

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Дядичев Валерій Владиславович

УДК 621.313.3

21.928.8

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ДЕФОРМАЦІЇ,
ЇХ КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ДЛЯ СОЕКСТРУЗІЙНОЇ
МАШИНИ ПО ВИГОТОВЛЕННЮ БАГАТОШАРОВИХ ПОЛІМЕРНИХ
ФЛАКОНІВ.

05.03.05 - Процеси та машини обробки
тиском.

05.13.07 - Автоматизація технологічних
процесів та виробництва.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук.

Луганськ, 1994.

Робота виконана в Східноукраїнському державному університеті на кафедрі " Автоматизація виробничих процесів ".

Науковий керівник, - кандидат технічних наук,
професор Локотюк Б.Н.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Рей Р.І.

доктор технічних наук,
професор Носов М.П.

Провідне підприємство - Луганське КВ АЛ."Ротор"

Захист відбудеться *15.02.* 1994 р. в *14* годин
на засіданні спеціалізованої ради в Східноукраїнському
державному університеті за адресою: 348034, м.Луганськ,
квартал Молодіжний, 70а.

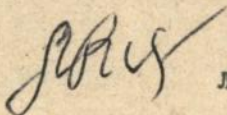
Довідки по телефону : (0642) 46-23-20

Спеціалізована рада К 068.44.02.

В дисертацією можна ознайомитись в бібліотечі Східно-
українського державного університету.

Автореферат розіслано *15.01.* 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук



Л.А.РЯБИЧЕВА

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00756554 (W)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Актуальність проблеми. У наш час, коли зростає занепокоєння з приводу нестачі паперу, алюмінію та скла, злободенним є питання про необхідність виявлення додаткових зусиль з боку промисловості про розробку і виготовлення найбільш економічних пакувальних засобів.

Останнім часом у багатьох країнах світу широке розповсюдження набули упаковки із різних полімерних матеріалів, а саме: багатшарові полімерні упаковки. Це зумовлено низькою енерго- та матеріалоемістю їх виробництва, а також тим, що застосування багатшарових полімерних матеріалів дозволяє розв'язати ряд важливих народногосподарських завдань: створення прогресивних конструкцій машин та апаратів, підвищення якості та розширення асортименту продукції промислового та побутового призначення та інше. Найбільш поширеними виробами, які одержують методом соекструзії полімерних матеріалів, є найрізноманітні ємкості, що мають широкий асортимент та мінімальні витрати сировини на одиницю продукції.

Ємкості з багатшаровою конструкцією стінки відрізняються особливими спеціальними якостями у порівнянні з традиційно виготовленими ємкостями. Вони виходять, з одного боку, з виду матеріалу, який завантажується, а з іншого - з механічних або оптичних вимог, на які претендує ємкість.

З цього походить: зменшення окислення заповнювача, стійкість до дії освітлення, нейтральність до смакового відчуття, збереження шкідливих матеріалів, а також витривалість до ударів при падінні, можливість штабелювання, стійкість форми при нагріванні, рівна поверхня для друкування та етикетування, стійка поверхня до подряпин.

Одним з найголовніших факторів при виготовленні багатшарових ємкостей методом соекструзії є можливість повністю вирішити питання відходів виробництва: відходи, що виникають, готуються у вигляді додаткового регенераційного шару, повертається до циркуляції матеріалу.

Метою роботи є створення нового покоління вітчизняних соекструзійно-видувних машин з оптимальними конструктивними та технологічними параметрами, що дає можливість виготовляти багатшарові полімерні ємкості із різноманітних полімерних ма-

теріалів. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

- аналіз сучасних конструкцій екструзійних машин для виготовлення полімерної тары, методика дослідження ходу розплава полімера в екструдері, висхідних полімерних матеріалів для соекструзії;
- розробка конструкції нового типу соекструзійно-видувних машин з автоматичною системою контролю та регулювання теплових режимів, випробування експериментальної машини на математичних моделях та в умовах виробництва і визначення її раціональних технологічних режимів роботи.
- розробка методики та математичної моделі опису процесів ходу розплава полімерних матеріалів на основі аналізу процесу теплообміну;
- виконання теоретичних і експериментальних досліджень розподілу температурного поля у робочій зоні соекструзійної головки, розробка відповідної методики розрахунку поля та визначення її точності;

Методи дослідження. Для розв'язання завдань використані розрахункові методи: метод кінцевих елементів (МКЕ), теорія подібності та моделювання. При теоретичних дослідженнях використовувалася математична модель, яка має рівняння в частинних похідних з декількома краєвими і початковими умовами, які розв'язувалися аналітично.

Вірогідність теоретичних результатів, висновків і рекомендацій підтверджувалася експериментальними даними, одержаними на фізичних моделях, при стендових і виробничих випробуваннях на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна:

- запропонована методика опису ходу розплава полімера у соекструзійній машині на основі аналізу процесу теплообміну. Використовуючи результати розрахунків технологічних параметрів роботи соекструзійної машини розроблено методи визначення коефіцієнта політропічності, відображаючого дію основних зовнішніх факторів на особливості процесу соекструзії;
- запропоновано методику розрахунку температурного поля у робочій зоні соекструзійної головки, в основу якої покладено

цифрове моделювання на ЕОМ числовим методом (М К Е) у сполученні з експериментальними дослідженнями на фізичних моделях, що мають локальну фізичну подібність з моделлю оригіналом у подібній області робочого простору;

- розроблено логічну схему роботи машини для розрахунку технологічних параметрів для соекструзії різнорідних полімерних матеріалів та оптимізації її конструктивних і технологічних параметрів;

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено принципово нову конструкцію соекструзійно-видувної машини з системою автоматичного контролю та регулювання теплових режимів, призначених для виготовлення багатшарових полімерних флаконів.

