

змішувальних елементів або обирати технологічні режими процесів змішування полімерних композицій.

Перспективою подальших досліджень може бути розробка методики визначення геометрії динамічних змішувачів за необхідним рівнем гомогенізації та вдосконалення конструкції змішувача з метою зниження гідравлічного опору.

**Список літератури:** 1. Седов Л.И. Механика сплошной среды./ Седов Л.И. М: Наука, т.1 (т.2) – 1970, 492 (568) с. 2. Сахаров А.С., Колосов А.Е., Сокольский А.Л., Сивецкий В.И. Моделирование процесса смешения полимерных композиций в экструзионном смесителе барьерного типа. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2011. - №12. – С.3-7. 3. Наполненные термопласты: Справочник / Пахаренко В.А., Зверлин В.Г., Кириенко В.М.; под общ. ред. Липатова Ю.С.- К.: Техніка, 1986.- 182с.

Надійшла до редколегії 20.04.2013

УДК 678.057

**Моделювання гідродинаміки та гомогенізації полімерних композицій в динамічному змішувачі екструдера / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, М. С. Кушнір, О.В. Рослов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 26 (999). – С.88-92. – Бібліогр.: 3 назв.**

Проведено численне моделювання динамічного смесителя барьерного типа при нестационарных условиях с учетом эффекта диссипации. Показаны результаты моделирования, позволяющие исследовать динамику изменения температур и гидравлического сопротивления при течении полимерных материалов в смесительных элементах и осуществлять выбор оптимальных конструктивных параметров смесительных элементов или выбирать технологические режимы процессов смешивания полимерных композиций.

**Ключевые слова:** динамический смеситель, моделирование, гомогенизация, смешивание.

A numerical simulation of the dynamic barrier-type mixer with non-stationary conditions, taking into account the effect of dissipation. Showing the results of the simulation, allowing us to investigate the dynamics of change of temperature and pressure drop in the flow of polymer materials in the mixing elements and the choice of optimal design parameters of mixing elements or choose technological modes of mixing of polymer compositions.

**Keywords:** dynamic mixer, modeling, homogenization, mixing.

УДК 621.789

**О. Л. СОКОЛЬСЬКИЙ**, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ», Київ;  
**І. В. СЛІСАРЕНКО**, студент, НТУУ «КПІ», Київ

## **ПІДВИЩЕННЯ РІВНОТОВЩИНОСТІ ТЕРМОФОРМОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ**

Запропонована методика вдосконалення процесу термоформування полімерних виробів. Показано результати експериментальних та чисельних досліджень для реалізації даної методики. Це дає можливість отримувати полімерні вироби з листових та плівкових заготовок з рівномірною товщиною стінки та змогу економії полімерної сировини за рахунок її раціонального використання.

**Ключові слова:** термоформування, механічне напруження, механічне навантаження, деформація.

**Вступ.** Широке поширення процесів термоформування для виготовлення полімерних виробів, зокрема одноразових лотків і контейнерів, пояснюється простотою виготовлення, компактністю, відносною дешевизною використовуваного устаткування і технологічного оснащення. На відміну від технології лиття під тиском при виготовленні виробів методом термоформування потрібно значно простіша конструкція формуючих елементів, а виготовлення готової продукції здійснюється з листових рулонних матеріалів.

© О. Л. СОКОЛЬСЬКИЙ, І. В. СЛІСАРЕНКО, 2013

Технологія термоформування поділяється на кілька видів: вакуумне, пневматичне, з попередніми нагрівом і витяжкою, штампування та ін., а також комбінування перерахованих методів. Оскільки зазначені методи передбачають нагрів термопластичної листової заготовки до високоеластичного стану, з подальшим формуванням і охолодженням, їх можна об'єднати загальною назвою «термоформування». Методами термоформування можна одержувати вироби завтовшки до 6-8мм. Простішим та дешевшим методом вважається вакуумформування, за якого формування відбувається за рахунок створення вакууму між поверхнями заготовки та форми. При переробці листів завтовшки більше 5мм атмосферного тиску, який можна створити при вакуумформуванні, недостатньо, тому застосовують пневмоформування створенням тиску до 0,7-1МПа з боку зовнішньої поверхні заготовки.

**Аналіз наявних методів термоформування.** Традиційно метод термоформування включає в себе 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 та зняття виробу [1-2].

Недоліком відомих методів термоформування є значна різнотовщинність отримуваних таким чином виробів внаслідок різного степеню розтягування 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.

