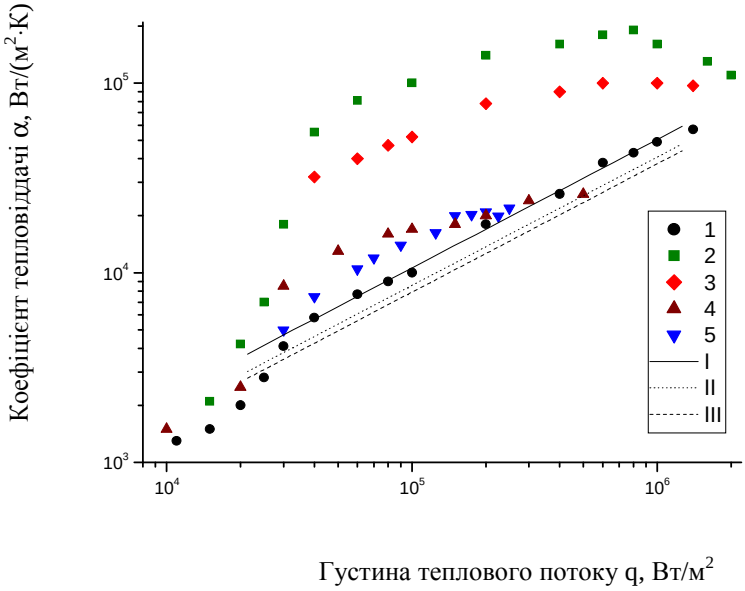


Рис. 2. Вплив умов приєднання металоволокнистих пористих структур на інтенсивність двофазного теплообміну при кипінні води в умовах її вільного руху (режим роботи термосифонів)

1– гладка технічна поверхня; мідні волокнисті КС ($\Theta_{кс}$ = 40 %; $\delta_{кс}$ = 0,8 мм): 2 – припечена КС; 3 – притиснута КС; корозійностійкі КС (сталь): 4 – припечена КС: Θ = 88 %; δ = 0,8 мм; 5 – притиснута КС: Θ = 84 %; δ = 0,4 мм); криві I-III – кипіння води на гладкій технічній поверхні (літературні дані різних авторів)

Особливості комплексного впливу основних характеристик КС (пористості Θ, теплопровідності λ, товщини δ) в умовах, типових для роботи теплових труб (капілярний транспорт рідини) та роботи термосифонів (вільний рух рідини) грунтовно досліджено і представлено в [2-4]. Отримані нами результати для обох умов кипіння узагальнено емпіричними формулами, які мають наступний вигляд:

$$\alpha = c \cdot q^{n} \cdot \Theta^{m} \cdot \lambda^{p} \cdot \delta^{b} \cdot D^{s} \cdot K^{0,33}, \qquad (1)$$

де безрозмірні параметри: α – коефіцієнт тепловіддачі, q – густина теплового потоку, Θ – пористість КС, λ – коефіцієнт теплопровідності КС; δ – товщина КС; D – середній діаметр пор; К – комплекс теплофізичних характеристик рідини ($K = \lambda^2_р / (\nu_р \cdot \sigma_р \cdot T_{нас})$, **c** – коефіцієнт.

Коефіцієнти та показники ступенів для різних умов двофазного теплообміну є наступними: 1) для вільного руху рідин: $c = 2 \cdot 10^4$: $n = 0{,}15 \cdot \delta_{кс}^{-0,14}$ при $\delta_{кс} < 0{,}8 \cdot 10^{-3}$ м ; $n = 0{,}05 \cdot \delta_{кс}^{-0,28}$ при $\delta_{кс} > 0{,}8 \cdot 10^{-3}$ м ; m = 0,5; p = 0,6; b = 1,0; s = 0,15; 2) для капілярного руху рідин: c = 200; n = 0,6; b = 0,65 при $0{,}4 \cdot 10^{-3} < \delta_{кс} \le 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ мм; c = 0,5; b = –0,2 при $1{,}2 \cdot 10^{-3} < \delta_{кс} < 9{,}0 \cdot 10^{-3}$ м; n = 0,6; m = 0,15; p = 0,25; s = 0,1.

Ряд отриманих експериментальних даних представлено на рис. 2. Інтенсивність теплообміну при кипінні води на поверхнях із мідними припеченими КС (у діапазоні товщин пористих структур $\delta_{кс}$ = 0,3-1,5 мм) є значно (майже на порядок) вищою порівняно із технічними гладкими поверхнями.

В умовах капілярного транспорту води коефіцієнти тепловіддачі α для КС середньої пористості (Θ = 40 %) у 5-8 раз перевищують значення, типові для кипіння на технічних гладких поверхнях. Початок кипіння рідини в крупних порах КС (яке фіксувалось візуально) настає при значно менших значеннях густин теплових потоків q у порівнянні з вільним рухом

води. Неприпечені (притиснуті) волокнисті структури забезпечували значення коефіцієнтів α у 3-5разів менші, у порівнянні з аналогічними КС, якісно припеченими до гладкої поверхні.

При кипінні рідин в умовах їх вільного руху («великого об'єму») показники максимальної інтенсивності теплообміну для аналогічних КС (точки 2) мають ще більші значення коефіцієнтів тепловіддачі (більші у 9-10 разів для води та у 12-13 разів – для ацетону). Рідина у даних умовах додатково транспортується до центрів пароутворення за рахунок сил гравітації, які значно перевершують капілярні сили Лапласа (для першого випадку). КС, що не-ідеально приєднані до гладкої поверхні (точки 3), забезпечують менші значення коефіцієнтів $\boldsymbol{\alpha}$, у порівнянні з надійно припеченими КС. Проте ці значення суттєво переважають величини $\boldsymbol{\alpha}$, які **є** типовими для гладких поверхонь. Важливим результатом експериментальних досліджень є той факт, що інтенсивність теплообміну при кипінні на поверхнях із притиснутими (а не припеченими) пористими капілярними структурами залишається достатньо високою (порівняно з гладкою поверхнею). Тенденція зберігається як для високотеплопровідних мідних КС, так і для низькотеплопровідних структур із корозійностійкої сталі.

У роботі [5] запропоновано напівемпіричну модель двофазного теплообміну при пароутворенні на поверхнях із пористими КС. Сутність моделі полягає у наступному: відведення тепла від гладкої поверхні з приєднаною КС здійснюється трьома основними шляхами: 1) конвекцією рідини у порах КС; 2) випаровуванням мікрошару рідини в основі парогенеруючих пор; 3) випаровуванням мікроплівки рідини, яка існує на бокових стінках парогенеруючих пор. Загальний термічний опір трьох вищезазначених складових частин залежить як від густини теплового потоку $\boldsymbol{q}$, так і від основних фізичних характеристик КС. Реальні процеси пароутворення у МВКС є дещо складнішими, проте розрахунки, виконані згідно із запропонованою моделлю, підтверджують її дієздатність. Зокрема, згідно з моделлю, деякі складові сумарного термічного опору з погіршенням умов контакту КС із суцільною гріючою поверхнею збільшуються, що й пояснює зменшення інтенсивності теплообміну в даному випадку.

Для практичних розрахунків інтенсивності теплообміну на поверхнях із якісно приєднаними (припеченими) КС рекомендовано застосовувати формули типу (1), відповідно до умов кипіння. Для притиснутих КС отримані за розрахунками значення коефіцієнтів тепловіддачі α потрібно зменшувати на 20-30 %, в залежності від умов приєднання пористих капілярних структур до суцільної поверхні.

Література

1. Косторнов, А.Г. Проницаемые металлические волокновые материалы [Текст] / Косторнов А.Г. – К.: Техніка, 1983. – 128 с.
2. Шаповал, А.А. Исследование интенсивности теплообмена при кипении на поверхности с металловолокнистыми пористыми покрытиями [Текст] / Шаповал А.А., Зарипов В.К., Семена М.Г. // Теплоэнергетика. – 1983. – № 12. – С. 63-65.
3. Шаповал, А.А. К расчётам интенсивности теплообмена при кипении на поверхностях с пористыми покрытиями [Текст] / Шаповал, А.А., Зарипов В.К., Семена М.Г. // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1989. – № 3. – С. 63-68.
4. Смирнов, Г.Ф. Теплообмен при парообразовании в капиллярах и капиллярно-порис-тых структурах [Текст] / Смирнов Г.Ф., Цой А.Д. // – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 440 с.
5. Шаповал, А.А. К моделированию процессов теплообмена при кипении на поверхностях с неупорядоченными пористыми структурами [Текст] / Шаповал А.А. // Минск: Тепломассообмен ММФ-2000, т.5: Тепломассообмен в двухфазных системах. – 2000. – С. 198-204.

УДК 678.027.3-036.5

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОФРОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ ТРУБ

Вознюк В. Т., к.т.н., Кравченко Ю. О., Мікульонок І. О., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Досліджено комбіновану (з чергуванням по довжині водяних і повітряних ділянок) систему охолодження двошарових гофрованих полімерних труб.

Під час виготовлення полімерних труб процес їх охолодження є обмежною стадією, при цьому довжина зони охолодження може сягати декількох десятків метрів [1]. Крім того, під час охолодження зрошенням на ділянці довжиною один метр витрата води може становити декілька кубічних метрів за годину [2], тому на охолодження труби в цілому витрата охолодної води може сягати 100 м^3/год.

За типового конструкторського оформлення трубної лінії формування гофрованої труби і попереднє охолодження трубної заготованки з поліолефінів до температури, за якої властивості полімеру забезпечують фіксацію форми труби під час подальшого оброблення (приблизно 100 °С), здійснюють у гофраторі, а остаточне охолодження – у ваннах зрошенням зовнішнього шару водою. Кількість ванн залежить від типорозміру й матеріалу труби, а також продуктивності технологічної лінії [3]. При цьому ванни розміщують на незначній відстані одна від одної. Довжина ділянок, на яких труба охолоджується за рахунок конвекції і випромінювання на повітрі між ваннами, обумовлені конструктивними особливостями ванн та умовами їх установлення. Зазвичай ванни встановлюють щільно одна до одної або на відстані, що не перевищує 0,5 м [3].

Під час проведення досліджень охолодження гладких полімерних труб було встановлено, що довжина повітряних проміжків між ваннами може значно впливати на довжину окремих ділянок водяного охолодження і загальну довжину зони охолодження [4].

Для дослідження комбінованої системи охолодження двошарової гофрованої полімерної труби на базі кафедри хімічного, полімерного і силікатного машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» розроблена експериментальна установка (рис. 1).

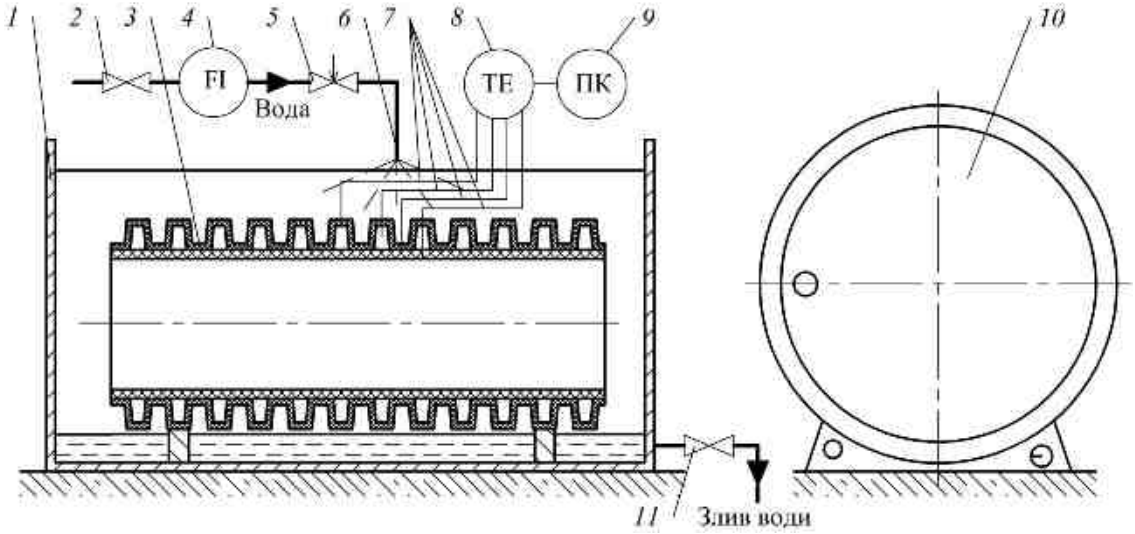


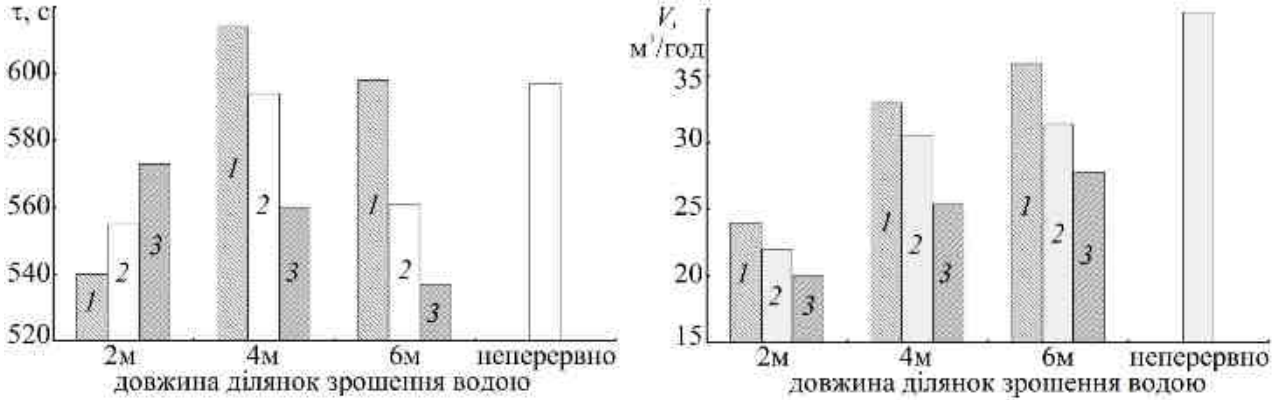
Рис. 1. Експериментальна установка:
1 – ванна; *2, 11* – крани; *3* – труба; *4* – ротаметр; *5* – вентиль; *6* – розбризкувач води; *7* – термопари; *8* – термоелектричний перетворювач; *9* – персональний комп'ютер; *10* – термошафа.

Дослідження проводили на поліетиленовій трубі ПЕ тип В- Р- U/SN8/DN/ID400/343/ 6000/ДСТУ Б В.2.5-32:2007. Безпосередньо перед охолодженням трубу *3* нагрівали в термошафі *10*. Для запобігання втрати трубою форми і розмірів максимальну температуру прогріву встановлювали не більше за 100 °С. Після рівномірного прогріву труби до заданої температури її під'єднували до системи охолодження.

Вимірювання і запис температури в стінці труби здійснювали за допомогою термопар *7*, а також термоелектричних перетворювачів *8*, під'єднаних до персонального комп'ютера *9*. Вимірювання температури здійснювали автоматично кожну секунду. Температурні поля аналізували за допомогою програми, написаної в графічному середовищі програмування LabVIEW 8.5.

Як виявилося, під час застосування комбінованої системи охолодження потрібний час і відповідно довжина зони охолодження не завжди можуть бути меншими порівняно з неперервним зрошенням (рис. 2, *а*), однак витрати охолодної води у будь-якому випадку зменшуються (рис. 2, *б*).

Найменший час охолодження зафіксовано під час застосування схеми з двометровими ваннами та однометровими повітряними проміжками між ними (540 с), а також під час застосування схеми з ваннами завдовжки 6 м з повітряними проміжками завдовжки 2 м (537 с). Однак у другому випадку витрата охолодної води була на 3,8 м^3/год більша, але при цьому порівняно з неперервним охолодженням витрата води менша на 12 м^3/год.



а *б*

Рис. 2. Порівняння часу охолодження τ (*а*) і об'ємно витрати води *V* (*б*) за різних схем охолодження: *1* – повітряні проміжки – 1 м; *2* – повітряні проміжки – 1,5 м; *3* – повітряні проміжки – 2 м.

Отже, запропонована комбінована система охолодження полімерних труб дає можливість скоротити витрати охолодної води майже на 50 % і зменшити довжину зони охолодження на 10 % порівняно з неперервним водяним охолодженням.

Застосування числового експерименту надає можливість визначати раціональні довжини повітряних ділянок і зон водяного зрошення на кожному етапі охолодження екструдованої труби певного типорозміру і знизити при цьому ресурсо- та енерговитрати.

Література

1. Мікульонок І. О. Екструдовані полімерні труби. Дослідження процесу охолодження / І. О. Мікульонок, В. Т. Вознюк // Хімічна промисловість України. — 2010. — № 5. — С. 44—46.

2. Ванна опрыскивания LRS [Електронний ресурс]. — Дата доступу: липень 2011 р. — Режим доступу: http://www.lrs-gmbh.org/ukr/equipment/2102.shtml.

3. KryoSys. Cutting-edge technology for the extrusion of PO pipes : проспект фірми Cincinnati Extrusion Gmbh. — Vienna : [б. и.], 2009. — 8 с.

4. Вознюк В. Т. Виробництво полімерних труб. Дискретна система охолодження трубної заготовки / В. Т. Вознюк, І. О. Мікульонок // Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів: IV всеукр. наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих вчених (Київ, Україна, 22—24 квітня, 2009) : зб. тез доп.. — К.: НТУУ «КПІ», 2009. — С. 62—63.

УДК 678.027.3-036.5

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕКСТРУДОВАНОГО МАТЕРІАЛУ

Вознюк В. Т., к.т.н., Крутась І. О., Мікульонок І. О., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Представлено ефективний спосіб інтенсифікації процесу охолодження екструдованих виробів з термопластичних матеріалів в холодних ваннах.

Екструзією виготовляється велика кількість довгомірних виробів, насамперед такі як стренги, трубки, профілі, плінтуси та ін. Під час виготовлення екструдований матеріал після формування в екструзійній головці має бути охолоджений до температури, за якої виріб можна складати або транспортувати без залишкових деформацій його форми. Більшість виробів охолоджуються в охолодних ваннах зануренням у шар води, що дає змогу охолоджувати вироби різного профілю без значних змін конструкції охолодного обладнання [1].

У той же час цей спосіб має невисоку ефективність охолодження через захоплення екструдованим матеріалом шару охолодної води, який поступово прогрівається і, рухаючись разом з оброблюваним матеріалом, сповільнює процес його охолодження.

Для руйнування пристінного шару і, як наслідок, інтенсифікації процесу охолодження у праці [2] запропоновано встановлювати в охолодній ванні на певній відстані одна від одної гумові перегородки з отворами, які повторюють контур охолоджуваного матеріалу (рис. 1). Така конструкція достатньо ефективно руйнує нагрітий пристінний шар охолодної води, проте основний недолік зазначеного способу – потреба в індивідуальному наборі перегородок для охолодження матеріалів різного типорозміру.

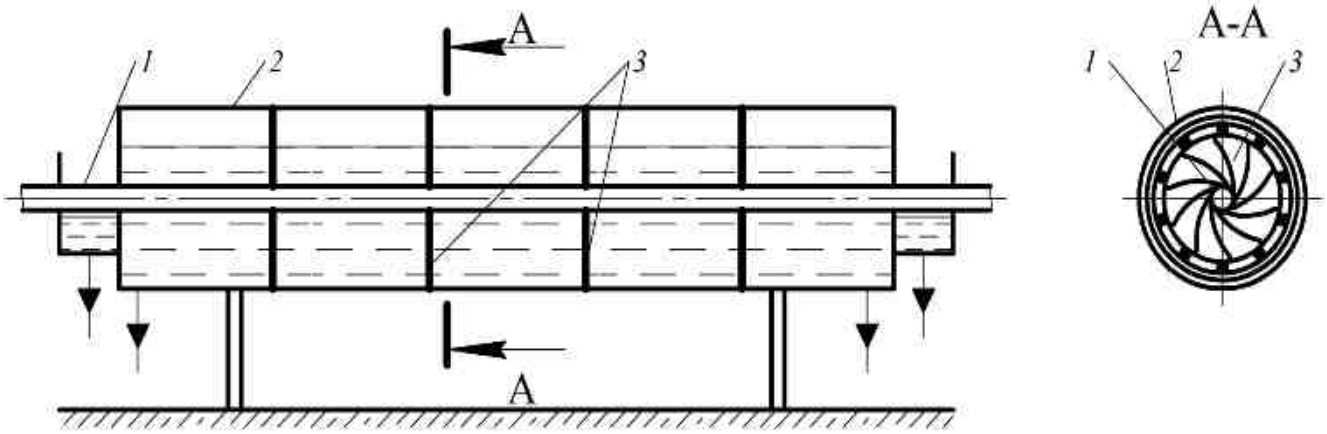


Рис. 1. Спосіб руйнування нагрітого пристінного шару охолодної води за допомогою перегородок:
1 – труба, *2* – ванна, *3* – перегородки у вигляді ірисової діафрагми.

Для забезпечення ефективного руйнування нагрітого пристінного шару охолодної води незалежно від форми й розмірів поперечного перерізу екструдованого матеріалу, а отже, і істотного розширення технологічних можливостей здійснення процесу охолодження у охолодних ваннах зануренням у шар води, авторами запропоновано руйнувати пристінний шар за допомогою бульбашок або струминок газу, що пропускають крізь шар рідкого холодоагенту (рис. 2) [3].

Бульбашки або струминки газу рухаються крізь шар охолодної води і потрапляють на поверхню екструдованого матеріалу, що приводить до ефективного руйнування шару нагрітої охолодної води поблизу поверхні матеріалу незалежно від форми й розмірів його поперечного

перерізу. Як газ доцільно застосовують повітря, а в разі небезпеки окиснення нагрітого матеріалу труби киснем, замість повітря можна застосовувати азот. Таким чином, спосіб стає придатним для охолодження матеріалів широкої номенклатури й не потребує складних пристроїв для його реалізації.

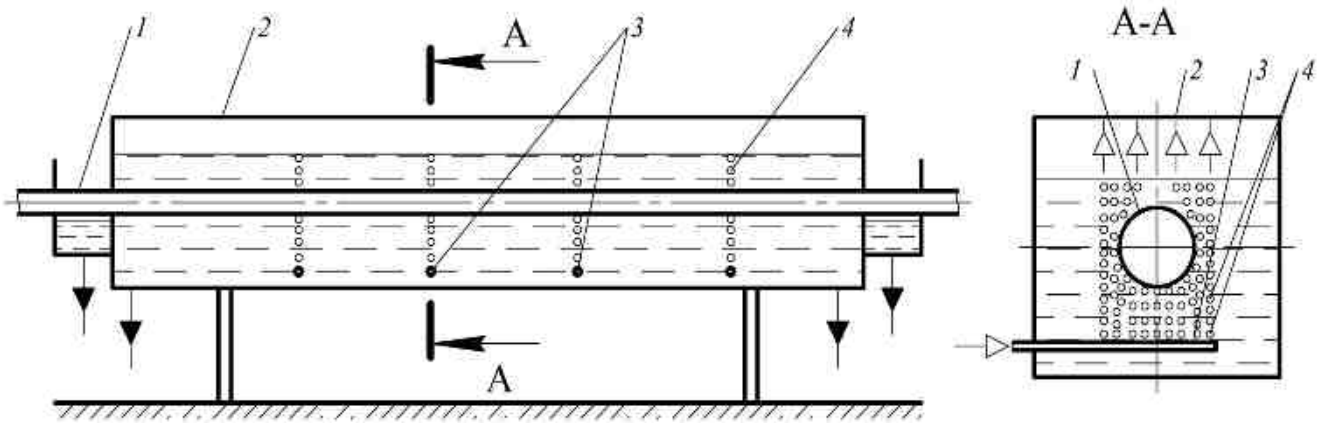


Рис. 2. Спосіб руйнування нагрітого пристінного шару охолодної води бульбашками або струминками газу:
1 – труба, *2* – ванна, *3* – барботери, *4* – струмені газу.

Процес здійснюється в такий спосіб (рис. 2). Екструдований матеріал, наприклад, полімерну трубу *1* пропускають крізь охолодну ванну *2* з торцевими карманами, які унеможливлюють витікання охолодної води за межі охолодної ванни *2*. По довжині охолодної ванни *2* розміщено барботери (перфоровані трубки) *3*, крізь отвори яких у шар охолодної води залежно від тиску і об'ємної втрати виходять бульбашки або струминки газу *4*.

Бульбашки або струминки газу *4*, рухаючись крізь шар охолодної води, потрапляють на поверхню екструдованого матеріалу *1*, ефективно руйнуючи пристінний шар нагрітої охолодної води незалежно від форми й розмірів поперечного перерізу цього матеріалу.

Як показують попередні дослідження, час охолодження різних матеріалів у результаті застосування пропонованого способу порівняно зі охолодженням без застосування руйнуючих елементів скорочується до 25 %. Таким чином, на зазначену величину може бути скорочено або витрату охолодної води, або довжину охолодної ванни.

Література

1. Лукач Ю. Е. Алгоритм расчета устройств для термообработки изделий из термопластов : учеб. пособ. [для студ. выш. учеб. завед.] / Лукач Ю. Е., Доброногова С. И., Ружинская Л. И. — К.: КПИ, 1984. — 84 с.

2. Пат. № 18744 Україна, МПК (2009) B 29 C 35/00. Пристрій для охолодження довговимірних виробів / І. О. Мікульонок ; заявник і патентовласник Нац. технік. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». — № u 2006 06030 ; заявл. 31.05.2006 ; опубл. 15.11.2006., Бюл. № 11.

3. Заявка на корисну модель № 201111723 Україна, МПК9 B29C 47/88. Спосіб охолодження екструдованого матеріалу / І. О. Мікульонок, В. Т. Вознюк ; заявник і патентовласник Нац. технік. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». — № 201111723 ; заявл. 06.03.2012.

УДК 536.2.083

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ В ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

ЧИРКА Т.В., аспірант, ВАСИЛЬЧЕНКО Г.М., к.т.н., доцент, ДУДНИК Ю.В., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Проведено числовий аналіз температурних полів в експериментальній установці для визначення теплопровідності сипучих матеріалів та обчислено методичну похибку, що пов'язана з нерівномірністю температурного поля по висоті вимірювальної ділянки.

Моделювання фізичних процесів на етапі розробки конструкції експериментальної установки та методики вимірювання є невід'ємною складовою сучасних науково-дослідницьких робіт. Фізичне і математичне моделювання температурних полів дозволяють обґрунтувати доцільність і працездатність розроблюваної установки для вимірювання теплопровідності дисперсних матеріалів, а також зменшити матеріальні та часові затрати на етапах створення та налагодження експериментальної установки.

Фізичну модель експериментальної установки можна представити у вигляді циліндричної багатошарової стінки, яка містить в собі як шар досліджуваного матеріалу, так і шари нагрівників, теплоізоляції та каркасу установки з ізотропними властивостями. Тому розроблювану фізичну модель можна представити в осесиметричній двохвимірній проекції (рис. 1).

Математичний опис стаціонарного температурного поля для фізичної моделі можна представити системою диференціальних рівнянь у частинних похідних, що включають в себе нелінійне рівняння теплопровідності та нелінійне рівняння поля електричного потенціалу, і має вигляд [1, 2]:

$$\begin{cases} \nabla\left[\lambda(T)\nabla T\right] + \dfrac{1}{\gamma(T)}\left|\nabla u\right|^2 = 0, \\ \nabla\left[\dfrac{1}{\gamma(T)}\left|\nabla u\right|\right] = 0 \end{cases} \tag{1}$$

де T – температура, К; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); γ – питомий електричний опір, Ом·м; u – електричний потенціал, В; ∇ – оператор Гамільтона для циліндричних координат.

Граничні умови для рівняння теплопровідності на зовнішній границі (Г) системи з оточуючим середовищем:

$$-\lambda(T)\left.\frac{\partial T}{\partial n}\right|_{\Г} = \alpha\left(T_{o.c.} - T_{\Г}\right), \tag{2}$$

де n – зовнішня нормаль до границі; α – ефективний коефіцієнт тепловіддачі від границі до середовища, Вт/(м^2·К); $T_{o.c.}$ – температура оточуючого середовища, К; $T_{\Г}$ – температура на границі, К.

На осі симетрії тіла – адіабатні умови:

$$\partial T/\partial n = 0\,. \tag{3}$$

Тепловий контакт між складовими елементами конструкції установки вважається ідеальним:

$$\begin{cases} \lambda_1(T)\dfrac{\partial T_1}{\partial n} = \lambda_2(T)\dfrac{\partial T_2}{\partial n} \\ T_1\big|_{-} = T_2\big|_{+} \end{cases}. \tag{4}$$

Задаються граничні умови для рівняння електричного потенціалу. Оскільки для створення теплового потоку через досліджуваний матеріал використовується силітовий нагрівник (основний), то на його верхньому торці задається дійсна електрична напруга

$$u\big|_{\text{Гв.т.}} = u_{\partial 1}\,, \tag{5}$$

на верхніх торцях фонових нагрівників задається дійсна електрична напруга

$$u\big|_{\text{Гв.т.}} = u_{\partial 2}. \tag{6}$$

На нижньому торці нагрівників задається нульовий електричний потенціал

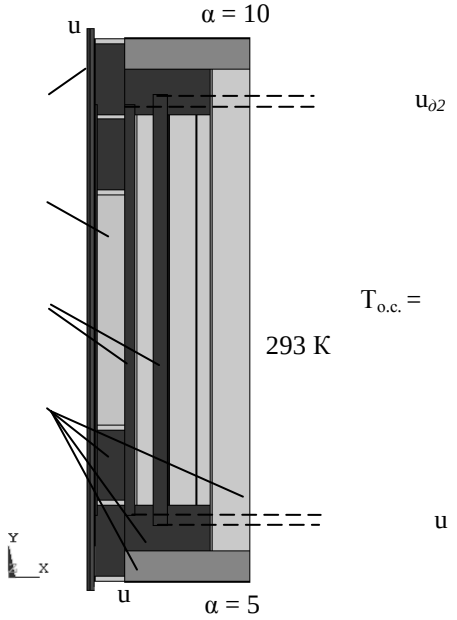
$$u\big|_{\text{Гн.т.}} = 0, \tag{7}$$

а на інших поверхнях умови відсутності протікання електричного струму

$$\partial u/\partial n = 0. \tag{8}$$

Використовуючи математичну постановку теплоелектричної задачі (1)–(8) та програмний продукт розрахунків ANSYS Mechanical APDL, був здійснений числовий аналіз термоелектричних полів для експериментальної установки для визначення теплопровідності.

З метою виявлення впливу теплопровідності досліджуваного матеріалу на температурне поле у вимірювальній чарунці було розраховано стаціонарне температурне поле моделі установки при значеннях теплопровідності досліджуваного матеріалу в межах від 1 до 5 Вт/(м·К). Результати числового аналізу показали отримання більш рівномірного температурного розподілу у вимірювальній чарунці при зростанні теплопровідності матеріалу засипки (рис. 2), що пов'язано із кращою теплопередачею в матеріалі. В свою чергу це призводить до падіння температури на вимірювальній ділянці і зростання теплових втрат установкою.



1 – основний нагрівник; 2 – фонові нагрівники; 3 – досліджуваний матеріал; 4 – теплоізоляція

Рис. 1. Осесиметрична двохвимірна модель експериментальної установки (вісь установки – *y*) з граничними умовами

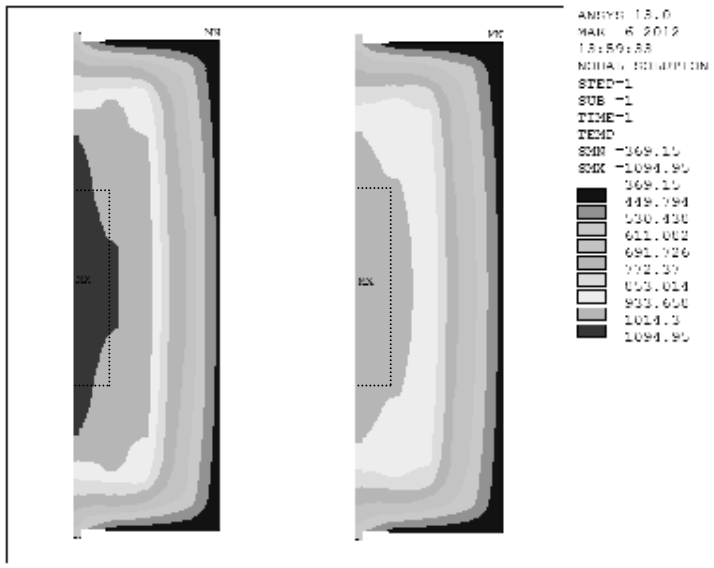


Рис. 2. Температурний розподіл у моделі експериментальної установки при теплопровідності досліджуваного матеріалу відповідно 1 та 5 Вт/(м·К)

З отриманих даних можна виділити ділянку досліджуваного матеріалу висотою 100 мм, яка характеризується розподілом температури, який є найбільш близьким до одномірного розподілу, та має температурний перепад по висоті 4 °С. Таким чином, це дозволило розрахувати методичну похибку вимірювання теплопровідності, що пов'язана із нерівномірністю температурного поля по висоті вимірювальної ділянки, яка при 1030 К становить $\delta_{\text{метод}}(\lambda) = 1{,}89\,\%$ для ймовірності W=0,68.

Література

1. Применение численного моделирования для совершенствования процесса графитации электродной продукции в печах Ачесона / Е. Н. Панов, С. В. Кутузов, О. Ю. Уразлина [та ін.] / Сб. докл. XII Межд. конф. "Алюминий Сибири – 2006" 5–7 сент. 2006 г. — Красноярск, 2006. — С. 373—380.

2. Мацевитый Ю. М. Идентификация теплофизических свойств твердых тел / Ю. М. Мацевитый, С. Ф. Лушпенко. — Киев : Наук. думка, 1990.— 216 с.

УДК 535.024:620.168:678.02:678.5.059

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИЙ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ

А.Е.КОЛОСОВ, вед.научн.сотр., В.И.СИВЕЦКИЙ, проф., Д.Э.СИДОРОВ, доц.,
С.Т.КОВАЛЬ, доц., О.К.КУЧЕНЕНКО, доц., Л.А.КРИЧКОВСКАЯ
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Анализируются интенсифицирующие методы ультразвукового воздействия особенно на стадии смешения компонентов композита и формирования структуры реактопластичных армированных изделий из композиций эпоксидных полимеров.

Ключевые слова: технология, эпоксидная композиция, наполнитель

В настоящее время в промышленности стран СНГ выпускается более 40 марок литьевых и пропиточных эпоксидных олигомеров (ЭО) или эпоксидных смол, относящихся к классу реактопластов. Самыми распространенными являются эпоксидно-диановые смолы, вследствие чего их выпуск в общем объеме производства реактопластов составляет более 90%. Проводятся интенсивные разработки в области создания новых типов эпоксиполимеров (ЭП) и отвердителей для них.

ЭО и эпоксидные связующие (ЭС) на их основе нашли широкое применение в различных отраслях техники при производстве реактопластичных полимерных композиционных материалов (ПКМ). Отмечена высокая эффективность их применения в химическом и нефтегазовом машиностроении, при реконструкции и ремонте зданий, восстановлении и усилении строительных конструкций, устройстве стыков сборных элементов, при защите конструкций от воздействия окружающей среды и проч. [1].

