

Дослідження рівнотовщинності термоформованої полімерної упаковки

О.Л. Сокольський, к.т.н., І.В. Слісаренко, НТУУ «КПІ», м. Київ

Термоформування споживчої тари — лотків, коробок, стаканів тощо із жорстких полімерних матеріалів — знайшло широке застосування завдяки простоті устаткування і його обслуговування порівняно з литтям під тиском і штампуванням. Під термоформуванням розуміють два близьких методи — вакуум-формування та пневмоформування. Обидва засновані на формуванні виробів з розігрітих до пластичного стану листових або рулонних полімерних заготовок притисканням їх до поверхні форми перепадом тиску.

Методами термоформування можна одержати вироби завтовшки до 6–8 мм. Простішим та дешевішим методом вважається вакуум-формування, під час якого формування відбувається за рахунок створення вакууму між поверхнями заготовки і форми. У разі переробки листів завтовшки більше 5 мм атмосферного тиску, який можна створити при вакуум-формуванні, недостатньо, тому застосовують пневмоформування створенням тиску до 0,7–1 МПа з боку зовнішньої поверхні заготовки.

Традиційно термоформування включає затискання листової полімерної заготовки, нагрівання її до пластичного стану, герметизацію простору між заготовкою та поверхнею форми, створення перепаду тиску по обидва боки листової полімерної заготовки до притискання її до поверхні форми, зняття перепаду тиску, охолодження виробу на поверхні форми і зняття виробу [1, 2] (рис. 1).

Недоліком відомих методів термоформування є значна різнотовщинність отримуваних таким чином виробів внаслідок різного ступеню розтягання листової полімерної заготовки в різних точках, що може призвести до дефектів, зокрема короблення виробів, та зайвої витрати полімерної сировини для забезпечення мінімальної заданої товщини стінки виробів.

В основу досліджень покладено пошук шляхів підвищення рівнотовщинності виробів, отримуваних методом термоформування, шляхом забезпечення різної температури нагрівання листової полімерної заготовки в різних точках у зворотній відповідності від ступеня розтягання листової полімерної заготовки, що приведе до вирівнювання товщини виробу по всій його площині. Товщина виробу в кожній точці поверхні залежить від початкової товщини заготовки, ступеня її розтягання та температури розігріву. При цьому чим більший ступінь розтягання заготовки, тим меншою буде товщина виробу в даній точці. Чим більша температура, до якої розігріта заготовка в даній точці в межах діапазону пластичності, тим більшими стають деформувальні властивості

полімеру, тобто тим сильніше може зменшуватись товщина заготовки.

Якщо нагрівання заготовки здійснювати в різних точках поверхні у зворотній залежності від ступеня розтягання листової полімерної заготовки, ті ділянки заготовки, що розтягуватимуться сильніше, будуть розігріті до меншої температури. Внаслідок цього і їхня товщина зменшуватиметься менше, ніж на більш розігрітих ділянках.

Також чим більше зусилля притискання заготовки до нагрівальної поверхні, тим швидшим буде теплообмін між ними і температура заготовки в даній точці зростатиме швидше.

Пропонується вдосконалити термоформування шляхом притискання заготовки до нагрівальної поверхні із зусиллями, які в різних точках поверхні знаходяться у зворотній відповідності

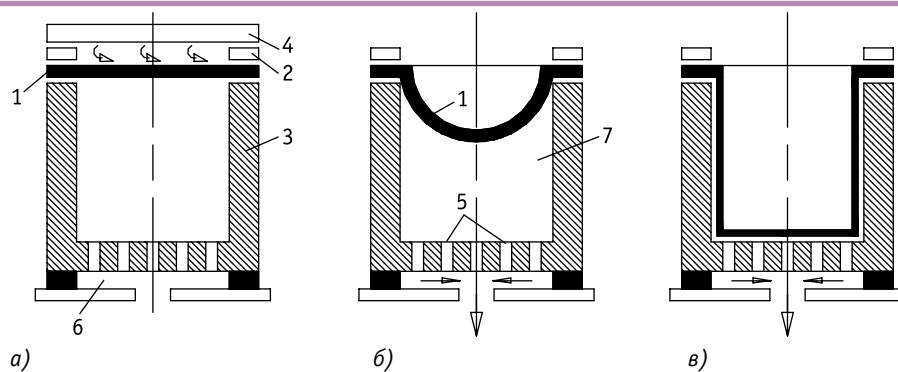


Рис 1. Схема вакуум-формування: стадії затискання та нагрівання полімерної заготовки (а); стадії герметизації та початку формування (б); стадії кінцевого формування та охолодження виробу (в) (1 — формований лист; 2 — притискна рама; 3 — матриця; 4 — нагрівач; 5 — вентиляційні канали; 6 — вакуумна порожнина матриці; 7 — порожнина, що оформляється)