Практична цінність. Дослідження, подані у дисертації, виконувалися у відповідності завдань цільової комплексної науково - технічної програми по створенню перспективних інформаційних технологій, приладів, комплексної автоматизації (затверджено Міністерством України 23.11.92 р N 187).

Запропоновані у дисертації методики дозволяють на стадії проектування соекструзійно-видувних машин виконувати перевірочні розрахунки з достатньою для інженерних розрахунків точністю та оцінювати вплив факторів на технологічні параметри роботи машини.

Створена соекструзійно-видувна машина з системою автоматичного контролю та регулювання теплових режимів для виготовлення багатшарових полімерних флаконів не має аналогів у СНД та є екологічно чистим пристроєм, який може повністю переробляти полімерні відходи у процесі виготовлення нових виробів.

Реалізація результатів роботи. Запропоновані методики розрахунку було покладено в основу теоретичних досліджень при розробці принципово нової конструкції соекструзійно-видувної машини з системою автоматичного контролю та регулювання теплових режимів, виготовленої сумісно Луганським КВАЛ та Східноукраїнським державним університетом.

Було визначено основні технологічні параметри машини при соекструзії різнорідних полімерних матеріалів.

Експериментальний зразок машини пройшов випробування у виробничих умовах та виготовлено оригінальні багатшарові

полімерні флакони.

Основні положення роботи розглядалися та обговорювалися на конференціях та семінарах: "Підвищення техніко-економічної ефективності проектування та експлуатація автоматизованого обладнання (м. Севастополь, 1990р.), " Ресурсоберегальні технології у машинобудуванні" (м. Дніпропетровськ, 1990 р), "Вимірювальна техніка у технологічних процесах та конверсії виробництва" (м. Хмельницький, 1992, 1993 рр.).

Публікації. Основний зміст дисертації в 11 роботах.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та пропозицій, складається із 197 сторінок друкарського тексту, 60 рисунків (42 стор.), таблиць 17 (26 стор.), список літератури із 116 найменувань (9 стор.), додатки на 15 стор.

СУЧАСНІ ЕКСТРУЗІЙНІ МАШИНИ ТА МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ТАРИ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ.

Велика складність з недостачі паперу, алюмінію та скла, ставить на перше місце питання про необхідність виявлення додаткових зусиль з боку промисловості на розробку та виготовлення найбільш економічних пакувальних матеріалів. Останнім часом у багатьох країнах світу широке розповсюдження дістали упаковки з найрізноманітніших полімерних матеріалів.

Порожнисті вироби із термопластів широко застосовуються для пакування харчових продуктів, хімічних масел та смол, мюючих і косметичних засобів.

За кордоном все більш помітну роль у харчовій та хімічній упаковці починають грати багат шарові пластмасові ємкості. Вітчизняна промисловість у своєму розпорядженні має декілька моделей агрегатів для виготовлення багат шарових рукавчатих плівок.

Зарубіжні фірми American Can (США), Bekum (США), Dallas Co. (США), Kripp (Німеччина) виготовляють соекструзійні машини по виготовленню багат шарових полімерних ємкостей з 1983 року.

Фірма Bektm (США) розробила машину із системою внутрішньої рециклізації, в якій відходи (до 25% маси кінцевого виробу) надходять у форму, подрібнюються, змішуються з первинним матеріалом та надходять у відповідні екструдери. При використанні цього скрапа (завжди у середньому шарі) вартість пляшок скорочується на 10%.

Суттєве значення при виготовленні багат шарових полімерних емкостей найрізноманітнішого призначення має правильне визначення поєднання полімерів, а також склад компонентів і товщина окремих шарів при одержанні соекструдатів.

Але використання яснуючих зарубіжних машин по виготовленню багат шарової полімерної тари треба вважати економічно нерациональним внаслідок високої вартості та метало- і енергоємкості.

Таким чином створення вітчизняних високопродуктивних соекструзійно-видувних машин для виготовлення багат шарових полімерних упаковок з невеликою масою та габаритами, простих і надійних у експлуатації зробить значний крок у економічному розвитку нашої держави, а також виникне можливість вийти Україні на один рівень з розвинутими зарубіжними країнами у питанні зміни металевих та скляних емкостей під харчові продукти на пластмасові.

Для вирішення даного завдання у Луганському КВАЛ "Ротор" разом з Східноукраїнським державним університетом розроблено новий тип соекструзійно-видувної машини із системою автоматичного контролю та регулювання теплових режимів.

У практиці винаходу соекструзійно-видувних машин, при аналізі роботи машини для сумісних і несумісних полімерів, неподано інформації про правильне сполучення матеріалів при соекструзії, з допомогою яких неможливо одержати якісні багат шарові емкості.

Стосовно що до дослідження ходу розплава полімера в екструдері широке розповсюдження одержали методи математичного моделювання. Значний теоретичний внесок у дослідження гвинтового руху аномально-в'язкої рідини внесли Еккер, Маддок, Балашов, Торнер, Востанжиян, Морі-Моцумото, Тлайд, Якобі, Крюгер, Мак-Келві та інші.