Следует отметить, что основная тенденция развития промышленности ПКМ сейчас заключаются не столько в разработке новых полимеров, сколько в модификации известных материалов, используемых для их изготовления [1]. Модификация заключается в целенаправленном регулировании структуры и связанных с ней свойств полимера на различных уровнях технологического процесса.

Модификация осуществляется для улучшения технологических и эксплуатационных характеристик эпоксидных композитных материалов, а именно для повышения жизнеспособности, снижения вязкости, улучшения деформационно-прочностных свойств, тепло-, био- и химической стойкости, повышения диэлектрических свойств, снижения горючести, совершенствования экономических показателей (сокращение расхода ЭО, уменьшение их стоимости, утилизации отходов производства).

Поэтому актуальным является исследование эффективных методов модификации (как химических, так и физических и физико-химических) в базовом технологическом цикле получения армированных волокнистыми наполнителями (ВН) изделий из композиций ЭП в производстве изделий из волокнистых композиционных материалов (стекло, - органо- и углепластиков). При этом остро стоит проблема качественной пропитки ВН, имеющих капиллярную структуру (то есть капиллярно-пористых тел), ЭС [2]. Вследствие высокой вязкости ЭС процесс удаления воздуха и других газов из капиллярно-пористой структуры ВН протекает медленно. Благодаря так называемому «бутылочному эффекту», имеющийся в порах газ полностью не удаляется. Этому также способствует недостаточно высокая степень гомогенизации жидкой полимерной системы. В результате этого снижаются эксплуатационные характеристики конечного армированного ЭП.

Поэтому в технологии получения изделий из композиций ЭП актуальным является выбор интенсифицирующих методов воздействия (например, УЗ), особенно на стадии смешивания компонентов композита и формирования его структуры, а также улучшению движения ЭС как неньютоновской вязкой несжимаемой жидкости в капиллярно-пористых

телах путем комплексного применения предварительной ультразвуковой активации поверхности непропитанных ВН, озвучивания ЭК и пропитки ими проактивованих ВН.

Следует также подчеркнуть важность наличия прочной адгезионной связи между ВН и ЭО [2], а также равномерности нанесения ЭС на ориентированные и тканые ВН при изготовлении намоточных и слоистых пластиков. Ведь существование недостаточно прочной адгезионной связи и неравномерное распределение ЭС в структуре ВН увеличивают степень искривления листов конечного слоистого изделия при его формовании. Кроме того, количество ЭС, нанесенного на ВН, его вид и степень тепловой обработки, а также адгезионная прочность сцепления осуществляют доминирующее влияние на свойства конечных слоистых или намоточных пластиков.

Следующая проблемная ситуация связана с тем, что исходные пропиточные ЭС, как правило, содержат растворители. А при твердении реактопластов для сохранения монолитности композита низкомолекулярные продукты реакции должны быть удалены. В этом случае УЗ-действие рассматривается как фактор, приводящий к снижению вязкости пропиточного ЭС, тем самым к существенному уменьшению содержания в нем летучих компонентов.

Кроме того, в зависимости от температуры в сушильной шахте (камере) пропиточно-сушильной машины, заданного содержания летучих компонентов и растворимой части полимерного связующего, а также режима изменения концентрации летучих во времени, подбирают оптимальную скорость движения полотна наполнителя в пропиточных машинах [1], которая определяет производительность технологического процесса получения препрегов.

Во всех вышеперечисленных процессах УЗ-действие предлагается использовать как доминирующий метод физической модификации [2] композиций ЭП на основных стадиях их получения. Так, в частности, под действием УЗ эффективно удаляется остаточный газ из пор ВН и они быстро заполняются связующим, в результате чего процесс пропитки значительно ускоряется. Кроме того, улучшаются условия гомогенизации смеси, снижаются ее вязкость и время релаксации, а также кинетика твердения ЭС. Поэтому УЗ-обработка позволяет также повысить деформационно-прочностные и адгезионные характеристики получаемых ПКМ, снизить в них уровень остаточных напряжений и увеличить их долговечность.

В свою очередь, установленные технологические параметры УЗ-модификации, а именно частота, амплитуда, интенсивность, время, температура, давление, могут использоваться для детерминации конструктивно-технологических параметров реализующего УЗ-технологического оборудования (ванн и пластин для объемного озвучивания, пропиточного, дозировочного и активационного оборудования).

Литература

1. Колосов О.Є. Технологія одержання багатокомпонентних епоксиполімерів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації / Колосов О.Є., Сівецький В.І., Панов Є.М. — К.: НТУУ КПІ, 2010. — 220 с.

2. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / Колосов О.Є., Сівецький В.І., Панов Є.М. та ін.— К.: ВД «Едельвейс», 2012. — 268 с.

УДК 535.024:620.168:678.02:678.5.059

РАСЧЕТ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КАВИТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

А.Е.КОЛОСОВ, вед.научн.сотр., В.И.СИВЕЦКИЙ, проф., В.П.СЕРБИН, проф.,
В.П.ПОЛТОРАК, доц., В.Ф.ГРИШКО, ст.научн.сотр., Е.П.КОЛОСОВА
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Рассматривается методика расчета и сравнительного анализарасчетных и экспериментальных параметров ультразвуковых кавитационных устройств с излучающей пластиной.

Ключевые слова: методика, расчет, кавитация, ультразвук, работоспособность, проверка

Ведение

Известно, что создание универсальных ультразвуковых (УЗ) установок и устройств сейчас практически не представляется возможным, поскольку каждый технологический процесс, связанный с использованием УЗ-колебаний (УЗК) непосредственно в любых средах, имеет ряд специфических особенностей [1]. Эти особенности в основном определяются различными конструктивными формами технологических устройств, преобразующих электрические колебания УЗ-частоты в механические колебания непосредственно в твердых или жидких средах.

В каждом случае методика расчета УЗ-кавитационных устройств имеет свои особенности. Поэтому целесообразно проводить проверку работоспособности и апробацию разрабатываемых технических средств кавитационной обработки, которые генерируют необходимые для конкретных технологических процессов УЗ-колебания [1, 2].

Порядок проведения расчетов УЗ-кавитационного устройства с излучающей пластиной

Процедура проведения расчетов конструктивных параметров УЗ-кавитационного устройства с излучающей пластиной, совершающей изгибные колебания, заключается в следующем:

1. Задаются желаемой резонансной частотой УЗК $f_{ст}$, характерной для конкретного технологического процесса, и определяющей интенсивность УЗ-кавитации (например, это может быть частота УЗК УЗ-генератора*).*

2. Выбирают материал ($c_{пл} = c_4$, $E_{пл} = E_4$) и толщину $H_{пл}$ излучающей пластины, исходя из конструктивно-технологических особенностей реализации конкретного технологического процесса.

3. Для выбранной резонансной частоты УЗК $f_{ст}$ определяют по формуле длину волны $\ell_{ст}$ изгибных колебаний излучающей пластины с учетом желаемой моды колебаний n_k (или порядка частоты $\lambda_{ст}$):

$$\ell_{ст} = \frac{\lambda_{ст}}{2}\sqrt{\frac{c_{ст}\cdot H_{ст}}{\pi\cdot\sqrt{3}\cdot f_{ст}}}\ , \qquad (1)$$

где $\lambda_{ст}$ – так называемый порядок частоты является безразмерной величиной, и который для случая УЗК низкочастотного диапазона выбирается в зависимости от порядка колебаний (моды колебаний) n_k из следующего ряда:

4,750 (n_k = 1); 7,853 (n_k = 2); 10,996 (n_k = 3); 14,137 (n_k = 4); 17,279 (n_k = 5).

4. Общие размеры излучающей пластины, т.е. ее длину $L_{пл}$ и ширину $B_{пл}$ выбирают кратными величине длины волны $\ell_{ст}$, т.е. $L_{пл} = N_L\ell_{ст}$, $B_{пл} = M_B\ell_{ст}$.

5. В зависимости от полученного количества пучностей, образующихся при изгибных колебаниях с длиной волны $\ell_{ст}$, по длине и ширине излучающей пластины, определяют количество УЗ-излучателей, устанавливаемых по длине и ширине пластины. При этом количество УЗ-излучателей, устанавливаемых по длине пластины $L_{пл}$ для получения равномерной интенсивности излучающей поверхности равно: $N = 2N_L–1$, а количество УЗ-излучателей, устанавливаемых по ширине излучающей пластины $B_{пл}$, равно: $M = 2M_B – 1$.

6. Рассчитывают массу элементов крепления УЗ-излучателя с учетом присоединенной массы отдельного участка (секции) излучающей пластины, т.е. характеристики эквивалентного цилиндра.

7. Под резонансную частоту $f_{ст} = f_{пл}$ излучающей пластины 1 рассчитывают по формулам (2 – 4) акустические размеры элементов составного УЗ-излучателя (a_1, a_3, ℓ) [2]:

$$a_1 = \frac{c_1}{\omega} arctg \frac{E_2 S_2 c_1 ctg \frac{\omega}{c_2} a_2 + E_1 S_1 c_2 tg \frac{\omega}{c_1} a_2}{E_1 S_1 c_2 - E_2 S_2 c_1 ctg \frac{\omega}{c_2} a_2 tg \frac{\omega}{c_1} a_2} - a_2 \quad , \tag{2}$$

$$a_3 = \frac{c_3}{\omega} arctg \frac{E_3 S_3 c_4}{E_4 S_4 c_3 tg \frac{\omega}{c_4} b} \quad , \tag{3}$$

$$\ell = \frac{c_3}{\omega} \frac{\pi}{2} = \frac{c_3}{4f} , \tag{4}$$

где a_1, a_3, ℓ – соответственно толщина понижающей частоту накладки составного пьезоэлектрического преобразователя, длина ступени участка концентратора меньшего диаметра и длина ступени участка концентратора большего диаметра.

Причем исходными данными для расчета акустических размеров УЗ-излучателя являются геометрические размеры и физические параметры применяемого пьезоматериала (a_2, c_2, E_2, S_2), трансформатора скорости (c_3, E_3, S_3), частотопонижающих накладок (c_1, E_1, S_1), а также удельная акустическая мощность [2].

Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных

Экспериментально было найдено, что для достижения эффективных результатов в технологии формования композиционно-волокнистых полимерных материалов, в частности, при контактной УЗ-обработке как непропитанной стеклоткани шириной 1120 мм, так и этой же ткани, но пропитанной полимерным связующим, необходимо иметь такие значения технологических параметров кавитационной обработки: частота УЗК $f_{УЗ} = f_{ст}$ =18—22 кГц (для расчета примем $f_{УЗ}$ = 22 кГц = 22000 Гц); амплитуда УЗК 3—5 мкм; интенсивность I = 2—4 Вт/см^2. При этом для перекрытия стеклоткани (шириной 1120 мм) предполагается разместить встык две излучающие пластины длиной 600 мм и шириной 150 мм каждая.

Выбранная толщина излучающей пластины составляет $H_{пл}$ = 10 мм = 0,01 м; материал — нержавеющая сталь марки 1ХН18Н9Т с такими характеристиками: скорость звука $c_{пл} = c_4 = 5{,}2 \cdot 10^3$ м/с; модуль упругости при растяжении $E_4 = 20{,}5 \cdot 10^4$ МПа.

Вычисленная по формуле (1) длина изгибных колебаний пластины при $\lambda_{ст} = 4{,}750$ (n_k = 1) составит: $\ell_{ст}$ = 50 мм = 0,05 м. Тогда количество преобразователей, которое необходимо установить по длине излучающей пластины $L_{пл}$ = 600 мм = 0,6 м, равно: $N = 2N_L – 1 = 2 \cdot 12 – 1 = 23$, а количество преобразователей M, которое необходимо установить по ширине излучающей пластины $B_{пл}$ = 150 мм = 0,15 м, равно: $M = 2M_B – 1 = 2 \cdot 3 – 1 = 5$. Для материала частотопонижающих накладок (демпферов) на базе стали 40Х13 имеем: скорость звука $c_1 = 5{,}2 \cdot 10^3$ м/с; модуль упругости $E_1 = 2{,}05 \cdot 10^5$ МПа; выбранный наружный диаметр частотопонижающих накладок составляет 40,2 мм = 0,042 м; их внутренний диаметр – 0,012 м.

Для случая сборки излучателя на базе четырех пьезокерамических колец марки 841 наружным диаметром d_6 = 38 мм, задаем необходимое значением толщины колец a_2 = 0,0256 м. Скорость распространения звука в материале кольца равна: $c_2 = 2{,}5 \cdot 10^3$ м/с; модуль упругости $E_2 = 6{,}3 \cdot 10^4$ МПа. Удельную акустическую мощность для пьезокерамики, используемой в диапазоне 18 — 22 кГц, обычно принимают равной 1—3 Вт/см^2. Значение толщины a_1 частотопонижающих накладок, найденное по формуле (2), составило 15,73 мм, значение длины ступени a_3 участка концентратора меньшего диаметра, найденное по формуле (3), составило 55,9 мм, а длина ступени ℓ большего диаметра концентратора согласно (4) составила 55,91 мм.

Равномерность кавитационного поля пластины проверяется равномерностью разрушения тонкой алюминиевой фольги, устанавливаемой параллельно излучающей поверхности пластины. Сравнительный анализ расчетных параметров, полученных в соответствии с предложенной методикой, и экспериментальных параметров, полученных на изготовленном и испытанном в технологическом процессе с использованием кавитационного аппарата с излучающей пластиной, осуществляющей изгибные колебания, показывает, что погрешность расчетов по разработанной методике не превышает 10 %.

Предложенная методика расчета УЗ-кавитатора с излучающей пластиной была проверена при создании нескольких моделей кавитационных аппаратов для химической промышленности, в частности, для регулирования дозировочного наноса полимерного связующего на пропитанную стекловолокнистую ткань электроизоляционного назначения шириной 1120 мм. Так, например, с ее помощью были созданы экспериментальные УЗ-кавитационные аппараты мощностью 2,5 кВт, предназначенные для УЗ-пропитки электроизоляционных стеклотканей и последующего формования фольгированных диэлектриков для Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института электроизоляционных материалов и фольгированных диэлектриков (г. Москва).

Сравнительный анализ расчетных параметров, полученных в соответствии с предложенными усовершенствованными методиками расчета ультразвукового кавитационного устройства на основе излучателя ультразвуковых колебаний и излучающей пластины, а также проверки ее работоспособности, и экспериментальных параметров, полученных на базе изготовленного и внедренного в технологический процесс экспериментального кавитационного аппарата с излучающей пластиной, осуществляющей изгибные колебания, показал, что погрешность расчетов по вышеуказанным методикам не превышает 10 %.

Разработанная методика дает возможность создать широкую гамму типоразмеров кавитационных аппаратов для различных размеров излучающей пластины и различных технологических условий [2]. Конструкция УЗ-кавитаторов рассмотренного типа позволяет за счет изменения количества секций с излучателями изменять мощность аппаратов в широких пределах. Эксплуатация экспериментальных образцов рассмотренного типа УЗ-кавитаторов различных мощностей подтвердила их высокую эффективность, надежность и легкость в обслуживании. Это позволяет рекомендовать разработанную методику при создании широкой гаммы типоразмеров кавитационных аппаратов с варьируемыми размерами волноводов и габаритами излучающей пластины для различных технологических процессов

Список литературы

1. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. — М.: Энергия, 1976. — 320 с.

2. Колосов А.Е., Сивецкий В.И., Колосова Е.П., Луговская Е.А. Усовершенствованная методика расчета ультразвукового кавитационного устройства с излучающей пластиной//Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – №5.

УДК 535.024:620.168:678.02:678.5.059

ОСОБЕННОСТИ ПАТЕНТОВАНИЯ МЕТОДИК РАСЧЕТА, СБОРКИ И ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВИТАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

А.Е.КОЛОСОВ, вед.научн.сотр., В.И.СИВЕЦКИЙ, проф., В.С.КРИВОШЕЕВ, доц.,
Р.В.СЕРБИНА, доц., В.Ю.ИЗОТОВ, доц., Б.Е.СТЕПАНЕНКО
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

В рамках патентного законодательства рассматриваются примеры патентования разработанной методики расчета конструктивных параметров и проверки работоспособности ультразвукового кавитационного устройства с излучающей пластиной.

Ключевые слова: методика, расчет, кавитация, ультразвук, работоспособность, патентование

Разрабатываемые методики расчета, сборки и проверки работоспособности ультразвукового (УЗ) кавитационного устройства, согласно действующему патентному законодательству, целесообразно получить охранные документы (патент на полезную модель – согласно украинского патентного законодательства, или на изобретение – согласно как российского, так и украинского патентных законодательств) как на способ (метод). Это предусматривает проведение определенной последовательности действий над материальными объектами с помощью материальных действий [1].

Ниже приведены примеры формул изобретений (полезных моделей), которые воспроизводят особенности и последовательность патентования разрабатываемых методик расчета конструктивных параметров УЗ-кавитационного устройства согласно [2].

Формула изобретения (полезной модели)

1. Способ расчета конструктивных параметров ультразвукового кавитационного устройства с излучателем ультразвуковых колебаний, согласно которому задают желаемую резонансную частоту ультразвуковых колебаний, характерную для конкретного технологического процесса и определяют интенсивность ультразвуковой кавитации на резонансной частоте, выбирают материал и толщину излучающей пластины, контактирующей с излучателем ультразвуковых колебаний, исходя из технологических особенностей реализации исследуемого ультразвукового технологического процесса, для выбранной резонансной частоты ультразвуковых колебаний определяют длину волны изгибных колебаний излучающей пластины с учетом желаемой моды колебаний или порядка частоты, *который отличается тем, что,* осуществляют расчет конструктивных параметров ультразвукового кавитационного устройства излучателя ультразвуковых колебаний в виде составного излучателя ультразвука на базе последовательно соединенных пьезокерамических преобразователей и трансформаторов скорости, контактирующих с излучающей пластиной с обеспечением минимальных акустических потерь, размеры излучающей пластины выбирают кратными величине длины волны изгибных колебаний излучающей пластины, определяют количество составных излучателей ультразвука в зависимости от полученного количества пучностей, образующихся при изгибных колебаниях с длиной волны изгибных колебаний по длине и ширине излучающей пластины, рассчитывают массу элементов крепления составного излучателя ультразвука с учетом присоединенной массы отдельного участка излучающей пластины, после чего рассчитывают акустические размеры элементов составного излучателя ультразвука при резонансной частоте излучающей пластины.

2. Способ по п.1, *отличающийся тем, что,* как исходные данные для расчета акустических размеров излучателя ультразвука выбирают геометрические размеры и физические параметры применяемого пьезоматериала, трансформатора скорости, частотопонижающих накладок, а также удельную акустическую мощность.

Типичный пример формулы изобретения (полезной модели), которая воспроизводит особенности патентования разработанной методики проверки работоспособности УЗ-кавитационного устройства с излучающей пластиной в соответствии с [3], приведен ниже.

Формула изобретения (полезной модели)

1. Способ сборки и проверки работоспособности ультразвукового кавитационного устройства на базе излучателя ультразвуковых колебаний и излучающей пластины, согласно которому выбирают материал и толщину излучающей пластины, а также резонансную частоту ультразвуковых колебаний, исходя из технологических особенностей реализации исследуемого ультразвукового технологического процесса, обеспечивают контакт излучающей пластины с излучателем ультразвуковых колебаний, для выбранной резонансной частоты ультразвуковых колебаний определяют длину волны изгибных колебаний излучающей пластины с учетом желаемой моды колебаний или порядка частоты, после чего осуществляют проверку работоспособности собранного ультразвукового кавитационного устройства, *который отличается тем, что,* как излучатель ультразвуковых колебаний используют составной излучатель ультразвука в виде верхней и нижней частотопонижаючих накладок, каждую из которых выполняют контактирующей через электроды с парой пьезокерамических преобразователей в виде колец, при этом верхнюю накладку соединяют с трансформатором скорости или с концентратором ультразвуковых колебаний, а нижнюю - с источником ультразвуковых колебаний в виде генератора, контакт излучающей пластины с излучателем ультразвуковых колебаний обеспечивают при минимальных акустических потерях, а проверку работоспособности собранного ультразвукового кавитационного устройства осуществляют путем оценки равномерности кавитационного поля излучающей пластины по ширине и длине пластины на резонансном режиме ее изгибных колебаний.

2. Способ по п.1, *отличающийся тем, что,* проверку работоспособности собранного ультразвукового кавитационного устройства осуществляют путем оценки равномерности разрушения тонкой алюминиевой фольги, установленной параллельно излучающей поверхности пластины при кавитационном режиме.

Возможно также получить охранные документы на разработанные методики и в рамках авторского права. Однако, как показывает практика, наиболее целесообразно получать комплексную охрану на разработанные усовершенствованные методики одновременно в рамках как патентного, так и авторского права.

Выводы

Приведенные примеры патентования двух разработанных методик с использованием норм российского и украинского патентного законодательства показывают возможность патентования путем усовершенствования существующих технических решений. Отмечено, что возможно также получить охранные документы на указанные разработанные методики в рамках авторского права.

Список литературы

1. Пат. на кор. мод. 57857 Україна, МПК (2009) B05C3/00. Спосіб розрахунку конструктивних параметрів ультразвукового кавітаційного пристрою / Луговська К.О., Колосов О.Є., Сівецький В.І. та ін. - №u201011422; заявл. 24.09.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. №5.

2. Пат. на кор. мод. 57856 Україна, МПК (2009) B05C3/00. Спосіб збирання і перевірки працездатності ультразвукового кавітаційного пристрою / Луговська К.О., Колосов О.Є., Сівецький В.І. та ін. - №u201011421; заявл. 24.09.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. №5.

3. Колосов О.Є., Сівецький В.І., Луговська К.О. Методики розрахунку конструктивних параметрів і перевірки працездатності ультразвукового кавітаційного пристрою та особливості їх патентування / О.Є.Колосов, В.І. Сівецький, К.О.Луговська // Вісник НТУУ КПІ. Сер. Машинобудування». – 2011. – №63. – С. 53—60.

УДК 678.01

ВПЛИВ СТУПЕНЯ ТЕРМОУСАДЖУВАННЯ ПОЛІПРОПІЛЕНОВОЇ ПЛІВКИ НА ЯКІСТЬ ПАКУВАНЬ

СІДОРОВ Д.Е., доц., СІВЕЦЬКИЙ В.І., проф., КОЛОСОВ О.Є., пр.наук.співр., ДУДАР Ж.О.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Представлені експериментальні дані досліджень ступеню термоусаджуваня двоосно орієнтованої поліпропіленової плівки при використанні в якості пакувань.

Термоусаджувальна плівка – один з найдешевших видів сучасної безповоротної тари, що застосовується для групової упаковки, тарованої продукції методом обгортання і обандеролювання з подальшою усадкою. Така упаковка має привабливий зовнішній вид, захищає товар від впливу навколишнього середовища і надійно фіксує відносне положення його складових [1].

Термоусаджувальні плівки можуть бути виготовлені з багатьох термопластичних полімерів, що кристалізуються, в тому числі з поліетилену низької і високої густини, поліпропілену, сополімерів етилена з вінілацетатом, полівінілхлориду, сополімерів вінілхлориду, полістиролу, гідрохлориду полізопрена і застосовуються на автоматичних пакувальних лініях.

Плівки виготовляються методом екструзії, а багатошарові плівки – методом співекструзії з подальшою одно- або двовісьною деформацією плівки у високоеластичному стані. Внаслідок такої деформації плівок здійснюється направлена орієнтація молекулярних ланцюгів полімера і виникнення в них залишкових напружень. При подальшому охолодженні деформованих плівок і ці деформації і напруження в результаті протікання процесів стіклування й кристалізації фіксуються в матеріалі [1, 2, 3].

При повторному нагріванні в таких плівках розвивається процес розморожування високоеластичних деформацій і протікають релаксаційні процеси в молекулярних ланцюгах полімерів, які прагнуть повернутися до свого початкового стану. Цю властивість повернення до зворотнього стану молекулярних ланцюгів полімеру називають «пам'яттю полімера» або термоусаджуванням і її використовують при реалізації процесів пакування.

Пакувальні плівки отримують у вигляді полотна, напіврукава або рукава. В залежності від ступеня усаджування в поздовжньому и поперечному напрямках розрізняють плівки одноосно орієнтовані і двоосно орієнтовані. Одноосно орієнтовані плівки усаджуються переважно в одному напрямку, наприклад, в поздовжньому на 50-70%. При цьому в поперечному напрямку ступень усаджування одноосно орієнтованих плівок складає 10-20%. Двоосно орієнтовані плівки усаджуються в обох напрямках з приблизно однаковим ступенем усаджування: наприклад, в поздовжньому напрямку – на 50-60%, а в поперечному – на 35-45%.

Залежно від методу виробництва і потреб споживача термоусаджувальні плівки випускають товщиною від 12 до 250 мкм. Для упаковки одиничних виробів невеликої маси використовують плівки товщиною до 50 мкм, для групової упаковки вибирають плівку товщиною 50-100 мкм, а для пакетування на піддонах плівку товщиною 100-250 мкм.

Зазвичай, термоусаджування поліпропіленових плівок проводять при температурі 180-200^{o}C. Ця температура вважається оптимальною. Проте, в силу дії різних чинників, не всі зони складного групового пакування можуть бути прогріти рівномірно.

В даній роботі представлені експериментальні дані, які були отримані для неоптимальних умов термоусаджуваня поліпропілену: температура 140-170 ^{o}C, час термообробки 10 с. Розміри зразків 250 х 50 мм, товщина плівки 20, 30 і 110 мкм. Вимоги до обмеження температури для плівки заданої товщини визначались умовою отримання ступіня усаджування не меньшу за 20% при фіксованому часі термообробки.

Ступінь усаджування в повздовжньому напрямку можливо визначити за формулою:

$$K_{ус}=((L_0-L)/L_0)*100\%, \quad (1)$$

де L_0 – довжина зразка до усаджування; L – довжина зразка після усаджування.

Ступінь усаджування в поперечному напрямку, відповідно, визначають за формулою:

$$K^*_{ус}=((H_0-H)/H_0)*100\%, \quad (2)$$

де H_0 – ширина зразка до усаджування; H – ширина зразка після усаджування.

Кожне значення ступеня усаджування отримано на базі 20-ти зразків. Вимірювання розмірів зразків проводили за допомогою цифрового вимірювального приладу Sigma digital caliper, який дозволяє визначати лінійні розміри з точністю ± 0,02 мм. Це обмежило похибку вимірювання величиною значно менше за 1%. Результати дослідження ступеню термоусадження двоосноорієнтованих полімерних плівок наведено в таблиці.

Товщина плівки, мкм	Температура, °С	$K_{ус}$, %	Розрахункова похибка за $K_{ус}$, %	$K^*_{ус}$,%	Розрахункова похибка за $K^*_{ус}$,%	$K_{ус}./ K^*_{ус}$
20	140	30	3	24	8	1,25
30	150	58	4	29	5	2
110	170	35	1,5	22	9	1,6

За умов оптимальних температур реалізації процесу термоусаджування (180^{o}С) і оптимального часу термообробки при здійсненні пакувань ступінь усаджування поліпропіленової плівки може досягати 80%. Таким чином, можна зробити висновок, що при неоптимальних умовах термоусаджування, які реалізуються на практиці, ступінь усаджування може зменшитися більш ніж вдвічі. Це суттєво погіршує якість пакувань.

Література:

1. Полимерные пленки/ Е.М. Абдель-Бари (ред.); пер. с англ.под ред. Г.Е. Замкова. – СПб.: Профессия, 2006. – 352 с.
2. *Лукач Ю. Е.* Оборудование для производства полимерных пленок/ Лукач Ю. Е., Петухов А. Д., Сенатос В. А. М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
3. *Бартеньев Г.М.* Физика и механика полимеров/ Г.М. Бартеньев, Ю.В. Зеленов. – М: Высш. шк., 1983. – 391 с.

УДК 678.01

ЗВАРЮВАННЯ ВИРОБІВ З ОРІЄНТОВАНОГО ПОЛІПРОПІЛЕНУ

СІДОРОВ Д.Е., доц., ДУДАР Ж.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Метою даної роботи є дослідження способів зварювання виробів на базі орієнтованого поліпропілену на прикладі горловини мішка поліпропіленового тканого.

Мішок поліпропіленовий тканий – спеціальний виріб, який призначений для фасування, зберігання і транспортування різних сипучих будматеріалів (наприклад: крейди, алебастру,

гіпсу, вапна, цементу, піску і ін.), сипких хімікатів, мінеральних добрив, а також для вторинної упаковки розфасованої продукції, виготовляється із поліпропіленового тканого рукава згідно до ТУ У 25.2-35105748-001:2007. Найбільш поширеним видом такої тари є мішок сахарний, що відповідає ДСТУ 3748-98.

Після упакування товаром, за класичною технологією, мішок зшивався на мішкозашивочних машинах нитками для зашивання горловини мішка.

Слід відмітити, що тканий рукав для мішка виготовляють з орієнтованої поліпропіленової стрічки із незначним вмістом влолкнообразуючих речовин, наприклад, полістиролу. Полімерною матрицею стрічки є поліпропілен – синтетичний термопластичний полімер, що належить до класу поліолефінів, одержаний полімеризацією пропілену. Він має наступні властивості: густина 0,90 г/см^3, достатньо термостійкий (починає розм'якшуватися при 140 °С, температура плавлення близько 175 °С), майже не піддається корозійному розтріскуванню. Поліпропілен є хімічно стійким матеріалом. Максимальна температура експлуатації поліпропілену 120-140 °С. Всі вироби з поліпропілену витримують кип'ятіння, і можуть піддаватися стерилізації паром [1].

Завдяки своїм споживчим і технологічним якостям поліпропілен має дуже широкий спектр застосування і займає друге місце після поліетилену по світовому випуску (20,5%).

Найбільш вигідним і надійним та найбільш часто використовуваним способом з'єднання виробів з поліпропілену є зварювання. В даний час поширено три способи зварювання поліпропілену [2]: термоконтактне зварювання, зварювання за допомогою присадкового матеріалу (наприклад, за допомогою ручного екструдера) і зварювання пістолетом з гарячим повітрям.

До теперішнього часу технологія зварювання горловини мішка тканого поліпропіленового не розроблена і не застосовується.

Досліди показали, що пряме зварювання горловини мішка у будь-який спосіб призводить до зміни надмолекулярної будови у матриці полімеру поліпропіленової стрічки, викликає дезорієнтацію макромолекул у зоні зварювання, відбувається термоусаджування орієнтованого матеріалу. В наслідок цього, в зоні зварювання утворюється область, де міцність стрічки складає біля 15% міцності основних її ділянок. Таким чином, руйнування мішка під навантаженням легко відбувається по звареній горловині.

Задача, яка вирішувалась в даній роботі це забезпечення достатньої міцності зварного з’єднання горловини при збереженні волокноподібної структури орієнтованої поліпропіленової стрічки, з якої виготовляють мішок.

Позитивного результату вдалося досягти при використанні методу зварювання з використанням присадкового матеріалу, причому температурний діапазон процесу зварювання був вибраний в межах між температурою розм’якшення і температурою плавлення поліпропілену (від 140°С до 160°С), а тривалість термообробки зони зварювання мінімізувалася від 15 до 3с. Для забезпечення термодинамічній сумісності всі матеріали належать до класу поліолефінів.

В якості присадкового матеріалу застосовувалися поліетилен низької густини і севілен. Поліетилен низької густини характеризується низькою температурою текучості (120-160°С) та широким інтервалом температур в’язкотекучого стану (більший за 50°С). Севілен ТУ 6-05-1636-97 – сополімер етилену з вінілацетатом (густина 0,945 г/см^3, адгезійна міцність не менша за 3,5 Н/мм, міцність при розтягуванні 4,9 МПа при відносної деформації до 600%, стійкість до термоокислювального старіння не менше 6 годин).

Відмічено, що руйнування зони зварювання горловини при використанні присадкового матеріалу – поліетилену низької густини відбувається по межі контакту присадкового матеріалу і матеріалу стрічки мішка. Якщо ставити за мету досягти більш надійного з’єднання у цій зоні за рахунок підвищення температури і часу термообробки, то відбувається поступова дезорієнтація макромолекул поліпропілену і втрата міцності стрічки в цій зоні.

Севілен має значно кращі адгезійні властивості, тому при його застосуванні міцність зварного з’єднання горловини вдається покращити вдвічі в порівнянням з термоконтактним

зварюванням і на 20% в порівнянні із зварюванням з присадковим матеріалом – поліетиленом низької густини.

Як відомо [3], поліпропілен не має активних поверхневих груп і є неполярним матеріалом, тому йому притаманні дуже погані адгезійні властивості. Але, за рахунок фізичної або хімічної активації поверхні поліпропіленових виробів вдається наносити на них покриття, яки добре тримаються. Подальші дослідження методів зварювання подібних виробів за допомогою присадкового матеріалу будуть направлені на вивчення впливу активації зварювальних поверхонь на якість отриманого зварного шву.

Література

1. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов / С.С.Волков. – М.: Химия, 2001. – 376 с.
2. Катаєв Р.Ф. Сварка пластмасс – Екатеринбург, 2008. – 138 с.
3. Токахаси Г. Пленки из полимеров – М.:Химия , 1971. – 152 с.

УДК 536.248.2

ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТИЧНОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ В НЕПРОЗОРИХ НАНОРІДИНАХ НА МОДЕРНІЗОВАНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ СТЕНДІ

студ. КОШЛЯК М.М., СИДОРЕНКО С.В., к.т.н., доц., ТИМОНІН О.М., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «КПІ»
КОПИЛЕНКО А.В., к.т.н., доц.
Національний університет харчових технологій
МОРАРУ В.Н., к.т.н., ст.н.с., СНІГУР О.В., н.с., КОМИШ Д.В., асп.
Інститут Газу НАН України

Розроблена і впроваджена методика визначення початку роботи установки в кризовому режимі при кипінні непрозорих нанорідин завдяки застосуванню програмного комп'юторного супроводу експериментів в реальному часі

Одним з перспективних напрямів в нанотехнології є використання нанорідин (НР), як теплоносіїв. Нанорідинами зазивають рідини, що містять наночастини в зваженому стані. НР здатні суттєво покращувати інтенсивність тепловіддачі при кипінні і, що важливо, при значеннях питомих теплових потоків близьких до критичних. Застосування таких рідин приводить до зменшення габаритів теплообмінного обладнання і покращує режимні характеристики установок в ракетобудуванні, енергетиці, на транспорті, електроніці, машинобудуванні, харчовій та хімічній промисловості і ін. Зараз у всьому світі розгорнуті широкі дослідження як їх теплофізичних властивостей так і критичного теплового потоку (КТП), який збільшується в 1,5-3 рази порівняно з традиційними теплоносіями [1, 2, 3].

При дослідженні прозорих НР настання кризи кипіння фіксується достатньо просто. Останнім часом посилився інтерес до НР на основі вуглецевих наночастин: сажа, вуглецеві нанотрубки, нанографеніт, алмазний пил та інші. Такі нанорідини не прозорі, і тому точна фіксація переходу до плівкового режиму кипіння значно складніша.

З метою визначення температури нагрівача в роботі використано залежність електричного опору нагрівача від його температури. Для цього створена комп'ютерна програма, що дозволяє фіксувати всі необхідні параметри теплообміну, включаючи значення КТП. В склад вимірювальної системи крім персонально комп'ютера входять: датчики напруги, струму та температури, нармалізатори сигналів та аналогово-цифровий перетворювач (АЦП).