від ступеня розтягування листової полімерної заготовки. Тоді ті ділянки заготовки, що розтягуються сильніше, будуть розігріті до меншої температури. Унаслідок цього і їхня товщина зменшуватиметься менше, ніж на більш розігрітих ділянках, що призведе до вирівнювання товщини виробу по всій його площині.

Запропонований метод термоформування оформлений заявкою на патент [3].

З метою дослідження швидкості нагрівання листових полімерних матеріалів за різних зусиль притискання до нагрівальної поверхні було проведено дослід. Експеримент здійснювався таким чином: за допомогою терморегулятора встановлювалися необхідні значення температури. Коли температура плити набувала заданого значення, на неї встановлювалась конструкція, до якої входить дослідний зразок, термопара, яка прикріплена до гумової шайби, притискає поверхню, а також вантаж. Після того як зразок поміщали на плиту, він починав нагріватись. Під час дослідів фіксувалися час нагрівання та температура зразка за різних навантажень.

Для проведення експериментальних досліджень як досліджуваний матеріал використовували поліпропілен (ПП) товщиною 0,8 мм. Досліджуваний зразок нагрівався за різних температур: 145 і 155 °С, а також навантажувався різною вагою: 200, 500 і 1900 г.

За результатами експериментальних досліджень отримано залежності температури, якої досягає досліджуваний зразок, від нагрівальної поверхні та від часу нагрівання (рис. 2).

Як видно, із збільшенням навантаження на досліджуваний зразок зменшується час його нагрівання до певної температури. А також у разі однакового навантаження час нагрівання зразка для досягнення однієї і тієї ж температури зменшується із збільшенням температури нагрівання.

Також була експериментально визначена залежність між навантаженням і ступенем деформації полімеру, з якого виготовлена заготовка, для різних значень температури. Була проведена серія експериментів, мета яких — визначити модуль пружності та ступінь деформації полімерних матеріалів залежно від різної температури нагрівання та різного навантаження на них.

Експеримент було проведено таким чином. Нагрівання полімерного матеріалу проводили в термокамері, усередину якої поміщали досліджуваний зразок, затиснений між рухомими і нерухомими губками. До рухомої губки був приєднаний

ланцюг, пропущений через шків. До іншого кінця ланцюга прикріпили динамометр, за допомогою якого фіксували навантаження на зразок полімерного матеріалу. Поступове збільшення навантаження на зразок приводило до того, що полімер починав розтягуватися і рухомі губки починали рухатися по напрямних. Під час дослідів фіксували ступінь розтягування за різних навантажень та температур. Досліджуваний зразок з

ТОВ "Деметра Одис"

ПРОПОНУЄМО 55 видів ПЕТФ-тари
від 100 мл до 5 л:

- для газованих та негазованих напоїв
- для олії, оцту
- для молочних продуктів, кетчупу, майонезу, гірчиці з діаметром горловини 38 мм
- для парфумерно-косметичної продукції та побутової хімії
- для сипучих товарів з діаметром горловини 66 мм

Допомагаємо своїм замовникам у комплектації тари необхідними супутніми товарами (корок, ручка, дозатор, тригер)



Наші координати:

м. Одеса, вул. Просьолочна, 10-А
тел./факс: (048) 715 95 96, 737 68 80
в Інтернеті: <http://www.demetra-odis.com>
e-mail: demetraodis@gmail.com