Аналіз теплових процесів роботи машини, в решті решт

дає можливість об'єднати продуктивність її роботи з технологічними параметрами соекструзії. Налагодження цих зв'язків дає можливість визначити раціональні технологічні режими деформації полімерних матеріалів з урахуванням їх різноманітності.

Тому у рамках дисертаційної роботи на основі теоретичних розробок, числових та експериментальних досліджень запропоновано методикку і математичну модель опису процесу ходу розплава полімерів на основі аналізу процесу теплообміну, розроблено методикку розрахунку температурного поля у робочих зонах соекструзійно-видувної машини при соекструзії різноманітних матеріалів, розроблено рекомендації, на основі яких може бути організовано проектування та робота соекструзійно-видувних машин.

РОЗРАХУНКИ ТА СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСА СОЕКСТРУЗІЇ.

У соекструзійно-видувній машині для виробництва тришарової полімерної тари (рис.1) полімерний матеріал різного виду у вигляді гранул через бункер завантаження 15 подається у канали черв'яків 7, які обертаються у циліндрах 8, в яких устанвлено гільзу, яка стійка на зношеність із дзеркальною поверхнею. Черв'яки обертаються за допомогою синхродвигуна 1 через муфти 12, а осеве зусилля черв'яків передається на упорні підшипники 3. Циліндри нагріваються зовнішніми електронагрівачами 7, охолоджується повітрям, яке подається по каналах обдува 8. Усю машину змонтовано на станині 13. Від бункерів завантаження при обертанні черв'яків, гранули матеріала рухаються всередині каналів черв'яків у напрямку до соекструзійної головки.

За рахунок підводу тепла від електронагрівачів, а також у результаті тертя між матеріалом та поверхнями черв'яків і циліндрів, рухаючись до головки, матеріал плавиться, стискається і перетворюється поступово у розтоплену масу, яка, пройшовши через шийку 3 видавлюється у соекструзійну головку 9, де і відбувається накладання у декілька шарів. Потім через кінцеву кільцеву щільність відбувається видавлювання матеріала у вигляді тришарової полімерної трубки. Досяг-

Вхід гранульованого матеріалу

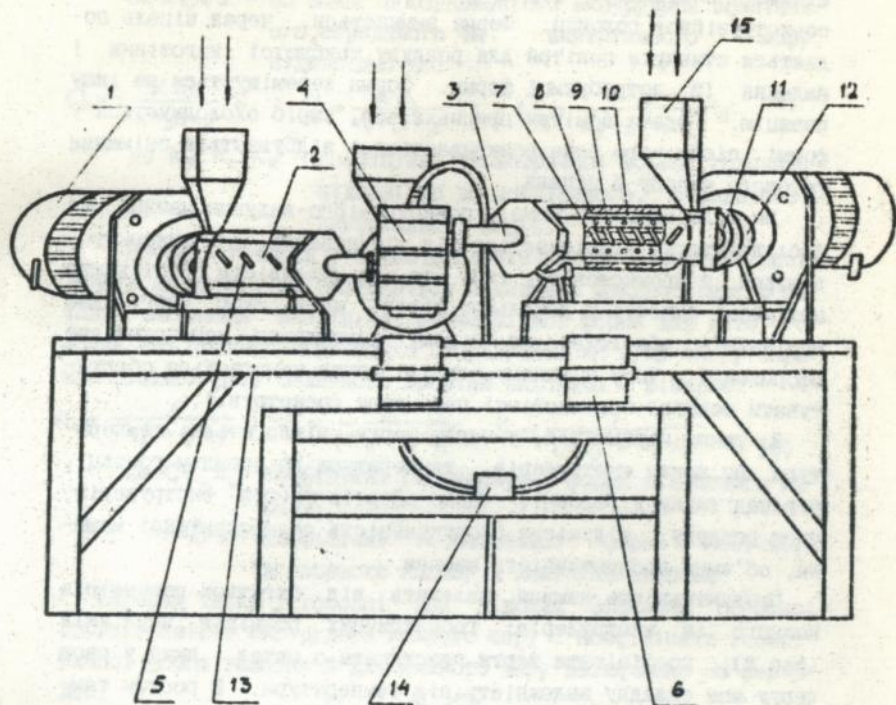


Рис. 1. Соекструзійно-видувна машина.

- 1 - електродвигун;
- 2 - екструдер;
- 3 - шийки екструдера;
- 4 - соекструзійна головка;
- 5 - датчики контролю температури;
- 6 - видувні форми;
- 7 - черв'як;
- 8 - циліндр;
- 9 - електронагрівачі;
- 10 - канали оддува повітрям;
- 11 - підшипник;
- 12 - муфта;
- 13 - станина;
- 14 - розподільник повітря;
- 15 - бункер завантаження.

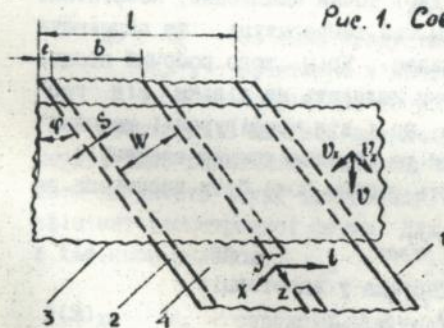


рис. 2. Розтортка гвинтового каналу черв'яка на площині.