Останні забезпечували як зведення всіх вимірюваних сигналів до нормованого виду, так і фільтрацію та лінеаризацію вхідних сигналів з датчиків струму та температур. Як АЦП використовувався NI6009, що має стандартний порт зв'язку з ПК. В модернізованому експериментальному стенді здійснено перехід від змінного до постійного струму, що дозволило реалізувати програмований закон зміни теплового навантаження нагрівача (при максимальному наближенні до КТП) та не допускати утворення плівкового режиму кипіння, тобто миттєвого підвищення температури нагрівача в непрозорих НР.

Для проведення досліджень були приготовані зразки нанорідин як на основі вуглецевих нанотрубок (ВНТ), нанографеніту та сажі, так і природних алюмосилікатів (аттапульгіту та монтморилоніту). Порошки ВНТ та нанографеніту були отримані на пілотних установках ІГ НАНУ. Для отримання НР на основі вуглецевих матеріалів як стабілізатора використовувались аніонні ПАР класу алкіллаурилсульфатів, а для алюмосилікатних – неорганічний диспергент класу поліфосфатів.

Встановлено, що НР на основі атапульгіту з частинками меншого розміру та з більш високою анізометрією (k=50) забезпечують більш високий приріст КТП (до 2,5-3) ніж НР на основі монтмотриллоніту (1,6-1,8 раз) при тій же об'ємній концентрації частин. Додавання до НР 0,05% диспергенту призводить до додаткового росту значення КТП в обох випадках [1].

Виявлено, що в обох НР сформовано осад з наночастин на поверхні нагрівача, що має рихлу, високорозвинену пористу структуру.

Література

1. Бондаренко Б.И. Наножидкости для энергетики: влияние стабилизации на критический тепловой поток при кипении [Текст] / Бондаренко Б.И., Морару В.Н., Сидоренко С.В., Комыш Д.В., Ховавко А.И. / международная конференция HighMatTech 3 - 7 октября 2011 г. Киев, Украина.

2. Бондаренко Б.И. Исследование наножидкостей как перспективных теплоносителей для енергетики [Текст] / Бондаренко Б.И., Морару В.Н., Сидоренко С.В., Ховавко А.И., Комыш Д.В. / международная конференция HighMatTech 3 - 7 октября 2011 г. Киев, Украина

3. B.I. Bondarenko Study of a heat transfer mechanism and critical heat flux at some nanofluids boiling [Text] / B.I. Bondarenko, V.N. Moraru, O.M. Sviatenko, A.I. Khovavko, D.G. Komysh, E.M. Panov, S.V. Sydorenko.. // Applied Surface Science, Special Issue: E-MRS 2011.

УДК 536.248.2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОРІДИН НА КРИТИЧНІ ТЕПЛОВІ ПОТОКИ ПРИ КИПІННІ В УМОВАХ ВІЛЬНОЇ КОНВЕКЦІЇ

студ. КОШЛЯК М.М., СИДОРЕНКО С.В., к.т.н., доц., ТИМОНІН О.М., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «КПІ»
МОРАРУ В.Н., к.т.н., ст.н.с., СНІГУР О.В., н.с., КОМИШ Д.В., асп., ВОЛКОВ М.В. асп.
Інститут Газу НАН України

Виявлено вплив на зростання критичних теплових потоків природи нанорідин, концентрації наночастинок, їх розмірів, присутності диспергентів.

Інтенсифікація теплообміну – одна з нагальних проблем багатьох сучасних галузей науки, техніки та промисловості (ядерна енергетика, ракетна техніка, електроніка, лазерні випромінювачі, високотемпературні плазматрони та ін). Всі вищеперераховані машини, апарати та технології не можуть функціонувати без інтенсивного відведення тепла. За останні десятиріччя в цій області досягнуті суттєві успіхи завдяки дослідженням, розробкам та

впровадженням нових процесів, апаратів та технологій (нанорідинні теплоносії в умовах кипіння, теплові труби, теплообмін в пористих структурах).

Розглядається дослідження теплообміну при кипінні нанорідин (НР). Не зважаючи на те, що перші публікації авторів, що мають відношення до цієї тематики, з'явились декілька десятків років тому назад [1,2] , продовження ними наукових досліджень в даній області відбулося відносно недавно, що пояснюється підвищеним інтересом до наноматеріалів і нанотехнологій [3-6]. В цих публікаціях представлені схеми лабораторних стендів, де здійснюється процес кипіння в основному в умовах вільної конвекції [7,8]. Всі дослідження проводились з використанням комп'ютерних технологій, що дозволяло в режимі безперервного часу, як фіксувати експериментальні дані, так і отримувати графічні залежності, за розрахованими даними (наприклад, температури нагрівача і його стінок, коефіцієнти тепловіддачі , питомі теплові потоки та ін), у відповідності до робочої програми. Як експериментальні носії використовувались: дистилят, високо очищена вода, розчини аттипультиту різної концентрації.

Залежності питомого критичного теплового потоку (КТП) від температурного напору Δt, представлені в роботах [3,4], дозволяють зробити висновок, що для НР, порівняно з водою КТП зростає (Extremely clean water - 1,4 рази; Sulfur (S) + water – 1,5 рази; Carbon black DG-100 + water +stabilizer - 2 рази; Al-Si- + d.water – від 1,5 до 2,7 для різних об'ємних концентрацій Al-Si). Виявлено зростання КТП (зокрема для аттипультиту і ін.) при зростанні концентрації наночастин в розчинах, при зменшенні їх розмірів, при додаванні до НР диспиргентів [3,9,10].

Перелік посилань

1. Чернобыльский И.И. Исследование механизма теплообмена при кипении жидкостей [Текст] / Чернобыльский И.И., Павлищев М.И., Сидоренко С.В. / Сб. Химическое машиностроение, №18, «Техніка», К., 1973.

2. Ovcharenko F.D. Stability and coagulation of aqueous ispersions of graphite in electrolyte solutions [Text] / Ovcharenko F.D., Moraru V.N., Moraru L.E. / Report 1. Effect of concentration and charge of counterions on ζ-potential and stability of graphite dispersions / Colloid Journal, 1980, v. 42, N 5, pp. 880-885.

3. B.I. Bondarenko, Study of a heat transfer mechanism and critical heat flux at some nanofluids boiling [Text] / B.I. Bondarenko, V.N. Moraru, O.M. Sviatenko, A.I. Khovavko, D.G. Komysh, E.M. Panov, S.V. Sydorenko /Applied Surface Science, Special Issue: E-MRS 2011, p.40.

4. B.I. Bondarenko, Critical heat fluxes in nanofluids based on aluminosilicates [Text] / B.I. Bondarenko, V.N. Moraru, S.V. Sydorenko, B.K. Ilienko, A.I. Khovavko, D.V. Komysh / EMRS FALL 2011, Polonia, , ps. 20.

5. Бондаренко Б.І., Заявка на винахід «Теплоносій на основі водної суспензії наночастинок» [Текст] / Бондаренко Б.І., Морару В.Н., Сидоренко С.В., Дмітрієв В. М.Ховавко О.І., Комиш Д.В., а№201104567 від 14.04.2011

6. Копиленко А.В. До випадкової природи процесу кипіння рідин [Текст] / Копиленко А.В., Тимонін О. М., Сидоренко С.В., Морару В.Н., Комиш Д.В. / Матеріали Міжнародної науково – практичної конференції "Удосконалення процесів і обладнання - запорука інноваційного розвитку харчової промисловості", 10,11.04.2012 р., К., НУХТ, 2012р., с.84-85.

7. Bondarenko B.I. Specialized Test Unit for Investigation of the Critical Heat Flux with Nanofluids Boiling [Text] / Bondarenko B.I., Moraru V.N., Sydorenko S.V., Komysh D.V./Abstracts of the Second Conference on Advances in Microfluidics and Nanofluidics (AMN) and Asian-Pacific International Symposium on Lab on Chip (APLOC), 5 – 7.01.2011, Singapore.

8. B.I. Bondarenko Specialized test unit for investigation of a critical heat flux with nanofluids boiling [Text] / B.I. Bondarenko, S.V. Sydorenko, D.G. Komysh, A.I. Khovavko, V.N. Moraru, M.V. Volkov / Abstracts of the International conference Thermec'2011 "Processing&Manufacturing of Advanced Materials", August 1-5, Quibec, Canada, p.186.

9. Бондаренко Б.И. Исследование наножидкостей как перспективных теплоносителей для енергетики [Текст] / Бондаренко Б.И., Морару В.Н., Сидоренко С.В., Ховавко А.И., Комыш Д.В. / международная конференция HighMatTech 3 - 7 октября 2011 г. Киев, Украина

10. B.I. Bondarenko The Critical Heat Flux in Some Mineral -Water Based Nanofluids [Text] / B.I. Bondarenko, S.V. Sydorenko, V.N. Moraru, D.V. Komysh / *Abstracts* of the 2nd Nanotoday Conference, Hawaii, USA, December 11-15, 2011.

УДК 662

ТОРФ'ЯНІ РОДОВИЩА – ЯК ОБ'ЄКТ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Радич Ю.В., магістрант, Шилович Т.Б., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Торф'яні родовища зустрічаються майже по всій території України, тому ресурси торфу є значним енергетичним та агрохімічним потенціалом нашої країни. Враховуючи той факт, що ми живемо в зоні активного торфоутворення, розвиток даної промисловості дуже необхідний для стабільності роботи підприємств та економіки країни в цілому.

В надрах України залягає багато корисних копалин. Це зумовлено поширенням різних тектонічних структур, які протягом тривалого геологічного часу заповнювалися гірськими породами різного походження та віку. Зокрема, торф'яні родовища зустрічаються майже по всій території Україні, за винятком приморських і південних областей. Балансові запаси торфу становлять приблизно 735 млн. т.

З усіх видів твердих палив торф є наймолодшим відкладенням, утвореним природним чином шляхом розкладання відмерлих частин дерев, чагарників, трав і мохів, в умовах підвищеної вологості і обмеженого доступу кисню [1].

Існуючі методи спалення твердого палива розрізняють за аеродинамічною взаємодією палива і повітря в топці, а саме:

- тверде паливо різного фракційного складу знаходиться в шарі, через який продувається повітря, необхідне для горіння;
- тверде паливо, попередньо подрібнене до певного розміру, підхоплюється в топці повітряним потоком і спалюється в цьому потоці повітря;
- комбінація обидвох способів;
- у зваженому шарі інертного твердого материалу або спалювання в низькотемпературному киплячому шарі.

Торф, буре, кам'яне вугілля і інші види палива, що піддаються брикетуванню, спалюють у вигляді брикетів [2].

Постійне зростання цін на традиційні енергоносії, зокрема газ, застаріле котельне господарство, екологічні проблеми - все це змушує до пошуку більш дешевих і ефективних способів отримання енергії. Одним з рішень є використання такого альтернативного джерела, як торф, запаси якого в Україні перевищують запаси рідкого і газоподібного палива. З точки зору технології видобутку торф потребує набагато менших капіталовкладень.

Ресурси торфу є значним енергетичним та агрохімічним потенціалом України. Торф може використовуватися як комунально-побутове місцеве паливо і служити джерелом сировини для інших галузей народного господарства і використовуватися у вигляді гранул (пелет), паливних брикетів, а також кусковий торф може бути використаний для газогенераторів, в заводських котельнях, на залізничному транспорті. Виготовленням брикетів здійснюється на наступних підприємствах: "Волиньторф", "Житомирторф", "Київторф", "Подольеторф", "Рівнеторф", "Сумиторф", "Чернігівторф". Торфобрикети - це міцні шматки однакової форми, отримані з фрезерного торфу шляхом його подрібнення і розсіювання. У

першу чергу торфобрикети використовуються для спалювання в міських котельнях, водонагрівальних котлах, а також для різних побутових потреб [3].

В процесі переробки торфу в торфобрикет його теплотворна здатність у багато разів підвищується і наближається до рівня кращих сортів кам'яного вугілля, при цьому є одним з найбільш доступних за ціною. Торфобрикет має досить стійкий органічний склад і вміст шкідливих домішок в ньому мінімальне. Димові гази практично не містять екологічно шкідливих речовин, а торф'яна зола - аналогічна деревної, що дозволяє використовувати її як ефективне калійне добриво.

На Чернігівщині все більшу популярність завойовує цей вид природного палива, так як область має його великі запаси (тут зосереджено 12% від загальних запасів в країні). Наприклад, державне підприємство, «Чернігівторф» збільшило з початку року виробництво альтернативного палива майже на 20% порівняно з аналогічним періодом минулого року, а Смолінський торфобрикетний завод вже найближчим часом запустить лінію з випуску нового виду палива. Використання організаціями споживання торфопродукції за останні роки зросла на Чернігівщині майже в десять разів, що щорічно приносить 1,5 млн. грн. економії державних грошей.

Отже, розвиток торф'яної промисловості в нашій країні дозволить вирішити найгостріші проблеми сьогодення:

1. Проблему застосування низькокалорійного дешевого палива.
2. Проблему утворення нових робочих місць.

Таким чином, аналізуючи можливості торфу як цінної природної сировини, можна зробити висновок про те, що відродження торф'яної промисловості веде до успішного розвитку і загального зростання економіки країни.

Література:

1. Орлёнок В.В., Курков А.А., Кучерявый П.П., Тупикин С.Н. Физическая география: Учебное пособие / Под ред. В.В. Орлёнка. Калининград, 1998. - 480 с.

2. http://www.kotel.ru/news/news_865.htm

3. Енергозбереження - пріоритетний напрямок державної політики України/ Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. ред. Шидловський А.К.- Київ: УЕЗ, 1998.- 506 с.

УДК 678.023

ЕКОЛОГІЧНО ВИГІДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ УПАКОВОК

Михальчишина Н.Ю., Ковтун А.В., студ., Шилович Т.Б., к.т.н, доц.
Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут»

Розглянуто екологічні проблеми, які виникають з утилізацією упаковки, та шляхи їх подолання

В останні часи в Україні дуже активно розвивається виробництво упаковок для харчових продуктів, швидко наздоганяючи світовий рівень. Але, разом з цим відходи харчової упаковки вносять все більш вагомий внесок у 600 млн. т відходів, які щорічно накопичуються в Україні [1]. Традиційні матеріали для упаковки удосконалюються, поєднуються з новими, полімерними, народжуючи нові багатошарові матеріали упаковки – більш сучасні та високоякісні, широко застосовуються нові наукові та технологічні досягнення з покращення властивостей матеріалів, що дозволяє зменшити товщину стінки та вагу упаковки, створюються нові конструкції тари багаторазового використання, все більшого поширення набувають біоматеріали, що розкладаються. Екологічні проблеми, які виникають з утилізацією упаковки, можна вирішувати ще на етапі вибору пакувальних матеріалів.

На етапі виготовлення упаковки постає проблема витрати енергоресурсів для її виробництва. Так, для виробництва різних видів пакувальних матеріалів, які необхідні для виготовлення 1 тис. кубічних метрів корисного об'єму упаковки, витрачається енергія, еквівалентна наступним витратам нафти, (у тонах): алюміній - 446; скло - 228; полімери -135; біла жерсть -100; картон - 34. Тобто, найменш енергоємним є виготовлення упаковки з паперу, картону, полімерів [2].

Ще один шлях – це вторинне використання відходів і ширше використання багаторазових упаковок.

Технологія утилізації простих традиційних пакувальних матеріалів добре відома: скло і метал переплавляють у нові вироби, з паперових відходів (макулатури) виготовляють різні види паперу і картону, а деревину спалюють, одержуючи теплову енергію.

Набагато складніші справи з попереднім сортуванням і утилізацією відходів полімерної упаковки, розмаїтість і загальна кількість якої постійно зростає. Існує декілька способів утилізації: вторинне використання з послідуючим виготовлення різних виробів; переробка відходів полімерів у штучне паливо; спалювання для отримання теплової та електричної енергії або гарячої води та пари; поховання на полігонах загального призначення. Останній спосіб перекладає вирішення проблеми на майбутнє, полімерам потребується у середньому 80 років [3], щоб розкластися і злитися з оточуючим середовищем. Тому розробляють новий клас полімерів для упаковки, які руйнуються під дією природних факторів за термін до 60 днів. Це екструзійні та вспінені матеріали на основі крохмалю, модифікованої целюлози, поліефіри, поліефіраміди та високомолекулярні спирти.

Висновок

Матеріали для виготовлення упаковок для харчової промисловості мають ряд переваг та недоліків. Основними недоліками різних видів упакувань є таке:

- для полімерних упаковок: довготривале саморуйнування, тим самим забруднення навколишнього середовища; необхідність утилізації;
- для скла та алюмінію: високі питомі витрати енергоресурсів при виготовленні.
- паперової упаковки: вирубка лісів, що призводить до зменшення кисню в атмосфері.

Переваги екологічно чистих матеріалів для виготовлення упаковок:

- можливість переробки відходів полімерів у штучне паливо;
- можливість утилізації з отриманням теплової та електричної енергії, або гарячої води та пари;
- висока технологічність;
- мінімальна енергоємність обумовлена тим, що температура переробки цих матеріалів складає, як правило, 150 — 250°С, що значно нижче ніж у металів та кераміки;
- практично всі процеси переробки автоматизовані.

Література

1. Соколов О.Д., Слободанюк О.М. Матеріалознавчі проблеми харчового обладнання та упаковки // Наукові праці ОДАХТ- 2001, вип.22, с.195-198.
2. Кучеренко О.А. Проблеми організації збору та переробки використаної тари і пакувальних матеріалів в Україні // Упаковка – 1997, №2, с.18–18.
3. Замотаев П.В. Полимеры, разрушающиеся под действием природных факторов // Упаковка – 1999, №4, с.34-37.

УДК 628.0.032-405.08

АПАРАТ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

Івіцький І.І., магістр, Ветрова О.В., асп., Сокольський О.Л., к.т.н., доц.
Національний Технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Розглянуто принципову схему ліній для ідентифікації і сортування технічних пластмас у масі споживчих товарів і пластмас у побутових відходах, запропоновано нову конструктивну схему виконавчих пристроїв.

Лінії для сортування відходів з пластмас різних видів являють собою систему конвеєрів, по яких проходять відокремлені один від одного вироби або шматки, що підлягають відокремленню для послідуючої вторинної переробки. Тип полімеру кожного виробу визначається датчиком, з якого подається сигнал пристрою видалення відходів заданого виду, якщо полімер є заданим для відокремлення на даній стадії. Пристрій виділення переміщує відходи з полімеру виділеного типу до приймального пристрою, який може мати вигляд бункера або конвеєра. В іншому випадку виріб або шматок проходить далі, до наступної стадії відокремлення полімеру іншого типу аналогічно описаному на попередній стадії.

В більшості сучасних конструкцій застосовується пневматичний пристрій видалення відходів заданого виду [1]. Їх недоліком є те, що пневматичний пристрій видалення відходів не завжди точно переміщує відходи на приймальний пристрій, особливо якщо вони мають неправильну конфігурацію, великий розмір або різну товщину. Процес формування команд для роботи пневматичного пристрою видалення є складними і недостатньо надійними. Внаслідок цього частина виробів потрапляє поза приймальний пристрій, що погіршує ефективність розділення і вимагає втручання людини. Якість виробів з вторинних полімерів, що містять домішки полімерів інших типів, погіршується, і вони можуть бути відбраковані.

Авторами запропоновано удосконалення конструкції шляхом заміни пневматичного пристрою видалення відходів механічним, який складається з роликів, споряджених індивідуальними приводами їх обертання і вертикального переміщення, що дає можливість підвищити точність переміщення виділених відходів до приймального пристрою. Завдяки такому виконанню пристрою видалення, процес переміщення заданих виробів або шматків стає більш надійним та гнучким, залежно від їх розмірів і форми. Це збільшує імовірність точного переміщення виділених відходів до приймального пристрою.

Запропонований апарат для сортування відходів (рис. 1) містить конвеєри 1 та 2, датчик типу матеріалу 3, пристрій видалення, що складається з роликів 4, приводів їх обертання 5 і вертикального переміщення 6, та приймальний пристрій 7.

Апарат працює таким чином. По конвеєру 1 проходять відокремлені один від одного шматки вторинних полімерних виробів різних типів 8 та 9, що підлягають відокремленню. Тип полімеру кожного шматка 8 - 9 та його довжина визначається датчиком 3. З датчика 3 подається сигнал на приводи 5 та 6 роликів 4 пристрою видалення відходів заданого виду. Якщо полімер у шматку 8 є заданим для відокремлення на даній стадії, ролики 4 в кількості, відповідній довжині шматка 8, за допомогою приводів 6 опускаються, продовжуючи обертання за рахунок приводів обертання 5, і переміщують відходи з полімеру виділеного типу 8 до приймального пристрою 7. По проходженні шматка 8 по ролику 4 він повертається у попереднє положення. Якщо шматок містить полімер іншого типу, сигнал від датчика 3 не подається, і шматок 9 проходить на наступний конвеєр 2 та далі, до наступної стадії відокремлення.

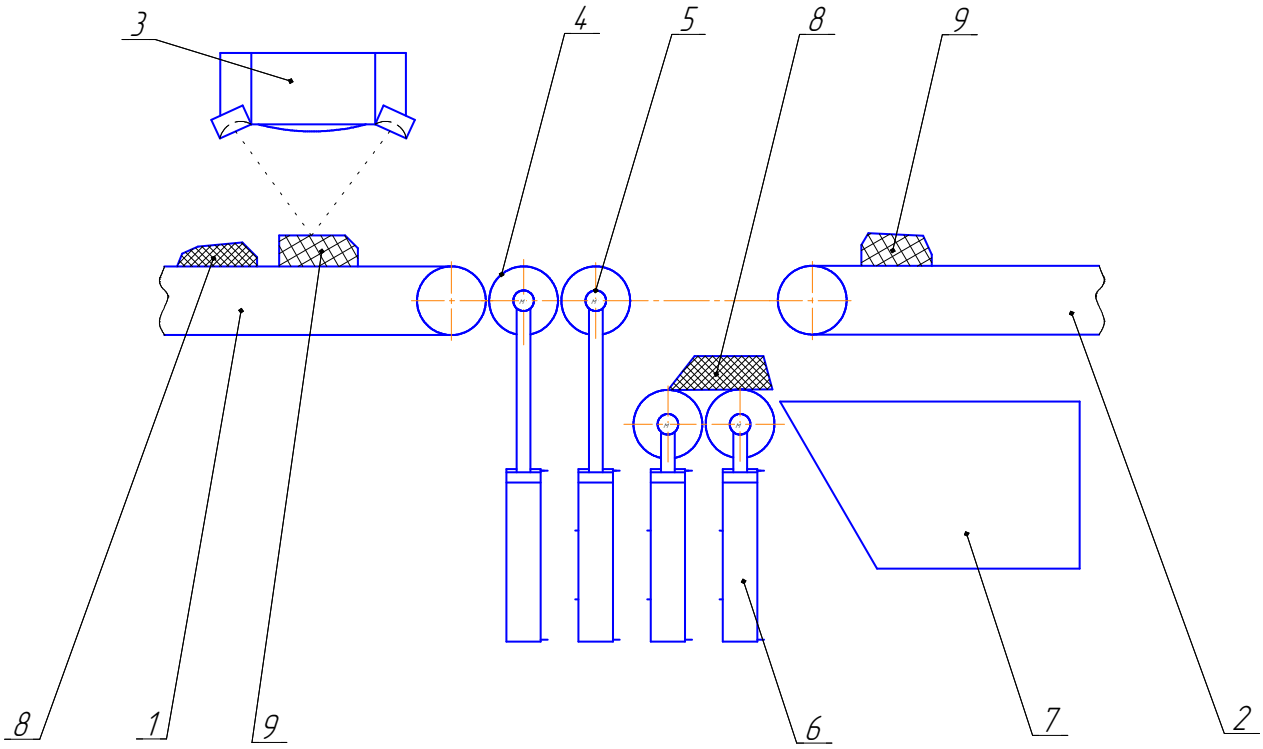


Рис. 1. Схема апарата для сортування відходів (пояснення в тексті)

Вдосконалена конструктивна схема була захищена патентом на корисну модель [2].

Використання запропонованої конструкції дозволить збільшити ефективність розділення полімерів різних типів і покращити якість виробів з вторинної полімерної сировини.

Література

1. Patent US 6313422B1, B07C 5/342, 06.11.2001. Apparatus for sorting waste materials.
2. Апарат для сортування відходів [Текст]: Патент № 59188 Україна, МПК B07C 5/00 / Сокольський О.Л., Івіцький І.І. – опубл. 10.05.2011, Бюл. №9 – 2с.

УДК 556.1:556.3 (571.56)

СОРТУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ГІДРАВЛІЧНОЇ СЕПАРАЦІЇ

Арсенюк О. М., магістр, Коваленко І.В., к.т.н., доцент
Національний Технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Забруднення навколишнього середовища є гострою проблемою сучасності, тому її вирішення є одним з найголовніших завдань нинішнього покоління. В цій статті описується один зі способів покращення стану екології— сортування сміття методом гідросепарації; приводяться приклади діючих проектів, а також позитивні сторони технології.

На даний час існує гостра проблема в усьому світі, і зокрема в Україні, сортування та переробки полімерних матеріалів та сміття. У багатьох країнах світу цю проблему намагаються вирішити методом гідросепарації. Гідросепарація— новий метод переробки сміття нетоксичних відходів [2]. Дана технологія є запатентованим винаходом компанії «ArrowEcology», яка впроваджена на заводі в Ізраїлі. Перший завод по переробці сміття методом гідросепарації був побудований в 2003 році, який також є науково-дослідним центром. Окрім цього, існує

аналогічний завод в Австралії (Сідней) [1] з продуктивністю 300 т/добу, і закінчується будівництво для переробки 450 т/добу.

На даний момент будується 16 різних проектів у всьому світі — в Мексиці, Словенії, Польщі, Італії, Іспанії, Литві і т.д. На жаль, в Україні не існує таких заводів і навіть проектів. Хоча у наших сусідів, в Росії, планується заміна сміттєспалювальних заводів на заводи із застосуванням гідравлічної сепарації.

Будівництво виробництва переробки сміття методом гідросепарації дешевше в 1,5 рази, а термін експлуатації більший у 2,5 рази, ніж сміттєспалювального заводу.

У процесі переробки тверді побутові відходи проходять дві стадії — сухе сортування, а потім гідравлічне, на яку направляються дрібні фракції і органічна маса. У першому резервуарі проходить відділення паперу, картону і металів, у іншому — полімерної маси і іншого сміття. Біорозкладні харчові відходи, що залишилися після сепарації, направляються на зброджування, при якому виробляється біогаз.

Метод гідросепарації сміття [1] представляє собою процес очищення і відділення матеріалів, придатних до вторинної переробки, і унікальний біотехнічний метод, дозволяючий отримувати біогаз (метан і CO_2), добриво (компост) і воду. Базою процесу є гідромеханічні властивості.

Перевага технології полягає у тому, що з отриманої вторсировини можна буде виробляти товарну продукцію, а отриманий з біорозкладної частини відходів газ іде на виробництво енергії.

Ще однією перевагою цього методу є відсутність на підприємствах по гідросепарації сміття неприємного запаху або інших забруднень повітря і землі, а також відсутність необхідності в попередньому сортуванні відходів.

При застосуванні методу гідросепарації вода проходить систему фільтрації і циркулює по замкнутому колу, що знижує споживання енергії [2].

На заводі потужністю 300 т/добу можуть працювати тільки 20 чоловік [1], включаючи керівництво.

Гідросепарація, в основному, складається з 3-х етапів :

1) видалення важких металів;
2) гідромеханічний шредер — це складний багатофункціональний механізм. Його функції: розділити на складові відходи, відділити крупні і дрібні фракції за допомогою барабанів з отворами, що крутяться, відділити металічні і алюмінієві складові за допомогою магнітів;
3) переробка.

Наприклад, в Ізраїлі на заводі «ArrowEcology» (200 т/добу) виробляється 1-2 МВт електроенергії за годину, 50% може продаватися в електромережу.

Література

1. Інтерв 'ю Андрія Лопатухина, старшого економічного консультанта Консалтингової Компанії ALECON, яка представляє в СНД ізраїльського виробника заводів по гідро сепарації ТПВ компанію "ArrowEcology".(www.new-garbage.com)
2. Плетнев М.Ю. Рисайклинг как ключевой элемент современной системы сбора и переработки твердых бытовых отходов//http: //www.greenpeace.org/russia/ru/press/reports//

УДК 678.057

ДЕФЕКТИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТАРИ З ПЕТФ ТА МЕТОДИ ЇХ УСУНЕННЯ

ПРИСТАЙЛОВ С. О., доц., ВЛАСЮК С.О.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ

У данній статті розкривається спектр важливих питань, що пов'язані з процессом виготовлення ПЕТФ-тари. Найважливішою тут є стадія нагріву із великою кількістю спостережуваних дефектів.

Підвищення ефективності полімерних технологій є важливим науково-технічним та практичним завданням внаслідок їх широкого розповсюдження у наш час. Тому є актуальною задача оптимізації термічних режимів у виробництві полімерних виробів за критеріями якості та продуктивності.

Процесс виготовлення преформ є багатостадійним [1], однак найвідповідальнішим етапом по праву вважають етап нагрівання (термоформування), так як на цій стадії спостерігається найбільша кількість дефектів у циклі. Це, як правило, пов'язано із підвищенним вмістом вологи у матеріалі, що подається.

Перед тим, як преформи (рис. 1) подаються в секцію нагріву, вони ще на подаючій спіралі проходять перевірку автоматичної станції контролю якості [2]. Перевіряються горлечко, надалі призначене для закупорювання кришкою, і поперечний переріз преформи. На цій стадії відбраковуються преформи з дефектним шийкою або що продемонстрували недостатню овальність. В процесі нагрівання в типовій SBM-машині преформи, надіті на спеціальні стрижні, слідують через інфрачервону камеру нагріву, в якій набувають температуру, необхідну для розтягування та видування.

Преформи послідовно проходять через ряд нагрівальних блоків, що складаються з інфрачервоних нагрівачів з рефлекторними пластинами, що запобігають нагрів певних ділянок преформи. Це особливо важливо, оскільки, незважаючи на те, що нагрівається вся преформа окрім шийки, в процесі видування потрібно, щоб різні зони преформи мали різну температуру. Тільки в такому разі пляшка вийде такою, як заплановано. Розмір і форма видуває пляшки є чинниками, що визначають так званий температурний профіль, тобто температурний режим для окремих ділянок преформи в процесі її перетворення в пляшку.

Рис. 1. Преформи з ПЕТФ

Виробники обладнання повинні забезпечувати достатню гнучкість установок температурного режиму з тим, щоб на виході забезпечувалося найкращу якість пляшки [3]. Для варіювання температурного профілю кожен нагрівальний блок, що входить до складу нагрівальної камери, оснащений дев'ятьма окремими розташованими вертикально один над одним нагрівальними елементами, які нагрівають різні ділянки преформи.

Ступінь їх нагріву регулюється незалежно один від одного з контрольної панелі, що дозволяє оператору не тільки задавати той чи інший температурний профіль, але і також поступово, з проходженням преформи по зоні нагріву, підвищувати температуру. Ділянка преформи, прилеглий до шийки, часто вимагає для нагріву до необхідної температури більше тепла, ніж інші ділянки. Таким чином, елементи, "відповідальні" за цю зону, повинні бути могутніше і численніше. Уже повністю сформованное на стадії виготовлення преформи горлечко захищається від нагріву екраном з водяним охолодженням. Число нагрівальних блоків і швидкість проходження преформи через камеру нагріву залежить від кількості видувних форм в машині і від ваги нагріваються преформ.

Оскільки ПЕТФ погано проводить тепло, необхідно охолоджувати зовнішню поверхню преформи, коли вона знаходиться між нагрівальними блоками камери нагріву. В іншому випадку поверхня перегрілася б, що може привести до небажаної кристалізації. Це проміжне охолоджування здійснюється за допомогою повітряних насосів, розташованих між кожними нагрівальними блоками. Таким чином, з одного боку, преформа поступово піддається нагріванню, а з іншого, її поверхня постійно охолоджується.

Для оптимізації якості та продуктивності у виробництві полімерних виробів пропонується вдосконалити існуючі методи регулюванння та налаштування режимів роботи відповідних напівавтоматів, що забезпечують підняття якості управління термічними процесами розігріву полімерних заготовок. Також виявити найбільш проблемні моменти при формуванні тари з полімерних матеріалів, запропонувати методи, що сприятимуть зменшенню дефектів при виготовленні тари з полімерів, приділяючи особливу увагу матеріалам з ПЕТФ (що є найбіш поширеним матеріалом для виготовленя тари).

Література:

1. Лиття пластмас під тиском / Под ред. Т. Оссвальда, Л.-Ш. Тунга, П. Дж. Гременна. Пер з англ. під ред. Е. Л. Калінчева. - СПб: Професія, 2006. - 712 с.
2. Калінчев Е. Л., Калінчева Е. І., Саковцева М. Б. Устаткування для лиття пластмас під тиском: Розрахунок і конструювання. - М: Машинобудування, 1985 .. - 256 с.
3. Ершов Л.А., Листков В.М., Мнацаканов С.С. Литье под давлением изделий сложной формы из наполненного полиэтилена. –Л.: ЛДНТП, 1979. 20 с.

УДК 678.057

СУШІННЯ ЯК ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ТАРИ З ПЕТФ

ВЛАСЮК С.О., ПРИСТАЙЛОВ С. О., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ

Дана стаття розглядає сушіння як уразливу стадію при виготовленні ПЕТФ-тари, де основним моментом є зайва волога у заготовках, що має свої негативні наслідки для преформи.

У багатостадійному процессі виготовлення тари з ПЕТФ велика кількість дефектів виникає у зв’язку з неправильно підібраним режимом сушіння матерілу, що має свій вплив і на стадію охолодження [1]. Згодом у матеріалі можуть виникнути певні негативні наслідки: утворення пухирців, шороховатої або матової поверхні, термодеструкція і т. д.

Каталізатором термодеструкції є вода. Причому при деструкції ПЕТФ знову виділяється вода. Доведено, що, для того, щоб уникнути термодеструкції, ПЕТФ необхідно висушувати до вмісту вологи, меншого 0,003 - 0,004 %. Такий низький вміст вологи недосяжний при звичайних прийомах сушіння полімерів, наприклад в сушильних шафах (рис. 1).

Матеріал піддається гідролізу навіть при наявності в повітрі вологості при температурі вище точки плавлення, тому перед пластикацією ПЕТФ необхідно сушити до зменшення вмісту вологи принаймні до 0,02 % [2].

Важливо пам’ятати про те, що загальний ступінь розтягування преформи при виробництві пляшок близько десяти (твір ступеня розтягування вздовж і поперек осі). Це означає, що будь-який дефект, який має преформа (пляма, подряпина, облой в місцях стикування формотворчих частин тощо), переходять на пляшку в десятикратному масштабі. Тому міжнародні стандарти суворо регламентують вимоги до якості поверхні і мікродефектами преформ [3]. Не повинно бути видимих оку включень, непроплавов, подряпин. Утворений при литті облой обламується при укладанні преформ і під дією електростатичних сил прилипає до поверхні преформи, а потім, подплавляя при видуве пляшки, спотворює поверхню виробу. Тому величина облоя повинна бути мінімальною. Для того щоб ці вимоги виконати, необхідно виготовляти прес-форми з високими розмірної точністю і якістю поверхонь.

