

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використаний для контролю пружних властивостей полімерної плівки в процесі виробництва як самої плівки, так і виробів з неї.

Полімерна плівка під час виготовлення або обробки постійно знаходиться в деформованому, як правило розтягнутому стані. Нормальне протікання технологічних процесів можливе лише за умови підтримання характеристик пружності полімерної плівки в заданих межах. Для плівкових і листових матеріалів одною з найважливіших характеристик пружності є вигинна жорсткість  $C$ . Ця величина визначається, як добуток моменту, що вигинає, на радіус кривизни вигину, і зв'язана з параметрами плівки співвідношенням [1]

$$C = \frac{h^3}{12} \cdot \frac{E}{1-\nu^2}$$

де  $E$  - модуль Юнга,  $\nu$  - коефіцієнт Пуассона,  $h$  - товщина.

"Класичні" способи визначення вигинної жорсткості полягають у вимірюванні величини вигину зразка під дією сили власної ваги і розрахунку  $C$  згідно формул теорії пружності [2, 3]. Зразками, як правило, є стрічки певної ширини. Головним недоліком цих способів є низька оперативність отримання даних і, як наслідок, непридатність для поточного контролю.

В сучасних способах визначення вигинної жорсткості вигин здійснюють спеціальним пристроєм. В способах лабораторного застосування (наприклад [4]) вимірюють як прикладену силу, так і величину деформації. В способах, призначених для поточного контролю, вимірюють як правило тільки одну з цих величин, а іншу задають незмінною. Наприклад, в способі [5] задають величину деформації, а прикладену силу вимірюють, а в способі [6], навпаки, задають прикладену силу, а величину деформації вимірюють. Вигинну жорсткість в способах [4-6] розраховують по теоретичних формулах, або визначають по калібрувальним залежностям у вигляді графіків або таблиць. Важлива риса всіх цих і подібних способів полягає в тому, що сили, які спричиняють вигин, діють вдовж нормалі до площини контрольованого матеріалу. Контакт з деталями механізмів, що створюють вигин, накладає суттєві обмеження на характер, швидкість і прискорення руху контрольованого матеріалу, що в умовах постійного зростання продуктивності виробничих ліній є істотним недоліком.

Метою винаходу є створення безконтактного способу визначення вигинної жорсткості, який забезпечував би високу оперативність отримання поточної інформації і в той же час не накладав би обмежень на характер, швидкість і прискорення руху контрольованого матеріалу (плівки). Щоб вирішити цю задачу, використовують силу натягу, яка прикладається до плівки механізмами виробничої лінії. Ця сила діє в площині полотна плівки і однорідно розподілена по його ширині. Її величина вимірюється встановленими на лінії датчиками.

Коли зусилля, що розтягує, перевищує певну порогову величину, виникає деформація вигину у вигляді хвилеподібного спучення. На виробничій лінії таке спучення завжди існує на кінцевій ділянці, де внаслідок швидкого охолодження пружність матеріалу різко зростає. Причиною спучення є виникнення в середній зоні ділянки, що розтягується, зони сили стискання. Сила стискання виникає завдяки крайовим ефектам і в середину контрольованої ділянки направлена під прямим кутом до напрямку розтягування. Величина цієї сили пропорційна силі натягу і приблизно в сто разів менше за неї.

Просторовий період спучення  $p$  залежить від сили  $T$ , що розтягує, і вигинної жорсткості плівки  $C$ . В неявному вигляді ці величини зв'язані диференціальним рівнянням в часткових похідних, яке можна знайти в [1]. Проведені авторами винаходу розрахунки показала, що зв'язок цих величин може бути представлений в явному вигляді, як

$$C = \frac{1}{4\pi^2} \left( k - \left( \frac{p}{2a} \right)^2 \right) \cdot p^2 \cdot T \quad (1)$$

де  $k$  - коефіцієнт пропорційності між силами розтягування і стискування,  $a$  - довжина ділянки, де виникає спучення. Фактично  $a$  - відстань між механічними деталями, які защемлюють, підпирають або іншим чином унеможливають спучення плівки, і поміж яких плівка вільно провисає. Вираз для коефіцієнта пропорційності має вигляд

$$k = 0.25 \cdot \frac{1 + 0.0129(a/b)^2 + 0.147(b/a)^2 - 0.567(a/b)^4 - 0.0801(b/a)^4}{1 + 1.26(b^2/a^2 + a^2/b^2) + 0.179(b^4/a^4 + a^4/b^4) + 0.0345(b^6/a^6 + a^6/b^6)} \quad (2)$$

де  $b$  - ширина ділянки, що розтягується. Вирази (1) і (2) отримані при певних спрощуючих допущеннях і тому є приблизними. Більш точний зв'язок між величинами може бути знайдений шляхом чисельного або фізичного моделювання і представлений у вигляді табличних даних.

Таким чином, щоб визначити вигинну жорсткість плівки, вимірюють просторовий період спучення і проводять розрахунки згідно формул (1) і (2) або використовують табличні дані.

