

УДК 681.518

НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ МОНІТОРИНГУ АКТИВНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПЕТ-ПЛЯШОК

Ю. Б. Бєляєв

Доктор технічних наук, професор

Кафедра інтегрованих автоматизованих систем управління**

Контактний тел.: 067-442-43-86

В. В. Іващук

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: 097-950-00-13

E-mail: ivaschuk99@mail.ru

М. В. Васьків

Аспірант*

Контактний тел.: 097-900-14-23

E-mail: myryana@list.ru

*Кафедра автоматизації процесів управління**

**Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01033

Наближений температурний профіль розігріву по зонам преформ спричиняє негативний вплив на техніко-економічні показники виготовленої тари (ПЕТ-пляшок). Таким чином, рішення задачі вибору оптимального відсотку нагріву ПЕТ-преформ являється актуальним і представляє важливе теоретичне і практичне значення.

Ключові слова: преформа, прес-форма, інфрачервоне випромінювання, термомеханічна крива.

Приближенный температурный профиль разогрева по зонам преформ вызывает негативное влияние на технико-экономические показатели изготовленной тары (ПЭТ-бутылок). Таким образом, решение задачи выбора оптимального процента нагрева ПЭТ-преформ является актуальным и представляет важное теоретическое и практическое значение.

Ключевые слова: преформа, пресс-форма, инфракрасное излучение, термомеханическая кривая.

Approximate temperature profile of heating zones preform has a negative impact on technical and economic indices of manufactured containers (PET-bottles). Thus, the decision of choosing the optimal percentage of heating the PET-preform is important and represents an important theoretical and practical importance.

Keywords: preform, mold, infrared radiation, thermomechanical curve.

Розвиток технологій видуву пляшок з ПЕТ-преформ, стійкість до ударних навантажень, свобода у виборі дизайну і відносно низька вартість зробили ПЕТ-тару найпопулярнішою на ринку газованих напоїв і мінеральних вод.

Основними перевагами ПЕТ (поліетилентерефталат) в порівнянні з традиційними матеріалами є такі як ціновий аспект, вага, дизайн упаковки (форма, м'якість, хімічна стійкість, міцність, герметичність, висока розмірна точність виробів, хороша текучість розплаву, тощо). Завдяки додаванню до матеріалу спеціальних добавок можна отримати тару зі спеціальними властивостями — високі бар'єрні показники (по кисню та вуглекислому газу), низький зміст ацетальдегіду, високий рівень захисту ультрафіолетових променів, тощо [1].

Виготовлення високоякісної пляшки залежить насамперед від характеристик матеріалу. преформа являє собою полімерну заготовку, з якої шляхом видуву отримують пляшку для пакування харчових та нехарчових, газованих та негазованих рідин.

Обладнання для виробництва тари із преформ складається з двох основних станцій [2]: станції нагріву преформ і агрегату видуву пляшок, жодну з яких не можна розглядати автономно. На рис. 1 показана функціональна схема і склад устаткування для видуву пляшок із преформ.

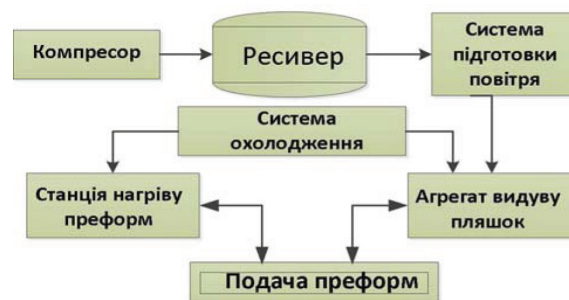


Рис. 1. Функціональна схема комплексу обладнання для видуву пляшок з ПЕТ-преформ

Керування процесом нагріву преформи здійснюється, як правило, з використанням регуляторів потужності по зонах нагріву. Регулювання потужності інфрачервоного випромінювання контролюється за результуючою температурою виробу після чергової стадії нагріву, таким чином, сам процес нагрівання заготовки є некерованим, а система керування температурою заготовки є розімкненою.

Прийнятий досі спосіб регулювання нагріву не враховує зовнішні впливи, такі як фактори зовнішнього середовища виробничого цеху, а також фізичні характеристики використовуваних заготовок (преформ). Якість

прогріву, як правило, оцінюється суб'єктивно, на підставі емпіричних знань оператора установки. Всі ці фактори призводять до зниження якості готових виробів і продуктивності та ритмічності роботи обладнання. При експлуатації обладнання для виробництва полімерної тари негативний вплив зовнішніх збурюючих факторів на термічні процеси призводить до браку, що досягає 10–12 % [3].

Таким чином, ефективність роботи автоматичної поточної лінії (АПЛ) виготовлення пляшок залежить від забезпечення актуальних рішень по керуванню режимами нагріву та видуву, визначенню задовільних норм відхилення технологічних показників та стану працездатності обладнання. Тому розробка системи моніторингу параметрів, що визначають стан процесу виготовлення якісної продукції, є **актуальним завданням**.