Рис. 1. Сушильна шафа для ПЕТФ

Рис. 2. Агрегат для сушіння ПЕТФ

Пропонується використовувати спеціальні агрегати (рис. 2) для сушіння ПЕТФ. Пристрій їх роботи наступний: сировина засмоктується з мішка вакуумним завантажувачем. Завантажувач має власне дозуючий пристрій, за допомогою якого гранули ПЕТФ порційно подаються в бункер таким чином, щоб він був завжди заповнений сировиною. Сировина переміщається в бункері зверху вниз так, щоб під час перебування кожної порції в бункері було не менше чотирьох годин. Знизу в бункер через вихідне сопло подається підігріте нагрівачем повітря. Відібравши вологу від сировини, повітря через фільтр і холодильник потрапляє в адсорбер-осушувач і потім знову в бункер. Адсорберів два. Коли один працює, другий генерується. У робочому контурі датчики безперервно вимірюють ступінь сухості повітря - точку роси. Перевищення допустимого значення точки роси є сигналом того, що робочий адсорбер пересичений, заслінки автоматично перемикаються, і роль адсорберів змінюється.

Література:

1. Лиття пластмас під тиском / Под ред. Т. Оссвальда, Л.-Ш. Тунга, П. Дж. Гременна. Пер з англ. під ред. Е. Л. Калінчева. - СПб: Професія, 2006. - 712 с.

2. Калінчев Е. Л., Калінчева Е. І., Саковцева М. Б. Устаткування для лиття пластмас під тиском: Розрахунок і конструювання. - М: Машинобудування, 1985 .. - 256 с.
3. Ершов Л.А., Листков В.М., Мнацаканов С.С. Литье под давлением изделий сложной формы из наполненного полиэтилена. –Л.: ЛДНТП, 1979. 20 с.

УДК 678.057

ДЕФЕКТИ ТАРИ З ПЕТФ ЯК ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА УКРАЇНСЬКИЙ РИНОК ПРЕФОРМ

ПРИСТАЙЛОВ С. О., доц., ВЛАСЮК С.О.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ

В рамках цієї статті будуть проаналізовані основні фактори, що мають безпосередній вплив на ринок ПЕТФ-преформ, а також розглянуто дефекти преформ як один із таких факторів.

Серед сучасних видів упаковки для харчової промисловості ПЕТФ-тара займає вигідне місце. Можливість застосування ефектного та яскравого дизайну, легкість і зручність використання дозволило їй зайняти провідну позицію в багатьох областях харчової промисловості.

Активний розвиток вітчизняного ринку харчової продукції, особливо пивних, безалкогольних напоїв і мінеральних вод, дозволяє впевнено говорити про високий попит на ПЕТФ-тару і, відповідно, ПЕТФ-преформи у найближчі кілька років. Незважаючи на зниження приросту обсягів споживання, в цілому зростання обсягу споживання ПЕТФ-преформ продовжується. Стабільна тенденція зростання попиту на ПЕТФ-тару спостерігається і в інших країнах. Багато в чому це пов'язано з останніми удосконаленнями у виготовленні ПЕТФ-тари [1]. По-перше, використання при її виготовленні деяких добавок дозволяє гарантувати збереження харчових продуктів від дії ультрафіолету і будь-якої взаємодії з самою ПЕТФ-тарою. По-друге, сучасна ПЕТФ-тара може використовуватися для розливу лікеро-горілчаної продукції, слабоалкогольних напоїв, соків, молочної продукції. По-третє, вона дозволяє з найменшими витратами створювати ексклюзивну упаковку, що стало особливо важливим для багатьох вітчизняних брендів. Все це в комплексі з іншими позитивними сторонами ПЕТФ-тари спонукає виробників віддавати перевагу саме їй. В недалекому майбутньому, звичайно, можна очікувати нових областей застосування ПЕТФ-тари [2], що спричинить подальше зростання обсягу її споживання.

В цілому розвиток вітчизняного ринку ПЕТФ-преформ знаходиться під впливом двох факторів. Перший і головний - відсутність власної бази з випуску ПЕТФ-грануляту, з якого, власне, і випускають преформи. Він імпортується, головним чином, з країн Європи та Азії. На думку експертів, в найближчі 5-10 років виробники первинного грануляту в нашій країні не з'являться. По-друге, випуск преформ - заняття не з дешевих (одна нова ливарна машина (рис. 1) з усіма комплектуючими та прес-формами може коштувати близько півмільйона доларів), хоча і досить прибуткове. Але навіть це не зупиняє наших підприємців в освоєнні ринку ПЕТФ-тари. Так, якщо в 2000-2002 рр.. основна частина ПЕТФ-тари імпортувалася в Україну, то вже в наступні роки вона, можна сказати, стала вітчизняним продуктом. Вже у 2006 р. обсяг імпорту знизився майже втричі (на 60,4%), а «зниклу» частину преформ почали випускати на внутрішньому ринку. У той же час, з 2008 р. спостерігалося нове підвищення імпорту.

Встановленню тісних зв’язків із імпортерами готових преформ сприяє не лише ретельна перевірка часом, але і у першу чергу якість товару, що постачається. Важливим моментом тут виступає широкий спектр дефектів, які можна спостерігати у продукції: різного роду недоливи матеріалу, пухирці, пошкодження, тріщини, короблення і т.д.; мутність, сріблястість поверхні

та інше. Важливо пам’ятати, що вже на стадії роздуву преформ величина кожного із дефектів зростає у рази. Все це має суттєвий вплив на ставлення виробника і формування його поглядів щодо ринку ПЕФТ-тари.

Основною країною-імпортером в Україну готових ПЕТФ-преформ була, є і, мабуть, ще довгий час буде Литва. Саме тут знаходиться один з найбільших європейських виробників ПЕТФ-преформ - «Нямуно Банга. Серед інших країн-імпортерів ПЕТФ-тари слід відзначити Росію, Швейцарію, Великобританію та Білорусь, що значно збільшили обсяги поставок в нашу країну. Враховуючи все більш інтенсивний розвиток вітчизняного виробництва, можна очікувати подальшого зниження обсягів імпорту ПЕТФ-преформ (за умови розширення асортименту вітчизняних фірм).

Рис. 1. Литтєва машина NETSTAL HP-3500 для ПЕТ-преформ із формою на 48 гнізд

Більшість вітчизняних споживачів ПЕТФ-преформ цілком влаштовує якість і асортиментна глибина ПЕТФ-продукції, виробленої в нашій країні. А значить, відпадають такі тяжкі моменти, як розмитнення вантажу, доставка, низька ймовірність швидкого виконання поставки і т.д. Ринок ПЕТФ-тари, особливо для маслопереробного та окремих напрямів харчової промисловості, ще не повністю охоплений вітчизняними виробниками.

Вітчизняні споживачі ПЕТФ-преформ довіряють якості української продукції, яка має до того ж прийнятну ціну. Власне, девіз «Купуйте українське!" цілком виправдовує себе, взяти хоча б експорт ПЕТФ-преформ. За останні чотири роки його обсяг збільшився майже в три рази: з 101 млн шт. в 2008 р. до 316 млн шт. в 2011 р. Таким чином, загальний темп приросту склав 210,4%. Експортуються в основному ПЕТФ-преформи масою 38-49 гр. для харчової промисловості.

Література:

1. О. Сабсай Тара і упаковка, 2011, № 42, с. 32 - 33
2. Барвінський І.А., Барвінська І.Є. Полімерні матеріали. 2011 рік. № 1. С. 42-43, № 2. С. 32-33.

УДК 621.789

ПАКУВАННЯ В МОДИФІКОВАНОМУ ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Слісаренко І.В., Сокольський О.Л., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Розглянуто переваги та недоліки технології пакування в модифікованому газовому середовищі. Запропоновані шляхи удосконалення даної технології та вимоги до матеріалу і складу газової суміші при пакуванні в модифікованому газовому середовищі.

Активний науково-технічний прогрес минулого століття привів до збільшення товарообігу між країнами. Це стимулював розвиток технологій продовження строків придатності продуктів харчування. На певному етапі розвитку глобального ринку революційними розробками стали технології консервування й заморожування. Однак завдання збереження свіжості продуктів і максимально можливої кількості природних вітамінів і нутрієнтів у них, звівши до мінімуму або повністю виключивши зі складу продукту консерванти, привело до плідних експериментів по створенню модифікованого газового середовища(МГС) усередині впакування [1].

Суть технології пакування у модифікованому газовому середовищі полягає в тому, щоб із пакування видалити атмосферне повітря і наповнити внутрішнє середовище упаковки газовою сумішшю. Найбільш часто для цього використовують азот, вуглекислий газ а також їх суміш у поєднанні з відповідною концентрацією кисню. Газоподібні суміші можуть зв'язуватись з окремими складовими харчових продуктів, набуваючи стійкості до кисню повітря або мікроорганізмів. Вуглекислий газ вважається біостатичною сполукою проти багатьох гнилісних бактерій. Азот використовують як розчинник газової суміші для витіснення кисню із упаковки. Він погано розчиняється у воді, жирі, не має прямої бактеріостатичної дії. Найчастіше його використовують для пакування сухих продуктів. Цей інертний газ запобігає стисканню упакування, зберігає внутрішній об’єм. Діоксид вуглецю є бактеріостатичним компонентом, зменшує ріст аеробних бактерій, які можуть розвиватися й у безкисневому середовищі, легко розчиняється у воді та жирах. Кисень зберігає свіжість та натуральний колір свіжого м’яса й риби, форму міоглобіну (забезпечує процес «дихання» на клітинному рівні), зменшує ріст анаеробних організмів в деяких видах риб та овочів тощо.

Правильно підібрані газові суміші сповільнюють деградаційні процеси, які відбуваються в продукті, та дають можливість зберегти його зовнішній вигляд. Відмова від консервантів у готовій продукції гарантує привабливість для споживача зовнішнього вигляду продукції та забезпечує імідж компанії-виробника.

Підбір газового середовища поєднується з природою продукту і обирається індивідуально у кожному випадку. Правильно підібрані пакувальні матеріали дозволяють вільно пропускати ззовні надлишок вуглекислого газу і одночасно захищати товар від проникнення водяної пари і кисню.

Температурний режим є одним з найбільш важливих факторів, що прямо впливають на строки зберігання харчового товару. За винятком невеликого числа продуктів, наприклад, таких як хлібобулочні вироби або сушені продукти, більшість виробів, що впаковуються в МГС, зберігають свої свіжість і безпека в припустимому температурному діапазоні 0-5°С. Оптимальна температура зберігання встановлюється для кожного виду продукту індивідуально, але правила дотримання температурного режиму на етапах «від цеху до побутового холодильника» – обов’язкові до виконання. Також температура впливає на проникність полімерних плівок, використовуваних для впаковування в МГС. У цілому їхня проникність збільшується з ростом температури. Тому при порушенні температурних умов зберігання продукції ті строки, які заявлені виробником, можуть значно скоротитися вже на полиці магазину.

На термін зберігання упакованих продуктів з модифікованим газовим середовищем також суттєво впливають об'єм вільного простору всередині упаковки, водо-, газопроникність

пакувального матеріалу, форма і нейтральність упаковки. Для продуктів, які дихають, проникність пакувального матеріалу визначає стабільність газового складу в упаковці. Цей матеріал повинен мати відповідну киснепроникність з таким розрахунком, щоб упакований продукт не зміг піддатись анаеробному зараженню і псуванню. Разом з тим швидкість проникнення молекул кисню всередину упаковки повинна бути такою, щоб концентрація кисню в упаковці була значно нижчою за атмосферну.

Форма і розміри упаковки повинні забезпечувати максимальний контакт газового середовища з продуктом, що, у свою чергу гарантує рівномірну розчинність газів у продукті і збільшує термін його зберігання. Ефективність пакування продуктів з модифікованим газовим середовищем помітно зменшується з підвищенням температури, оскільки розчинність газів у них різко знижується. У продуктів, які дихають, таке збільшення прискорює процес газообміну і відповідно зменшує термін зберігання. Модифіковане газове середовище передбачає також регулювання газового складу, завдяки якому сповільнюються біохімічні процеси у харчових продуктах, підтримуючи їх мікрофлору на необхідному рівні. Процес пакування продуктів у пакети з модифікованим газовим середовищем може здійснюватися кількома способами:

- вакуумування з наступним заповненням суміші газів;
- застосування плівкових матеріалів із вибірковою проникністю;
- використання інтерактивних неїстівних компонентів усередині упаковки.

Ефективність двох останніх методів залежить від ступеня взаємодії з продуктом, проникності плівки, співвідношення вмісту кисню, вуглекислого газу, а також наявності водопоглиначів.

Матеріалами для упаковки в МГС служать ПП або ОПП/ПЕТ (для виготовлення лотків), ПАН, ПВХ і ПВДХ, багатошарові матеріали на основі ПЕВТ з ЕВА або ПВДХ, а також металізовані плівки.

В таблиці 1 наведені дані використання газового середовища для пакування різних продуктів харчування і терміни їх зберігання.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика термінів зберігання продуктів у модифікованій атмосфері

Продукт	Газова суміш,%	Об'єм газу мл/вага продукту, г	термін зберігання		Температура зберігання, °С
			з повітрям	з МГС	
Сире м'ясо	80 O_2+20 CO_2	100-200/100	2-4дні	5-8 днів	2-3
Птиця	50-80CO_2+ 20-50N_2	100-200/100	7 днів	16-21 день	2-3
Ковбаса	20CO_2+80N_2	50-100/100	2-4 дні	4-5 тижнів	4-6
Жирна риба	60-70CO_2+ 30-40N_2	200-300/100	3-5 днів	5-9 днів	0-3
Готова рибна продукція	20CO_2+80N_2	50-100/100	2-4 дні	4-5 днів	0-3
Твердий сир(нарізка)	80-90CO_2+ 10-20N_2	50-100/100	2-3 тижні	4-10 тижнів	4-6
Печений хліб	80-100CO_2+ 0-20 N_2	50-100/100	5 днів	20 днів	20-25

Технологія пакування в модифікованій атмосфері має явні переваги перед вакуумною і термоформувальною:

1. Значно більший термін зберігання продукції.
2. Висока продуктивність обладнання та його гнучке переналагодження на різні типорозміри продукції.
3. Порівняно низька собівартість пакувального матеріалу.
4. При пакуванні продукція не деформується і не змінює свого кольору при зберіганні.

5. Можливість часткового або повного виключення консервантів.
6. Збільшення терміну придатності продуктів призводить до спрощення логістики і вартості транспортування.

В основі технології – три взаємопов'язаних компоненти: газова суміш, пакувальний матеріал з високими бар'єрними властивостями і пакувальна машина.

Застосовування даної технології дає можливість значно розширити асортимент пакованої продукції, яка може взагалі не зберігатись у вакуумі або зберігатиметься не достатньо довго і втратить товарний вигляд. В якості пакувального матеріалу використовують багатошарові плівки з високими бар'єрними властивостями, які здатні забезпечити дотримання високих гігієнічних норм, завдяки чому суттєво підвищити споживчі якості упаковки. Важливим фактором є можливість нанесення на пакувальний матеріал логотипу виробника та інформації про продукцію.

При застосуванні технології пакування в модифікованій газовій атмосфері є певні труднощі з якими доводиться стикатись: необхідність отримання абсолютно герметичного шва зварювання бар'єрних полімерних матеріалів.

Завдяки своїм перевагам дана технологія швидкими темпами поширюється в Європі та за її межами і є найбільш перспективним рішенням при пакуванні м'ясної, ковбасної, рибної продукції а також сиру [2]. Не дивлячись на те, що метод модифікованого газового середовища має великі переваги, необхідно пам'ятати і про обмеження в його застосуванні. Важливо врахувати, що видалення кисню з внутрішнього середовища упаковки перешкоджає розвитку тільки аеробних бактерій, а тим часом для багатьох інших, в тому числі небезпечних для людини бактерій, таких як Clostridium, Campylobacter, Listeria monocytogenes, це аеробне середовище навпаки є дуже сприятливим. Для попередження їх масового розмноження необхідно дотримуватись оптимального режиму температур, кислотності середовища і вологості. Окрім того використання технології пакування в специфічне газове середовище може викликати у продуктів специфічний присмак [3]. Таким чином, технологія пакування в МГС потребує подальшого проведення теоретичних і експериментальних досліджень для підвищення її ефективності.

Не вдаючись у подробиці, коротко переваги впакування із МГС для виробника, продавця й споживача наступні:

- свіжі продукти із пролонгованими строками зберігання;
- зменшення частоти завантажень торговельних полиць і більш ощадливе використання полочних місць;
- поліпшений зовнішній вигляд упакованого товару;
- скорочення виробничих витрат за рахунок більш ефективного використання робочої сили, устаткування й площ.

Серед недоліків, у першу чергу, слід зазначити ті фактори, які на сьогодні є для українських підприємств основними причинами відмов від впровадження технології МГС. Усі ці фактори лежать у площині фінансування проекту:

- високі початкові витрати на покупку встаткування,
- підготовку кадрів і оснащення виробничих цехів;
- операційні витрати на суміші харчових газів,
- упакування й/або пакувальні матеріали;
- збільшення витрат на логістику для організації безперервності холодильного ланцюги.

Література

1. «Світ упаковки» №5 (75). – 2010.
2. Гавва А.Н., Марченко Н.Б., Мегедь Д.А., Крищук В.Ю. Вакуумное упаковывание // Упаковка. - 2001.- №4.- с.36-38.
3. Сирохман І. В., Завгородня В. М. Товарознавство пакувальних матеріалів і тари: Підручник, 2 видання. – Київ: «Центр учбової літератури», 2009.

УДК 628.0.032-405.08

СУЧАСНІ МЕТОДИ СОРТУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

Потебня Н.В., магістр, Ветрова О.В., асп., Коваленко І.В., к.т.н.,доцент
Національний Технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Розглянуто системи та методи аналізу для ідентифікації технічних пластмас у масі споживчих товарів і пластмас у побутових відходах, обгрунтовано вибір найбільш доцільних для вітчизняних умов.

Стан ринку вторинних полімерів України потребує суттєвого втручання з боку науковців – з мметою покращення систем збору та сортування полімерних відходів від загальної маси сміття.

За останні роки питання ресурсозбереження та ефективного використання вторинних ресурсів широко розглядається й аналізується у монографічній і періодичній літературі. Проблематика досліджень цієї сфери завжди була у колі особливої уваги таких вітчизняних учених, як С. Бєляєва, Р. Берлінг, Г. Виговська, Т. Галушкіна, О. Губанова, Н. Зіновчук, О. Кашенко, В. Кислий, Л. Мельник, О. Оксанич, Ю. Стадницький, С. Харічков та ін [1, 3]. Однак питання стосовно удосконалення системи поводження з відходами потребують більш детального розгляду.

Необхідність вивчення зарубіжного досвіду використання вторинних ресурсів і впровадження його вітчизняними підприємствами зумовили проведення відповідного аналізу сучасних найбільш поширених методів сортування полімерів за кордоном.

Так як макроскопічні фізичні методи, наприклад, вимірювання об’ємної густини, не є достатніми для виокремлення полімерів, для ідентифікації необхідно використовувати методи моніторингу структурних або молекулярних властивостей пластиків.

Тому для переробки вторинних полімерів повинна бути розроблена система розбирання і ідентифікації частинок цих пакувань. Завданням науковців є розробити методи аналізу і ідентифікації полімерних включень для повторного використання полімерних матеріалів і зведення до мінімуму кількісті хімічних відходів[8].

Наведемо основні існуючих сучасні оптичні методи сортування пластиків.

Інфрачервона спектроскопія

Метод ближньої інфрачервоної (ІЧ) області спектра дозволяє контролювати структурні або молекулярні властивості досліджуваних пластмас. У у ІСТ (Хіміко-технологічний інститут м.Фраухофер) широко вивчають застосування методу ближньої інфрачервоної спектроскопії для ідентифікації полімерів. Представлена спектровимірювальна система застосовує оптоволокно, що поглинає і відображає вимірювання, акустооптичний фільтр і систему передачі данних[9].

Такий пристрій здатний виявляти 1000 спектрів/сек й ідентифікувати до 20 штук /сек.

У ближній інфрачервоній області спектра (від 700 до 2500 нм) молекули поглинають світло обертоном чи комбінацією коливань. Можна здійснювати запис величин данних спектра дослідних зразків, які представляють практичний інтерес у процесах вторпереробки. Зв’язки С-Н, О-Н, N-Н і С-О, що ми бачимо у ІЧ спектрі (див. рис.1) характерні для полімерів і таким чином можна здійснити ідентифікацію основних пластиків, що широко використовуються[8, 9].

У ІСТ для цієї мети був розроблений спектрометр швидкого сканування AOTF-ІК. Швидкість сканування спектрометра може досягати 1000 нм/мс, час затримки 0,01 мс між двома скануваннями. Більше 100 спектрів може бути збережено у пам’яті пристрою. На більш низьких швидкостях сканування довжина хвиль може досягати від 2 до 3 нм[9].

Було розроблено дві системи аналізу для ідентифікації технічних пластмас у масі споживчих товарів і пластмас у побутових відходах (пляшки, чашки і т.д.).

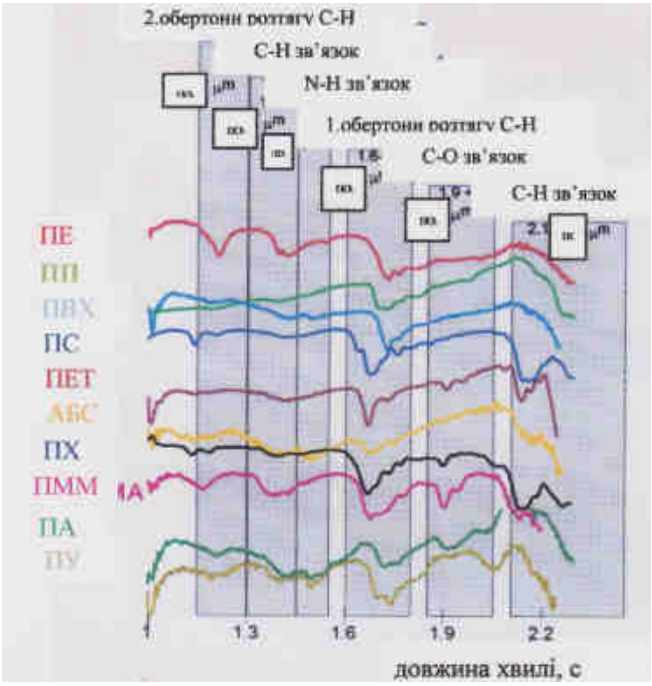


Рис. 1 – Діаграма розподілу спектральних хвиль різних видів полімерів

Були розроблені дві ідентифікуючі головки. Одна головка (рис.2) має фіксовану площину вимірювання і може регулюватися вручну або автоматично. Друга головка (див. рис.3) має збільшену площину вимірювання і дозволяє одночасно відображати відбите та поглинуте світло від рухомих зразків[7,9].

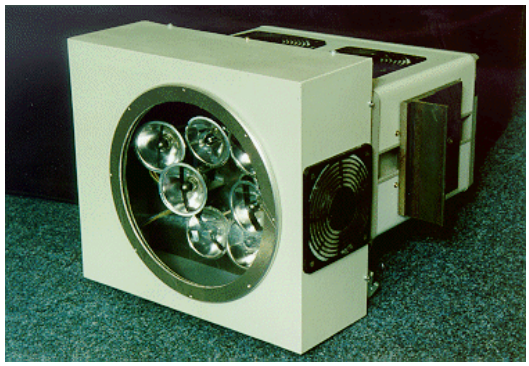


Рис.2 - Ідентифікуюча головка

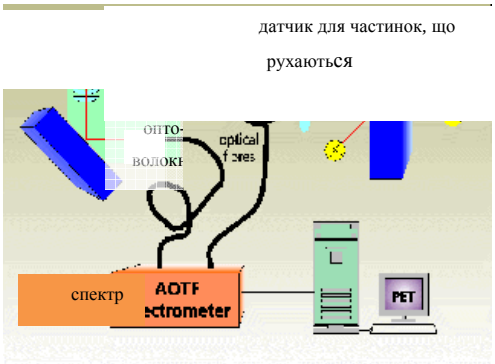


Рис.3-Принципова схема ідентифікуючих головок

Отримані в результаті полімерні зразки відрізняються структурним складом ароматичних або аліфатичних груп, що видно зі спектрів. Пластмаси, особливо при застосуванні в засобах масових споживчих товарів, містять наповнювачі, пластифікатори, барвники і добавки. Ці компоненти, а також сам процес виготовлення і обробки поверхні сильно впливають на спектр, що характерний певним пластиковим матеріалам [9].

Після статистичного вивчення зразків (не чорних) від неочищених пластикових відходів [9] отримали результат: більше 95% чистоти відділення. Етикетки, барвнии і написи на побутових відходах не заважали процесу ідентифікації. Похибка ідентифікаціі становила менше 0,1% [9].

Особливістю чорного пластику є поглинання майже всього світла, і навіть у невеликих кількостях у загальному потоці відходів (> 0,1%) зменшує світловідбиття або передачі до рівня, що не є достатніми для ідентифікації. Але виявлення не чорних полімерів майже завжди є можливим [4,5].

Для ідентифікації пластиків необхідний діапазон довжин хвиль складає: від 1000 до 1800 нм, якщо матеріали виготовлені з подібних типів матеріалів (наприклад, побутових відходів

або посилених скловолокном пластики, у випадку сортування деталей з електронної продукції)[3,5].

Для науковців є актуальним сортування побутових відходів, в основному з ПЕ, ПП, ПЕТ, ПС і ПВХ. Таким чином, діапазон хвиль зменшується від 1600 до 1800 нм. У електронній продукції може бути широко використані пластики: АБС, ПА, ПП, ПБТ, ПХ і ПММА. Зв'язки N-H в РА вимагають збільшеня діапазону до значення 1400 нм.

Побутові відходи дають величини спектра достатньої якості, таким чином діапазон хвиль, що отримуємо: від 1600 нм до 1800 може бути відсканований за 1 мс або менше. Матеріал, що є посиленим скловолокном, в технічній продукції вимагає більшого часу сканування або усереднення спектрів [7, 8, 9].

Спектроскопія в інфрачервоній фокальній площині

Візуальна спектроскопія для дистанційного та он-лайн вимірювань у макроскопічному масштабі використовує променеву головку для ідентифікації спектру в фокальній площині. Он-лайн спектроскопія зображень вимагає високошвидкісних датчиків і мінімального часу обробки зображень. На сьогодні взаємодія використання детекторів у фокальній площині у поєднанні з швидкодіючим хемометричним програмним забезпеченням вдосконалюється [9].

Перспективи подальших досліджень

Нові спектроскопічні системи візуалізації генерують велику кількість даних, тому необхідна розробка багатовимірних статистичних методів, що будуть використовуватися для отримання важливої інформації з спектроскопічних зображень.

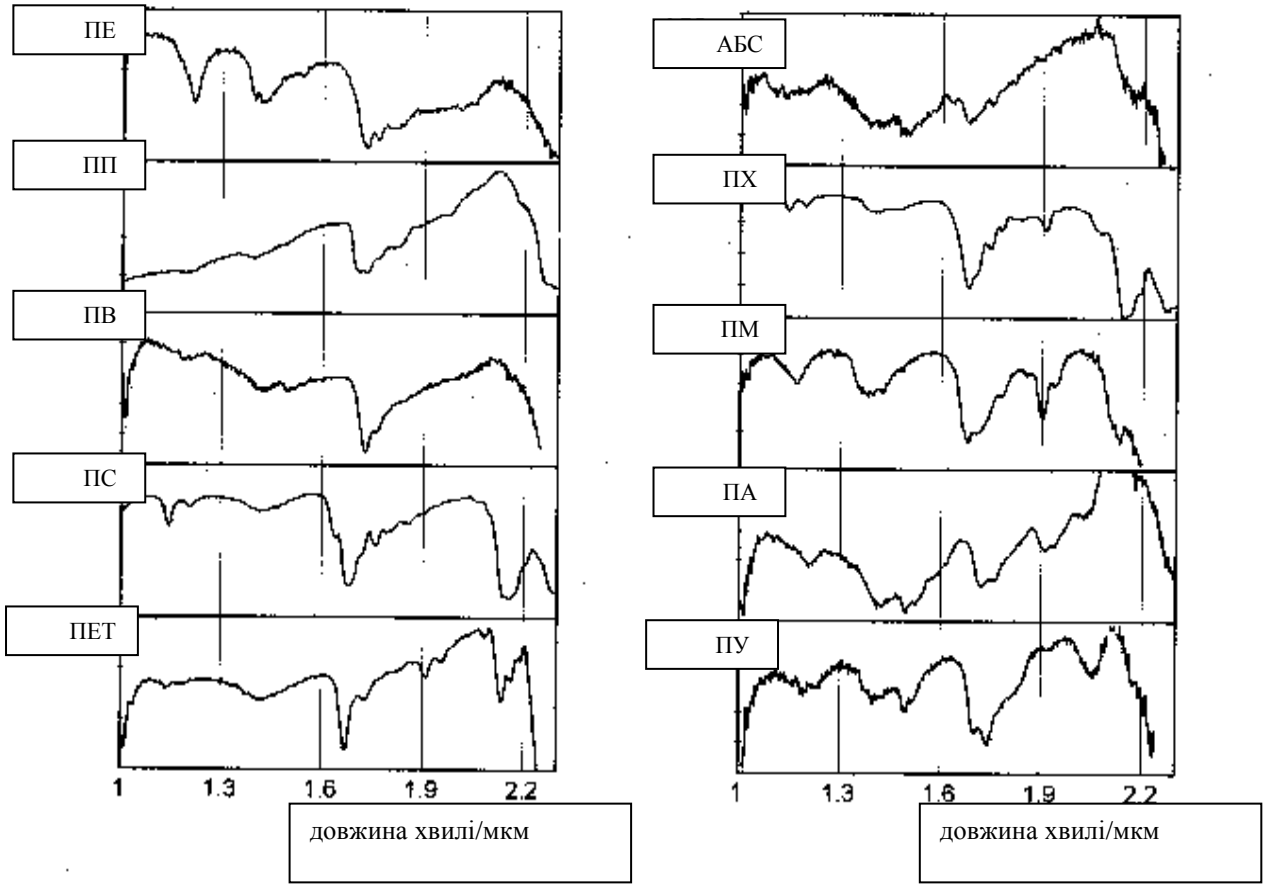


Рис.4. Параметри для ідентифікації полімерів

Ці методи включають аналіз головних складових і лінійний дискримінантний аналіз для контролю розподілу отриманих спектроскопічних даних зображень. Контроль над класифікуванням спектроскопічних зображення дуже трудовмісна справа, але наведена процедура створена для полегшення цього завдання і забезпечення більш глибокого контролю над складом даних.

Нашим завданням бачимо розробку методів сортування вторинних полімерів, що враховуватимуть досвід наших закордонних колег та матимуть ефективне використання та високу чистоту вихідного продукту.

Найбільш оптимальним для України методом вбачаємо використання спектрального аналізу і тому пропонується розробити пристрій вітчизняного виробництва, що буде використовувати вищезазначений метод.

Література

1. Караван Ю.В., Ташак М.С. Хімічний та механічний рециклінг синтетичних матеріалів // Міжнародна наукова конференція «Соціум. Наука. Культура». - 2010. – С.65-85.
2. Клинков А.С., Беляев П.С., Соколов М.В. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов // http://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=134&page=0
3. Линии автоматической сортировки отходов пластиков E-Sort // http://spectrasort.ru/produktsiya/products-avtosortirovka/e-sort-1000.html
4. Методы разделения полимерных отходов // http://ecology.ostu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=42:---&catid=25&Itemid=33
5. Рабек Я. Экспериментальные методы химии полимеров: В 2-х частях: Пер.с англ. – М.: Мир, - 1983. - 480с.
6. Систер В.Г., Мирный А.Н. Анализ альтернативных методов обезвреживания мусора // http://www.solidwaste.ru/publ/view/380.html
7. Fiber Optics for Absorption and Reflexion Measurements // Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, ICT. – 2009 – p.32-37.
8. Lotfi, Ahmad. Citation: "Plastic Recycling" // http://www.lotfi.net/recycle/plastic.html
9. Spectroscopic Infrared Focal Plane Array (FPA) // Applied Spectroscopy. – June, 1997. – P.77-112.

УДК 621.681

МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЙ ТЕРМОУСАЖИВАЮЩИЙСЯ КОМПОЗИТ С ПРЕДЕЛЬНО ВЫПРЯМЛЕННЫМИ ПРУЖИНАМИ

Гончаренко В.В., Ткаченко А.О.
Национальный Технический Университет Украины “Киевский Политехнический институт”, Киев, Украина

Армирующие выпрямленные спиральные пружины наиболее удобные для изготовления полимерных композитов с памятью формы. Разработка метода линеаризации зависимостей “напряжение-деформация” в области нелинейной упругости выпрямленных спиральных пружин содействует облегчению определения характеристик таких композитов.

Одним из главных преимуществ полимерных композитов с памятью формы является то, что температура фазового перехода может быть легко специализирована путем регулирования химического состава и структуры полимерной матрицы. Такая температура фазового перехода может быть идеально подогнана под разнообразные требования.

Полимерные композиты, армированные металлическими сплавами с памятью формы [1, 2], обладают способностью накапливать большие восстановительные напряжения.

Среди недостатков сплавов с памятью формы следует отметить ограниченные обратимые деформации (не превышающие 8-10 %) и высокую стоимость. Исходя из этой точки зрения разработка полимерных композитов с памятью формы, армированных металлами, обладающих большими восстановительными напряжениями, представляет большое

практическое значение для производства актуальной в будущем продукции. Принято предполагать, что полимерные композиты с памятью формы, армированные непрерывными металлическими проволоками, имеют большие перспективы технического применения.

Результаты наших исследований в области полимерных композитов показали, что выпрямленные спиральные пружины являются наиболее удобными для армирования полимерных композитов с памятью формы.

Теоретический анализ механического поведения цилиндрических спиральных пружин был проведен в публикациях [3, 4]. Нормальные напряжения σ в поперечном сечении пружинной проволоки площадью $S_d = \pi d^2 / 4$ (которые определяются как F / S_d), равны

$$\sigma = CS(\Delta\alpha), \quad (1)$$

где d- диаметр проволоки, м; C- константа пружины, МПа; $\Delta\alpha$ - текущая величина декремента угла подъема пружины; F- растягивающее усилие, Н; $S(\Delta\alpha)$ - текущая величина комплекса, определяемого как

$$S(\Delta\alpha) = \Delta\alpha \cdot \sec(\alpha_0 + \Delta\alpha) \quad (2)$$

Начальная величина угла подъема α_0 разгруженой пружины может быть определена как

$$\alpha_0 = \arcsin(\lambda_m - 1), \quad (3)$$

где λ_m- степень вытяжки предельно выпрямленной спиральной пружины. Текущее значение угла подъема $\alpha_0 + \Delta\alpha$ может быть рассчитано как

$$\alpha = \arcsin(\lambda \sin(\alpha_0)) \quad (4)$$

Уравнение (2) можно рассматривать как ключ для разработки метода линеаризации зависимости “напряжение-деформация” в области нелинейной упругости выпрямленных спиральных пружин.

Полученая информация о свойствах спиральных пружин в области нелинейной упругости могут быть использованы при разработке металлополимерных композитов с памятью формы, применяемых в качестве материала для производства активных элементов, обладающих заданными свойствами.

