

УДК 536.24

Д.М. ГАЛЯУТДІНОВ, В.М. БАТУРКІН

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ І СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОВОЛОКНИСТОЇ СТРУКТУРИ, ПРИПЕЧЕНОЇ ДО КУПОЛА

У даній роботі було досліджено властивості металоволокнистої структури припеченої до зігнутої пластини (радіус вигину пластини - 177 мм, довжина дуги - 232 мм, ширина - 120 мм), що відповідає моделі реального куполу у вигляді сфери, який використовують у високотемпературних теплових трубах в системах перетворення сонячної енергії у електричну: сонячний концентратор - високотемпературна теплова труба - двигун Стирлінга - електричний генератор [1]. Принцип роботи такого двигуна полягає у наступному (рис.1). Сконцентроване сонячне випромінювання падає на внутрішню поверхню куполу. Це призводить до кипіння натрію, яким насичена пориста структура, що розташована на зовнішній поверхні куполу. Пари натрію конденсуються на теплообмінних поверхнях двигуна Стирлінга, який перетворює теплову енергію у механічну енергію обертання вала. Ця енергія перетворюється у електричну за допомогою електричного генератора.

ККД такої системи дорівнює приблизно без використання куполу із пористою структурою 27%, а із використанням - 32%, що є найбільшим показником ефективності перетворення сонячної енергії. Використання теплових труб у таких двигунах значно підвищує надійність їх роботи, тому що у даному випадку лише теплові труби здатні забезпечити однорідність температурного поля на поверхнях нагріву двигуна. Однак, враховуючи великі щільності теплових потоків (до  $100 \text{ Вт/см}^2$ ), що падають на внутрішню

поверхню куполу від концентраторів сонячної енергії, необхідно забезпечити надійне приставання ґноту до підкладки. Тому виникає задача дослідження механічних властивостей такої структури, зокрема міцності з'єднання ґноту з куполом. Оскільки ґніт використовують для транспорту теплоносія під дією капілярних сил, то необхідно дослідити і структурні властивості пористої структури.

Технологічні особливості виготовлення теплової труби у вигляді куполу не дозволяють відразу отримати ґніт необхідної товщини, тому використовують поетапне пресування. Для визначення змін структурних властивостей по товщині структури після пресування, зокрема пористості, було підготовлено такий експеримент. На одній із бокових поверхонь по товщині структури було встановлено 4 датчики у вигляді скоб (рис. 2), замірювалась їхня висота відносно підкладки (координата  $x$ ), а також загальна висота ( $h$ ). Під час кожного пресуванню за допомогою стискаючих рухомих валиків змінювалась загальна висота ґноту і положення датчиків.

За допомогою оптичного мікроскопа замірювалась загальна висота капілярно-пористої структури (КПС) і геометричне положення кожного датчика відносно підкладки. В результаті було отримано графік зміни положень кожного датчика (рис.3).

З даного графіка можна зробити висновок, що верхні шари стискаються значно більше, ніж нижні. Це можна пояснити тим, що зусилля на одиницю поверхні на верхні шари

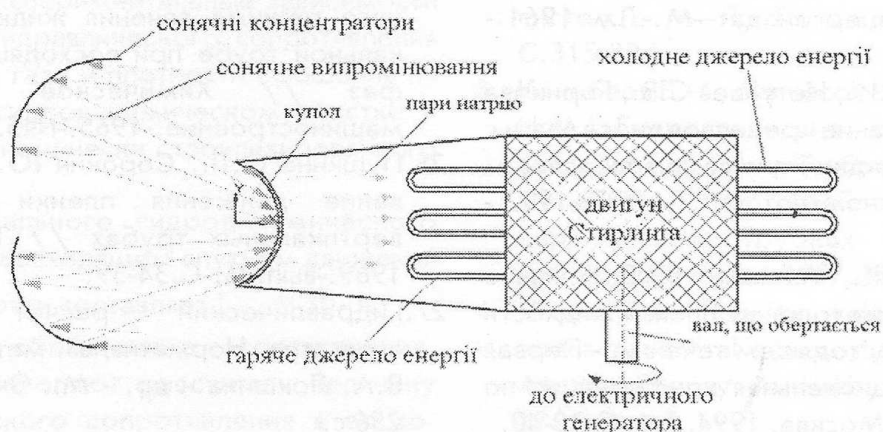


Рис. 1. Схема перетворення енергії випромінювання у електричну

більші, ніж на нижні, оскільки знизу зусилля передається через підкладку, тобто тиск на структуру менший.