До основних дефектів нагріву пляшки відносяться нерівномірність товщини стінки пляшки, погано сформована основа пляшки, поздовжня деформація, овалізація, морщення, перламутровий чи сріблястий відтінок [4]. На ці дефекти насамперед впливають: температура нагріву необхідної зони преформи, тривалість нагріву. Особливої уваги вимагають приховані дефекти тари, які можуть призвести до зміни термінів зберігання продуктів, погіршення транспортних характеристик, браку партій пляшок, що має економічні наслідки як з боку виробника, так і з боку споживача, як кінцевого замовника якісного продукту.

При нагріві преформи, одна з необхідних вимог полягає в отриманні мінімального кінцевого перепаду температур по зонах заготовки, в іншому випадку — отримуюмо брак, викликаний незавершеністю структурних перетворень по всій товщині стінки преформи. Тому підтримка оптимального температурного профілю нагріву преформи — **одне з найважливіших завдань** для якісного технологічного процесу виготовлення ПЕТ-тари.

Розподіл температур по перетину заготовки, що забезпечує необхідну пластичність преформи, повинен бути досягнутий за певний час без надмірного перегріву зовнішньої поверхні преформи. Якість нагріву визначається обраним профілем нагріву заготовки, тобто потужністю і тривалістю нагрівання в кожній із зон інфрачервоним випромінюванням.

Процес зміни температури в системі нагріву преформи може бути описаний наступним рівнянням:

$$m_n \cdot c_n \frac{dT_n}{dt} = m_n \cdot c_n \cdot T_{п0} + T_b - \alpha_{пр} \cdot F(T_n - T_{кам}) - \alpha_d \cdot F(T_n - T_{кам}), \quad (1)$$

де m_n , c_n — маса та теплоємність ПЕТ-заготовки, відповідно, які є сталими під час виготовлення пляшки і змінюються лише при зміні партії заготовок або при випадковій помилці оператора АПЛ лінії; $T_{п0}$ — початкова температура преформи, з якою вона потрапляє в піч; T_b — температура, яку отримує заготовка від інфрачервоного випромінювання, яка в процесі керування залежить від потужності свічення лампи, де потужність випромінювання може бути обрахована за законом Стефана-Больцмана; $\alpha_{пр}$ — коефіцієнт конвективного теплообміну преформи з оточуючим повітрям, під час примусового вентилявання зовнішньої поверхні преформи в печі, F — площа преформи, $T_{кам}$ — температура в камері нагріву, α_d — коефіцієнт конвективного теплообміну преформи з оточуючим повітрям під час охолодження природною циркуляцією на шляху до пресформи видуву.

У виразі (1), на температуру преформи T_n головним чином впливає T_b за каналом керування температурою та $T_{п0}$, яка має враховуватися через велике значення сталої часу нагріву маси заготовки (під час нагрівання преформа проходить 9 камер нагрівання, в кожній з яких опромінюється 10-ма лампами по висоті преформи). Останній доданок виразу, який відповідає за природне охолодження заготовки має зміст лише під час зупинки конвеєра і майже не чинить впливу на зміну температури, через низьку теплопровідність матеріалу і загальну температуру в печі, яка попередньо розігрівається перед пуском лінії в роботу. В даній системі розігріву важливе значення має відсутність перерегулювання, оскільки охолодження, навіть примусове, не зможе забезпечити якісний перехідний процес за встановленої швидкості конвеєра — 10–15 тисяч пляшок на годину [5].

При використанні станцій розігріву роторного типу, де ритмічність задається рухом ланцюгового механізму, прогрів заготовок повинен здійснюватися до температури T_p (рис. 2):

$$T_c < T_p < T_{нк},$$

де T_c — температура склування, тобто мінімальна температура, при якій матеріал преформи стає пластичним; $T_{нк}$ — температура початку кристалізації, тобто найбільш допустима температура розігріву.

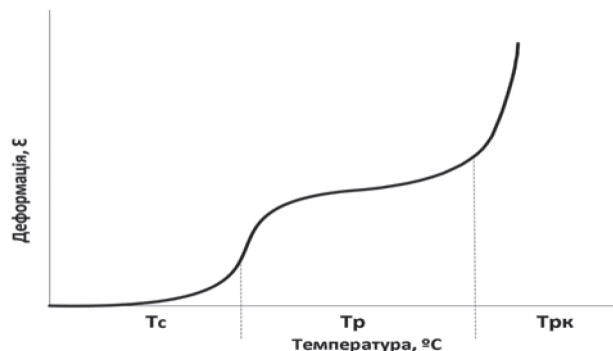


Рис. 2. Схематичне зображення термомеханічної кривої (залежність деформації преформи ϵ від температури T)

Виробництво ПЕТ-тари є складним динамічним процесом, де переважає вплив випадкового чинника, а саме невизначеність фізичних характеристик преформи. Отже, досі залишається невизначеним основний процес — деформація полімерної тари.

Як видно з залежності, що приведена вище на рис. 2, характеристики опору деформації заготовки змінюються в залежності від температури. А в зоні цільової температури преформи при виготовленні пляшки ПЕТ-матеріал набуває пружних властивостей гуми [6]. Враховуючи, що тиск повітря, що виникає в закритій камері, рівномірно розповсюджується на стінки преформи, процес деформації пляшки, при однаково проведеному розігріві заготовки, буде характеризувати пружні властивості полімеру, а отже ідентифікувати непередбачені зміни в характеристиках ПЕТ-матеріалу.