Литература

1. Tobushi, H., Hayashi, S., Sugimoto, Y., Date, K. Performance of Shape Memory Composite with SMA and SMP// Solid State Phenomena. (2009): Vol.154, pp.65-70.
2. Tobushi, H., Hayashi, S., Sugimoto, Y., Date, K.: Fabrication and Two-Way Deformation of Shape Memory Composite with SMA and SMP// Materials Science Forum. 2010.
Vol. 638-642,pp.2189-2194.
3. Goncharenko, V.V., Goncharenko, M.V., Malkin, A.Ya, : Non-linear elasticity of spiral springs// Int. J. of Appl. Mechanics and Engineering. 2008 Vol.13, №3, pp.373-381
4. Goncharenko, M.V., Goncharenko, V.V.: Geometric nonlinearity of mechanical behavior as a consequence of large deformations of springs// J. of Engineering Physics and Thermophysics. 2009. Vol. 82, №1, pp. 1229 – 1234

УДК 678.057

ТЕРМОРЕЗИСТОРНЫЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЕ ЛЕНТЫ И МУФТЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО РЕМОНТА СТАЛЬНЫХ ТРУБ

МАРТЫНЕНКО Н.М., ГОНЧАРЕНКО В.В., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна, м.Київ

Решается проблема наложения гидроизоляционной футеровки из упрочненного композита на трубопроводы, на соединения трубопроводов и на места повреждения трубопроводов в полевых (траншейных) условиях.

Весьма перспективными для модернизации газотранспортных систем и трубопроводов коммунального хозяйства могут быть полимерные ленты, армированные параллельно уложенными, полностью выпрямленными, пружинными проволоками по типу гуммированного металлокорда. Основным отличием таких армирующих проволок является то, что они сохраняют память витых пружин. В работе [1] было показано, что пружины с индексом более 100−150 единиц могут быть обратимо вытянуты в прямую линию. Под индексом пружин принято подразумевать отношение их диаметра к диаметру пружинной проволоки. Даже при полном выпрямлении такой пружинной проволоки деформация в ее материале не выходит за пределы линейной области деформирования. Усилие, необходимое для растяжения пружинной проволоки, оказывается полностью «замороженным» в полимерной матрице, которая в таком случае будет подвергаться сжатию. Очень важен тот факт, что роль полимерной матрицы может выполнять один из самых прочных и химически стойких полимеров − полиэтилентерефталат (ПЭТ), в том числе и вторичный, использованная тара (емкости) из которого засорили всю территорию Украины.

Уже разработан термоусаживающийся металло-полимерный композит для внешней футеровки трубопроводов газотранспортных систем. Выполнены исследования предельно вытянутых пружин, используемых в качестве армирующих элементов такого композита [2]. Для внешней футеровки труб диаметром от 200 до 1000мм наиболее целесообразно использовать анизотропные ленты, изготовленные из полиэтилентерефталата (ПЕТ) и армированные предельно вытянутыми в линию пружинами, индекс j которых достигает 100 −150 единиц. Такие пружины были изготовлены из пружинной проволоки диаметром d = 2мм. Начальный угол подъема винтовой линии таких пружин α_0 составлял 0.14. В предельно вытянутом состоянии их угол подъема $\alpha_0 + \Delta\alpha$ достигал 1.45, поскольку декремент угла $\Delta\alpha$ возрастал до 1.31. Экспериментальное усилие F = 33.5 Н, необходимое для 7,13 – кратного растяжения пружины, может быть рассчитано по формуле [3]:

$$F = 0.127G\, d^2\, \Delta\alpha\, \sec(\alpha_0 + \Delta\alpha)\, j^{-2}$$

Терморезисторная термоусаживаемая лента представляет собой композит, внешние слои которого представляют собой полимерные ленты, а внутренний слой образован плотно уложенными параллельными выпрямленными пружинами, на которые нанесена полимерная изоляция. Из такой ленты методом спекания получена терморезисторная термоусаживаемая муфта, также имеющая структуру образованную 3−4 слоями витков ленты. При прохождении тока по пружинам ленты и муфты нагреваются и усаживаются (см. рис. 1). Тот факт, что пружинная проволока имеет полностью выпрямленную форму, аналогичную известному гуммированному металлокорду, значительно упрощает технологический процесс изготовления такой анизотропной ленты. В то же время навивка внахлест такой ленты, поступающей в бухтах, на трубу может быть выполнена в полевых условиях с применением примитивной механизации. Применение терморезисторных лент, обладающих эффектом памяти формы, в процессе модернизации газотранспортных систем Украины, позволяет повысить производительность процесса гидро- и электроизоляции стыков трубопроводов в полевых (траншейных) условиях, поскольку разогрев и термическая усадка таких лент и муфт

происходит с помощью электрического тока по заданной программе с применением переносных электроаккумуляторов. Процесс локального разогрева муфты и стальной трубы происходит при этом одновременно, что способствует образованию адгезионных связей между стальной трубой и полимерной матрицей композита муфты.

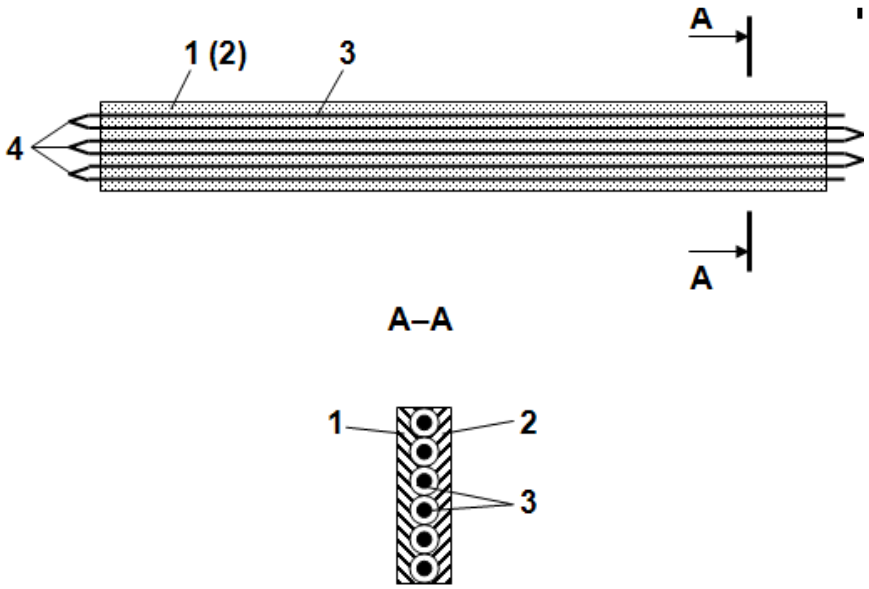


Рис. 1. Способ изготовления терморезисторного ленточного элемента: 1,2 – полимерные ленты; 3 – витки заизолированного провода; 4 – соседние отрезки, что попарно электрически соединяют между собой

Известно, что тангенциальные напряжения в трубе, работающей под давлением, в два раза превышают меридиональные напряжения. Поэтому упрочнение трубы и некоторая внешняя компенсация напряжений в тангенциальном направлении будет способствовать повышению надежности. Одновременно, защита трубопроводов от коррозии позволит повысить ресурс работы газотранспортных и жилищно-коммунальных систем. Важно отметить, что переход от полиэтилена к полиэтилентерефталату во внешней футеровке трубопроводов ведет к возрастанию внутренних напряжений в самой матрице металло-полимерного композита, поскольку полиэтилентерефталат в результате кристаллизации дает сильную усадку (до трех объемных процентов). Невозможность усадки футеровки в тангенциальном направлении должна вызывать тангенциальные напряжения в матрице, которые будут восприняты стальной трубой.

Литература

1. Goncharenko V.V. Non-Linear Elasticity of Spiral Spring / Goncharenko V.V., Goncharenko M.V., Malkin A.Ya. // Int. J. of Applied Mechanics and Engineering. − 2008. − Vol. 13, No. 2. − PP. 373 - 381.

2. Гончаренко В.В. Металло-полимерный композит для модернизации газотранспортных систем / Гончаренко В.В., Лобода П.И., Гончаренко М.В., Мартыненко Н.М., Герасимов Г.В. // Материалы 30-й Международной конференции «Композиционные материалы в промышленности». − г. Ялта, 2010. − С.237-238.

3. Goncharenko M.V. Geometric nonlinearity of mechanical behavior as a consequence of large deformations of springs / Goncharenko M.V., Goncharenko V.V. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. − 2009. − Vol. 82, No. 6. − P. 1229.

УДК 678

ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКІВ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СМУГ РУХУ З ГІПСОВИХ КОМПОЗИТІВ

ЄВДОКИМЕНКО Ю.Ф., студент, ГОНЧАРЕНКО В.В., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Запропоновано та розглянуто особливості нового складу розділяючих блоків для попередження виїзду транспорту на зустрічну смугу руху.

В співпраці з інститутом фізичної хімії НАН України йде дослідження та пробне виготовлення нового виду розділяючих блоків, які необхідні для попередження виїзду транспорту на зустрічну смугу руху.

Гіпс це мінерал із класу сульфатів, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Волокнистий різновид гіпсу зветься селенітом, а зернистий – алебастром. Блиск скляний або шовковий (у волокнистих різновидів), спайність цілком повноцінна в одному напрямку (розщіплюється на тонкі пластинки). Колір білий, сірий, інколи червонуватий, за наявності домішок може мати сірий, жовтуватий або розувато-бурий відтінок. Густина 2,3 г/см³, твердість по шкалі Мооса – 2, текстура – масивна. За температури 140—150 °С частково втрачає воду, переходячи при цьому сірий або білий порошок напівводяного гіпсу ($CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$), який є розчинним у воді. За рахунок меншої кількості гідратних молекул, алебастр при гідрації на дає усадки (збільшується в об'ємі приблизно на 1%).

В якості матриці пропонуємо використовувати гіпсову основу, а в якості армуючих елементів в таких композиціях – відходи виробництва граніту (гранітова крихта), які є доступні та економічно доцільні. Для надання водовідштовхуючих властивостей пропонуємо вкривати готовий виріб розплавом вторинновживанної поліетиленової плівки або РР пляшки, що дозволить зробити виробництво економічнимним та корисним, оскільки переробка вторинної речовини є важливим питанням сьогодення.

Наразі ведуться підготовчі роботи для виготовлення тестового зразку (Рис.1). Основними перевагами таких блоків є дешевизна, використовування вторинної речовини, а також велика здатність до гасіння ударів при аваріях, за рахунок гіпсу.

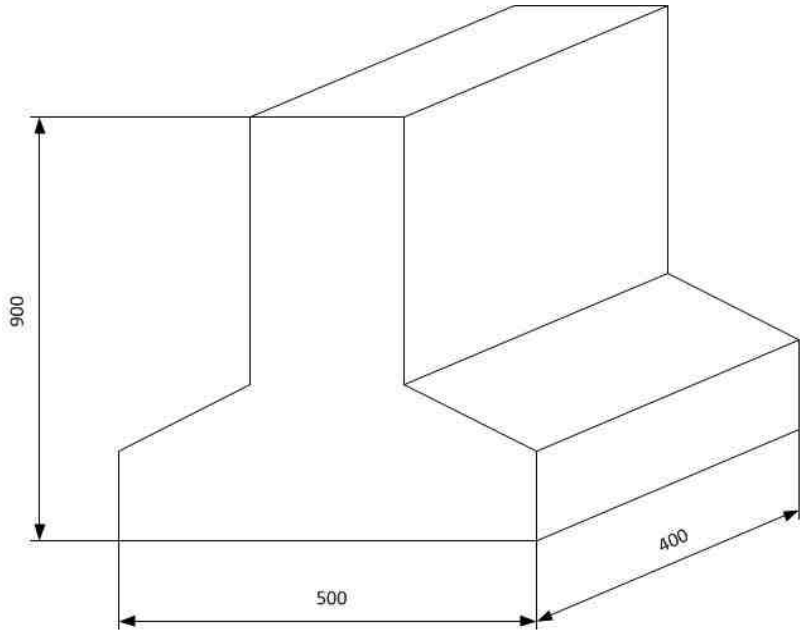


Рис. 1

УДК 66.02

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ, ПРИНЦИПУ РОБОТИ, ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВІБРОШНЕКОВИХ ЖИВИЛЬНИКІВ

ПЛАХОТНИЙ І.А., студ., КАЗАК І.О., асистент кафедри ХПСМ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Представлені сфера застосування, особливості конструкції, принципу роботи, основні переваги та недоліки віброшнекових живильників.

Віброшнекові живильники застосовують для дозування сухих, сипких, пиловидних, дрібнозернистих, абразивних матеріалів в хімічній, харчовій і інших галузях промисловості.

Не слід застосовувати живильники для дозування крупнокускових матеріалів, дуже крихких і абразивних, злежуваних і липких до кожуха. Застосування віброшнекового живильника у лініях різних виробництв перелічених галузей промисловості дозволяє забезпечити безперервну подачу матеріалу, легкість у обслуговуванні і герметичність для пиловидних матеріалів.

Розглянемо особливості конструкції і принципу роботи віброшнекового живильника, загальний вид якого представлено на Рис.1 [1]. Машина поєднує в собі коливальні і обертові рухи, створювані дебалансним вібратором 1 і шнеком 6. З бункера 3 матеріал надходить у патрубок 4, що кріпиться на амортизаторах 5. Для того, щоб уникнути склепіння і надати більшої плинності матеріалу, у бункері 3 розташований дебалансний вібратор 1, який сприяє подачі матеріалу в шнековий живильник 6. Вібратор зв’язаний гнучкою муфтою з урухомником. Продукт виходить із живильника через вихідний лоток 7. Привід живильника складається з електородвигуна, одноступінчатого циліндричного редуктора і муфти. При обертанні гвинта у напрямку стрілки на матеріал, що транспортується, діють поперечні складові сил тиску гвинта на вантаж, що переміщується і сили тертя цього матеріалу по гвинту, внаслідок чого центр маси вантажа зміщується вліво. Момент сили тяжіння, який з’являється, відносно центру гвинта не надає матеріалу обертального руху, і, останній переміщується вздовж осі віброшнекового живильника у напрямку транспортування, як гайка вздовж гвинта, а потім висипається у вихідний лоток 7. Привід шнека здійснюється через муфту, редуктор і електродвигун. Привід вібратора здійснюється через муфту і електродвигун. Дозування відбувається за рахунок обертання шнека, встановленого під бункером в зварному корпусі живильника. Матеріал переміщується у зазорі, який утворюється між лопастями гвинта і корпусом живильника [2].

Переваги віброшнекових живильників: дані живильники прості за конструкцією, що забезпечує зручність технічного огляду і змащування його деталей, розбирання приводу і знімання гвинта, не розбираючи привід, а також виконання усіх вимог техніки безпеки. Також вони мають невеликі габаритні розміри, забезпечують повну герметизацію жолоба, що дуже важливо при транспортуванні пиловидних, гарячих, з різким запахом та інших вантажів. Забезпечує рівномірну подачу і найбільш точне дозування матеріалу.

Недоліки віброшнекових живильників: великі питомі втрати енергії від тертя між вантажем гвинта і жолобом, досить значне подрібнення вантажу та стирання гвинта і жолоба, чутливість до перевантажень, що веде до утворення всередині жолоба затору вантажу, для запобігання виникнення якого встановлюється вібратор всередині бункера.

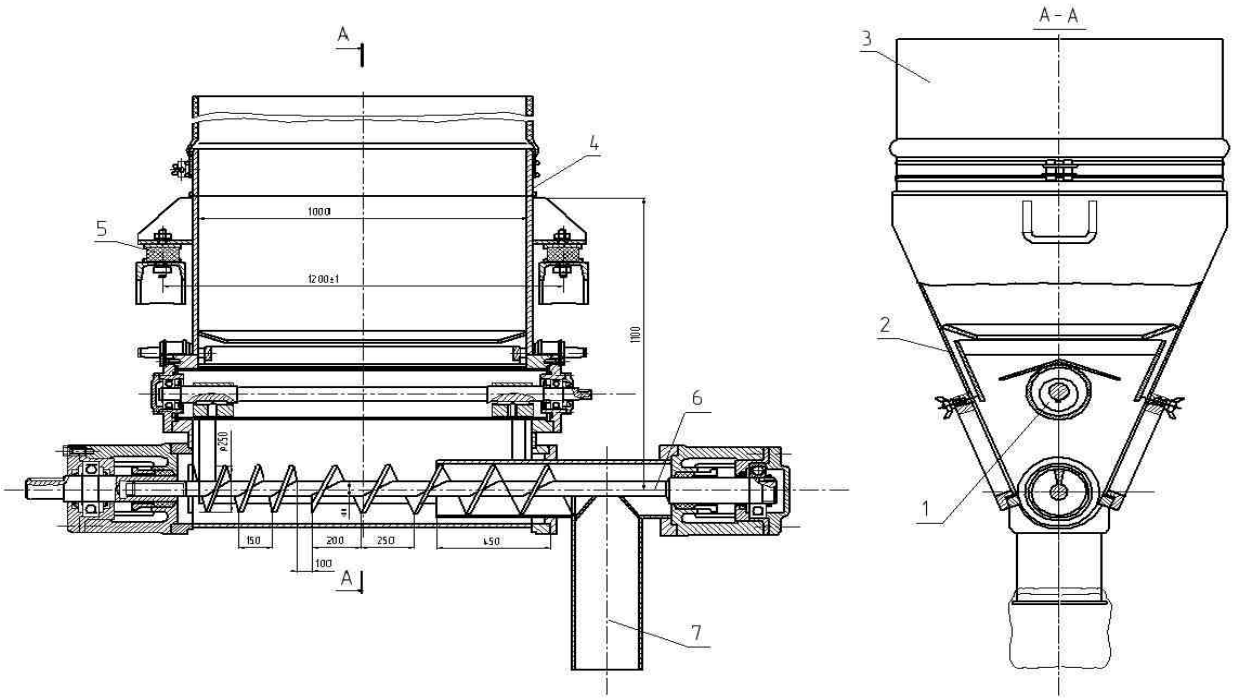


Рис.1. Загальний вид віброшнекового живильника

Література

1. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е. Червячные машины для переработки резиновых смесей и пластмасс. - М.: Машиностроение, 1965. – 364 с.

2. Малиновський В.В., Коваленко І.В. Розрахунки основних процесів,машин та апаратів хімічних виробництв. - К.: Норіта-плюс, 2007. – 216 с.

УДК 66.02

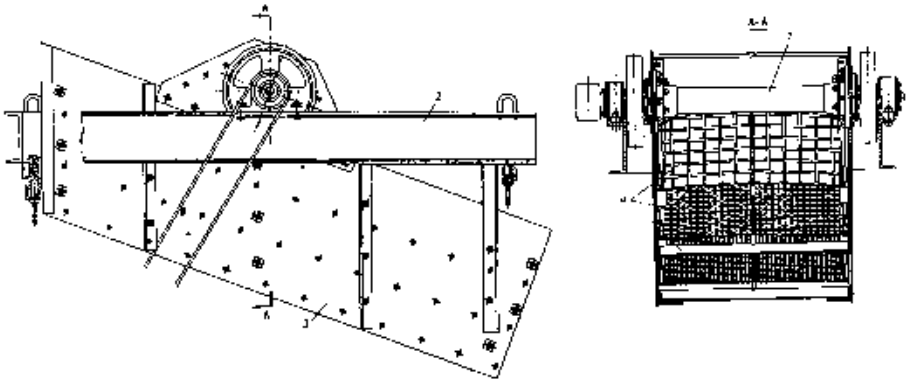
ПРО ОДИН З ШЛЯХІВ ПОДОВЖЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ І ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГРОХОТУ ВІБРАЦІЙНОГО

САС А.С., студ., КАЗАК І.О., асистент кафедри ХПСМ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Представлено принцип роботи грохоту вібраційного, виявлено його недолік у експлуатації, і в зв'язку з цим запропоновано удосконалення конструкції грохоту вібраційного з метою подовження строку служби і підвищення ефективності його роботи.

Вібраційні (ексцентрикові) грохоти з коловим коченням в вертикальній площині призначені для сортування за крупністю сипучих матеріалів. Грохоти цього типу отримали найбільше поширення в промисловості будівельних матеріалів.

Зазвичай конструкція грохоту вібраційного має 2-3 сита, що закріплені в похилій рамі, яка підвішена на ексцентриковому приводному валі, за рахунок чого сита отримують колові коливальні рухи в вертикальній площині з амплітудою, яка дорівнює подвійному ексцентриситету вала (Рис.1) [1]. Між рамою і корпусом, який коливається, на ексцентриковий вал насаджені з двох сторін маховики з противагами, які забезпечують рівномірне коливання і збалансування інерційних сил корпуса грохота вібраційного.



1-вібратор; 2-рама; 3-короб; 4-сита

Рис.1 Загальний вид грохоту вібраційного

Основним недоліком грохота вібраційного являється те, що частіше за все в звичайних умовах експлуатації отвори сита забиваються тяжкими зернами. Для зниження впливу цього недоліку використовують ударні елементи у вигляді куль, трубок, струн, які, ударяючи по ситам, вибивають із отворів крупні зерна. Однак, такі удари призводять до зменшення строку служби сит грохота вібраційного.

В зв'язку з цим, пропонується удосконалення конструкції грохота вібраційного, яке передбачає встановлення на пружні опори короба з ситом, дебалансного вантажу і зубчатої пари, з'єднаної з приводним валом [2]. Дебаланс виконується у вигляді конічної шестерні, яка оснащена власним дебалансним вантажем і встановлена на валу, розміщеному у підшипниках приводного вала перпендикулярно його осі. Конічна шестерня входить в зачеплення з іншою конічною шестернею, жорстко закріпленою на коробі співвісно приводному валу. Запропоновані удосконалення конструкції грохота вібраційного представлені на Рис 2.

Грохот складається з установленого на опору 1 через пружні елементи 2 коробу 3, в підшипниках 4 якого розміщений приводний вал 5, який з'єднаний компенсаційною муфтою 6 з двигуном 7. В центральній частині вала 5 зроблена перпендикулярна до його осі розточка 8, в якій за допомогою підшипників 9 змонтовано ведений вал 10. На кінці вала 10 закріплена конічна шестерня 11, що має встановлений ексцентрично його осі вантаж 12. Конічна шестерня 11, яка входить в зачеплення з нерухомою конічною шестернею 13, прикріпленою до короба 3 співвісно приводному валу 5. На рис. 2 (б) показана крива 14 переміщення матеріалу по ситу грохота вібраційного, а на рис.2 (а)- крива 16 переміщення матеріалу по ситу в горизонтальній площині.

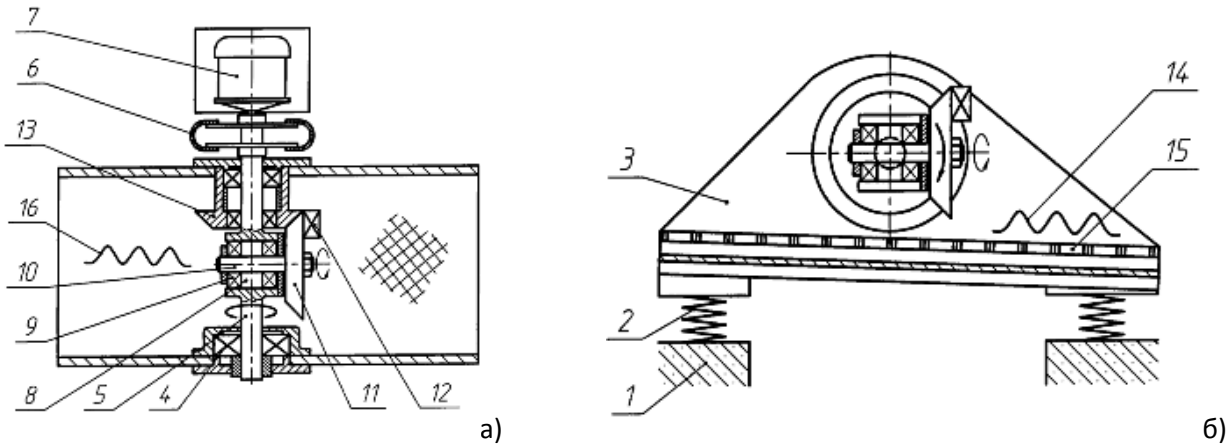


Рис. 2. Конструкція грохота вібраційного з удосконаленнями

а) вигляд зверху; б) вигляд збоку

Грохот вібраційний запропонованої конструкції працює наступним чином. При обертанні приводного вала 5 конічна шестерня 11 обертається з валом і отримує колову обкатку по нерухомій шестерні 13. При цьому шестерня 11, яка виконує роль дебаланса розвиває відцентрову силу, яка в свою чергу змушує грохот робити кругові коливання у вертикальній площині, а матеріал грохота переміщується по синусоїді 14. Оскільки шестерня 11 завдяки зубчастому зачепленню обертається ще й навколо своєї осі, то її ексцентриковий вантаж 12 також розвиває відцентрову силу, але в напрямку перпендикулярному поздовжній осі короба. Через це матеріал переміщується в горизонтальній площині за синусоїдою 16. Складання переміщень матеріалу за двома синусоїдами 14 і 16 перетворюється в його рух за спіраллю, завдяки чому грохот вібраційний не потребує вибиваючих елементів, які скорочують строк служби сита.

Таким чином, удосконалення у конструкції грохоту вібраційного підвищують ефективність його роботи до 85% і більше та подовжують строк служби сит.

Література

1. Сапожников М.Я., Дроздов Н.Е. Справочник по оборудованию заводов строительных материалов. – М.: Промстройиздат, 1970. – 382с.

2. Грохот [Текст]: Патент № 2344002 С2, Россия, МПК B07B 1/40, B07B 1/42 / ВайсбергЛ.А., Зарогатський Л.П., Трофимов В.А. – Опубл. 20.01.2009, Бюл. № 2 – 3с.

УДК 66.02

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОЛОСНИКОВОГО ГРОХОТУ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРИВОДУ

ШАЛАЄВ Є.О., студ., КАЗАК І.О., асистент кафедри ХПСМ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Представлено удосконалення системи приводу колосникового грохоту шляхом підвищення ресурсу роботи кулачкового вузла, яке полягає у виконанні вузла з окремих елементів, що встановлені в своїх направляючих з можливістю фіксованого переміщення по них. Це забезпечує підвищення ефективності грохочення.

Грохот колосниковий відноситься до класу машин для розділення (сортування) сипких матеріалів крупністю до 1200 мм. Даний грохот використовують при попередньому грохоченні, як правило, перед дробленням для виділення з гірничої маси грудок крупністю до 200 мм, що не вимагають дроблення. Грохоти колосникові застосовуються у будівельній, гірській та харчовій галузях промисловості. В будівельній промисловості грохоти колосникові застосовують головним чином на цементних заводах, де вони виконують функцію живильника для крупних щокових дробарок.

Розрізняють грохоти нерухомі і рухомі. Останні бувають двох типів – консольний вібруючий і вібраційний. Виготовляють колосникові грохоти продуктивністю 25-300 т/год. і більше. При встановленні грохота перед крупними дробарками вони одночасно виконують функцію живильника та грохота, відокремлюючи куски, розмір яких менше за розмір вихідної щілини дробарки [1].

Переваги грохотів колосникових полягають у простоті конструкції, економному споживанні електроенергії та незначних навантаженнях на несучі конструкції будівель збагачувальних фабрик. Перевагою цих машин також є можливість розвантаження автомашин, шахтних скіпів і залізничних вагонів безпосередньо на колосникову решітку.

Недоліками цих грохотів є низька ефективність грохочення та схильність до забивання.

Підвищення ефективності грохочення досягається за рахунок підвищення ресурсу роботи багатогранного (кулачкового) вузла [2]. Зазвичай конструкція грохота колисникового має сито, яке встановлене з можливістю виконання коливальних рухів, механізм для забезпечення коливального руху сита, що складається з приводу, на валу якого встановлений багатогранний (кулачковий) вузол [3]. При грохоченні дробленого матеріалу відбувається зношування цього вузла, що веде до погіршення процесу грохочення та, як наслідок, до зниження продуктивності грохота. Більш того, грохочення матеріалу зі сталою частотою коливань сита призводить до того, що ефективність грохочення погіршується за рахунок адгезійних властивостей дробленого матеріалу.

Задача підвищення ресурсу роботи кулачкового вузла вирішується тим, що в грохоті багатогранний вузол виконаний з окремих елементів, які встановлені в своїх направляючих з можливістю фіксованого переміщення по ним, при цьому направляючі встановлені на валу з можливістю зміни кута між суміжними направляючими, що забезпечує підвищення ефективності грохочення за рахунок підвищення ресурсу роботи кулачкового вузла (Рис.1).

Удосконалена конструкція грохота колисникового працює наступним чином: сито, встановлене на елементах 2 як на гранях кулачкового вузла, здійснює коливальні рухи, при їх обертанні на валу 1. Переміщення окремих елементів, встановлених в своїх направляючих 3 з можливістю їх фіксованого переміщення по останнім, дозволяє змінити колову швидкість обертання елементів, та, як наслідок, зміну частоти коливання сита. Ефекту зміни частоти коливань можна також досягти зміною кута між суміжними направляючими.

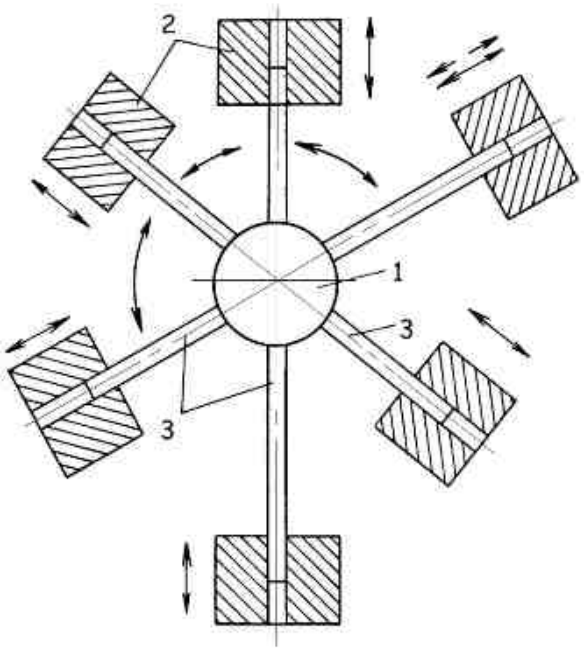


Рис.1. Удосконалений багатогранний (кулачковий) вузол грохота колосникового

Таким чином, запропонована конструкція грохота колисникового дозволяє досягти підвищення ефективності грохочення різноманітних матеріалів. Зношування елементів не буде впливати на ефективність процесу грохочення, оскільки елементи можливо фіксовано переміщувати по направляючим, які також можуть змінювати положення одне відносно одного.

Література

1. Методические указания к выполнению курсовых проектов по дисциплине «Процессы и аппараты отрасли». Раздел «Оборудование для измельчения и грохочения» для студентов машиностроительных и химико-технологических специальностей [Текст] /Сост. В.В.Малиновский, И.В.Коваленко. – Киев.: КПИ, 1987. – 60с.

2. Грохот [Текст]: Описание изобретения к патенту RU2228226 C1 Россия, МПК B07B1/42 / Сладкова Л.А., Петров А.Н., Сладкова Л.В., Петрова В.А., Архипов А.А., Олейник В.П. – Опубл. 10.05.2004.

3. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет [Текст] / Под ред. Н.Я. Хархуты. - Л.: Машиностроение, 1975. - С. 281-285.

УДК 66.02

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ РУКАВНОГО ФІЛЬТРА НА ОСНОВІ ЗАМІНИ ФОРМИ БУНКЕРА

КАЗЬМІРЕНКО В.С., студ., КАЗАК І.О., асистент кафедри ХПСМ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Представлено принцип роботи рукавного фільтра, його переваги та недоліки, і в зв'язку з цим запропоновано удосконалення його конструкції для поліпшення роботи рукавного фільтра

Для очищення запиленого повітря від сухого пилу, що не містить агресивних і вибухонебезпечних компонентів, застосовують рукавний фільтр, загальний вид якого представлений на Рис. 1 [1]. Температура в приміщеннях, де працюють рукавні фільтри, повинна виключати конденсацію пари.

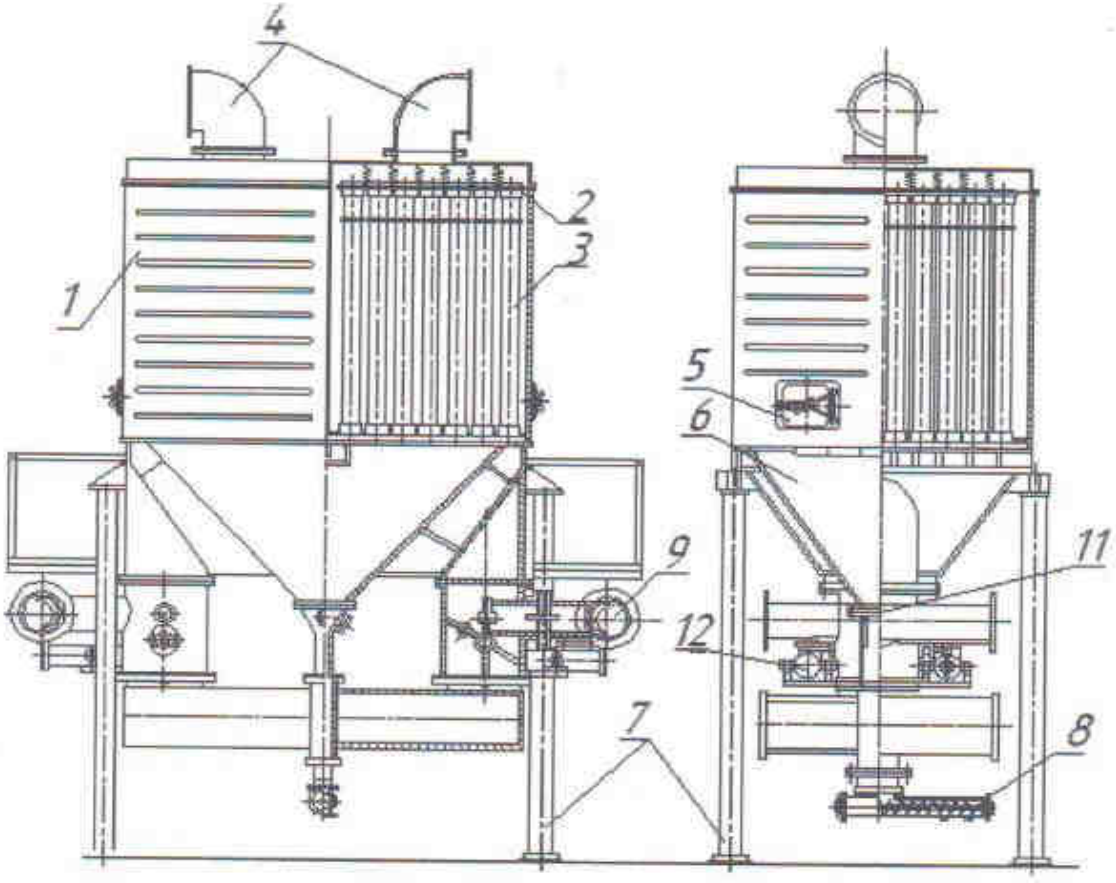


Рис. 1. Загальний вид рукавного фільтра

Фільтр складається із шафи 1, рукавів 3, підвісних рамок 2, механізму струшування і продування з електродвигуном і зубчастою передачею, конуса фільтра з приймальним пристроєм 8 (шнековим живильником).