**Постановка задачі.** В основу досліджень поставлена задача підвищення рівнотовщинності виробів, отримуваних методом термоформування, шляхом забезпечення різної температури нагрівання листової полімерної заготовки в різних точках у зворотній відповідності від степеня розтягнення листової полімерної заготовки, що приведе до вирівнювання товщини виробу по всій його площині. Остання обставина є досить важливою, оскільки зниження різнотовщинності формованих виробів покращує не тільки їх експлуатаційні фізико-механічні характеристики (міцність, жорсткість), але і характеристики газо-і паронепроникності, що забезпечує необхідну тривалість зберігання продукції в тому випадку, коли термоформовані вироби використовуються в якості полімерних упаковочних засобів.

**Результати досліджень.** Товщина виробу в кожній точці поверхні залежить від початкової товщини заготовки, степеня її розтягування та температури розігріву. При цьому чим більший степінь розтягнення 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 деформівні властивості полімеру, тобто тим сильніше може зменшуватись товщина заготовки. Якщо нагрівання заготовки здійснювати в різних точках поверхні в зворотній залежності від степеня розтягнення листової полімерної заготовки, ті ділянки заготовки, що розтягнутимуться сильніше, будуть розігріті до меншої температури. Внаслідок цього і їх товщина зменшуватиметься в меншій мірі, 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 метод термоформування нагріванням полімерної заготовки до пластичного стану через екран з матеріалу, прозорого для інфрачервоного випромінювання з нанесеним на ньому шаром матеріалу, непрозорого для випромінювання зі степенями екранування на різних ділянках поверхні, величини яких відповідні зростанню температури заготовки та степеню розтягнення листової полімерної заготовки в різних точках. Тоді ті ділянки заготовки, що розтягуватимуться сильніше, будуть розігріті до меншої температури. Внаслідок цього і їх товщина зменшуватиметься в меншій мірі, ніж на більш розігрітих ділянках, що призведе до вирівнювання товщини виробу по всій його площині.

Запропонований метод термоформування оформлено заявкою на патент [3].

Експериментально визначено залежність між навантаженням і ступенем деформації полімеру, з якого виготовлена заготовка, для різних значень температури. Була проведена серія експериментів з метою визначення модуля пружності та ступеня деформації полімерних матеріалів в залежності від різної температури нагріву та різного навантаження на них.

Експеримент відбувався наступним чином: Нагрів полімерного матеріалу відбувався в термокамері, всередину якої поміщено досліджуваний зразок, затиснений між рухомими і нерухомими губками. До рухомої губки приєднано ланцюг, який пропущено через шків. До іншого кінця ланцюга прикріплено динамометр, за допомогою якого фіксується навантаження на полімерний матеріал. Поступово збільшується навантаження на зразок, що призводить до того, що полімер починає розтягуватися і рухомі губки починають рухатися по направляючим. Під час дослідів фіксувався ступінь розтягнення при різних навантаженнях та температурах.

Досліджуваний зразок з полістиролу товщиною 0,15мм нагрівався при температурах 100°C, 110°C і 120°C.

За результатами даних досліджень побудовано графіки залежності відносної деформації від механічного напруження (рис. 1).

Залежності, показані на рис. 1, дають

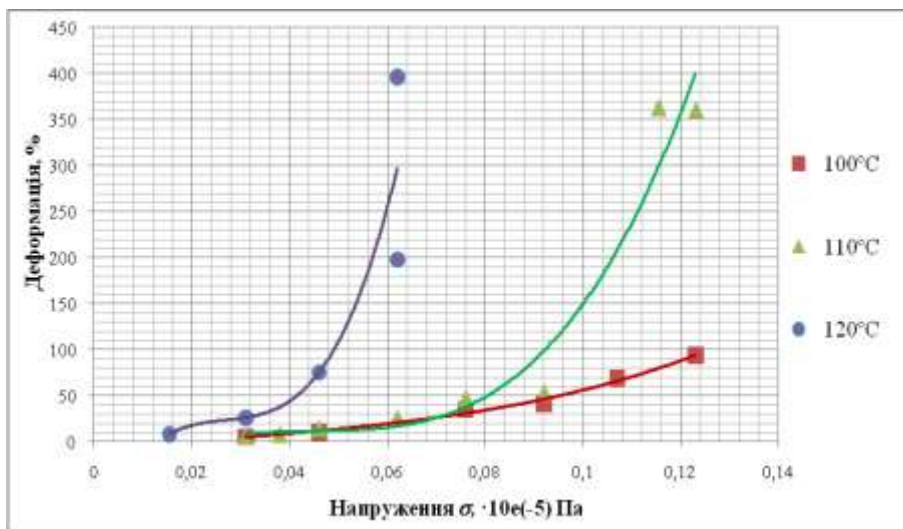


Рис. 1 – Залежності відносної деформації полістиролу від механічного напруження при різних температурах

можливість встановити необхідне зусилля притискання зразка листової заготовки до нагрівальної поверхні, та температуру нагрівання заготовки для досягнення однакової товщини виробу.