Коли йдеться про навантаження закритої камери, то слід згадати про внутрішній тиск, що характеризує першу похідну від витрати повітря. Сам процес зміни тиску в заготовці можна розбити на наступні зони:

1) зростання тиску від атмосферного до початку процесу деформації преформи, де початком деформації

можна визначити мінімальне відхилення геометричних розмірів заготовки;

2) пластичної деформації з розширенням об'єму заготовки;

3) оточення деформованої заготовки стінками прес-форми.

Кожний рецепт відслідковує власну форму пляшки, вимагає зміни температурного профілю заготовки. Для об'єму пляшки існує своя, складна геометрія прес-форми, а отже важко передбачити зміну тиску при оточенні деформації стінками прес-форми. Таким чином найкращими для ідентифікації незалежної деформації під дією тиску виявляються дві перші зони. Однак ПЕТ-матеріал, який має (поряд з пружною) високоеластичну деформацію при навантаженні розтягується значно більше, ніж, наприклад, метали, а залежність його видовження під дією сил деформації носить нелінійний характер. Тобто таку деформацію не можна передбачити відомим законом Гука, не можна охарактеризувати одним постійним значенням модуля поздовжньої пружності. Але в цілому, зважаючи на велику оборотність деформації таких матеріалів, можна передбачити їх характерний відгук на деформацію під дією надлишкового тиску.

Математична модель, якою можна визначити зміну тиску в ПЕТ-преформі, пропонується представити в наступній формі:

$$\frac{dP_{\Pi}}{d\tau} = P_{\Pi 0} + (Q/K_V)^2 - P_{\text{колект}} - \gamma/V_{\Pi} + \mu \cdot V_{\Pi}, \quad (2)$$

де P_{Π} — тиск в преформі; Q — витрата повітря на преформу; K_V — пропускна спроможність каналу повітря

для наповнення ПЕТ-преформи; $P_{\text{колект}}$ — тиск в колекторі видувної машини; V_{Π} — об'єм заготовки; γ — коефіцієнт який характеризує залежність між тиском та об'ємом, що займає повітря, який може бути розрахований з рівняння Менделєєва-Клапейрона, з врахуванням коефіцієнта стискання повітря; μ — коефіцієнт, який відповідає за пружні властивості ПЕТ, при повздовжній деформації заготовки. В даному випадку повздовжня деформація приймається як функція від зміни об'єму заготовки під час видуву. Оскільки два останніх члени виразу (2) характеризуються функціями нелінійними і немонотонними, то для випадку єдиного температурного профілю і сталої витрати Q , а як наслідок, і сталою порядку зміни швидкості деформації, їх можна замінити розподіленою величиною. У разі, коли необхідно стабілізувати процес деформації, достатнім буде ідентифікувати тиск при якому реалізуються останні два вирази.

Таким чином, більш розігрітий ПЕТ буде характеризуватися раннім початком видуву в прес-формі, а холодна заготовка розпочне деформацію запізно і буде мати власну криву зміни тиску. Така схема виявлення і локалізації дефектів дозволить ідентифікувати непередбачені та пов'язані із зміною характеристик ПЕТ-матеріалу порушення в роботі високопродуктивної лінії виготовлення полімерної тари, виявити приховані дефекти продукту, зменшити відповідальність оператора машини за результат процесу.

Рекомендації подальшого дослідження повинні розкрити природу деформації преформи з метою прогнозування характеристик пластичності розігрітого ПЕТ-матеріалу.

Література

- ГОСТ Р 51695-2000. Полиэтилентерефталат. Общие технические условия [Текст]. — Введ. 2002-01-01. — М.: Стандартинформ, 2008. — 15 с.
- Упаковочные решения и технология выдувного формования с вытяжкой для пластиковых бутылок [Электронный ресурс] / KHS Corpoplast GmbH & Co. KG.— Режим доступа: \www/ URL: http://www.khscorpoplast.com/images/publikationen/VLOMAX_R.pdf. — 13.11.2008 г. — Загл. с экрана.
- Петляков Г. Я. Секреты качества ПЭТ-бутылки в оптимальных режимах разогрева преформы [Текст] / Г. Я. Петляков // Пакиндустрия. — 1998. — С. 22–23.
- Трунов В. А. Новое оборудование для линий розлива пищевой продукции [Текст] / В. А. Трунов // Пищевая промышленность. — 2000. — № 2. — С. 30–32.
- Деркач Я. Современные технологии и оборудование для производства тары и упаковки из полиэтилентерефталата [Текст] / Я. Я. Деркач // Тара и упаковка. — 2003. — № 3. — С. 12–25.
- Физика полимеров [Текст] / Г. М. Бартенев, С. Я. Френкель; под ред. д-ра физ. мат. наук А. М. Ельяшевича. — Л.: Химия, 1990. — 432 с. — ISBN 5-7245-0554-1.