Збірна шафа фільтра має у складі передні, задні та бічні стінки і перегородки, скріплені болтами для утворення вертикальних секцій. У місцях стикування окремих деталей є гумові прокладки, що забезпечують герметичність шафи. На стінках наявні люки 5 зі швидкохідними герметичними кришками. У кожній секції шафи розміщені 14 рукавів. Верхні кінці рукавів заглушені металевими тарілками і підвішені до рамки, з'єднаної з механізмом струшування. Нижні кінці рукавів надіто на штуцери днища й закріплено на них. Шафа 1 зварена з металевих стрічок і перегородок, які утворюють вертикальні секції, збіжні зі секціями шафи. До шафи знизу приєднаний бункер 6, що має трапецеїдальну форму. В нижній частині бункера встановлено шнек, що вивантажує пил з фільтру.

Запилене повітря, яке надходить у фільтр через вхідний колектор 9, просмоктується крізь тканини рукавів, до того ж на тканині осаджується пил, що міститься у повітрі. Очищене повітря виходить через вихідні патрубки 4 в атмосферу. Пил, що осів на внутрішній поверхні рукавів, видаляється з них періодичним струшування і збирається в конусі, звідкіля транспортується шнеком 8 до вихідного отвору.

Фільтр рукавний з системою регенерації, що містить єдиний корпус з кришкою, в якому розміщені блок фільтрів з фільтруючими елементами рукавного типу і система регенерації фільтруючих елементів, виконана у вигляді рами струшування з вібратором, відрізняється тим, що фільтр додатково містить короб для входу запиленого повітря в установку і короб для виходу чистого повітря з установки, бункерний накопичувач з пристроєм безперервного вивантаження відходів, що містить бункер, шлюз і шнековий механізм вивантаження, причому в корпусі блоку фільтрів встановлений датчик температури, в бункері для збору пилу - аварійний датчик рівня пилу, у вихідному коробі - тепловий автоматичний датчик- оповісник. Виходи датчиків з'єднані з загальним мікропроцесором, розміщеним в шафі керування, а у вихідному коробі встановлено колектор з форсунками для підключення до системи пожежогасіння, блок керуванням якої з'єднаний із загальним мікропроцесором, а система регенерації рукавних фільтрів містить блок керування, який з'єднаний електронним зв'язком з загальним мікропроцесором, що керує системою вивантаження, системою подачі води при займанні та дублюючою системою порошкового пожежогасіння. Причому мікропроцесор може бути вбудований в виносний пульт.

Головними перевагами конструкції рукавного фільтру є надійність і відносно невелика вартість.

Однак конструкція має й недоліки. До недоліків можна віднести: високу металоємність; недосконалу систему очистки (регенерації).

В зв'язку з існуючими недоліками рукавного фільтру найбільш доцільним буде удосконалення системи регенерації [2], а саме: заміна форми серійного бункеру з трапецеідальної на конічну. Трапецеідальна форма бункера має суттєві недоліки, головним з них є те, що на стінках бункера, а особливо в «мертвих зонах», пил буде більше осаджуватись ніж, наприклад, у бункері з конічною формою. Необхідно також врахувати, що стінки такого конічного похилого бункеру, матимуть кут нахилу більший за кут природного відкосу осаджуваного пилу.

Таким чином, удосконалення системи очистки рукавного фільтру шляхом заміни форми бункеру, приводить до поліпшення його експлуатації.

Література

1. Сапожников М.Я., Дроздов Н.Е. Справочник по оборудованию заводов строительных материалов. - М.: Промиздат, 1970. - 343 с.

2. Рукавный фильтр [Текст]: Патент № 2342184 CI, Россия, МПК B01D 46/02 / Кочетов О.С., Голубева М.В., Колаєва Л.В. – Опубл. 27.12.2008 Бюл. № 2 – 4с.

УДК 621.926.34

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ І ПРИНЦИП РОБОТИ КУЛЬОВОГО МЛИНА

НАДОЛИНСЬКИЙ О.В., МАЛИНОВСЬКИЙ В.В., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Представлена конструкція, принцип роботи і сфера застосування кульового млина, переваги та недоліки. А також внесена модернізація машин даного типу.

Кульові млини широко застосовуються у виробництві для помелу гірничо-хімічної сировини, різних хімічних продуктів, в цементній промисловості.

Конструктивно являють собою циліндр, що обертається (барабан), завантажений молольними тілами. Торці барабана закриті кришками (завантажувальною і розвантажувальною). При обертанні подрібнюючі тіла під впливом відцентрової сили, а також тертя між собою і футеровкою барабана піднімаються на певну висоту, падають, розбиваючи і стираючи матеріал, що знаходиться в барабані. Подрібнюючі тіла: сталеві кулі, стержні, короткі трубки – цильпепси, а при самоподрібненні – шматки руди.

Призначення процесу помелу, наприклад, в цементній промисловості – збільшення поверхні матеріалу з метою підвищення його реакційної здатності в процесах клінкероутворення, прискорення реакцій згорання вугілля, яке застосовується для відпалу клінкеру, досягнення необхідних фізико-технічних властивостей цементу, які характеризуються певною питомою поверхнею цементу. Схема роботи млина для подрібнення вугілля наведена на рис. 1.

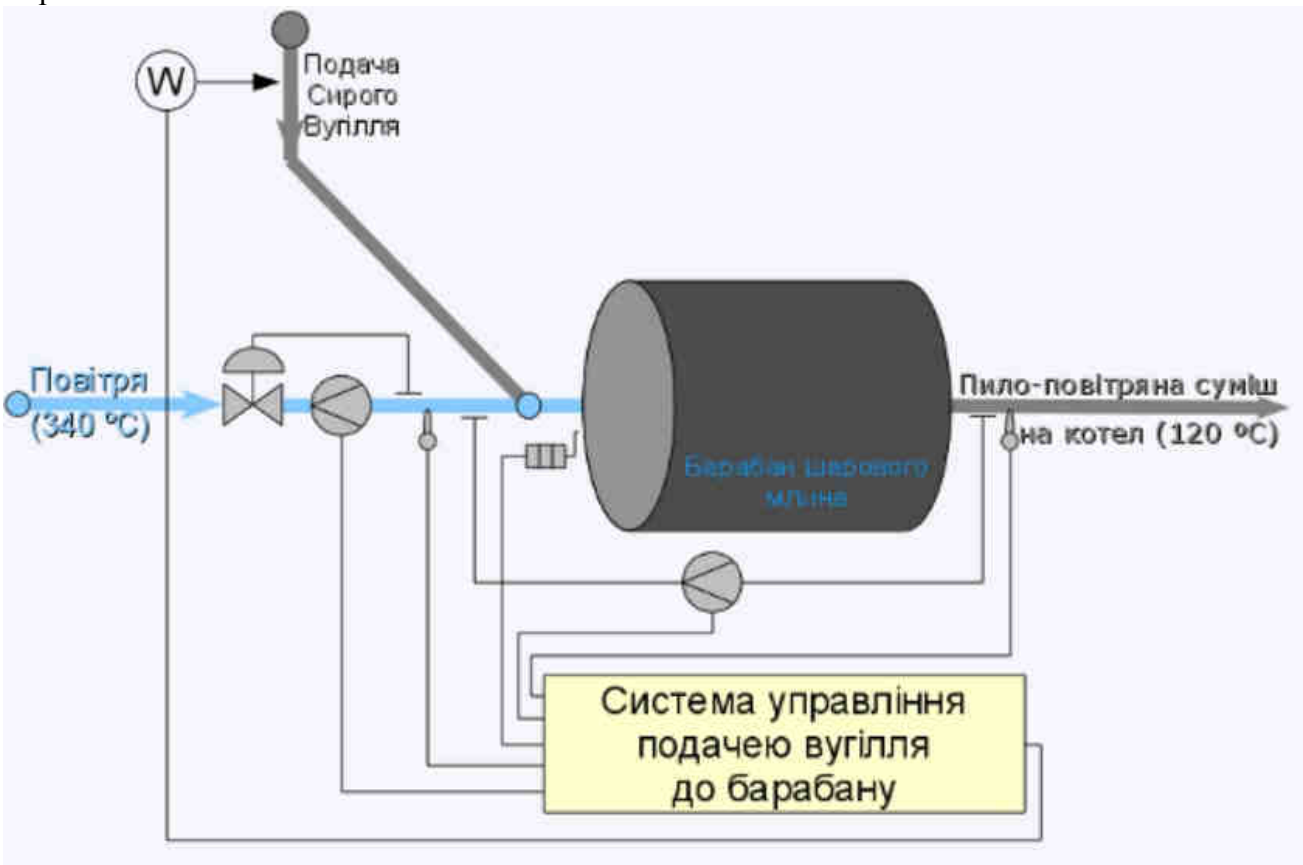


Рис. 1. Схема роботи кульового млина для подрібнення сирого вугілля

Помел в млинах може бути грубий - при розмірі зерен вихідних продуктів 1,5-0,3 мм та нижче, тонкий помел - при розмірі зерен 0,1-0,07 мм та зверх тонкий - при розмірі зерен в5-10 мкм та нижче.

Кульові млини з периферійним розвантаженням використовуються для розмелу шамоту, вапна, клінкеру та сухих глин. У виробництві вяжучих матеріалів та керамічних виробів тонкий помел є одним з найважливіших процесів. У цементному виробництві тонкий помел сировини, клінкеру та палива - основні виробничі операції.

Переваги даної установки полягають у наступному: матеріал у млині подрібнюється не тільки ударами молотильних тіл, а й стиранням під час їх перекочування; дають високу ступінь подрібнення.

Недоліки кульових млинів: мала швидкість руху мелючих тіл, не всі тіла беруть участь в помелі матеріалу, не весь об'єм камери млина використовується під час подрібнення (приблизно 45%), високі питомі витрати енергії.

Значення подрібнення в економіці країни досить вагоме. Це стає зрозумілим, якщо врахувати, що подрібнюються сотні мільйонів тонн сировини (в основному в цементній та гірничорудній промисловості). Енергія, яка витрачається безпосередньо на помел, складає менше 10% використаної енергії, а інша втрачається у вигляді тепла, звуку, тертя в підшипниках і т.д.

З метою підвищення ефективності подрібнювання матеріалу, необхідно розробити деякі конструктивні зміни кульових млинів, створювати новаторські ідеї.

Наприклад, для інтенсифікації процесу помелу, зниження надподрібнення подрібнюваного матеріалу необхідно встановити гвинтовий енергообмінний пристрій, який служить для вирівнювання завантаження барабану матеріалом по його довжині. Пристрій виконано у вигляді двох двозахідних гвинтових пристроїв, встановлених в завантажувальній і розвантажувальній частинах барабану і повернутих один відносно одного на кут 180°. Кут підйому гвинтової лінії футерівки складає 10-20° , а отвори повітряних патрубків і з'єднаних з ними пластин розміщені відповідно на їх поверхні по спіралі на висоті, яка не перевищує рівень кулематеріального завантаження.

Для зменшення витрат енергії в млинах, працюючих в режимі само- і напівсамоподрібнення , які найчастіше застосовуються в гірничій, хімічній, цементній промисловостях і інших сферах, де потрібно подрібнення початкового матеріалу, перш за все потрібно розробити конструкцію барабанного млина ,яка була б виконана таким чином, щоб забезпечити зменшення маси і габаритів млина, а також збільшити її довговічність та надійність.

Отже, будь-який прогрес, конструктивні зміни та вдосконалення машин для подрібнювання матеріалів можуть бути джерелом значної економії енергетичних та фінансових ресурсів країни загалом.

Література:

1. Малиновський В.В., Коваленко І.В., «Розрахунки основних процесів,машин та апаратів хімічних виробництв», - К.:Норіта-плюс, 2007. – 216 с.
2. Бауман В.А. «Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций». – М.:Машиностроение, 1981. – 326 с.
3. Кульовий млин. Патент № 1175592 Російська Федерація , МПК B02C17/06 / Фахрутдинов Б.Ф.

УДК 621.867

ЗАСТОСОВУВАННЯ ЯЩИКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЦЕГЛИ

ЧЕМЕРИС А.О., ЗАВАЦЬКИЙ Я.Л.
аціональний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Представлена конструкція, принцип роботи і сфера застосування ящикового живильника. А також запропоновано можливі шляхи модернізації конструкції.

При виробництві цегли глиняні маси підготовляють шляхом розпушування, дезінтеграції основної сировини, добавок що відстають і вигорають, зволоження, перемішування, парової обробки, вакуумування і вилежування. Набір і послідовність глинопереробляючих машин у технологічній лінії визначаються структурними й реологічними властивостями сировини, асортиментами продукції й ступенем ефективності переробки мас цими машинами.
Серед таких машин широко використовуються різноманітні живильники, основним завданням яких є дозування матеріалу для подальшої технологічної операції. Для подачі матеріалу на обробку в вальцях, млині, бігунах та інших машинах доцільніше за все використовувати ящикові живильники. Ящиковий живильник виконує безперервну, рівномірну подачу глини чи суміші, забезпечуючи при цьому великий об’єм накопиченого матеріалу та витримуючи великі зусилля при завантаженні.

Ящиковий живильник представляє собою корпус 9 (рис. 1), дном якого є металева нескінченна пластинчаста стрічка 8, що укріплена на двох роликових ланцюгах 6 і приводиться в рух від електродвигуна 13 через редуктор 10. Ця стрічка, переміщуючись в бік відкритої частини живильника, транспортує матеріал до валу з билами 2, де великі грудки частково розбиваються. До корпусу подавача прикріплені планки, які є фіксаторами рівня опускання шиберів. До планок кріплять металеві шибери .

Ящиковий живильник працює за наступною схемою. Електродвигун 13 через ремінну передачу та редуктор приводить в рух ведучий вал 1. При обертанні ведучого вала приводиться в рух стрічка 8. Через пару зірочок ланцюгом стрічки отримує обертання ведений вал 7. Через ремінну передачу і шків приводиться в рух вал з билами 2, що встановлений над ведучим валом пластинчастої стрічки та спирається на підшипники. При проходженні матеріалу під валом з билами відбувається дроблення великих грудок глини і часткове перемішування компонентів. Сировину дозують, піднімаючи шибери на задану висоту. Якщо в ящиковий живильник завантажують глину одного сорту, то проміжні шибери прибирають і встановлюють один шибер перед валом з билами.

Ящикові живильники застосовуються в технологічній схемі виготовлення цегли, де вони виконують дозувальні функції при подачі глини на камневидільні вальці (або безпосередньо в бігуни мокрого помелу), а також для подачі допоміжних компонентів (пісок, та ін. скріплюючі матеріали) в глиномішалку.

Як і для іншого обладнання, для ящикових живильників важливим є питання підвищення їх надійності та довговічності. На живильник діють досить великі навантаження як при завантаженні в нього матеріалу, так і при транспортуванні та дозуванні цього матеріалу. При передачі крутного моменту від електродвигуна на робочі органи живильника, найбільш навантаженим елементом конструкції становиться вузол приводного валу. В цьому вузлі можливий вихід з ладу деталей, що працюють в напруженому режимі, таких як зірочки, шківи, підшипники, вали та ін. Тому необхідно приділяти велику увагу підвищенню надійності та довговічності вузла приводного валу ще на стадії проектування. Правильний вибір підшипників, шківів, коліс дозволить суттєво підвищити ресурс конструкції в цілому і заощадити кошти на обслуговування та ремонт. Тому одним з перспективних шляхів модернізації конструкції ящикового живильника є вдосконалення деталей вузла приводного валу. Варіантами модернізації можуть бути вибір більш надійних підшипників, зміна

конфігурації шківів або зірочок, яка дозволить підвищити надійність вузла без істотного підвищення (або зовсім без підвищення) затрат на виготовлення комплектуючих.

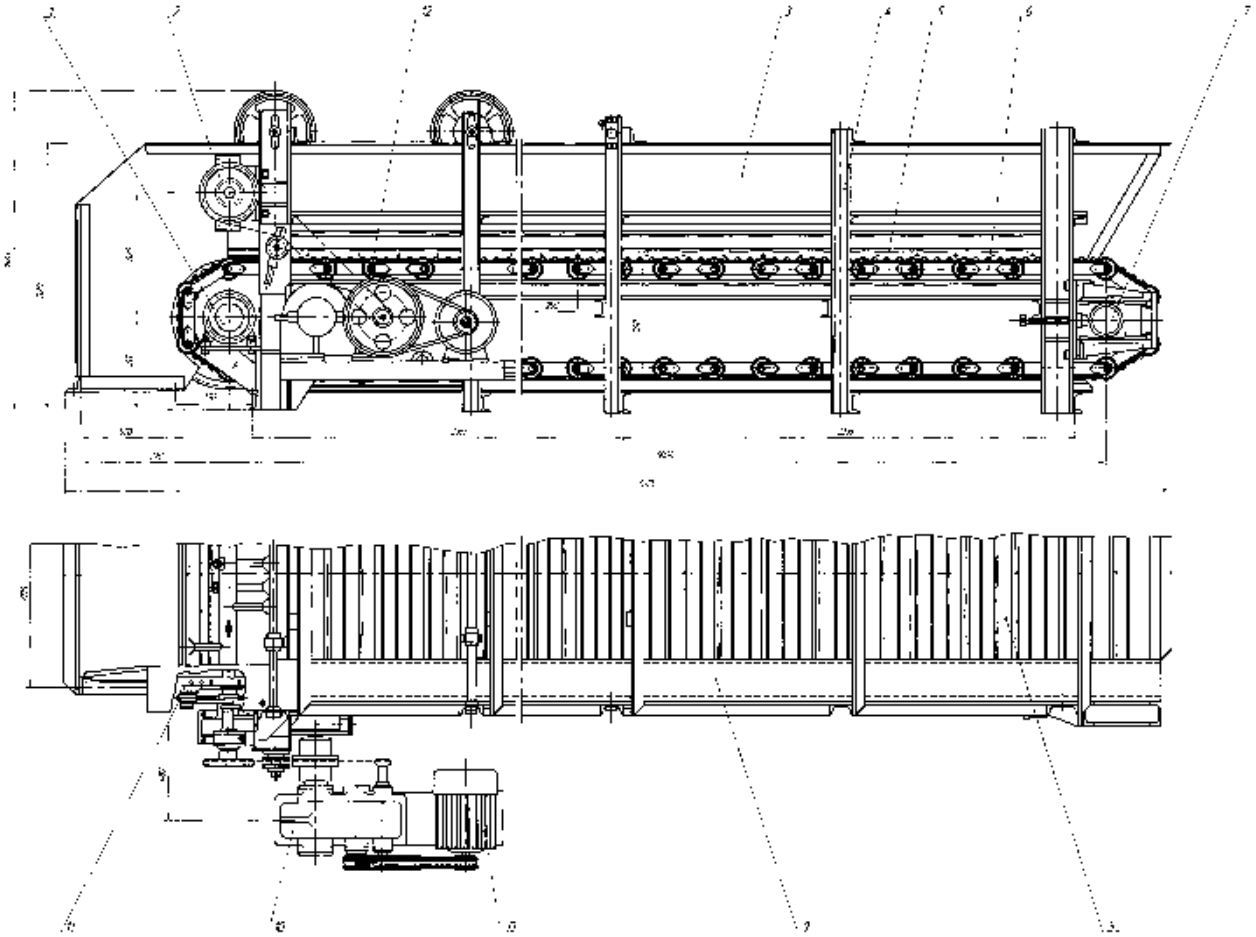


Рис.1. Ящиковий живильник.

Література

1. Кашкаев И.Я Шейнман Е.Ш. Производство глиняного кирпича. Изд. 2-е, испр. и доп. М., «Высш. школа», 1974. 288 с, с ил.
2.Коваленко І.В. Малиновський В.В. Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв. Київ 2007

УДК 681.583.3

НАДЗВУКОВИЙ НАСАДОК ДЛЯ РІДИН АБО ГАЗІВ

Фесенко А. Ф., студентка, Тимонін О. М., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Досліджена робота надзвукового насадка для рідин або газів І. М. Федоткіна. Виконаний чисельний експеримент та проведений аналіз результатів розрахунку. Отримані дані дають змогу оцінити працездатність та підтвердити теоретичні розрахунки.

Пристрій, ідея якого запропонована проф. Федоткіним І.М., відноситься до енергетики і може бути використаний в енергетичних установках як сопловий насадок в газових і водяних

турбінах, літальних апаратах для збільшення реактивної тяги за рахунок охолодження вихлопних газів, холодильній техніці для повітряно-струменевих холодильників, кавітаційній техніці і технології, для водного транспорту як реактивний водометний двигун, як генератор для одержання енергії з повітряного і водяного середовища за рахунок використання ентальпії текучої рідини або газу, для розгону газових і водяних потоків за рахунок їх тепла з використанням підсосу пари або повітря (чи газу), гідродинамічної кавітації і скипання рідини в соплах для прискорення паро - рідинного потоку.

На рис. 1 зображено секційний багатоступеневий надзвуковий насадок з глухими камерами (пазухами). Насадок складається з набору сопел, що звужуються 1, 2, 3, 4, розміщених в корпусі 5. Сопла з корпусом утворюють глухі камери 6, 7, 8 (пазухи). Корпус 5 з'єднується на різьбі 9 із вхідним патрубком 10.

Насадок, працює наступним чином: конус зовнішньої поверхні насадка 1 утворює з конусом внутрішньої поверхні насадка 2 порожнину 6. Потік рідини втікає в патрубок 10 і утворює струмінь, який виходить з сопла 1. Під дією струменя в порожнині 6 утворюється вакуум. Тиск перед соплом 1 падає, збільшується перепад тиску між входом в патрубок 10 і виходом з сопла 1. Збільшення цього перепаду тиску призводить до прискорення руху струменя.

Прискорення руху струменя обумовлює зростання вакууму в порожнині 6, що збільшує перепад тиску між входом 10 і виходом з сопла 1. Це викликає подальше прискорення струменю, що виходить з сопла 1. В наслідок цього утворюється процес з позитивним прогресуючим зворотнім зв'язком. Аналогічні процеси протікають в конусах сопел 2, 3 і пазухах 7, 8.

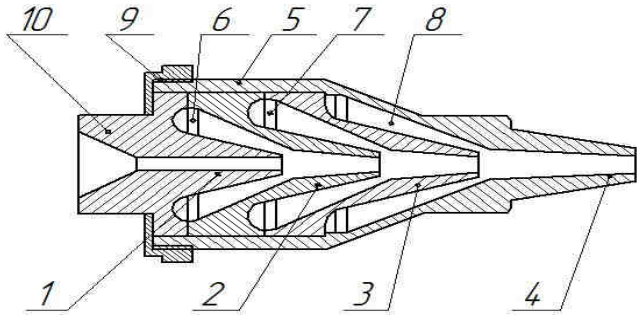


Рис.1. Схема надзвукового насадку

Випробування надзвукового насадку були здійсненні у програмі Solid Works і показали його ефективність і працездатність, що підтверджується відповідними чисельними розрахунками.

УДК 678.057

ПОШУК КРИВИХ ТЕЧІЇ ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОЇ ГУСТИНИ , НЕІНВАРІАНТНИХ ВІДНОСНО ГІДРАВЛІЧНОГО РАДІУСУ КАНАЛУ

Сівецький В.І., к.т.н., проф., Рябінін Д.Д., к.т.н., доц., Сокольський О.Л., к.т.н., доц.,
Кубрак Р.С., студент
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Криві течії полімерів, необхідні при гідравлічних розрахунках полімерного устаткування, визначають методами капілярної віскозиметрії на круглих або плоскощілинних каналах. Пропонується метод пошуку кривих перебігу полімерів, неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналу, до інваріантного вигляду, зокрема, для можливості використання віскозиметричних даних при розрахунках некруглих каналів.

Використання гідравлічного радіусу при розрахунку каналів як способу переходу від каналів прямокутного поперечного перерізу до круглих каналів при течії розплавів полімерів приводить до кривих течії, які неінваріантні відносно гідравлічного радіусу каналу [2]. Для пошуку такого роду кривих течії запропоновано використовувати поряд з гідравлічним радіусом реологічну змінну, яку умовно називають реологічним радіусом і яка залежить від реологічних властивостей неньютонівських рідин [2].

Для випадків течії розплавів полімерів в круглих і плоскощілинних каналах в роботі [1] запропоновано метод визначення швидкості ковзання і істинної кривої течії полімерів за неінваріантними реологічними характеристиками. Цей метод дозволяє визначити залежність швидкості ковзання на стінках круглого і плоскощілинного каналів від напруження зсуву і істинну криву течії за неінваріантними відносно поперечних розмірів каналів залежностями ефективного градієнту швидкості від напруження зсуву, які були отримані звичайними методами, що дозволяє ураховувати специфічні властивості матеріалу типу композицій на основі ПВХ.

Для каналів з прямокутним поперечним перерізом в роботах [2] встановлено неінваріантність кривих течії розплавів полімерів відносно гідравлічного радіусу каналу, отримані співвідношення, які дозволяють визначити уточнений гідравлічний радіус каналу R_R, який умовно названо реологічним [2]. Розміри досліджуваних каналів були вибрані сумірними із промисловими. Висоту прямокутних каналів було вибрано 2 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм, 16мм та 32 мм, а ширина залишається сталою і дорівнює 32 мм.

Нерозв'язаною раніше частиною загальної проблеми є застосування реологічного радіусу каналу R_R для пошуку кривих течії полімерів, неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналу. Це необхідно для забезпечення можливості використання даних капілярної віскозиметрії при гідравлічному розрахунку каналів з некруглим поперечним перерізом.

Вирішення проблеми здійснюється у два етапи. На першому етапі з використанням гідравлічного радіусу $R_{\Gamma i\times 32}$ отримаємо криві течії полімерів, неінваріантні відносно гідравлічного радіусу каналів. Другий етап проводиться з використанням реологічного радіусу каналу $R_{Ri\times 32}$ і завершується пошуком кривих течії, неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналів.

На першому етапі проводиться розрахунок гідравлічного радіусу $R_{\Gamma i\times 32}$, напруження зсуву на стінці каналу $\tau_{R_{\Gamma i\times 32}}$ та ефективного градієнту зсуву $\Gamma_{R_{\Gamma i\times 32}}$ [2].

На другому етапі визначаємо ефективний градієнт швидкості $\Gamma_{R_{\Gamma i\times 32}}$, використовуючи який на кривій течії каналу 2×32 знаходимо величину напруження зсуву τ_x.

Після цього знаходимо напруження зсуву на стінці *i*-го каналу [3], враховуючи що $\tau_{R_{\Gamma i\times 32}} = \tau_{R_{Ri\times 32}}$:

$$\tau_{R_{\Gamma i\times 32}} = \tau_x \left(\frac{R_{\Gamma i\times 32}}{R_{Ri\times 32}} \right)^{3n},$$

де n – індекс течії.

Відмічаємо величину напруження зсуву $\tau_{R_{\Gamma i\times 32}} = \tau_{R_{Ri\times 32}}$ на кривій течії *i*-го каналу.

Величину ефективного градієнту швидкості $\Gamma_{R_{Ri\times 32}}$ визначаємо за допомогою кривої течії 2×32 і перевіряємо її величину за співвідношенням:

$$\Gamma_{R_{Ri\times 32}} = \Gamma_{R_{\Gamma i\times 32}} \sqrt[n]{\frac{\tau_{R_{\Gamma i\times 32}}}{\tau_x}},$$

Шукана точка консистентної кривої течії *i*-го каналу знаходиться як точка перетину прямих, одна з яких перпендикулярна до осі ефективних градієнтів швидкості у точці $\Gamma_{R_{Ri\times 32}}$, а друга пряма перпендикулярна осі напружень зсуву у точці $\tau_{R_{\Gamma i\times 32}}$.

В таблиці 1 наведені розрахункові дані для пошуку кривої течії розплаву поліетилену високої густини, неінваріантної відносно гідравлічного радіусу каналу 8×32, за температури $170\,°C$.

Таблиця 1 - Параметри течії поліетилену високої густини марки П-4020-ЄК у каналі 8×32 за температури $170\,°C$

Температура розплаву Т, °С	Гідравлічний радіус $R_{\Gamma 4\times 32}$, *см*	Реологічний радіус $R_{R4\times 32}$, *см*	$\tau_{R_{\Gamma 4\times 32}}$, $н/см^2$	τ_x, $н/см^2$	$\Gamma_{R_{\Gamma 4\times 32}}$, c^{-1}	$\Gamma_{R_{R4\times 32}}$, c^{-1}	*n*
170	0,323	0,2242	2,07	1,3	7,6	22,7	0,4245
	0,323	0,2253	2,85	1,8	14,75	43,5	0,4245
	0,323	0,2225	3,7	2,3	25,5	78,8	0,4245
	0,323	0,2174	5,8	3,5	66	216,88	0,4245
	0,323	0,2163	6,7	4	90	303,39	0,4245
	0,323	0,2129	8,5	5	145	506,5	0,4245
	0,323	0,2063	9,2	5,2	172	659,28	0,4245
	0,323	0,2123	9,9	5,8	200	704,8	0,4245

На рис.1 суцільними лініями показані консистентні криві течії для каналів 2×32 та 8×32 за температур $170\,°C$, отримані в результаті дослідів, які порівнюються із розрахунковими даними.

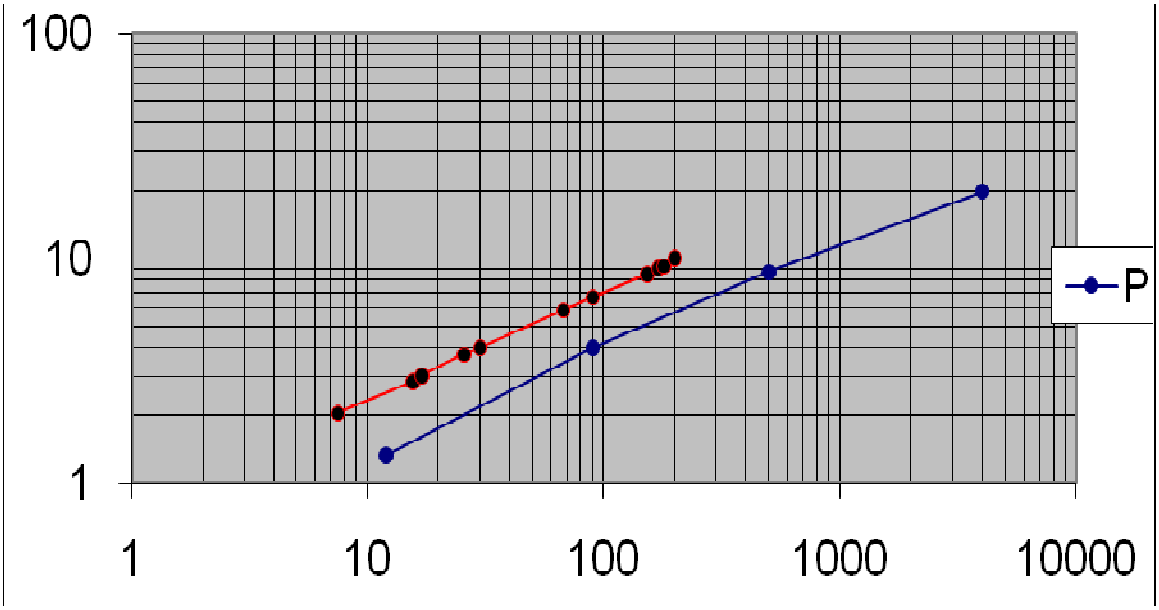


Рис. 1 Консистентні криві течії для каналів 2×32 та 8×32 за температури $170\,°C$: криві течії- суцільні лінії; розрахункові дані для $170\,°C$ - •

Висновки

Наведений у статті метод пошуку кривих течії, неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналу дає змогу підвищення точності визначення реологічних характеристик розплаву поліетилену і можливість використання результатів віскозиметричного експерименту для розрахунку опорів прямокутних каналів довільного перетину.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку можуть бути направлені на виявлення впливу індексу течії на реологічні характеристики розплаву полімерів.

Література

1. Жданов Ю.А., Иванова Л.А., Рябинин Д.Д. Метод определения скорости скольжения и истинной кривой течения полимеров по неинвариантным реологическим характеристикам.- Респ. межв. научно-техн. сб. “Химическое машиностроение”, вып. 18, “Техніка”, 1973, с.50-57.
2. Сівецький В.І., Сахаров О.С., Сокольський О.Л., Рябінін Д.Д. Пристінні ефекти в процесах переробки полімерних матеріалів. - К.: НТУУ “КПІ”, 2006. – 131 с.

УДК 678.057

ЗАЛЕЖНІСТЬ КРИВИХ ТЕЧІЇ ПОЛІМЕРІВ ВІД РОЗМІРІВ ПРЯМОКУТНИХ КАНАЛІВ

Сівецький В.І., к.т.н., проф., Рябінін Д.Д., к.т.н., доц., Сокольський О.Л., к.т.н., доц.,
Герасименко В.О., студ.
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”

В гідравлічних розрахунках рекомендується використовувати гідравлічний радіус як адекватний спосіб переходу від каналів не круглого поперечного перерізу до круглих каналів, що при дослідженні течії полімерів в некруглих каналах підтверджується рідко, і криві течії в цьому випадку виявляються неінваріантними відносно гідравлічного радіусу каналу. Пропонується метод приведення кривих течії полімерів до інваріантного вигляду.

Використання гідравлічного радіусу при розрахунку каналів як способу переходу від каналів прямокутного поперечного перерізу до круглих каналів при течії розплавів полімерів приводить до кривих течії, які неінваріантні відносно гідравлічного радіусу каналу [2]. Для пошуку кривих течії розплаву полімеру, які неінваріантні відносно гідравлічного радіусу каналу запропоновано використовувати поряд з гідравлічним радіусом реологічну змінну, яку умовно називають реологічним радіусом і яка залежить від реологічних властивостей неньютонівських рідин [2].

Для випадків течії розплавів полімерів в круглих і плоскощілинних каналах в роботі [1] запропонований метод визначення швидкості ковзання і істинної кривої течії полімерів за неінваріантними реологічними характеристиками. Цей метод дозволяє визначити залежність швидкості ковзання на стінках круглого і плоскощілинного каналів від напруження зсуву і істинну криву течії за неінваріантними відносно поперечних розмірів каналів залежностями ефективного градієнту швидкості від напруження зсуву, які були отримані звичайними методами.

Для каналів з прямокутним поперечним перерізом в роботах [2] встановлено неінваріантність кривих течії розплавів полімерів відносно гідравлічного радіусу каналу, отримані співвідношення, які дозволяють визначити уточнений радіус каналу R_R, який умовно названо реологічним [2]. Висоту прямокутних каналів було вибрано 2 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм, 16мм та 32 мм, а ширина залишається сталою і дорівнює 32 мм.

Метою роботи є застосування алгоритму розв'язання задачі пошуку кривих течії полімерів, неінваріатних відносно гідравлічного радіусу каналу.

Задача розв'язується у два етапи. На першому етапі з використанням гідравлічного радіусу $R_{\Gamma i\times 32}$ отримаємо криві течії полімерів, неінваріантні відносно гідравлічного радіусу каналів. Другий етап проводиться з використанням реологічного радіусу каналу $R_{Ri\times 32}$ і завершується пошуком кривих течії, неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналів.

На першому етапі для розрахунку гідравлічного радіусу $R_{\Gamma i\times 32}$, напруження зсуву на стінці каналу $\tau_{R_{\Gamma i\times 32}}$ та ефективного градієнту зсуву $\Gamma_{R_{\Gamma i\times 32}}$ використаємо такі співвідношення [2]:

$$R_{\Gamma i\times 32} = \frac{S_{i\times 32}}{\chi_{i\times 32}}, \tag{1}$$

$$\tau_{R_{\Gamma i\times 32}} = \frac{\Delta P_{i\times 32}\cdot R_{\Gamma i\times 32}}{L_{i\times 32}}, \tag{2}$$

$$\Gamma_{R_{\Gamma i\times 32}} = \frac{Q_{i\times 32}}{2\pi\cdot R^3_{\Gamma i\times 32}}, \tag{3}$$

де $S_{i\times 32}$ - площа нормального перерізу каналу; $\chi_{i\times 32}$ - змочений периметр; $\Delta P_{i\times 32}$ -перепад тиску в каналі довжиною $L_{i\times 32}$; $Q_{i\times 32}$ - об'ємна витрата.