- 1 - стінка каналу;
- 2 - розтортка черв'яка;
- 3 - поверхня корпусу;
- 4 - кань.

нувши потрібної довжини, нижня частина трубки одягається на ніпель видувної форми, трубка відділяється від соекструзійної головки. Форма змикається, через ніпель подається стиснуте повітря для роздуву трубчатої заготовки і надання їй потрібної форми. Форма переміщується на іншу позицію. подача повітря припиняється, виріб охолоджується у формі, після чого вона розкривається і відбувається знімання готового виробу з ніпеля.

Як було показано вище, соекструзійно-видувна машина, що досліджується, відрізняється від вітчизняних, які використовуються у промисловості тим, що дає можливість виготовляти полімерні емгості у декількох шарів, що в свою чергу дає можливість абсолютно по новому розв'язати конструктивне оформлення. Тому у даному розділі автор намагається обґрунтувати основні технологічні параметри соекструзії.

До таких параметрів, у першу чергу, відносяться: температура по зонах екструдерів, температура по зонах у головці, перепад тиску у головці, число обертів шнеків екструдерів, тиск роздуву, кількісна продуктивність соекструзійної машини, об'ємна продуктивність машини.

Продуктивність машини залежить від багатьох параметрів кожного із екструдерів: геометричних розмірів черв'яків (рис.2), коефіцієнта тертя пластика о метал, який у свою чергу має складну залежність від температури. З ростом температури до значення відповідної точки плавлення, коефіцієнт тертя різко зростає, а потім при температурі, що перевищує точку плавлення, значно падає. Крім того робочий процес соекструзійної машини в цілому залежить не тільки від геометричних розмірів черв'яка, но і від конфігурації головки соекструзійно-видувної машини та її профілюючих елементів.

Тому штучна продуктивність машини може бути визначена за формулою:

$$N = Q_{\text{сум.}} / Q_{\text{заг.}} \quad , \text{ де} \quad (1)$$

$Q_{\text{заг.}}$ - це об'єм матеріала у заготовці;

$$Q_{\text{заг.}} = 2\pi R_{\text{ср.}} \cdot \delta \cdot L_{\text{заг.}} \quad , \quad (2)$$

де $R_{\text{ср.}}$ - середній радіус трубчатої заготовки;

δ - товщина трубчатої заготовки;

$L_{\text{заг.}}$ - довжина заготовки;

$Q_{\text{сум.}}$ - об'ємна продуктивність сумарна;

$$Q_{\text{сум.}} = Q_n + Q_c + Q_s, \text{ де} \quad (3)$$

Q_n, Q_c, Q_s - об'ємна продуктивність екструдера зовнішнього, середнього та внутрішнього шару, відповідно до:

$$Q_n = \frac{\alpha K_n}{K_n + \beta + f} \cdot \pi_n; \quad Q_c = \frac{\alpha K_c}{K_c + \beta + f} \cdot \pi_c; \quad Q_s = \frac{\alpha K_s}{K_s + \beta + f} \cdot \pi_s \quad (4)$$

де K_n, K_c, K_s - коефіцієнт геометричної форми головки, відповідно до зовнішнього, середнього і внутрішнього шарів.

Профіль головки у соекструзійній машині необхідно розглядати як такий, що складається з каналів найпростіших форм. Тоді загальний коефіцієнт геометричної форми для всієї головки для кожного шару можна підрахувати як суму опору окремих ділянок руху складного профілю виходячи з рівнянь:

$$K_1 = \frac{1}{1/K_1^k + 1/K_1^k}; \quad K_2 = \frac{1}{1/K_2^k + 1/K_2^k}; \quad K_3 = \frac{1}{1/K_3^k + 1/K_3^k} \quad (5)$$

де K_1^k, K_2^k, K_3^k - коефіцієнт геометричної форми кільцевого каналу;

K_1^k, K_2^k, K_3^k - коефіцієнт геометричної форми конічного кільцевого каналу з конічною щилиною.

Перепад тиску у головці при відомих значеннях об'ємної продуктивності екструдера кожного шару і коефіцієнта геометричної форми головки K для кожного шару визначаємо за формулою:

$$\Delta P = \frac{Q \cdot \mu_s}{K} \quad (6)$$

де Q - об'ємна продуктивність;

μ_s - ефективна в'язкість;

K - коефіцієнт геометричної форми головки.

Ефективна в'язкість визначається при відомій швидкості зсуву. Щоб визначити ефективну в'язкість, необхідно вирахувати швидкість зсуву для каналу, по якому визначається коефіцієнт геометричної форми. Для конічного кільцевого каналу з конічною щилиною:

$$S = \frac{22.32 Q}{\pi (R_1 + R_2) (S_1 + S_2)^2} \quad (7)$$

де R_2 - середній радіус кола на вході матеріала до кільцевої щилини;

R_1 - середній радіус кола на виході матеріала;

S_1 - висота щилини на вході матеріала;

S_2 - висота щилини на виході матеріала з качала.

Для визначення температури розплава у робочих зонах екструдерів і головки тепловий баланс соекструзійної машини має вигляд:

$$G_m C_m t_m + Q_N + Q_2 + Q_r = G_m C_m t_k + Q_n + Q_3 \quad (8)$$

де G_m - кількість полімерного матеріала, який поступає в машину;

C_m - теплоємність полімера;

t_m - початкова температура полімера;

t_k - кінцева температура полімера після виходу з головки;

Q_N - кількість тепла, що виділяється при споживанні потужності N ;

Q_2 - кількість тепла, яке підводиться до корпусу машини електричними нагрівачами;

Q_r - кількість тепла, яке підводиться до головки електричними нагрівачами;

Q_n - втрати тепла корпусом машини і головкою до оточуючого середовища;

Q_3 - кількість тепла, яке відводиться до зони завантаження полімера.