З метою дослідження розподілу товщини стінки в сформованому полімерному виробі в залежності від технологічних режимів було виконане чисельне моделювання процесу термоформування полімерної заготовки у програмному комплексі «ANSYS POLYFLOW». Завдяки симетричній по двох осях формі виробу у вигляді коритця моделювалась лише його чверть. Результати моделювання наведено на рис. 2.

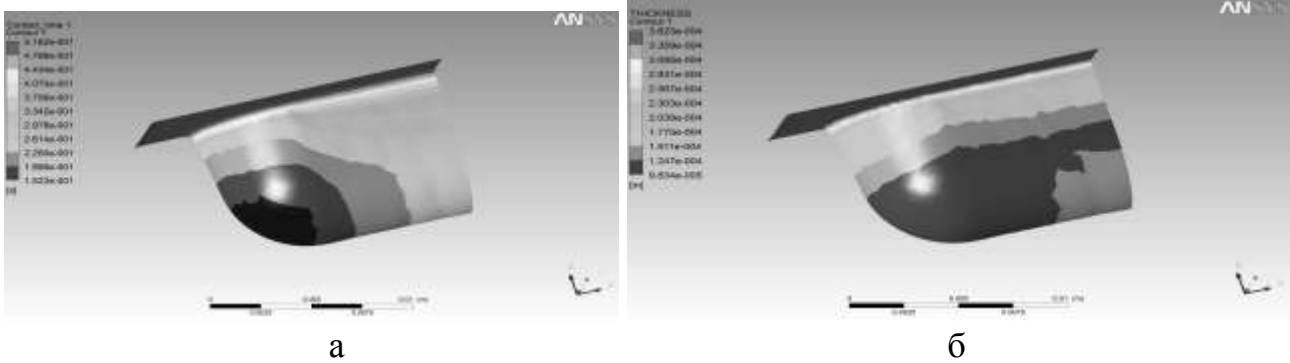


Рис. 2 – Моделювання процесу термоформування полімерної заготовки: *а* – розподіл часу контакту заготовки з матрицею на заключній стадії термоформування, *б* – розподіл товщини стінки у відформованому виробі

Отриманий моделюванням розподіл товщин стінки термоформованого виробу, а також експериментально визначені залежності між навантаженням і ступенем деформації полімеру, з якого виготовлена заготовка, для різних значень температури та швидкості її нагріву дозволяє визначити зусилля притискання до нагрівальної поверхні, а також визначити залежність між ступенем екранування поверхні заготовки і температурою її нагріву в діапазоні пластичності полімеру, з якого виготовлена заготовка 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. 2б) знаходимо коефіцієнт різнотовщинності:

$$i = \frac{h_i}{h_3},$$

де  $h_i$  – розрахована товщина виробу в *i*-тій точці;

$h_3$  – задана товщина стінки виробу.

Розраховані товщини стінки готового виробу з вузлів деформованої згідно алгоритму 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:

$$\varepsilon_i = \frac{h_0}{h_i},$$

де  $h_0$  – початкова товщина заготовки.

На графіку залежності відносної деформації від механічного напруження (рис. 1) відкладаємо отриману величину деформації в *i*-тій точці  $\varepsilon_i$  при максимальних значеннях температури нагріву заготовки. Значення деформації  $\varepsilon_{ikop}$  в *i*-тій точці, яка відповідатиме бажаній товщині стінки виробу, відповідає залежності:

$$\varepsilon_{ikop} = i \cdot \varepsilon_i$$

Проводимо вертикальну лінію від точки  $\varepsilon_i$  на графіку залежності відносної деформації від механічного напруження (рис. 1) до значення  $\varepsilon_{ikop}$  і визначаємо, якій температурі  $t_i$  відповідає  $\varepsilon_{ikop}$ .

Розраховуємо залежність температури нагріву заготовки від потужності й часу інфрачервоного випромінювання та визначаємо, за який час температура заготовки

досягне заданої величини. Далі визначаємо, яку ступінь перекриття теплового потоку необхідно забезпечити для отримання бажаних температур  $t_i$  в кожній точці за заданий час нагріву.

Після цього на екран з матеріалу, прозорого для інфрачервоного випромінювання, наноситься шар матеріалу, непрозорого для випромінювання зі ступенем екранування на різних ділянках поверхні, необхідним для досягнення заготовкою однакової по поверхні виробу товщини стінки. Змінна ступінь екранування може бути досягнута нанесенням на екран шару непрозорого матеріалу змінної товщини або нанесенням їм ліній чи точок з густотою, що забезпечує необхідну долю перекриття потоку випромінювання.