На другому етапі використаємо співвідношення наведені у роботі [2]. Алгоритм вирішення задачі складається із наступних операцій.2

1. З використанням співвідношення (1) для гідравлічного радіусу $R_{\Gamma i\times 32}$ із співвідношення (3) визначаємо ефективний градієнт швидкості $\Gamma_{R_{\Gamma i\times 32}}$.

2. З використанням ефективного градієнту швидкості $\Gamma_{R_{\Gamma i\times 32}}$, визначеного за рівнянням (3), на кривій течії каналу 2×32 знаходимо величину напруження зсуву τ_x.

3. Знаходимо напруження зсуву на стінці *i*-го каналу, враховуючи, що $\tau_{R_{\Gamma i\times 32}} = \tau_{R_{Ri\times 32}}$,

4. Відмічаємо величину напруження зсуву $\tau_{R_{\Gamma i\times 32}} = \tau_{R_{Ri\times 32}}$ на кривій течії каналу 2 х 32.

5. Величину ефективного градієнту швидкості $\Gamma_{R_{Ri\times 32}}$ визначаємо за допомогою кривої течії 2×32.

6. Шукана точка знаходиться, як точка перетину прямих, одна з яких перпендикулярну до осі ефективних градієнтів швидкості у точці, а друга пряма перпендикулярна осі $\Gamma_{R_{Ri\times 32}}$.

Величини $\tau_{R_{\Gamma i\times 32}} = \tau_{R_{Ri\times 32}}$ та $\Gamma_{R_{Ri\times 32}}$, належать до кривої течії каналу 2×32 і набувають сенсу середнього за периметром напруження тертя на стінці та ефективного градієнту швидкості, які характеризують напружений стан *i*-го каналу. Такі перетворення можливі для будь-якого каналу. Внаслідок чого криві течії розплавів полімерів, що рухаються у прямокутних каналах, стають інваріантними відносно розмірів поперечного перерізу каналу.

В таблиці 1 наведені розрахункові дані для пошуку кривої течії розплаву поліетилену високої густини, неінваріантної відносно гідравлічного радіусу каналу 4×32, за температури $170\,°C$.

Таблиця 1 - Параметри течії поліетилену високої густини марки П-4020-ЭК у каналі 4×32 за температури $170\,°C$

Температура розплаву Т, $°C$	Гідравлічний радіус $R_{Г4\times32}$, см	Реологічний радіус $R_{R4\times32}$, см	$\tau_{R_{Г4\times32}}$, $\frac{н}{см^2}$	τ_x, $\frac{н}{см^2}$	$\Gamma_{R_{Г4\times32}}$, c^{-1}	$\Gamma_{R_{R4\times32}}$, c^{-1}	n
170	0,176	0,1496	1,6	1,3	7,4	12,08	0,4245
	0,176	0,1489	2,6	2,1	21	34,73	0,4245
	0,176	0,1469	3,15	2,5	31,5	54,3	0,4245
	0,176	0,1477	4,5	3,6	70	118,44	0,4245
	0,176	0,1477	6,25	5	142,5	241,11	0,4245
	0,176	0,1471	8,8	7	300	514,2	0,4245
	0,176	0,1444	10,8	8,6	500	905	0,3839
	0,176	0,1425	12,75	10	760	1431,08	0,3839
	0, 176	0, 139	15,75	12	1225	2490, 4	0,3839

На рис.1 суцільними лініями показані консистентні криві течії для каналів 2×32 та 4×32 за температур $150\,°C$ та $190\,°C$, отримані в результаті дослідів, які порівнюються із розрахунковими даними.

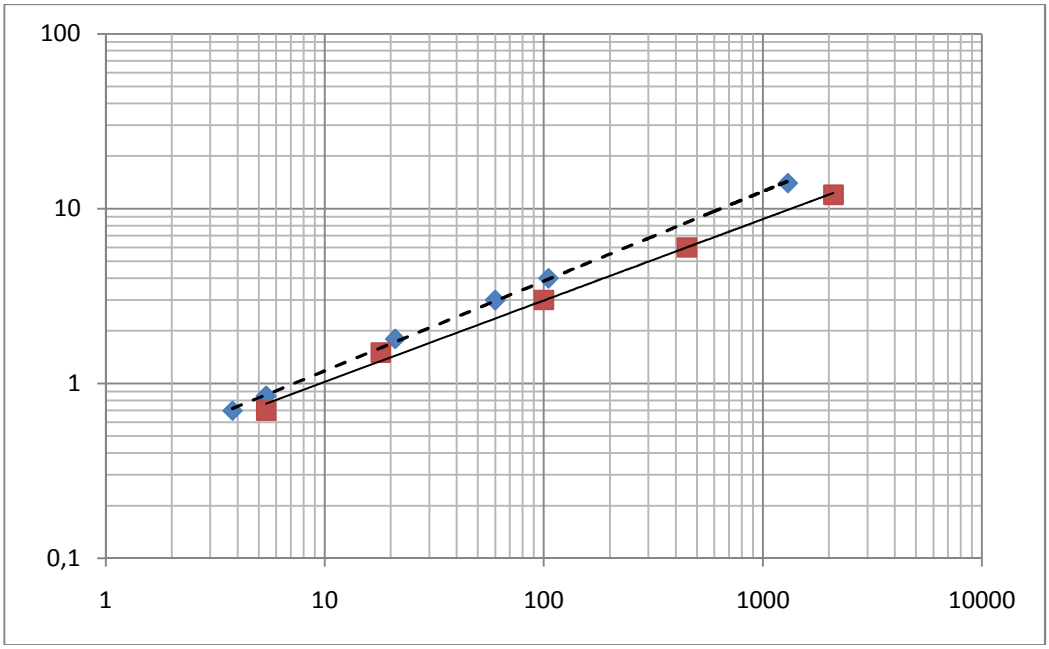


Рис. 1. Консистентні криві течії поліетилену високої густини П-4020-ЭК для каналів 2×32 (- - -) та 4×32 (-----) за температури $170\,°C$: криві течії - суцільні лінії; розрахункові дані за температури $170\ °C$ – ■

Висновки

Наведений у статті метод пошуку кривих неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналу дає змогу підвищення точності визначення реологічних характеристик розплаву поліетилену високої густини і можливість використання результатів віскозиметричного експерименту для розрахунку опорів прямокутних каналів довільного перетину.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку можуть бути направлені на виявлення впливу індексу течії на реологічні характеристики розплаву полімерів.

Література

1. Жданов Ю.А., Иванова Л.А., Рябинин Д.Д. Метод определения скорости скольжения и истинной кривой течения полимеров по неинвариантным реологическим характеристикам.- сб. “Химическое машиностроение”, вып. 18. –К.: Техніка, 1973,- с.50-57.

2. Сівецький В.І., Сахаров О.С., Сокольський О.Л., Рябінін Д.Д. Пристінні ефекти в процесах переробки полімерних матеріалів. – К.: НТУУ «КПІ», 2009.- 140 с.

УДК 678.057

КІНЕМАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛІМЕРУ В КВАДРАТНОМУ КАНАЛІ

Сівецький В.І., к.т.н., проф., Рябінін Д.Д., к.т.н., доц., Сокольський О.Л., к.т.н., доц.,
Арсенюк О.М., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна, м.Київ

Досліджено профіль швидкостей поліетилену низької густини марки П-2010-В в квадратному каналі. Отримані експериментальні дані дозволяють уточнити визначення втрат напору і підвищити точність розрахунку опору каналів головок екструдерів.

Для дослідження профілю швидкостей розплаву поліетилену було застосоване створення міток імпульсним введенням пофарбованого матеріалу[1, 2, 3].

Дослідження проводилось на установці, призначеної для вивчення опру каналів при течії розплавів полімерів. Установка була обладнана пристроєм для упорскування підфарбованого матеріалу. У момент упорскування із сопла видавлювалися частки підфарбованого матеріалу, які захоплювалися основним потоком. Наприкінці ходу основного плунжера канал перекривався засувкою, гострі крайки якої одночасно відрізали струмінь. При цьому одночасно відключались електродвигуни приводних пристроїв і здійснювався вимір витрат експерименту, після чого роз'ємний корпус досліджуваного каналу від'єднувався від установки й розбирався на дві половини. При цьому розплав розрізався тонкою сталевою ниткою.

Замір відстаней між мітками виконувався безпосередньо після розбирання корпуса каналу до охолодження розплаву. Швидкість руху визначалась, як частка від розподілу відстані між двома сусідніми мітками, розташованими в потоці, віднесена до часу між їх утворенням.

Застосований метод і зазначене устаткування дали можливість визначити швидкість в потоці розплаву полімеру, починаючи з відстані 0,7мм від стінки каналу. У ході експериментів контролювалися температури в декількох точках по перерізу досліджуваного каналу й виконувався вимір сумарної витрати й тривалості досліду.

Об'єктом дослідження було обрано поліетилен низької густини (ПЕНГ) марки П-2010-В, для якого криві залежності напруження зсуву на стінці каналу від ефективного градієнта швидкості є інваріантними відносно діаметра каналу і не дають будь-яких підстав припускати наявність пристінних ефектів або інших ефектів, які могли би привести до неінваріантності кривих течії [2, 3, 4]. Отримані криві течії ПЕНГ підтверджують сильну залежність в'язкості матеріалу від температури і є інваріантними відносно діаметру каналу.

Профілі швидкостей при течії ПЕНГ були наведені [4] у вигляді залежності швидкості на різних траєкторіях, які відповідають величинам безрозмірного радіусу 0,0; 0,4; 0,6; 0,8 та 0,9 при течії в каналах діаметром 32,4 і 24,3 мм та температурах 150°С і 210°С. Експерименти проводились при зміні витрат у діапазоні від 1 до 20см^3/с. Криві залежності швидкості течії полімеру від об'ємної витрати можуть бути апроксимовані прямими лініями з тангенсами кута нахилу у логарифмічних координатах приблизно рівними 1. Це знаходиться у добрій відповідності з реологічними характеристиками полімеру, які за цих швидкостей течії практично не змінюють нахилу у логарифмічних координатах. У той же час, прямі дещо зближуються із збільшенням витрати, що є відображенням підсилення неньютонівських властивостей. Порівняння даних, які отримані за температур 150°С і 210°С показує, що за однакових витрат різниця між швидкостями течії, які заміряні на різних траєкторіях за температури 150°С менша, ніж за 210°С. Це свідчить про те, що зі збільшенням температури профіль швидкостей стає більш опуклим і, відповідно, за більш високих температур ПЕНГ відповідає більш висока степінь ньютонівської поведінки.

Течію ПЕНГ марки П-2010-В у квадратному каналі було досліджено за температур 150°С, 170°С та 190°С. Мітки вводилися у канал у площині роз'єму. Довжина перерізу у площині роз'єму складала Н=32,1мм. Порівняння швидкостей течії полімеру на різних безрозмірних відстанях від центру до стінки каналу наведено на рис. 1.

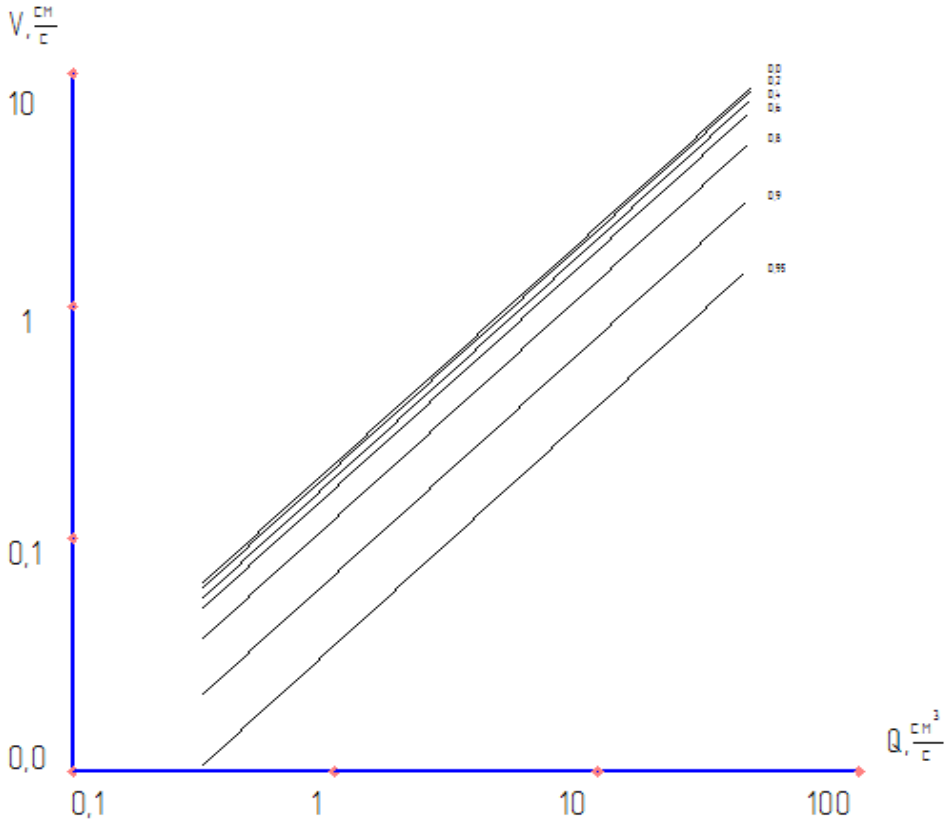


Рис.1. Швидкість течії поліетилену низької густини марки П-2010-В за температури 150°С на різних безрозмірних відстанях від центру до стінки каналу (показані цифрами біля прямих)

Якщо зіставити експериментальні данні, отримані на квадратному каналі при течії ПЕНГ, з даними для круглих каналів, то можна відмітити наступне. Так як і для круглих каналів, для вибраного перерізу квадратного каналу криві залежності швидкості течії полімеру на різних траєкторіях від об'ємної витрати добре апроксимується прямими лініями з тангенсами кута нахилу у логарифмічних координатах, приблизно рівними 1. Можна зробити припущення, що в цьому перерізі квадратного каналу потік полімеру має властивості, які характерні для круглого каналу.

Залежності швидкостей течії на різних траєкторіях в каналі діаметром 24,3мм аналогічні залежностям, отриманим при течії ПЕНГ у каналі діаметром 32,4мм.

Дослідження в'язкісних властивостей і профілю швидкостей потоку ПЕНГ підтвердило збіжність основних закономірностей течії усього матеріалу на капілярах із механізмом його течії у трубах і можливість розповсюдження загального підходу, який витікає із теоретичних засад поведінки в'язких неньютонівських рідин, на розрахунок каналів головок черв'ячних машин, розміри яких суттєво перевищують розміри капілярів і становлять величини одного порядку із досліджуваними каналами.

Література

1. Василечко О.С., Сівецький В.І., Рябінін Д.Д., Сокольський О.Л. Профілі швидкості полімеру у квадратному каналі. – Збірник доповідей науково-практичної конференції студентів, аспірантів та науковців. – К.: Січкар, 2010. – с.18-19.
2. Жданов Ю.А., Дубовицкий В.Ф. Исследование профиля скоростей при течении росплава полиэтилена в цилиндрических каналах. – СБ. «Химическое машиностроение», вып. 8. – Техника, 1968. – с.42-47.
3. Сівецький В.І., Сахаров О.С., Сокольський О.Л., Рябінін Д.Д. Пристінні ефекти в процесах переробки полімерних матеріалів. – К.: НТУУ «КПІ», 2009.-140с.
4. Жданов Ю.А. Исследование течения расплавов полимеров в каналах головок червячных машин. - Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – К.:-1969

УДК 678.057

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОФІЛЮ ШВИДКОСТЕЙ ПОЛІЕТИЛЕНУ У ПРЯМОКУТНОМУ КАНАЛІ ІЗ РОЗМІРАМИ 8мм х 32мм

Сівецький В.І., к.т.н., проф., Рябінін Д.Д., к.т.н., доц., Сокольський О.Л., к.т.н., доц.,
Потебня Н.В., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна, м.Київ

Досліджено профіль швидкостей поліетилену низької густини марки П-2010-В в прямокутному каналі. Отримані експериментальні дані дозволяють уточнити визначення втрат напору і підвищити точність розрахунку опору каналів головок екструдерів.

В роботі [1] розглянута ізотермічна усталена течія нестисливої ньютонівської рідини у прямих горизонтальних каналах прямокутного поперечного перерізу.

На рис. 1 показано поперечний переріз каналу і положення координатних осей, які являють собою звичайну систему декартових координат. Ширина каналу - W, висота – H.

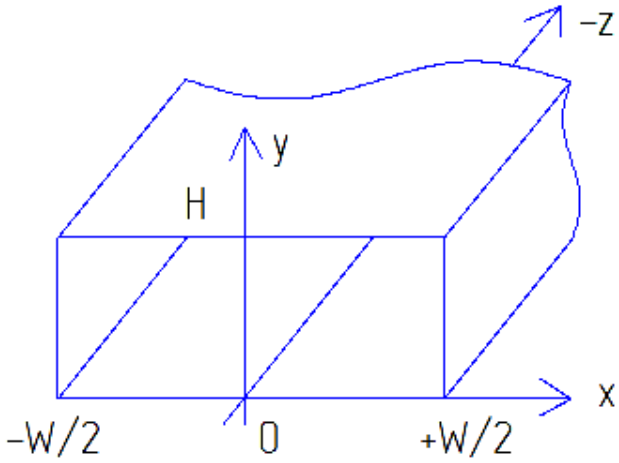


Рис.1. Прямий горизонтальний канал прямокутного поперечного перерізу шириною W і висотою H

Оскільки тільки єдина компонента вектора швидкості V_z не дорівнює нулю, рівняння руху приймають вигляд

$$\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)=\left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}\right)+\left(\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}\right)$$

або після підставлення компонента тензора напружень

$$\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)=\mu\left[\frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2}\right]$$

де P – тиск; μ – в'язкість ньютонівської рідини.

Крайові умови задачі, які встановлюють із припущення про нерухомість рідини біля стінок каналу, записують у вигляді

$$V_z(x, 0) = 0$$

$$V_z(x, H) = 0$$

$$V_z(\pm\frac{W}{2}, y) = 0$$

Буссінеск вперше знайшов розв'язання рівняння у частинних похідних за заданими крайовими умовами. Розв'язання може бути отримано за методом відокремлення змінних і записано у вигляді

$$V_z = \frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)\left[\frac{y}{2}(y-H) + \frac{4H^2}{\pi^3}\sum_{n=1\ldots3}^{\infty}\frac{1}{n^3}\sin\left(\frac{n\pi y}{H}\right)\cdot\frac{ch\left(\frac{n\pi x}{H}\right)}{ch\left(\frac{n\pi W}{2H}\right)}\right]$$

Розраховані за рівнянням (1) профілі швидкості ньютонівської рідини у прямокутному каналі звичайно порівнюють із досліджуваним експериментально визначеним профілем швидкостей неньютонівської рідини для встановлення кінематичних особливостей течії її у прямокутних каналах.

Для дослідження профілю швидкостей поліетилену низької густини марки П-2010-В було застосовано створення міток імпульсним введенням підфарбованого матеріалу [2]. Температури дослідів були вибрані 150°С, 170°С і 190°С. Ширина перерізу у площині роз'єму складала B=32мм. Висота прямокутного каналу становила H=8,1мм. Безрозмірна відстань від стінки каналу у площині роз'єму в напрямку його центру розраховувались як $B_i/(B/2)$. В таблиці наведені дані для побудування епюр швидкості.

Таблиця1. Кінематичні параметри течії поліетилену низької густини марки П-2010-В в каналі 8х32 за температур 150°С, 170°С і 190°С.

Об'ємна Витрата Q,см^3/с	Безрозмірна відстань від стінки каналу						
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95
	Швидкість течії V,см/с						
T=150°C							
0,0784	0,075	0,072	0,066	0,054	0,035	0,02	0,009
0,7	0,542	0,538	0,518	0,475	0,383	0,21	0,105
1,59	1,13	1,12	1,08	0,98	0,815	0,475	0,225
2,23	1,475	1,47	1,43	1,31	1,11	0,65	0,325
3,53	2,25	2,19	2,08	1,91	1,61	1,15	0,55
T=170°C							
0,09	0,073	0,0718	0,069	0,061	0,042	0,023	0,011
0,7	0,54	0,54	0,51	0,465	0,345	0,19	0,09
1,62	1,09	1,085	1,075	1,01	0,825	0,5	0,24
2,26	1,545	1,535	1,515	1,465	1,26	0,75	0,375
4,39	2,9	2,87	2,77	2,6	2,28	1,4	0,7
T=190°C							
0,724	0,6	0,588	0,56	0,5	0,358	0,213	0,1
1,114	0,78	0,763	0,743	0,698	0,57	0,313	0,15
1,9	1,32	1,29	1,23	1,12	0,92	0,525	0,26

Особливості кінематичних характеристик потоку поліетилену низької густини у прямокутних каналах дозволяють суттєво уточнити визначення втрат напору і підвищити точність розрахунку опору каналів головок екструдерів.

Література

1. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров. [Текст] / Д.М.Мак-Келви – М.: Химия, 1965. – 443с.
2. Сівецький В.І. Пристінні ефекти в процесах переробки полімерів. [Текст] / Сівецький В.І., Сахаров О.С., Сокольський О.Л., Рябінін Д.Д. – К.: НТУУ «КПІ», 2009.-140с.

УДК 678.057

ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ СУШІННЯ ПЕТФ-ГРАНУЛЯТУ ТА ДЕФЕКТИ, ЩО З НИМИ ПОВ'ЯЗАНІ

ПРИСТАЙЛОВ С. О., доц., ВЛАСЮК С.О.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

У даній статті розглядаються ті процеси та фактори на стадії сушіння ПЕТФ-грануляту, що мають безпосередній та найбільший вплив на якість подальшої продукції, що виготовляється.

Стадію сушіння грануляту поліетилентерефталату по праву вважають важливішою стадією технологічного процесу переробки цього полімеру у різні вироби, у тому числі включаючи тару. Промислове оформлення сушіння реалізується як у періодичному, так і у переважно неперервних варіантах.

Можливість стабільного проведення цієї стадії процесу переробки полімеру, а також підготовки розплаву ПЕТФ до формування багато у чому зумовлені умовами та способом сушіння грануляту [1]. Складність реалізації сушіння обумовлена рядом факторів:

- вода є структурним пластикатором ПЕТФ, понижуючи його температуру склування і тим самим температуру липкості (див. схему на рис. 1). Низькі значення останньої (менше 120^0) різко обмежують температуру сушильного агента, що подається в сушилку. Це призводить до виникнення небезпеки злипання гранул в агломерати в зоні завантаження у плавильний пристрій, а отже, порушує стабільність всього технологічного процесу формування у зв'язку із порушеннями рівномірної подачі полімеру;

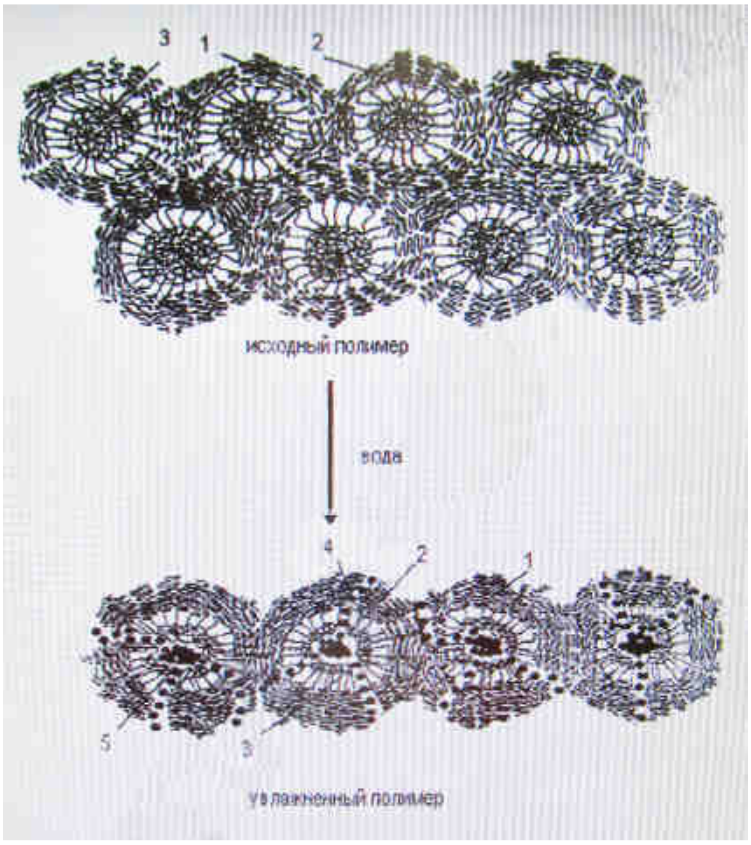


Рис. 1. Схема структурної перебудови аморфно-кристалічного поліетилентерефталата під впливом сорбуємої води:

1. Упорядочена фаза полімера;
2. «Навантажені» сегменти;
3. Аморфна «губка» полімера;
4. Молекули води;
5. Кластер.

- при підвищеній вологості вихідного грануляту в умовах високотемпературної сушки виникає небезпека інтенсифікації процесів гідролітичної деструкції полімерного субстрата, що, як результат, призводить до різкого погіршення фізичних властивостей матеріалів, що формуються. На виході маємо ряд дефектів механічного походження;

- існує необхідність забезпечення максимальної рівномірності вологовмісту по всій масу поступаю чого на сушіння грануляту [2]. Волога є структурним пластика тором, а отже, прискорює протікання кристалізаційних процесів. Тому у випадку невідповідності обумовлюється досягнення різного ступеню кристалічності, що в свою чергу змінює масо перенос у полімерних субстратах, а також час плавлення. Це ускладнює можливість отримання гомогенного розплаву:

- необхідною умовою ефективного проведення сушки ПЕТФ-грануляту є застосування достатньо сухого сушильного агента- повітря, точка роси якого $T_p < -40^0$C. У промислових умовах підготовка до рециркуляції такого повітря реалізується у різних технологічних варіантах з використанням як адсорбційних, так і конденсаційних установок.

Для підвищення якості та продуктивності, що має відповідний вплив на зменшення об'єму можливих дефектів на подальших стадіях виготовлення тари, необхідно вдосконалити існуючі методи регулюваннння та налаштування режимів роботи апаратів, що приймають безпосередню участь у процесі сушіння грануляту. Апарати, що розглядаються у даному контексті і, відповідно, потребують вдосконалення, складають 4 основні типи:

- для сушіння у зваженному шарі;
- барабанного типу;
- для сушки гранул у рухомому «стовпі»;
- горизонтальні апарати.

Література:

1. Голубев Л. Г., Сажин Б. С., Валашек Е. Р. Сушіння в хіміко-фармацевтичній промисловості. –М.: Медицина, 1978, 272с.
2. Геллер В. Е. Високошвидкісне формування поліефірних ниток. –Тверь, ТО К-ЖИ, 2000, 136с.

УДК 678.057

ПРО ВЗАЄМОДІЮ ВОДИ З ПЕТФ ПРИ СУШІННІ ГРАНУЛЯТУ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ

ПРИСТАЙЛОВ С. О., доц., ВЛАСЮК С.О.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Дана стаття розглядає ті процеси під час сушіння ПЕТФ-грануляту, що виникають під час взаємодії останнього з водою, та яким чином вони впливають на утворення дефектів

Стабільність технологічного процесу формування виробів з ПЕТФ (плівок, ниток, волокон, тари) у значній мірі залежить від вологовмісту полімерного субстрату перед його переходом у в'язкотекучий стан (перед плавленням). Вже давно було відмічено, що при 150^0C і вище при вмісті води W > 0,01% (мас.) різко збільшується гідролітична деструкція ПЕТФ [1].

Разом з тим, вологовміст промислових зразків грануляту ПЕТФ звичайно складає 0,3-0,5% (мас.). Сушіння грануляту ПЕТФ реалізується у різноманітних апаратно-технологічних варіантах - у періодичному і безперервному, причому другий отримав найбільше практичне застосування. Найбільше застосування для реалізації процесу набули апарати зі стаціонарним («фільтруючим») шаром [2].

Як відомо, при сушінні процеси тепло- і масоміжфазного обміну включають дві стадії:
- обмін між потоком зріджуючого агента (повітря) і поверхнею твердих частинок;
- перенос вологи всередину самих висушуваних частинок.

В залежності від того, яка з цих стадій -1 чи 2 – лімітує інтегральну швидкість сушіння, відповідно визначаючи «зовнішню» або «внутрішню» задачу процесу, а при співрозмірності швидкостей обох стадій - говорять про «складну» задачу. Окрім того, в технологічній практиці зустрічаються процеси, швидкості яких визначають не тільки вказаними вище стадіми, а й умовами підводу (відводу) тепла або речовини у систему з потоками зріджуючого агента (повітря)їм твердих частинок. В цих випадках говорять про «балансну» задачу.

Внаслідок великого значення дифузійного опору, вже при малих швидкостях руху сушильного агенту реалізується внутрішня задача: $C_n = C_p$. C_n – поверхнева відносна масова доля речовини, що розподіляється, у твердій фазі у розрахунку на одиницю маси власне твердої фази, C_p – внутрішня відносна масова доля розоділюваної речовини у твердій фазі у розрахунку на одиницю маси власне твердої фази. Це підтверджується незалежністю кінетики процесу від швидкості руху середи, а також величинами числа $Bi_м$, розрахованого для умов проведення процесу (рис. 1):

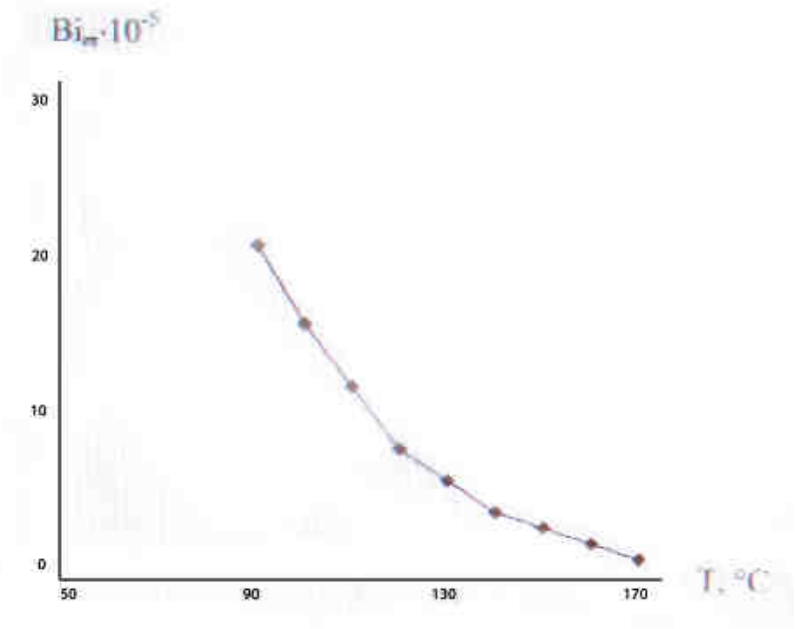


Рис. 1. Залежність критерія $Bi_м$ від температури для поліетилентерефталату

Розмежування «внутрішньої» та «зовнішньої» задач може бути здійснене по співвідношенню температурного (або концентраційного) напору.

Література:

1. Davies T., Goldsmith P. L. The kinetics of the Hydrolysis of poly, 1962, p. 175-176
2. Аеров М. Е., Тодес О.М. Гідравлічні та теплові основи роботи апаратів зі стаціонарним та киплячим зернистим шаром. Л., Химия (Ленинградское отделение), 1968, 510 с.

УДК 678

МАТЕРИАЛ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ: РАЗРАБОТКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТЕРМОУСАЖИВАЮЩИХСЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ УПРУГОСТИ ПРУЖИН

Гончаренко В.В., Верба А.Ю., Пономаренко А.П.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Материалы с памятью формы принято разделять на три главные категории: металлические сплавы, полимеры и композиты. Среди недостатков металлических сплавов с памятью формы следует отметить ограниченную обратимую деформацию, природную высокую жесткость, высокую стоимость и сравнительно высокую стабильность температуры фазовых переходов. Наиболее важным недостатком полимеров с памятью формы являются низкие восстановительные напряжения. Такие ограничения обратимых деформаций в процессе свободной термической усадки сплавов с памятью формы и восстановительных напряжений в процессе генерации внутренних напряжений полимеров с памятью формы привлекательны для использования в качестве мотивов для разработки альтернативных композитов с памятью формы.

В последние годы много внимания привлекают полимерные композиты с памятью формы, армированные элементами, изготовленными из сплавов с памятью формы [1, 2]. Если полимер с памятью формы используется как матрица композита с памятью формы, а сплав с памятью формы как армирующие элементы, то большая свободная термическая усадка и генерация высоких восстановительных напряжений могут быть получены объединённым действием двух ингредиентных составляющих с эффектом памяти формы. Среди недостатков таких композитов с памятью формы следует отметить высокую стоимость и сравнительно высокую сложность технологического процесса. Главной целью в данной ситуации является определение альтернативной композиции, которая была бы более удобная при использовании для разнообразных целей в различных областях применения. Упомянутая цель может быть достигнута посредством теории нелинейной упругости армирующих пружин [2, 3]. Эта теория нелинейной упругости пружин показывает, что пружины с высоким индексом упругости могут быть выпрямлены в линейной области деформирования материала пружины (I=D/d, где d и D – диаметры проволоки и пружины, соответственно).

Предположим, что область линейной упругости материала пружин соответствует 1% деформации предельно выпрямленной пружины. Согласно этому предположению, для каждого значения индекса j существует определенная степень вытяжки λ предельно вытянутой пружины. Соотношение между степенью вытяжки λ и индексом J должно быть рассчитано следующим образом:

$$\lambda=[\sin 0{,}5\pi(1-0{,}005J)]^{-1}$$

Согласно этому уравнению, если индекс J приближается к 200, то степень вытяжки может быть любая. Уменьшение индекса J от 150 до 100 (или от 50 до 25) снижает степень вытяжки λ от 2,6 до 1,415 (или от 1,08 до 1,02), соответственно. Армирование полимерных композитов выпрямленными металлическими пружинами может значительно улучшить генерацию восстановительных внутренних напряжений и деформацию при свободной усадке. Вариации состава полимерной матрицы открывают широкие возможности для специализации коммутирующей температуры новых термоусаживающихся композитов.

Література

1. Tobushi, H., Hayashi, S., Sugimoto, Y., Date, K. (2009): Performance of Shape Memory Composite with SMA and SMP// Solid State Phenomena. Vol.154, pp.65-70.
2. Tobushi, H., Hayashi, S., Sugimoto, Y., Date, K. (2010): Fabrication and Two-Way Deformation of Shape Memory Composite with SMA and SMP// Materials Science Forum. Vol. 638-642,pp.2189-2194

3. Goncharenko, V.V., Goncharenko, M.V., Malkin, A.Ya, (2008): Non-linear elasticity of spiral springs// Int. J. of Appl. Mechanics and Engineering. Vol.13, №3, pp.373-381
4. Goncharenko, M.V., Goncharenko, V.V.(2009): Geometric nonlinearity of mechanical behavior as a consequence of large deformation of springs // J. of Engineering Physics and Thermophysics Vol. 82, №1, pp. 1229 – 1234.