Щоб виміряти просторовий період спучення, плівку освітлюють стрічкоподібним пучком випромінювання таким чином, щоб на її поверхні утворилася хвиляста світлова смуга. Далі отримують оптичне зображення смуги на фоточутливій поверхні. Зображення перетворюють в цифрові дані, обробляють його за відомим алгоритмом (наприклад, за алгоритмом підгонки), і таким чином визначають просторовий період спучення плівки.

Очевидно, що описаний спосіб також може бути пристосований для використання в лабораторних умовах.

Суть винаходу пояснюється малюнками, де показані:

на Фіг.1 - загальна схема визначення вигинної жорсткості;

на Фіг.2 - схема контролю вигинної жорсткості на лінії по виробництву плівки;

Заявлений спосіб реалізують таким чином:

До ділянки плівки 1 прямокульної форми (Фіг.1) з двох протилежних сторін прикладають однорідно розподілену напругу  $T$ , що розтягує, вектор якої лежить в площині плівки. В разі поточного виробничого контролю, коли плівка 1 розтягується механізмами виробничого устаткування (Фіг.2), обирають ділянку вільного провисання. В прикладі на Фіг.2 показана ділянка термофіксації виробничої лінії, яка розташована між кінцевим механізмом пристрою розтягування 2 і спрямовуючим валом 3. Напруга, що розтягує, повинна перевищувати поріг спучення, яка це має місце на виробничій лінії.

Просторовий період спучення плівки  $p$  вимірюють. Для цього поверхню плівки освітлюють стрічкоподібним пучком випромінювання 4 (Фіг.1, 2). Пучок 4 орієнтують таким чином, щоб утворена на поверхні плівки 1 світлова смуга 5 була спрямована перпендикулярно до напрямку розтягування. Оптичне зображення смуги реєструють фоточутливим пристроєм 6. Зображення перетворюють в цифрові дані, які обробляють персональним комп'ютером 7 і визначають період просторових осциляцій зображення смуги  $p_3$ . Просторовий період спучення плівки розраховують згідно виразу

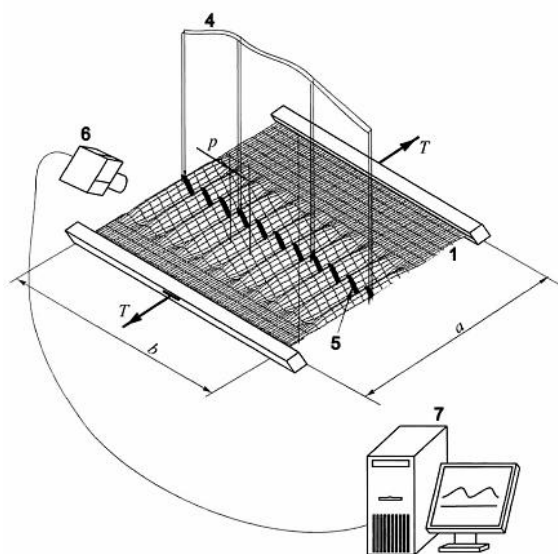
$$p = m \cdot p_3,$$

де  $m$  - коефіцієнт масштабного перетворення.

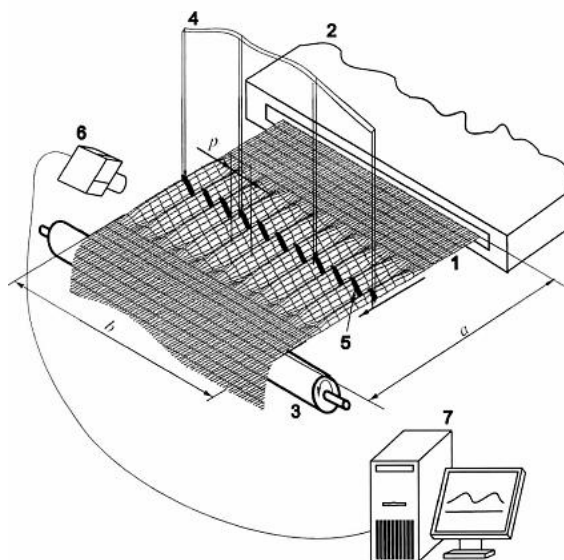
Після того, як просторовий період спучення виміряний, вигинну жорсткість розраховують по формулам (1) і (2), або визначають по заздалегідь приготовленим калібрувальним залежностям у вигляді таблиць чи графіків.

Джерела інформації

1. С.П. Тимошенко. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М.: "Наука" 1971, 807с.
2. A.M. Pasinski, W.B. Templeton. Paper stiffness tester. Патент США №3368394.
3. A. Walter. Method and apparatus for measuring the flexural stiffness of a sheet like sample. Патент США №4179941.
4. B. Dinzbarg. Test fixture for measuring stiffness in flexible materials. Патент США №5178017.
5. H.-R. Sure. Apparatus for measuring the flexural stiffness of moved laminar-shaped material. Патент США №5892157.
6. R.A. Clark. Substrate bending stiffness measurement method and system. Патент США №6581456.



Фіг. 1



Фіг. 2