Процес термоформування за запропонованою методикою здійснюється таким чином. Нагрівання листової заготовки здійснюють опроміненням листової заготовки інфрачервоним нагрівачем через екран на протязі визначеного раніше періоду часу. Далі простір між заготовкою та поверхнею форми герметизується, наприклад, притисканням заготовки по контуру до ущільнень, і створюється перепад тиску по обидва боки листової полімерної заготовки до притискання її до поверхні форми, що може бути здійснено подачею надлишкового тиску на зовнішню поверхню заготовки та/або вакуумуванням простору між заготовкою та поверхнею форми. Після цього перепад тиску знімається, виріб охолоджується на поверхні форми та виймається з форми.

**Висновки.** Для отримання рівномірного розподілу товщин стінки полімерних виробів з листових або плівкових заготовок за отриманим розподілом деформаційних властивостей полімерного матеріалу можна здійснювати опромінення листової заготовки інфрачервоним нагрівачем через екран зі змінним по поверхні ступенем перекриття. Це сприятиме підвищенню їх споживчих властивостей, забезпеченню міцності та жорсткості, а також мінімізації дефектів.

Перспективою подальших досліджень може бути розробка методик термоформування з іншими методами нагрівання заготовок: конвективним, контактним та ін.

**Список літератури:** 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. С., Сокольський В. І., Кривошеєв В. С., Слісаренко І. В. та ін. Спосіб формування полімерних виробів з листових полімерних заготовок з використанням інфрачервоних нагрівачів – Заявка на патент України №201302777; заявл. 05.03.2013.

Надійшла до редколегії 20.04.2013

УДК 621.789

**Підвищення рівнотовщинності термоформованих полімерних виробів/ О. Л. Сокольський, І. В. Слісаренко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 26 (999). – С.92-97. – Бібліогр.: 3 назв.**

Предложена методика усовершенствования процесса термоформования полимерных изделий. Показаны результаты экспериментальных и численных исследований для реализации данной методики. Это дает возможность получать полимерные изделия из листовых и пленочных заготовок с равномерной толщиной стенки и возможность экономии полимерного сырья за счет его рационального использования.

**Ключевые слова:** термоформование, механическое напряжение, механическая нагрузка, деформация.

The methodology of process improvement thermoformed polymer products is proposed. The results of experimental and numerical researches for the implementation of this technique are shown. It gives

ability to obtain the polymer products with uniform wall thickness and potential savings of polymer raw materials due to its rational use.

**Keywords:** thermoforming, mechanical stress, mechanical stress, deformation.

## УДК 614.8.084

**М. Г. РУСАНОВ**, канд. техн. наук, доц., с.н.с, «Харківська гуманітарно-педагогічна академія» Харківської обласної Ради;

**В. В. КРАСНОГОРСЬКА**, студентка, «Харківська гуманітарно - педагогічна академія» Харківської обласної Ради;

**Н. В. ПОЧТАР**, студентка, «Харківська гуманітарно-педагогічна академія» Харківської обласної Ради

### ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ІЗ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ЛЮДИНИ

Статтю присвячено основним теоретичним питанням змісту практичних занять із безпеки життєдіяльності зі студентами гуманітарних спеціальностей.

**Ключові слова:** безпека, навколишнє середовище, забруднення повітря.

На сучасному етапі розвитку цивілізації безпека людини та людства в цілому розглядається як основне питання. Концепція сталого розвитку людства стала основою для вирішення низки проблем, пов'язаних із безпекою людини, зокрема розвитком освіти в певній галузі [1]. Зазначені проблеми є особливо актуальними для нашої країни, котра зараз переживає глибоку еколого-економічну кризу .

Безперечно, що одним із головних напрямів забезпечення безпеки населення України є належна освіта з проблем безпеки. Це знайшло своє повне відображення в Концепції освіти з напрямку "Безпека життя і діяльності людини", у котрій розглянуто методологічну та наукову основи безпеки життєдіяльності. Один із розділів концепції розпочинається з розгляду наукових засад БЖД людини в системі "людина – середовище існування". Безпека життєдіяльності входить до блоку дисциплін, пов'язаних із безпекою людини, котрий включає охорону праці, валеологію, основи медичних знань, основи екології та цивільну оборону. "Безпеці життєдіяльності" відводиться чільне місце, оскільки саме ця дисципліна має світоглядно-професійний характер.

Об'єктом вивчення безпеки життєдіяльності є людина в усіх аспектах її діяльності (фізичному, психологічному, духовному, суспільному). Предметом вивчення є вплив на життєдіяльність та здоров'я людини зовнішніх та внутрішніх факторів.

Дисципліна БЖД розглядає:

- загальні питання безпеки;
- взаємодію людини з навколишнім середовищем;
- основи фізіології та раціональних умов праці;
- анатомо-фізіологічні наслідки дії на людину небезпечних, шкідливих і вражаючих факторів, причини їхнього формування;
- ідентифікацію небезпечних, шкідливих і вражаючих факторів надзвичайних ситуацій;
- способи та методи підвищення безпеки технічних способів і технологічних