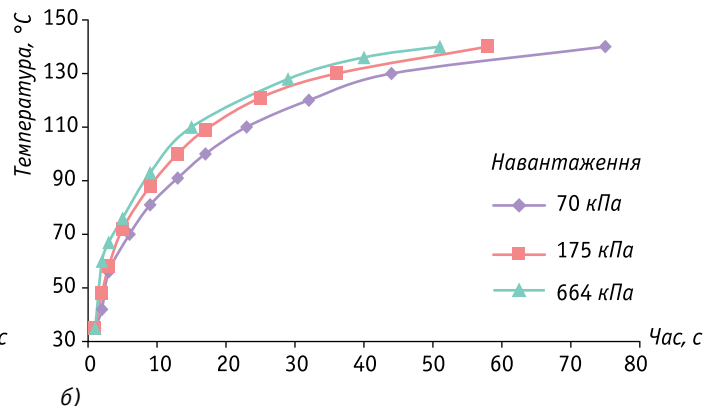
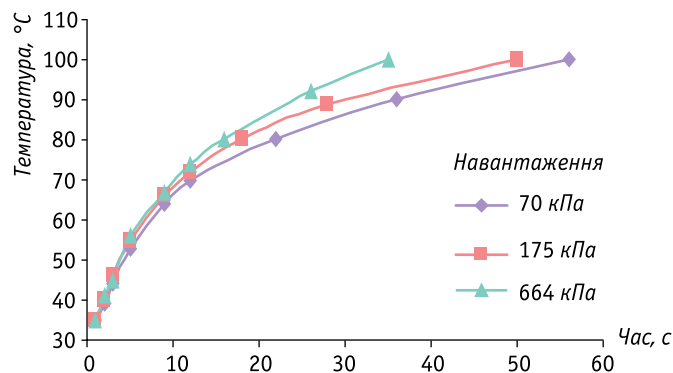


Рис. 2. Залежність температури зразка з ПП від часу нагрівання та навантаження за температури нагрівальної поверхні: 145 °С (а); 155 °С (б)

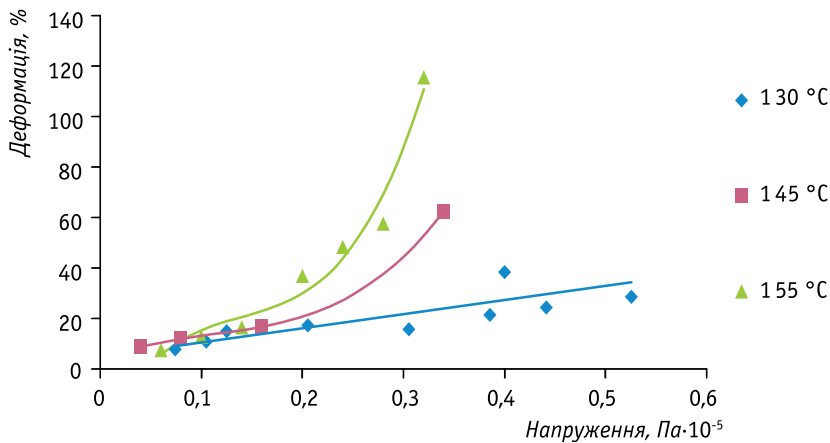


Рис. 3. Залежність відносної деформації зразків поліпропілену від механічного навантаження за різних температур нагрівальної поверхні