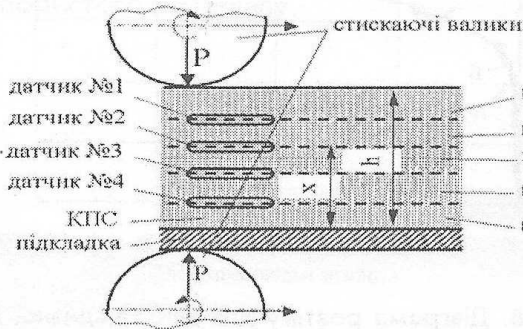


Рис. 2. Схема встановлення датчиків

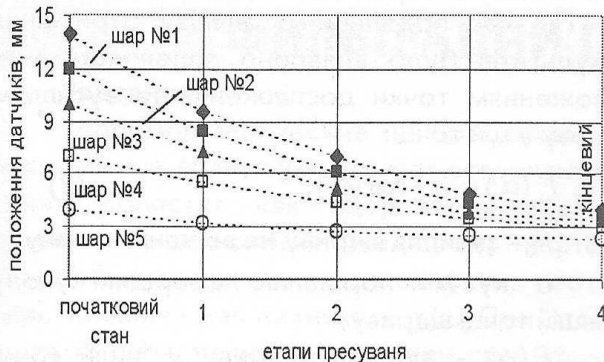


Рис. 3. Зміна положень датчиків під час пресування

Пористість кожного шару розраховувалась за такою формулою:

$$P_{\text{шару}} = \left( 1 - \frac{m_{\text{шару}}}{l \cdot h \cdot \delta_{\text{шару}} \cdot \rho_{\text{матеріалу}}} \right), \quad (1)$$

де  $P_{\text{шару}}$  - пористість окремого шару пористої структури;

$m_{\text{шару}}$  - маса окремого шару КПС, кг;

$l$  - довжина шару, м;

$h$  - ширина шару, м;

$\delta_{\text{шару}}$  - товщина шару, м;

$\rho_{\text{матеріалу}}$  - густина матеріалу, із якого виготовлено КПС, кг/м<sup>3</sup>.

Узагальнюючи обробку експериментальних даних із визначення пористості кожного шару КПС, отримуємо графіки залежності пористості шару гноту від безрозмірної його товщини (відношення поточної товщини кожного шару  $\delta_i$  до початкової товщини цього шару  $\delta_0$ ). Із цих залежностей (рис. 4) видно, що при збільшенні ступеня стиснення структури неоднорідність по товщині збільшується, причому верхні шари мають пористість меншу, ніж нижні. Розподіл пористості по товщині структури залежить від засобу пресування. Цю неоднорідність необхідно враховувати при гідролічних розрахунках, тому що пористість,

як характеристика, впливає на розміри пор, тобто на транспортні властивості гноту.

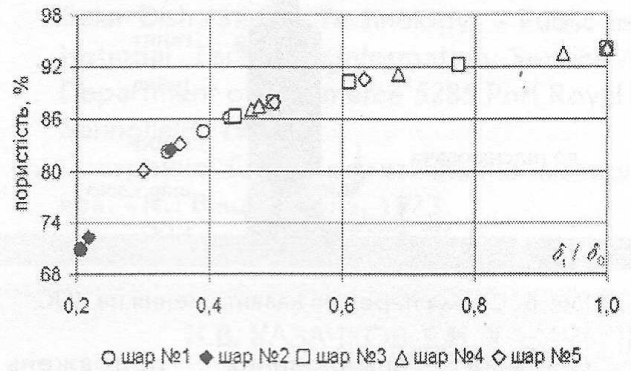


Рис. 4. Залежність пористості від безрозмірної товщини шару гноту

Задача дослідження механічних властивостей полягала у визначенні діаграми розтягу для гноту. Необхідність визначення властивостей КПС на розтяг пояснюється тим, що гідродинамічні процеси, які відбуваються під час роботи теплової труби, діють зусиллям розтягу. Для дослідження механічних властивостей було створено експериментальний стенд (рис. 5), який складається із таких систем: закріплення об'єкта дослідження, створення навантаження та вимірювання подовжень.