Рівняння теплового балансу можна розв'язати відносно температури тришарової полімерної трубки, з якою вона повинна виходити із соекструзійної машини:

$$t_k = \frac{Q_N + Q_2 + Q_r - Q_n - Q_3}{G_m C_m} + t_m, \text{ де} \quad (9)$$

для соекструзійної машини:

$$G_m C_m = G_{m_1} C_{m_1} + G_{m_2} C_{m_2} + G_{m_3} C_{m_3}, \text{ де} \quad (10)$$

$G_{m_1} C_{m_1} C_{m_1}$ - кількість полімерного матеріала, що надходить до першого, другого та третього екструдера;

$C_{m_1}, C_{m_2}, C_{m_3}$ - теплоємність матеріала кожного екструдера.

Таким чином, повинні бути створені умови, що забезпечать вихід тришарової полімерної трубки з визначеною температурою. Рівняння (8) та (10) одержані на основі теплового балансу, установлюють параметри процесу, а виконання цього процесу повинно забезпечити умова тепловаділення у процесі переробки полімерного матеріалу і закономірності теплопередачі, тобто, поверхня машини, що віддає тепло, повинна забезпечити перевос необхідної кількості теплової енергії.

Так як екструзія тришарової полімерної трубки може відбуватися при використанні для кожного із соекструзійних шарів різномісних полімерних матеріалів (поліпропілен, полівинілхлорид та інше) формули (9) та (10) можуть застосовуватися для уточнення технологічних режимів соекструзії при роботі з кожним матеріалом.

Для моделювання роботи соекструзійно-видувної машини і визначення параметрів її роботи було розроблено логічну схему. На основі логічної схеми було розроблено програму на алгоритмічній мові PASKAL для IBM PC з використанням підпрограми RRR, яка здійснювала розрахунки технологічних параметрів кожного з трьох шарів соекструзійної машини, що зводилися до ЕОМ для різних соекстругуємих матеріалів, а також визначала об'єму продуктивність роботи машини за шарями та всілому.

Аналіз результатів розрахунків, а також перевірка на адекватність та відтворення математичного опису дослідних даних показали, що розроблена логічна схема та прийняті формули до розрахунку технологічних параметрів при соекструзії дає можливість визначити технологічні параметри соекструзійних машин з похибкою, що не перевищує 10%, і є прийнятним для наближених інженерних розрахунків.

Щоб позитивно описати процес екструзії, математична модель ходу розплава у межах зони дозування повинні задовольняти таким вимогам: урахування взаємного впливу циркуляційного та поступального ходу; урахування існуючих аномалій в'язкості; урахування впливу тепла, яке виділяється в результаті внутрішнього тертя, на ефектну в'язкість розплава; урахування теплообміну з оточуючим середовищем.

Розгортка гвинтового каналу черв'яка на площині для математичного моделювання ходу розплава подається на (рис.2). За поданим ходом рівняння у напрузі має вигляд:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial P_x}{\partial y} + \frac{\partial P_{2x}}{\partial z}, \quad \frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial P_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial P_{2y}}{\partial z}, \quad \frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\partial P_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial P_{2z}}{\partial x} \quad (11)$$

Якщо припустити, що всі теплофізичні характеристики не залежать від температури, то рівняння енергетичного балансу для режиму, який установився для одного еструдера соекструзійної машини має вигляд:

$$\rho C_p (v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z}) = -k_T (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}) + \rho_{xx} \frac{\partial v_x}{\partial x} + \rho_{yy} \frac{\partial v_y}{\partial y} + \rho_{zz} \frac{\partial v_z}{\partial z} + \rho_{xy} (\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}) + \rho_{xz} (\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x}) + \rho_{zy} (\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y}) \quad (12)$$

де ρ - щільність розплава;

C_p - теплоємність розплава;

T - температура розплава;

k_T - коефіцієнт теплопровідності розплава.

Зробивши припущення та проінтегрувавши рівняння (12) одержимо:

$$Q \rho C_p dT = K dw - Q dp \quad (13)$$

де dw - робота в'язкого тертя;

K - коефіцієнт політропічності, який характеризує напрям теплового потоку і кількість тепла, яке відводиться або підводиться до машини.

Для визначення коефіцієнта політропічності кожного з екструдерів соекструзійно-видувної машини використовуємо рівняння (13). Приймаємо, що енергія, яка дисипується за рахунок в'язкого тертя на ділянці потоку довжиною dl дорівнює:

$$dw = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot e \cdot \mu \cdot n^2}{8 \cdot t} \cdot dl \quad (14)$$

Нехтуючи величиною $Q dp$ у порівнянні з іншими членами (для розплавів термопластів ця величина як завжди складає від 1 до 3% загальної витрати енергії), одержимо:

$$Q \rho C_p dT = K \cdot A \cdot \mu \cdot n^2 \cdot dl \quad (15)$$

$$\text{де } A = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot e}{8 \cdot t};$$

Проінтегрувавши рівняння (15) одержуємо:

$$K = \frac{Q \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T - T_0)}{A \cdot \mu \cdot n^2 \cdot l} \quad (16)$$

Використовуючи результати математичного моделювання соекструзійно-видувної машини і результати розрахунку температурного поля, підставляємо до рівняння (16) значення продуктивності Q кожного з екструдерів та машини в цілому, а також температури по зонах, визначаємо значення коефіцієнта політропічності для різних режимів роботи машини.

РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ У РОБОЧИХ ЗОНАХ
СОЕКСТРУЗІЙНО-ВИДУВНОЇ МАШИНИ.

Обґрунтовані вище параметри та характеристики роботи машини дають можливість конструктивно оформити систему контролю та регулювання температури соекструзійної машини, яка виготовляє полімерну тару з трьох різних шарів у діапазоні технологічних температур 100 град.С ...250 град.С.

Розрахунки розподілу температурного поля в робочих зонах головки соекструзійної машини виконувались з допомогою розрахункової схеми (рис.3). Температура температурного поля головки T для досліджуваного типу соекструзійних машин може бути подана як достатньо складна функція усіх неважливих геометричних розмірів головки для кожного шару.

$$T = f(L, R_1, a, L_2, R_2, z_1, z_2, S, S_1, \alpha) \quad (17)$$

Для одержання узагальненої залежності функції відгуку яка б підходила для всієї групи соекструзійних машин даного типу, зручно записати у вигляді залежності від безрозмірних факторів, які уявляють собою критерій геометричної подібності.

$$T_{відн.} = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9), \quad (18)$$

$$\text{де } X_1 = \frac{L_2}{L}; X_2 = \frac{R_2}{R_1}; X_3 = \frac{a}{S}; X_4 = \frac{L_2}{S}; X_5 = \frac{R_2}{S}; X_6 = \frac{z_1}{S}; X_7 = \frac{z_2}{S}; \\ X_8 = S_1/S; X_9 = \alpha.$$

T відн. - критерій подібності для температурного поля (відносна температура).

Дослідження впливу на відносну температуру поля всіх поданих геометричних критеріїв подібності - завдання, яке практично не можна виконати. При цьому, виходячи з теорії теплопровідності, температура поля у робочому зазорі тришарового матеріалу залежить від впливу температури попередньої зони, а також від нагрівачів безпосередньо зони тришарового матеріалу. Тому впливом геометричних критеріїв подібності $X_4 \dots X_9$ на величину T відн. можна знехтувати.

Для спрощення дослідження функції відгуку доцільно використовувати замість геометричного критерію подібності $X_2 = R_2/R_1$ геометричний критерій подібності $X_2' = R_2/S$. Таким чином, остаточною функцією відгуку для температури у 1-ій точці уявляє собою трифакторну залежність і має вигляд:

$$T_{в,дн i} = f(X_1, X_2, X_3) \quad (19)$$

Для дослідження одержаної функції відгуку приймається розрахункова схема, в якій:

1. Вираз для відносної температури поля визначається у вигляді добутку базової та коректуючої функції:

$$T_{в,дн} = K_N \cdot T_б \quad (20)$$

де $T_б$ - базова функція відносності температури поля;

K_N - коректуюча функція, що уточнює базову шляхом обчислення геометричних критеріїв подібності реальної системи;

2. У значенні базової функції $T_б$ використовуються дані розрахунку відрізка температурного поля, який досліджується із спрощеною граничною геометрією, одержаною за допомогою МКЕ;

3. Призначення коректуючої функції K_N , що урахує вплив нагрівачів даної зони, здійснюється шляхом експериментальних досліджень спрощеної моделі, яка має з моделлю - оригіналом локальну фізичну подібність у схожій точці поля. Відносний вплив нагрівачів зони на поле приблизно однаковий для всіх характерних точок робочої зони.

Тому коректуюча функція K_N визначена для однієї точки робочої області поля, може бути використане при уточненні базової функції відносної температури поля $T_б$ у всіх характерних точках.

Розроблена розрахункова схема дозволяє спростити дослідження по розподілу температурного поля у робочому об'ємі розплава тришарового матеріалу соекструзійних систем типу, який досліджується, бо при цьому виключається необхідність у достатньо трудомістких експериментальних дослідженнях на узагальнених фізичних моделях соекструзійних машин.

Розрахунки базової функції відносності температури поля $T_б$ виконувався МКЕ на ЕОМ ІЕМ РС у характерній області, зображеної на (рис.4). При цьому робилися припущення:

1. Матеріал головки однорідний (з одного матеріалу) по всьому параметру, тому і коефіцієнти теплопровідності на всіх точках однакові.
2. У площинах ee' відбувається конвективний теплообмін теплом. На бокових поверхнях $T = const.$

3. У площинах $\Gamma\Gamma'$ підводиться тепловий потік від попередньої зони.
4. Вважається, що бокові поверхні каналу термоізолювані і $T = \text{const}$.

Діапазони варіативності геометричних критеріїв подібності X_1 і X_2 , які уявляють практичний інтерес, при цьому складають:

$$X_1 = 4.7 \dots 7.3$$

$$X_2 = 9 \dots 20$$

Для аналізу впливу на розподіл температури поля було вибрано 14 найбільш характерних точок у розрахунковій області з розрахунком на розподіл цієї області на три шари (рис.5).