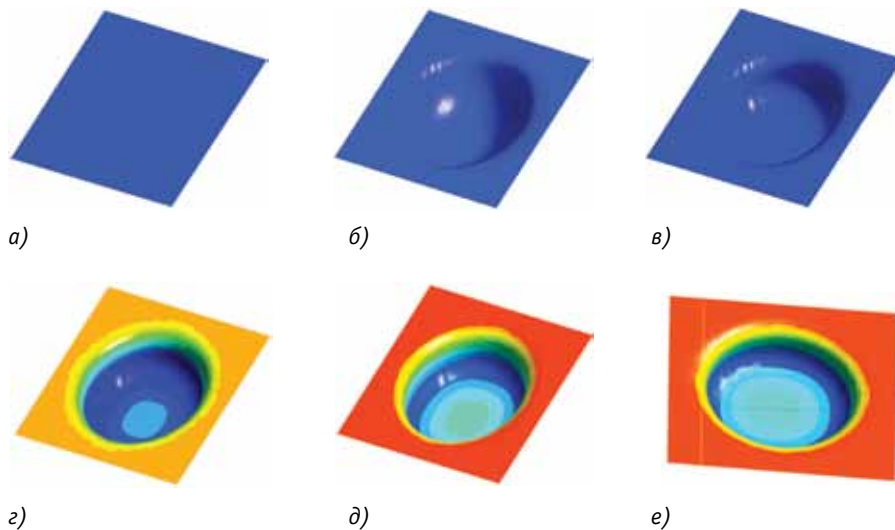


Рис. 4. Результати моделювання термоформування полімерної заготовки: у початковому стані (а); у процесі деформації на сороковому часовому кроці (б); у процесі деформації на дев'яностому часовому кроці (в); у момент часу, коли деформація стає відчутною (г); розподіл часу контакту заготовки з матрицею на заключній стадії термоформування (д); розподіл товщини у відформованому виробі (е)

поліпропілену товщиною 0,5 мм нагрівався за температур 130, 145 і 155 °С. У результаті досліджень (рис. 3) були встановлені необхідне зусилля притискання зразка листової заготовки до нагрівальної поверхні та температура нагрівання заготовки для досягнення однакової товщини виробу.

З метою дослідження розподілу товщини стінки у сформованій полімерній упаковці залежно від технологічних режимів було виконане чисельне моделювання процесу термоформування полімерної заготовки у програмному комплексі ANSYS POLYFLOW. Результати моделювання наведено на рис. 4.

Отриманий моделюванням розподіл товщин виробу, а також експериментально визначені залежності між ступенем деформації матеріалу заготовки за різних температур та швидкості її нагрівання дають можливість визначити зусилля притискання до нагрівальної поверхні із зворотного боку для досягнення рівної товщини стінки виробу по всій його поверхні. Користуючись змодельованим розподілом товщини відформованого виробу, знаходимо значення температури та зусилля, які потрібні для зміни товщини в кожній i -тій точці виробу. Для цього реалізуємо таку послідовність дій.

За результатами моделювання (рис. 4е) знаходимо коефіцієнт різнотовщинності:

$$i = \frac{h_i}{h_s}, \quad (1)$$

де h_i — розрахована товщина виробу в i -тій точці;

h_s — задана товщина стінки виробу.

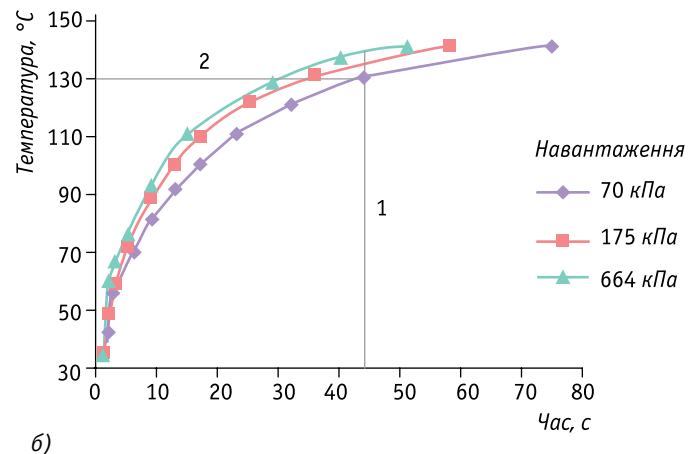
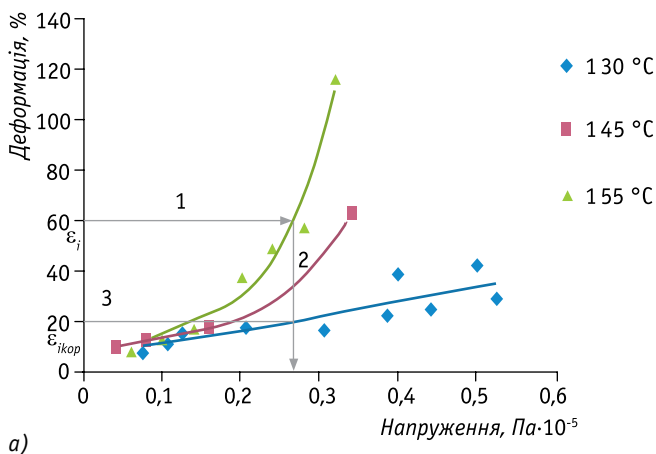


Рис. 5. Зміна відносної деформації залежно від навантаження (а) та температури заготовки залежно від часу нагрівання (б)



Розраховані товщини стінки готового виробу з вузлів деформованої згідно з алгоритмом моделювання розрахункової сітки переносимо на відповідні їм вузли початкової розрахункової сітки заготовки. Тоді кожна i -та точка виробу буде спроектована на відповідну їй точку заготовки.