Система закріплення макету купола складається із двох затискачів і столу.

Система створення навантаження являє собою плече (важіль) із коефіцієнтом збільшення навантаження 3. Навантаження створюється за допомогою гир, які кладуться у чашу. Навантаження розтягу передається на структуру наступним чином. На вирізаний зразок у масиві структури циліндричної форми (рис. 6) наносився шар епоксидного клею, на який встановлювався гвинт. Після затвердіння клею на гвинт накручувалася спеціальна гайка, яка кріпилася до стрижня, що передавала навантаження від плеча. Додатково визначались еластичні властивості клею для врахування його впливу на загальне подовження гноту при навантаженні розтягу.

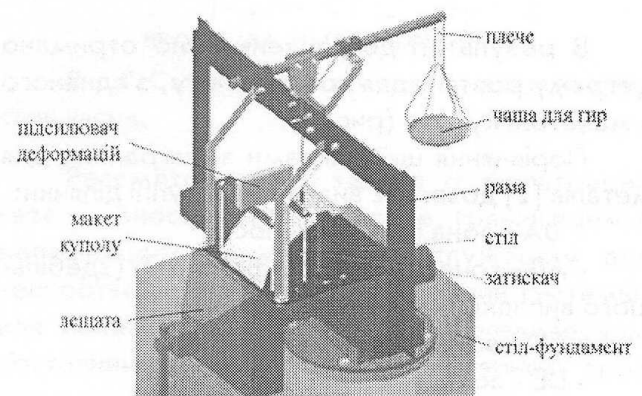


Рис. 5. Установка дослідна

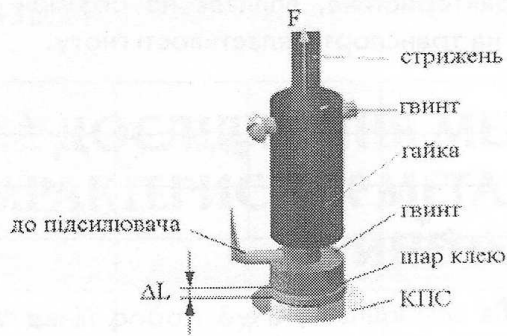


Рис.6. Схема передачі навантаження на КПС

Система вимірювання подовжень складається із підсилювача деформацій та екрану зі шкалою (рис.7). Оскільки готового приладу для виміру деформацій необхідної точності не було знайдено, лабораторія виготовила власний прилад для вимірювання подовжень. Принцип роботи – оптико-механічний. За допомогою двох важелів відбувається збільшення переміщень, яке викликає зміну кута нахилу дзеркала, що в свою чергу, змінює положення світної точки на екрані. Оскільки прилад є не стандартним, то його необхідно періодично тарувати для контролю коефіцієнта підсилення. Тарування проводилося за допомогою мікрометра із чутливістю значно меншою, ніж у даної системи, у зв'язку з чим проводилася серія тарувань, а потім методами статистичного аналізу визначався коефіцієнт підсилення.

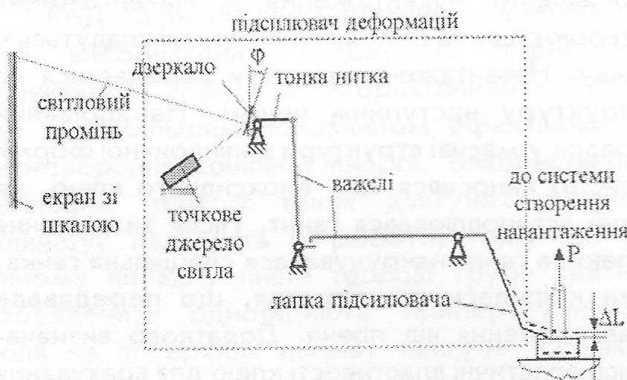


Рис.7. Схема оптико-механічного підсилювача деформацій

В результаті досліджень було отримано діаграму розтягу для зразків ґноту, з'єднаного з макетом куполу (рис. 8).