УДК 678

УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИЙ АМОРТИЗАТОР ПО ТИПУ ДВОЙНОЙ СПИРАЛИ ДНК

Гончаренко В.В., Верба А.Ю., Пономаренко А.П.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Разработана механическая характеристика упруго-демпфирующего амортизатора, при которой амплитуда ударной перегрузки и скорость нарастания ударной перегрузки при лобовом столкновении транспортных средств, а также при приземлении космических аппаратов (или гуманитарных грузов) не превысили бы допустимые нормы. Показано что механическая модель двойной спирали ДНК наилучшим образом соответствует желаемой механической характеристике упруго-демпфирующего амортизатора.

Переносимость ударных перегрузок

Резервы человеческого организма по переносимости аварийных ударных перегрузок наиболее полно исследованы при разработке систем аварийного спасения летчиков и космонавтов [4,5]. При этом были установлены основные принципы повышения переносимости ударных перегрузок. Так тело летчиков и космонавтов должно прилегать к креслу наиболее плотно и наибольшей площадью. Очевидно, что при восприятии ударных перегрузок с помощью ремней безопасности площадь прилегания ремней незначительная. Установленная наилучшая переносимость ударных перегрузок, которые действуют в направлении «грудь – спина» [2,3,5]. В таких случаях предел выносливости ударных перегрузок для человека достигает 50 – 60 g при скоростях нарастания ударных перегрузок $\dot{n} = dn/dt$ не превышающих 500÷600 c^{-1}[2]. Таким образом, средства защиты летчика и космонавта от действия «пиковых» ударных перегрузок должны обеспечить спасение летных и космических экипажей прежде всего при приземлении и приводнении. В то же время привязочно–подвесная система фиксации летчика или космонавта в кресле должна обеспечить безопасное катапультирование с ударными перегрузками предпочтительно в направлении «спина – грудь» в пределах допустимого уровня – порядка 42 – 45 единиц [2,3,5]. При этом уйти от необходимости увеличения продолжительности замедления перегрузок за счет увеличения хода амортизаторов практически не имеется возможностей.

Параметры системы амортизации ударных перегрузок

Несомненно, что амплитуда ударной перегрузки n_{max} определяется прежде всего скоростью фронтального удара v_0, м/с. В зависимости от механических характеристик систем пружинной амортизации, диаграммы ударных перегрузок могут иметь формы трапеций, треугольников или полусинусоидов [2]. Поскольку определяющим фактором воздействия ударной перегрузки на человеческий организм является прежде всего скорость нарастания ударной перегрузки $\dot{n} = dn/dt$, то независимо от формы всей диаграммы ударной перегрузки в расчетах должна рассматриваться в основном только её восходящая ветвь, которую всегда с большей или меньшей точностью можно аппроксимировать отрезком прямой. Тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс представляет собой скорость нарастания ударной перегрузки $\dot{n} = dn/dt$, которая в идеальном случае предполагается постоянной величиной.

В таком случае максимальная продолжительность Δt замедления ударных перегрузок на участке нарастания может быть рассчитана как $n_{max}/\dot{n}$. Текущая величина ударной перегрузки $n(t)$ может быть рассчитана как $\dot{n}t$. Относительная скорость $u(t)$, потерянная таким образом в момент времени t при ударе в результате срабатывания системы амортизации, может быть рассчитана как $g\int_0^t n\mathrm{d}t$ [2]. В случае, когда скорость нарастания ударных перегрузок предполагается постоянной величиной, это выражение может быть приведено к виду $u(t) = 0{,}5\, g\dot{n}t^2$. В таком случае разность $v_0 - u(t)$ следует рассматривать как текущее значение абсолютной скорости системы «человек – кресло» или «человек – капсула», соответствующее времени t с момента столкновения. Максимальная длительность Δt нарастания ударных перегрузок таким образом будет соответствовать абсолютной скорости $v(t)$ системы «человек – кресло» определяемой как:

$$v(t) = v_0 - u(t) = v_0 - 0{,}5g\dot{n}t^2. \quad (1)$$

При этом текущее значение ударной перегрузки n(t) в любой момент времени t может быть определено как $\dot{n}t$. Длина хода $s(t)$ амортизатора (т.е. перемещение системы «человек – кресло» или «человек – капсула» при столкновении) в момент времени t с начала столкновения может быть определена как $\int_0^t u(t)dt$. После интегрирования это выражение принимает вид:

$$s(t) = \frac{g}{6}\dot{n}t^3. \quad (2)$$

Максимальная величина хода $s(\Delta t)$ амортизатора на рассматриваемом участке определяется как:

$$s(\Delta t) > \frac{g}{6}\dot{n}(\Delta t)^3. \quad (3)$$

С целью упрощения расчетов предполагается, что (0.6-0.8) скорости фронтального удара v_0 теряется (гасится) амортизатором на участке, ограниченном восходящей ветвью диаграммы перегрузок. При таком упрощении получаем

$$u(t) = 3{,}53\dot{n}^{1/3}s(t)^{2/3}. \quad (4)$$

Величина фронтальной скорости при столкновении, которая может быть потерянная при ударе, в идеальном случае приближенно может быть рассчитанная как:

$$v_0 = 1{,}25u(\Delta t). \quad (5)$$

Преобразуя уравнения (3) и (4), получим формулу:

$$n(s) = 0{,}849\dot{n}^{2/3}s^{1/3}, \quad (6)$$

которая может быть приведена к виду:

$$n(t) = 0{,}849\dot{n}^{2/3}s(\Delta t)^{2/3}. \quad (7)$$

Постановка задачи

В качестве примера расчета системы пружинной амортизации ударных перегрузок рассмотрим реальный случай, когда система «человек – кресло» или «человек – капсула» имеет массу 120 кг. Предполагаем, что конструкция системы пружинной амортизации обеспечивает постоянную скорость нарастания ударной перегрузки $\dot{n} = 500c^{-1}$. Предполагаем, что скорость фронтального удара при столкновении равняется $88\,км/час = 24{,}4\,м/с$. Предполагаем, что амплитуда $n(\Delta t)$ ударной перегрузки равняется пиковой перегрузке 50g по направлению «спина – грудь» [3], при которой используются почти все резервы человеческого организма по переносимости аварийных ударных перегрузок [5].

Главной целью расчета является установление такой механической характеристики системы пружинной амортизации, при которой амплитуда $n(\Delta t)$ ударной перегрузки и скорость $\dot{n} = dn/dt$ нарастания ударной перегрузки не превысили бы резервы человеческого организма по переносимости аварийных ударных перегрузок [5]. Результаты проведенных расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры системы пружинной амортизации

Наименование параметра	Обозначение и размерность	Время замедления после удара, t, c				
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Текущее значение перегрузки	$n(t)$	10	20	30	40	50
Текущее значение скорости системы «человек – кресло»	$u(t), м/с$	29,62	26,68	21,78	14,9	6,1
Текущее усилие на амортизаторе	$F(t), тонн$	1,2	2,4	3,6	4,8	6,0
Текущее значение хода амортизатора	$s(t), м$	0,327	0,615	0,822	0,909	0,9095
Текущее значение длины амортизатора(*)	$x(t), мм$	1306,5	1352,3	1476	1718	2116,6
Текущее значение относительной длины амортизатора(**)	$\frac{x(t)}{L}$	0,594	0,615	0,67	0,781	0,962
Логарифм относительного усилия (требуемого)	$lg\frac{F}{F_{min}}$	0	0,3	0,48	0,6	0,7
Логарифм относительного усилия при растяжении двойной спирали ДНК: эксперимент [6] при такой же относительной её длине	$lg\frac{F}{F_{min}}$	0	0,35	0,5	0,63	0,75

Примечание: $l_0 = 1{,}3$ м – длина амортизатора в ненагруженном состоянии, м;
* $x(t) = l_0 + s(t)$;
**$L = 2{,}2$ м – длина амортизатора в предельно вытянутом состоянии.

Механическая модель двойной спирали ДНК как наилучшая система упругодемпфирующей амортизации ударных перегрузок

В табл. 1 представлены логарифмы относительного усилия $lg\,(F/F_{min})$ в различные моменты времени замедления после удара. В качестве F_{min} принято усилие, соответствующее моменту времени $t = 0{,}02\,c$ и текущему ходу амортизатора $s(t) = 6{,}5$мм , что в безразмерном виде соответствует относительной длине $x(t)/L$ амортизатора, равной 0,594. Если использовать экспериментальные результаты исследования зависимости $lgF = f(x/L)$ [6], полученные для двойной спирали ДНК с использованием уникальной измерительной техники на атомно–силовом микроскопе, то для одних и тех же значений относительной длины двойной спирали ДНК и её механической модели получим почти одни и те же значения относительного усилия (F/F_{min}), которые также характеризуют и пружинный амортизатор с заданными параметрами.

Проведенные расчеты позволили убедится в том, что механическую модель двойной спирали ДНК [7] можно рассматривать как идеальную конструкцию пружинного амортизатора. Только в течение всей многовековой эволюции природа смогла создать такое высокое совершенство конструкции двойной спирали ДНК, использование которого в технике должно быть весьма перспективно. Если учитывать, что «лобовое» столкновение транспортных средств характеризуется очень высокой «резкостью» ударов, то демпфирование (точнее «степень задемпфированности») систем амортизации в первые моменты периода замедления должно быть минимальным, чтобы удар меньше передавался на кузов (корпус) транспортного средства.

При этом кинетическая энергия удара должна быть аккумулирована в виде потенциальной энергии в пружинных элементах, реакция которых на удар считается мгновенной. В то же время, степень задемпфированности системы пружинной амортизации должна достигать максимальных значений только в конце периода замедления, когда скорость деформации амортизатора уже заметно снижена, а ход амортизатора наиболее значителен.

В механической модели двойной спирали ДНК, рассматриваемой в качестве амортизатора, заложен механизм автоматического возрастания степени задемпфированности при больших степенях удлинения или сжатия, которые сопровождаются сильно выраженной нелинейностью зависимости «усилие – деформация», особенно при высоких степенях вытяжки модели. Следует заметить, что по мере выпрямления двух спиралей ДНК расстояние между ними должно снижаться до минимальных значений. Вязкоупругие заполнители, соединяющее эти две спирали ДНК, будут по нарастающей все больше подвергаться деформированию, что в итоге приведёт к резкому увеличению сопротивления растяжению, сопровождающего выпрямление спиралей. Поскольку деформация вязкоупругих заполнителей связана с диссипацией механической энергии, то этот процесс все больше будет способствовать росту задемпфированности системы амортизации на конечной стадии замедления системы «человек – кресло» или «человек – капсула». С этой точки зрения, устройство по типу механической модели двойной спирали ДНК является идеальным пружинным амортизатором, приспособленным для накопления и погашения резких ударных нагрузок при «лобовых» столкновениях различных транспортных средств, а также при приземлении и приводнении космических аппаратов и сбрасываемых контейнеров, содержащих гуманитарные грузы.

Выводы

1. Разработаны методика расчета текущих значений параметров системы амортизации ударных перегрузок в идеальном случае - при постоянной скорости нарастания перегрузки.
2. Рассчитаны текущие значения параметров реальной системы амортизации ударных перегрузок.
3. Сопоставлена зависимость «усилие-деформация» для идеального амортизатора с результатами прямых измерений на единичной двухстренговой ДНК, полученными ранее с помощью атомно-силовой микроскопии.
4. Обнаружено соответствие между идеальным амортизатором и механической моделью двойной спирали ДНК.
5. Приведен качественный анализ особенностей деформирования механической модели двойной спирали ДНК.

Литература

1. Нургалиев Р.Г. Доклад. 2-й Международный конгресс «Безопасность на дорогах ради безопасности жизни ». С. – Петербург (2008). www.gibdd.ru
2. Рабинович Б.А. Безопасность человека при ускорениях (биомеханический анализ).- М., 2007.-208с
3. Stapp J.P. Space cabin landing impact vector effects of human physiology. / J. P. Stapp, E. R. Taylor//// Aerospace Medicine . – 1964. –V. 35. –№ 12 . – С. 973.
4. Swearingen J.J. // Human voluntary tolerance to vertical impact. Aerospace Medicine. – 1960. –V. 31. –№ 12. – С. 989.
5. Severin G.I. Comprehensive approach to the problem of the crew emergency escape from flying venicles // Aircraft safety conference. Zhukovsky. Russia . – 1993.
6. Bustamante C. Single – molecule studies of DNA mechanics (//C. Bustamante, S. B. Smith, J. Liphardt//) // Current Opinion in Structural Biology. – 2000. V.10.p. 279-285.
7. Watson J.D. Molecular structures of nucleic acids: a structure for Deoxyribose Nucleic Acid / J. D. Watson, F. H. C. Crick // Nature. – 1953. – V. 171. p. 737-738.

УДК 678.057

ОСНОВНІ ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГУМО ТЕХНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Сівецький В.І., к.т.н., проф.; Пристайлов С.О., к.т.н., доц.; Черниш І.А.;
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Проаналізовано основні шляхи забезпечення економії матеріальних ресурсів, що реалізується на зв'язках «гумотехнічні відходи - переробка» та «переробка - вторинне використання» в їх тісній взаємодії.

Збільшення обсягів гумотехнічних відходів, у тому числі зношених автомобільних шин, пов'язане із зростанням ступеня індустріалізації та інтенсифікацією технічного прогресу, робить необхідними відповідне збільшення обсягів по їх переробці при цьому враховуючи наявність великої кількості вже накопичених гумотехнічних відходів збільшення обсягів по їх переробці повинно носити випереджаючий характер [1].

Разом з тим, враховуючи дефіцит оборотних коштів і проблематичність великих інвестиційних проектів, збільшення обсягів переробки і вторинного використання гумотехнічних відходів має бути нерозривно пов'язане із забезпеченням всебічної економії матеріальних ресурсів, що реалізується на зв'язках «гумотехнічні відходи - переробка» та «переробка - вторинне використання» в їх тісній взаємодії.

Основними шляхами забезпечення зазначеної вище економії є наступні заходи організаційного, технологічного та конструктивного плану [2]:

- створення широкої мережі різного роду міні-виробництв, максимально наближених географічно до джерел вихідної сировини і до виробництв, які є споживачами продуктів переробки;
- диференціація всього технологічного переділу на первинне подрібнення і вторинну переробку, що забезпечує зниження транспортних витрат за рахунок максимального наближення первинного розподілу і подрібнення до районів накопичення гумотехнічних відходів, а вторинної переробки - до районів споживання одержуваних гумових крихти та порошків;
- проведення глибокого маркетингового аналізу ринку споживання гумової крихти та порошків, що має на меті уточнення вихідних вимог і, як наслідок, вибір раціональної технологічної схеми виробництва даного продукту;
- максимальне спрощення складу і конструкцій використовуваного обладнання, що забезпечує підвищення ступеня його мобільності, а також зниження питомих капітальних витрат і експлуатаційних витрат;
- розробка, дослідження та промислове апробування нових технічних рішень, спрямованих на підвищення техніко-економічних показників процесів подрібнення і переробки гумовотехнічних відходів.

Необхідність реалізації зазначених вище заходів, в свою чергу, робить доцільним проведення широкого кола всебічних наукових досліджень, що включають в себе:

- експериментальні дослідження, спрямовані на уточнення вихідних передумов, а також на кількісну та якісну оцінку обсягів і ступеня достовірності інформації, що подається відповідними методами розрахунку;
- теоретичні дослідження, що мають на меті розвиток методів розрахунку процесів подрібнення і переробки гумовотехнічних відходів на основі створення математичних моделей, більш повно і коректніше відображають реальні фізичні об'єкти;
- розробку систем і підсистем з автоматизованого розрахунку і проектування технологій та обладнання з подрібнення, переробки та вторинного використання гумотехнічних відходів;

- проектно-конструкторське та проектно-технологічне опрацювання з урахуванням конкретних практичних рекомендацій, спрямованих на підвищення техніко-економічних показників відповідних виробництв.

Література

1. Вольфсон С. А. Переработка и использование отходов шин и резиновых изделий в шинной, резинотехнической промышленности и переработке пластмасс. Тенденции развития технологии / С.А. Вольфсон, В.Г. Никольский // Пластические массы. - 1977 - № 5. – С. 39

2. Сатонин А. В. Технология и оборудование по переработке изношенных автомобильных шин / А. В. Сатонин // Шина плюс. – 2004. - № 2. – С. 3.

УДК 678.057

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПОДРІБНЕННЯ І ПЕРЕРОБКИ ГУМОТЕХНІЧНИХ ВІДХОДІВ МЕТОДАМИ ОБРОБКИ ТИСКОМ

Сівецький В.І., к.т.н., проф.; Пристайлов С.О., к.т.н., доц.; Черниш І.А.;
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Проаналізовано основні методи розрахунку процесів різання, та розглянуто напівемпіричний підхід.

Основними тенденціями розвитку теоретичних методів аналізу різних технологічних схем обробки тиском є уточнення вихідних передумов і використання більш суворого математичного апарату, що забезпечують у своїй сукупності та поєднанні розширення обсягів підвищення ступеня достовірності наданої інформації [1]. Вельми важливим в цьому випадку є і максимальне наближення одержуваних математичних моделей до реальних умов реалізацій конкретних промислових технологій.

Основними процесами обробки тиском, використовуваними при подрібненні і подальшої переробки гумовотехнічних відходів, в тому числі і зношених автомобільних шин, є процеси різання стрічковими і дисковими пилами, процеси різання на ножицях з паралельними і похилими ножами, процеси різання на дискових ножицях з циліндричними ножами, що мають зубчасту нарізку, а також процеси вальцювання, що забезпечують отримання гумової крихти заданих типорозмірів.

Методи розрахунку процесів різання стрічковими і дисковими пилами, а також на ножицях з паралельними і похилими ножами, розглянуті в роботах [1,2] та інших. При цьому за основу прийнятий напівемпіричний підхід, який передбачає визначення питомих сил опору різанню в залежності від матеріалу заготовки, що розрізається та її температури, а також в залежності геометричних і кінематичних параметрів власне процесу різання. Реалізація даного підходу є актуальною і для процесу різання гумотехнічних відходів, оскільки в цьому випадку їх механічні властивості залежно від структури та хімічного складу змінюються в досить значних діапазонах. Зазначене особливо стосується зношених крупно-і надкрупногабаритних шин, досвід первинного поділу яких на окремі фрагменти практично відсутній.

Використання напівемпіричного підходу є доцільним і стосовно до процесів різання на дискових ножицях [1,2,3]. Разом з тим в цьому випадку дуже актуальним є вирішення завдання по максимальному уточненню геометричних параметрів осередку деформації за рахунок, наприклад, коректного урахування реальної циліндричної форми різального інструменту [2].

По складу обладнання та своєї технологічної суті процеси вальцювання і каландрування гумотехнічних відходів є дуже близькими до традиційних схем процесів асиметричної та симетричної прокатки монометалевих середовищ, що, зокрема, підтверджується структурною відповідністю аналітичних залежностей і методикою А. І. Целікова [1].

З точки зору розвитку методів розрахунку процесів поздовжньої симетричною і асиметричною прокатки відносно тонких композицій, що характеризуються співвідношенням загальної протяжності деформації l_{Σ} і середньої товщини h_{cp} в діапазоні $3,0 \le l_{\Sigma} / h_{cp}$ [2] особливий інтерес представляють чисельні математичні моделі локальних і інтегральних характеристик напружено-деформованого стану, засновані на рекурентному вирішенні кінцево-різницевої форми умови статичної рівноваги виділених елементарних об'ємів зони пластичної формозміни [1, 3]. Відмінними особливостями математичних моделей даного класу є можливість досить коректного обліку реального характеру зміни геометричних параметрів, механічних властивостей і умов зовнішнього тертя по довжині деформації. Разом з тим, специфіка гумотехнічних відходів, що характеризуються відносно малим значенням модуля пружності, а, отже, і відносно високими протяжностями зон пружноїх деформації і відновлення, вимагає відповідної адаптації даних кінцево-різницевих математичних моделей. Необхідним в цьому випадку є і облік підвищеного в порівнянні з традиційними схемами рівня ступеня кінематичної асиметрії K_{ν}, що визначається як співвідношення колових швидкостей ведучого $V_{в1}$ і веденого $V_{в2}$ робочих валків, тобто $K_{\nu} = V_{в1} / V_{в2}$ [3].

Література

1. Целиков А. И. Теория продольной прокатки / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. – М.: Металургия , 1980. – 320с.
2. Теория пластических деформаций металов / Е. П. Унксов и [др]. – М : Машиностроение, 1985. – 176 с.
3. Ємченко О. А. Обладнання та технології здрібнення гумовотехнічних відходів., - Харків, УІПА, 2011 – 228 с.

УДК 661.666.2

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ANSYS MULTIPHYSICS В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ЗА НАПРЯМОМ ПІДГОТОВКИ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

КОРЖИК М. В., к.т.н., доц., ГУРЧИК Г. І., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

У роботі наведено приклади використання системи скінченноелементних розрахунків AnSys Multiphysics для моделювання станів печі графітації Ачесона, як об'єкта керування, та звстосування результатів для синтезу систем керування промисловим процесом графітації при виконанні студентами напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» атестаційних робіт.

На кафедрі автоматизації хімічних виробництв інженерно-хімічного факультету програмний продукт AnSys Multiphysics використовується в дипломному проектуванні та наукових дослідженнях магістрантів для числового аналізу об'єктів автоматизації із розподіленими параметрами та побудови систем оптимального керування технологічними процесами.

Зокрема, ряд робіт з вдосконалення промислового процесу графітації в печах Ачесона, проведених на кафедрі у 2011 – 2012 роках, базувався на скінченноелементному аналіз термо-електричних процесів, які відбуваються в печі, засобами AnSys Multiphysics. Для цього в загальному об'ємі печі графітації був виокремлен симетричний розрахунковий фрагмент, що містить області керна, теплоізоляційної шихти і цегляної футеровки із повітряними каналами, та характеризує основні стани всієї печі [1].

В загальному вигляді опис термоелектричного стану печі графітації базується на спряженій системі диференціальних рівнянь теорії потенціалу та теплопровідності з відповідними крайовими умовами. Система містить нестаціонарне нелінійне неоднорідне рівняння теплопровідності і квазістаціонарне рівняння безвихрового поля електричного потенціалу для кожної просторової області, що утворюють загальний об'єм печі Ω [2].

$$c_i(T)\gamma_i \frac{\partial T}{\partial \tau} - \nabla\left(\lambda_i(T)\,\nabla T\right)\Big|_{\tau>0} = \mathbf{J}_i^2 \rho_i(T); \tag{1}$$

$$\mathbf{J}_i\Big|_{\tau=\text{const}} = -\frac{\nabla \varphi_i^2}{\rho_i(T)}: \tag{2}$$

де i – індекс області, що визначена на просторових координатах $x, y, z \in \Omega$, м; c – ефективна масова ізобарна теплоємність, що враховує теплоту фазового переходу для відповідних просторових областей, Дж/(кг·К); γ – густина, кг/м^3; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); ρ – питомий електричний опір матеріалу просторової області, Ом·м; $\mathbf{J}$ – вектор густини електричного струму, А/м^2; φ – електричний потенціал, В; T – розрахункова температура, К; τ – час, с; ∇ – диференціальний оператор Гамільтона.

Для замикання системи (1), (2) задаються початкові теплові (T_0) і граничні теплові та електричні умови. Причому керування піччю $U(\tau)$ розглядається, як перепад електричних потенціалів, заданих відповідними граничними умовами на струмопідводах печі.

В термодинамічному сенсі випаровування вологи є фазовим переходом I-го роду, що супроводжується поглинанням теплоти. Для урахування цього явища рівняння (1) для просторових областей, матеріал яких має істотний вміст вологи (області кернової пересипки та теплоізоляційної шихти), розглядається в ентальпійній формі [2]:

$$\frac{dH_i(T)}{d\tau} - \nabla\left(\lambda_i(T)\,\nabla T\right)\Big|_{\tau>0} = \mathbf{J}_i^2 \rho_i(T) \tag{3}$$

$$H_i(T) = \int_0^T c(T)\,\gamma(T)\,dT; \tag{4}$$

де $H(T)$ – тепловміст просторової області, Дж/м^3.

Числове розв'язання задачі (1) – (4) засобами AnSys Multiphysics дозволяє моделювати електричні та температурні (наприклад, див. рис. 1) поля в динаміці та прогнозувати стани печі графітації при різних керуваннях і змінах схеми пакетування та властивотей матеріалів.

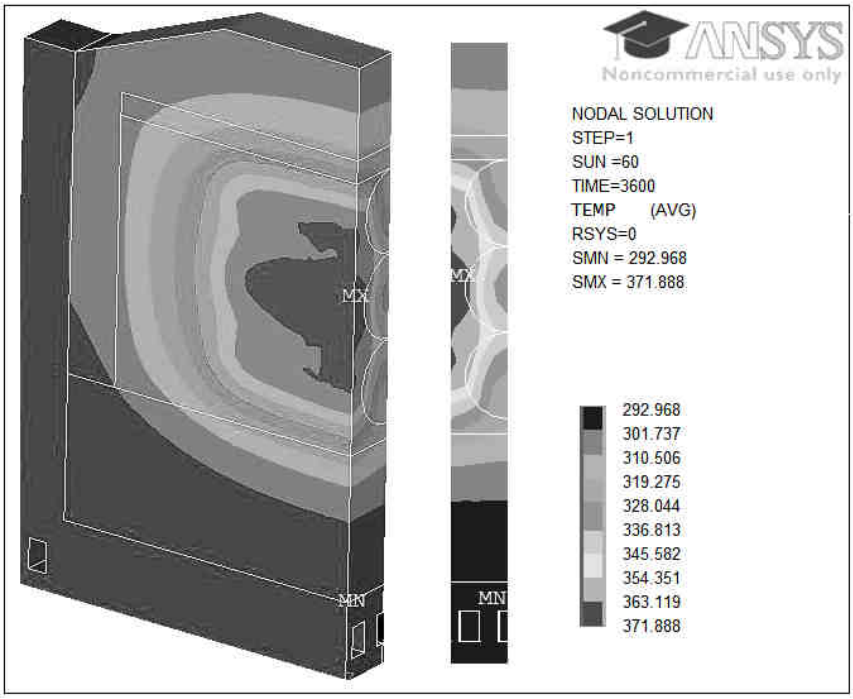


Рис. 1. Температурне поле розрахункового фрагмента печі на 4-й годині кампанії графітації

За результатами моделювання теплового стану об'єкта у період остигання було досліджено ефективність роботи повітряних каналів футеровки та існуючої системи охолодження печі графітації. Дослідження дозволило сформулювати рекомендації щодо оптимального розташування термодатчиків у футеровці печі і запропонувати систему керування процесом охолодження, що здатана подовжити термін експлуатації печі Ачесона постійного струму до 4 років [3].

Удосконалення розробленої числової моделі дозволило визначити непродуктивні енерговитрати кампанії графітації: втрати теплоти поверхнями печі в період розігріву та витрати теплоти на випаровування вологи з сипких матеріалів завантаження печі, та дослідити вплив товщини бічного шунта на вказаний енергетичний критерій. На основі цих розрахунків було розроблено підсистему оптимального пакетування керна печі графітації, яка при використанні моделі прогнозування температурного стану виробів в умовах дографітації, здатна зменшити загальні енерговитрати до 2 % [4].

Література

1. Соседов В.П. Графитация углеродистых материалов / В.П. Соседов, Е.Ф. Чалых. – М. : Металлургия, 1987. – 176 с.

2. Коржик М.В. Модель температурного поля печі графітації / М.В. Коржик, С.В. Кутузов // Наукові вісті НТУУ „КПІ". – 2007. – № 1. – С. 17 – 23.

3. Гурчик Г.І. Система керування процесом охолодження печі графітації / Г.І. Гурчик, М.В. Коржик // Хімічна інженерія. – 2011. – № 2. – С. 123 – 127.

4. Гурчик Г.І. Розроблення підсистеми формування оптимальної схеми пакетування керна печі Ачесона / Г.І. Гурчик, М.В. Коржик // Тези доп. 5-ї наук.-практ. конф. «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – С. 13 – 14.

УДК 621.7

ЕНЕРГОРЕСУРСОЕФЕКТИВНА СОЕКСТРУЗІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ ШАРІВ ПОЛІМЕРНИХ ГОФРОВАНИХ ВИРОБІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЖОРСТКОСТІ

Д.Е.СІДОРОВ, к.т.н., доц., В.І.СІВЕЦЬКИЙ, к.т.н., проф., О.Є.КОЛОСОВ, д.т.н., пр. наук. сп., І.О.МІКУЛЬОНОК, д.т.н., проф., О.С.САХАРОВ, д.т.н., проф., О.Л.СОКОЛЬСЬКИЙ, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Проаналізовані напрямки практичного застосування енергоресурсоефективної соекструзійної технології виготовлення та зварювання шарів полімерних гофрованих виробів підвищеної жорсткості.

Ключові слова: соекструзія, зварювання, полімер, гофра, жорсткість, труба

У теперішній час полімерні трубні вироби все частіше використовуються не тільки для транспортування рідинних і газоподібних продуктів та для відведення стічної води, але і в якості захисних оболонок для ізолювання спіненим поліуретаном теплових магістралей, для прокладання кабелів лінійних споруд зв'язку, як формоутворюючі елементи в капітальному будівництві тощо. Завдяки низькій матеріалоємності, високій стійкості до впливу хімічних речовин і механічного впливу, економічності і малої ваги, відповідності щодо експлуатаційних вимог у різноманітних галузях, застосування полімерних трубних виробів приводить до швидкої заміни ними інших видів труб: залізобетонних, сталевих, керамічних, азбоцементних та ін.

Зокрема, критична зношеність систем промислового і комунального водовідведення вимагає негайного їх переоснащення. Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є

використання сучасних довговічних, дешевих полімерних трубопроводів, які задовольняють умовам охорони навколишнього середовища і до 80% їх ваги, може складати дешева вторинна полімерна сировина.

Основним недоліком негофрованих полімерних нематеріалоємних трубних виробів, особливо великого діаметру, є їхня недостатня кільцева жорсткість. Для досягнення достатнього значення останньої, необхідно суттєво нарощувати товщину стінки виробу, що веде до значного підвищення матеріалоємності і вартості кінцевого продукту. Тому останнім часом спостерігається тенденція використання дво- і багатошарових труб великого діаметру, у т.ч. з використанням вторинної сировини, або заміни товстостінних трубних полімерних виробів на гофровані, які мають порівняну кільцеву жорсткість і полегшену (за рахунок поперечних гофр) конструкцію.

Разом з одношаровими гофрованими полімерними трубними виробами використовуються й багатошарові, які дозволяють, завдяки пошаровому введенні до їх конструкції різних полімерних матеріалів (у т.ч. і вторинної полімерної сировини), отримувати вироби з широким комплексом хімічних, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей, ефективно, майже на 100%, використовувати дешеву вторинну полімерну сировину у несучих шарах багатошарового трубного виробу.

У зв'язку зі спеціально спроектованою зовнішньою поверхнею, гофровані трубні вироби особливо стійкі до впливу навантажень, які виникають, наприклад, під тиском пластів ґрунту та при сейсмічному зрушенні ґрунтів. Гофровані трубні вироби, наприклад, із поліетилену низького тиску мають високу стійкість до впливу більшості промислових і всіх побутових хімікатів. Ці вироби гігієнічні і, завдяки підбору складу композиції, не містять токсичних речовин, витримуючи температури до 80 градусів. Гофровані трубні вироби можуть використовуватися не менше 50 років і працювати при цьому так само, як і в перший день їх прокладання. Відкладення в них майже не утворюються, тому їх використовують для транспортування суспензій і водно-піщаних сумішей.

Як відомо, каналізаційні трубопроводи утворюють працюючу з наповненням системи течії без тиску. Біогенна сірчана кислота, яка утворюється стічними водами, і кислотні пари в порожнинах труб призводять до появи корозії стінок металевих труб та зменшують термін їх експлуатації. У бетонних трубах це призводить до руйнування структури цементу, інтенсивного зношення та розчинення, величина яких досягає 6 мм за рік. За аналогічних умов експлуатації, у полімерних трубних виробах хімічне зношення та корозія відсутні.

Виходячи з усього сказаного вище, стає очевидним, що дво- та багатошарові гофровані трубні вироби є технологічно та економічно вигідною і актуальною продукцією.

На даний час, понад 90% гофрованих трубних виробів постачається з країн Європи. Вітчизняне виробництво, як правило, базується на імпортному обладнанні. В Україні, найбільш сучасне обладнання встановлено на ТОВ "Бровари-пластмас", ДП НДІБМВ, та ін.

Передові розробки в даному напрямку мають такі зарубіжні фірми, як "РАЙФИНХАЙЗЕР" і "ЮНІКОР" (ФРН), "ЦІНЦИНАТІ-МІЛАКРОН" (Австрія), "АМУТ" та "ОЛТМАС" (Італія). При цьому, вартість імпортного гофратора для виробництва гофрованих трубних виробів тільки одного типорозміру складає від Є200.000 до Є300.000.

На теперішній час, теоретична база процесів екструзійного формування базується на школах таких видатних закордонних вчених, як Д.М. Мак-Келві, Р.В. Торнер, А.Я Малкін, М.І Басов, З. Тадмор, В. Брой, Чан Дей Хан та ін., а також вітчизняних школах Ю.Ю. Лукача, А.Д. Пєтухова, Л.Б. Радченка.

Теоретичні положення і основи моделювання процесів виробництва полімерних погонажних виробів методом екструзії узагальнені в наступних монографіях авторського колективу проекту: «Ресурсо- та енергозберігаючі процеси при переробці полімерів» і «Комп'ютерне моделювання та проектування полімерного устаткування», та підручнику «Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв».

Закордонні дослідження процесів післяекструзійного формування представлені роботами В.Є.Бухіна, Л.Я.Масленка, П.Бата. Вітчизняні систематизовані теоретичні

дослідження процесів післяекструзійного формування майже відсутні, проте відомі роботи Я.Г.Двойноса в цьому напрямку.

Слід зауважити, що на цей час більшість теоретичних розробок аналогічних процесів відносяться до одношарового пневмоформування виробів з листових заготовок. Тому актуальним являється завдання розробки теоретичної бази процесів формування та зварювання двошарових гофрованих трубних виробів з полімерних матеріалів екструзійними методами.

Практичне застосування розробок дозволить розширити присутність вітчизняного виробника на ринку технологічного обладнання для виробництва дво- та багатошарових гофрованих трубних виробів усіх необхідних типорозмірів як з первинних, так і з вторинних полімерів. Це дасть можливість збільшити кількість типорозмірів продукції, значно знизити собівартість створення нового обладнання й матеріало- та енергоємність технологічних процесів і устаткування для їх реалізації з одночасним підвищенням їх якості, надання можливості утилізації полімерних відходів.

Література

1. Масенко Л.Я. Гофрированные трубы из пластмасс. – М.: Химия, 1989. – 88 с.
2. Двойнос Я. Двухслойные гофрированные трубы из полимерных материалов // Инженерные сети из полимеров. – 2004. – № 1 (7). – С. 28-31.
3. Сідоров Д.Е. Виробництво гофрованих полімерних труб / Д.Е. Сідоров, В.І. Сівецький, О.Є.Колосов, І.О. Мікульонок. – К.: ВД «Едельвейс», 2012. – 154 с.

ДЛЯ НОТАТОК