Деформація в i -тій точці визначається з відношення початкової товщини заготовки до товщини виробу у відповідній точці:

$$\varepsilon_i = \frac{h_0}{h_i}, \quad (2)$$

де h_0 — початкова товщина заготовки. На графіку залежності відносної деформації від механічного навантаження (рис. 5а) відкладаємо отриману величину деформації в i -тій точці ε_i (лінія 1) за максимальних значень температури нагрівання заготовки. Значення деформації $\varepsilon_{ікор}$ в i -тій точці, яка відповідатиме бажаній товщині стінки виробу, відповідає залежності:

$$\varepsilon_{ікор} = i \cdot \varepsilon_i. \quad (3)$$

Проводимо вертикальну лінію (рис. 5а, лінія 2) від точки ε_i на графіку залежності відносної деформації від механічного навантаження до значення $\varepsilon_{ікор}$ і визначаємо, якій температурі t_i відповідає $\varepsilon_{ікор}$ (наприклад, 130 °С). За графіком залежності температури заготовки від часу нагрівання різних

температур нагрівача (рис. 5б) визначаємо час, необхідний для нагрівання заготовки до максимальної температури t за максимального тиску p (лінія 1). Далі за цим самим графіком визначаємо навантаження p_i , необхідне для нагрівання даної ділянки заготовки до температури t_i (у даному випадку температурі 130 °С відповідатиме навантаження 70 кПа, лінія 2).

За отриманим розподілом значень навантаження можна спроектувати притискний механізм або профіль притискної поверхні для отримання рівномірного розподілу товщин стінки полімерної упаковки. Це сприятиме підвищенню її споживчих властивостей, забезпеченню міцності та жорсткості, а також мінімізації дефектів. Перспективою подальших досліджень може бути розробка методик термоформування з іншими методами нагрівання заготовок: конвективним, радіаційним тощо.

Література

1. Басов Н.И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов. — М.: Химия, 1991. — 352 с.
2. Основы технологии переработки пластмасс: Учебник для вузов / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др. — М.: Химия, 2004. — 600 с.

3. Колосов О.Є., Сокольський В.І., Кривошеєв В.С., Слісаренко І.В. та ін. Спосіб формування полімерних виробів з листових полімерних заготовок. — Заявка на патент України № 201302776; заявл. 05.03.2013.

Исследование равнотолщинности термоформованной полимерной упаковки

А.Л. Сокольский, к.т.н., И.В. Слисаренко

В статье предложена методика усовершенствования процесса термоформования полимерной упаковки. Автором показаны результаты экспериментальных и численных исследований для реализации данной методики. Это дает возможность получать полимерную упаковку с равномерной толщиной стенки и экономить полимерное сырье за счет его рационального использования.

Ключевые слова: термоформование; механическое напряжение; механическая нагрузка; деформация.

Investigation of equal thickness thermoformed plastic packaging

A.L. Sokolskyi, Ph.D., I.V. Slisarenko

The methodology of process improvement thermoformed plastic packaging is proposed. The results of experimental and numerical researches for the implementation of this technique are shown. It gives ability to obtain the polymer packing with uniform wall thickness and potential savings of polymer raw materials due to its rational use.

Key words: thermoforming; mechanical stress; mechanical stress; deformation.



ПОЛИМЕРНАЯ КОМПАНИЯ

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

ПОЛИЭТИЛЕН

ПОЛИВИНИЛХЛОРИД

ПОЛИПРОПИЛЕН

Поставки от ведущих мировых производителей

офис 104, ул. Марины Расковой, 13, Киев, 02660, Украина
тел./факс +38 (044) 459-00-34

e-mail: office@ua-polymer.com
web: www.ua-polymer.com