Порівняння цієї діаграми з діаграмою для металів [2] дозволяє виділити наступні ділянки:

- 0A - зона пропорційності;
- AB - зона пружних деформацій (здебільшого випадків практично відсутня);
- CD - зона текучості;
- DE - зона зміцнення;
- F - точка відриву КПС від підкладки.

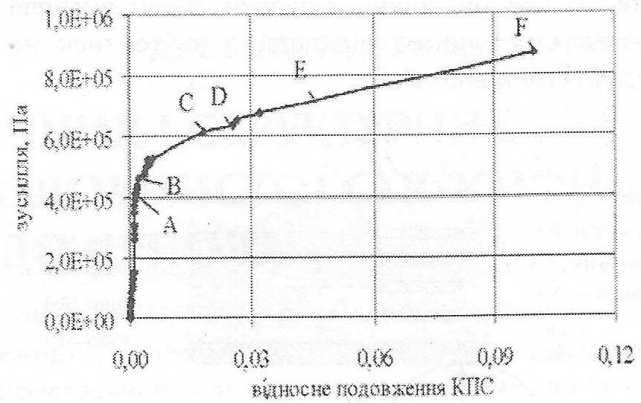


Рис.8. Діаграма розтягу для КПС, з'єднаної з куполом

Під час подальшого аналізу отриманих результатів було виявлено залежність між положенням точки дослідження та зусиллям відриву у цій точці:

$$F_i(\alpha) = F_0 \cdot \cos(\alpha), \quad (2)$$

де  $F_0$  - зусилля відриву на вершині куполу;  
 $\alpha$  - кут між нормаллю на вершині куполу і у іншій точці відриву;

$F_i(\alpha)$  - зусилля відриву у іншій точці куполу.

Виявлено, що зусилля відриву структури від підкладки суттєво залежить від сили притискання структури до поверхні під дією власної ваги  $P_n$  (рис.9). Тому для отримання більш однорідних механічних властивостей необхідно додатково навантажувати структуру під час спікання.

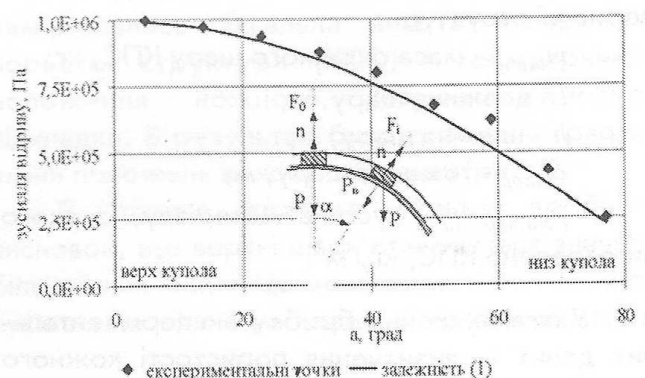


Рис.9. Залежність зусилля відриву по висоті куполу

Отримані результати досліджень можуть бути використані при вдосконаленні технології виробництва теплових труб у вигляді куполу, а також при розрахунках структурних характеристик. Оскільки властивості метало-волокнистої структури є функцією досить великої кількості технологічних параметрів і сама структура є нерегулярною за будовою, то планується подальше поглиблене система-

тичне вивчення наведених закономірностей. Також розробляється методика для визначення впливу температури на механічні властивості пористого матеріалу.

### Література

1. William B. S., Richard B. D. A Compendium of Solar Dish/Stirling Technology. - Public from National Technical Information Service US Department of Commerce 5285 Port Royal Rd Springfield, 1994.
2. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов. - К.: Вища школа, 1973.