Для уточнення одержаних розрахункових кривих шляхом урахування реальної температури поля було розроблено спрощену фізичну модель.

При її створенні виходили з того, що відносний вплив нагрівальних елементів на розповсюдження температури в однорідному замкнутому об'ємі матеріала приблизно однакова у всіх її точках.

Приблизно до типу соекструзійних машин, які розглядаються у даній дисертації, відносний вплив нагрівачів кожної зони на розподіл температури поля визначається, найчастіше, величиною фактора $X_3 = a/\xi$.

Для дослідження впливу цього фактора та визначення коректуючої функції K_M , яка бере до уваги цей вплив, було вибрано характерну точку 1 (рис.5). Як показав аналіз результатів розрахунку температури поля методом кінцевих елементів, вплив геометричних критеріїв подібності X_1 і X_2 на температуру поля у цій точці найменший.

Тому дослідження впливу нагрівачів зони у характерній точці 1 розрахункової області можна проводити без урахування геометричних критеріїв подібності X_1 та X_2 , а з ціллю упрощення цих досліджень фізичної моделі соекструзійної головки можна замінити на більш просту фізичну модель. При цьому спрощенна фізична модель та узагальнена модель соекструзійної головки будуть фізично подібні у деякій локальній області робочого простору, що приєднується до характерної точки 1.

Для дослідження впливу нагрівальної зони на температуру в робочій зоні розплаву було розроблено та реалізовано план експеримента, в якому при фіксованих значеннях $\delta_1/\delta = 0,33 - 0,858$ здійснювалися варіативність фактора ХЗ у діапазоні, який уявляє собою практичний інтерес ХЗ = 1,11 - 13,33.

Для забезпечення можливості співставлення результатів вимірювань розглядалися одноіменні точки з такими координатами : точка 1 - відповідає координаті $\varphi = 0$; точка 2 - відповідає координаті $\varphi = 90$ град., точка 3 - відповідає координаті $\varphi = 180$ град., точка 4 - відповідає координаті $\varphi = 360$ град.

Визначались значення коректувчих функції $K_{н1}$, $K_{н2}$, $K_{н3}$, $K_{н4}$ у точках 1,2,3,4 відповідно по формулі:

$$K_n = T_{в.д.н. i} / T_B$$

де $T_{в.д.н. i}$ - відносна температура у i -й одноіменній точці, яка визначається по експериментальним даним.

T_B - базова функція відносної температури поля у характерній точці розрахункової області при заданому відносному розмірі.

Для очікування точності розробленої методики розрахунку температурного поля порівнювалися розрахункові значення T_p і експериментальні значення, вимірені на експериментальному зразку соекструзійно-видувної машини в характерних точках 1...14 та оброблені методом математичної статистики у відповідності з вимогами ДСТА 8.207-76. Найбільша похибка, обчислена по дисперсії адекватності складає 14,4%, що можна вважати прийнятним для інженерних розрахунків.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СОЕКСТРУЗІЙНО-ВИДУВНОЇ МАШИНИ.

Для проведення стендових і виробничих випробувань, а також для подальшого промислового використання було виготовлено експериментальний зразок системи контролю і регулювання температури соекструзійно-видувної машини.

В результаті стендових досліджень встановлено:

1. Конструкція системи контролю і регулювання температури соекструзійно-видувної машини може працювати. Ефективність контролю та підтримання температури в робочих

зонах достатньо висока і максимально приведена похибка складає 0,4% в діапазоні 100 - 250 град.С.

2. Вимірні технічні характеристики системи відповідають розрахунковим даним.

Випробування на виробництві були проведені на установі для виготовлення багатшарової тари УМЕЗ - 0,5.00.00.00.000 Луганського КБ автоматичних ліній. При проведенні дослідження точність підтримування технологічних режимів роботи соекструзійно-видувної машини складала приблизно 1 - 2 град.С.

У 1992 році система контролю і регулювання температури для лінії роздува тришарової полімерної тари було упроваджено на соекструзійно-видувній машині в Луганському конструкторському бюро автоматичних ліній. В результаті роботи системи було одержано тришарові полімерні ємкості різного об'єма, кольору і щільності.

Попередня оцінка технічних, економічних і соціальних параметрів та характеристик експериментального зразка соекструзійно-видувної машини з системою контролю та регулювання теплових режимів показала, що він за більшістю показників відповідає зарубіжним зразкам. Але треба прийняти до уваги, що дослідна машина є поки що єдиним зразком на Україні та країнах СНД.

Упровадження і використання соекструзійно-видувної машини на підприємствах, які виготовляють харчові, хімічні та інші продукти, дає можливість значно довше та якісніше зберігати продукцію, особливо продукти харчування. Машина є екологічно чистим пристроєм, вона не тільки не забруднює повітря, але й допомагає повністю переробляти полімерні відходи в процесі виготовлення нових виробів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.

1. Запропоновано новий тип соекструзійно-видувних машин призначений для виготовлення багатшарових полімерних ємкостей об'ємом до 4 літрів із різнорідних полімерних матеріалів. Обґрунтовано її основні технологічні параметри і характеристики, які дають можливість розробити конструкцію машини з відносно невеликою метало- та енергоємністю, з

системою автоматичного контролю і регулювання теплових режимів роботи.

2. Розроблено методику і математичну модель опису ходу розплава полімера в соекструзійній машині на основі аналізу процесу теплообміну. Використовуючи результати розрахунків технологічних параметрів роботи соекструзійної машини, розроблено метод визначення коефіцієнта політропічності, який відображає вплив основних зовнішніх факторів на особливості процесу соекструзії.

3. Розроблено методику розрахунку розподілу температури поля в робочій зоні головки соекструзійно - видувних машин на основі моделювання на ЕОМ числовим методом (методом кінцевих елементів) у поєднанні з експериментальними дослідженнями на спрощених фізичних моделях, які мають локальну фізичну подібність у схожій області робочого простору.

Експериментальні дослідження соекструзійної головки підтверджують об'єктивність розробленої методики розрахунку. Обробка експериментальних і розрахункових значень температурного поля головки дає можливість визначити, що експериментальні значення підлягають нормальному розподілу; відтворюваність експеримента підтверджується критерієм Кохрана при рівні значимості $q=0,05$, адекватність математичного опису дослідним даним підтверджується критерієм Фішера при рівні значимості $q=0,05$, межі похибки, обчислені по дисперсії адекватності для всіх характерних точок температурного поля складає $\pm 14,4\%$ при довірній імовірності $P=0,95$.

4. У результаті аналізу дійсної картини роботи соекструзійної машини складено логічну схему, на основі якої створено імітаційну модель роботи машини та розроблено технологічні режими соекструзії поліетілена та полістерола, а також уточнено технічні характеристики системи контролю і регулювання теплових режимів.

5. Стендові та виробничі випробування підтвердили проектну працездатність і основні технічні характеристики соекструзійної машини, продуктивність роботи машини при соекструзії різномірних полімерних матеріалів перевищил $1,39 \text{ см}^3/\text{с}$.

6. Упровадження і використання соекструзійно-видувної

машини на підприємствах, що виготовляють харчові, хімічні та інші продукти, дає можливість значно довше та якісніше зберігати упаковану продукцію, особливо продукти харчування. Машина є екологічно чистим пристроєм, вона не тільки не забруднює оточуюче повітря, а навпаки допомагає повністю переробити полімерні відходи в процесі виготовлення нових виробів, знижуючи таким чином на 40% їх вартість.

7. Систему контролю та регулювання температури впроваджено на соекструзійній машині в Луганському КВАЛ "Ротор" у 1992р. Економічний ефект від запровадження склав 105,2 тис.крб.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО В ТАКИХ РОБОТАХ:

1. Локотюш Б.Н., Дядичев В.В., Ларіонов С.І. Застосування соекструзійно-видувних машин у машинобудуванні //Ресурсозберегачі технології у машинобудуванні; Тез. доп. наук. техн. конф. Дніпропетровськ, 1990. - с.73.

2. Локотюш Б.Н., Дядичев В.В. Дослідження технологічних режимів роботи соекструзійно-видувної машини. // Автоматика, управління та автоматизація технологічних процесів, екологічного контролю і моніторинга; тез. доп. наук.-техн. конф., Алушта, 1993. - с.65.

3. Локотюш Б.Н., Дядичев В.В. Автоматизація процесу соекструзії полімерів на автоматичних роторних лініях. // Підвищення техніко-економічної ефективності проектування та експлуатації автоматизованого обладнання; тез. доп., наук.-техн. конф., Севастополь, 1990. - с.43.

4. Дядичев В.В. Розподіл температурного поля в робочих зонах соекструзійної машини. // Автоматизація, контроль і регулювання технологічних процесів; тез. доп. наук.-техн. конф., Київ, 1992 - с.31.

5. Локотюш Б.Н., Дядичев В.В. Датчик для безконтактного вимірювання температури нагрітих тіл. // Інфор. листок ЦНТІ (Луганськ). - 1990. - №0 - 015/Р.

6. Локотюш Б.Н., Дядичев В.В., Дремач Н.Є., Коржавін Г.А., Романуцький В.А. Цифровий термометр. // Інформ. листок ЦНТІ (Луганськ). - 1991 - №144 - 91.

7. Локотоп Б.Н., Дядичев В.В. Спосіб вимірювання температури у соекструзійній головці: // Респ. Міжвід. наук.-техн. сб. - Київ :Вища школа, 1990. - Вип. 21. - с.52-53.

8. Локотоп Б.Н., Дядичев В.В. Система контролю та регулювання температури в соекструзійно-видувній машині для виробництва багаточагових полімерних виробів. // Вимірювальна техніка у технологічних процесах та конверсії виробництва; тез. доп. наук.-техн. конф., Хмельницький, 1992 - с.61 - 64.

9. Дядичев В.В. Хід розплава полімера в екструдерах та головці соекструзійної машини. // Вимірювальна техніка в технологічних процесах та конверсії виробництва; тез. доп. наук.-техн. конф. Хмельницький, 1993. - с.61-64.

10. Дядичев В.В., Козак В.І. Дослідження ходу розплавів полімерів при соекструзії. // Респ. Міжвід. наук.-техн. сб. - Харків, 1993. - Вип.23. - с.91-93.

11. Локотоп Б.Н., Дядичев В.В. Безконтактний швидкодійний датчик температури. // Респ. Міжвід. наук.-техн. сб. - Харків; В та школа, 1990. - 22. - с.79-81.



Підписано до друку 4.01.94 р. Формат 60x84 1/16 1 Д.А.
Тираж 100 экз. Заказ N 17

Ротапринт СЗ ДУ.
м Луганськ, кв.Молодіжний, 20а.

AB 29.330