

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ПОГЛИНАЮЧОГО ШАРУ ПРИ ВАКУУМ-АВТОКЛАВНОМУ МЕТОДІ ФОРМУВАННЯ

При виготовленні виробів із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) нині, головним чином, застосовують один з трьох методів формування: контактне (КФ), пружне (вакуумне (ВФ) або вакуум-автоклавне (ВАФ)) і в жорстких формах (ФЖФ). Кожний з цих методів має свої переваги і недоліки, однак, вибираючи той чи інший метод формування, технолог на виробництві, головним чином, виходить із міркувань отримання конструкції з ПКМ з регламентованим співвідношенням армуючого матеріалу та зв'язуючого (рис. 1). Саме тому це співвідношення і буде у подальшому визначати властивості виготовленої конструкції. Для отримання середньо- і високонавантажених конструкцій досить часто обирають вакуум-автоклавний метод формування, який дозволяє забезпечити достатньо високий об'ємний вміст ($\theta=0,5\dots0,7$) армуючого матеріалу в конструкції. Але такого рівня об'ємного вмісту можна досягти тільки при видаленні надлишків зв'язуючого шляхом прикладання тиску [1].

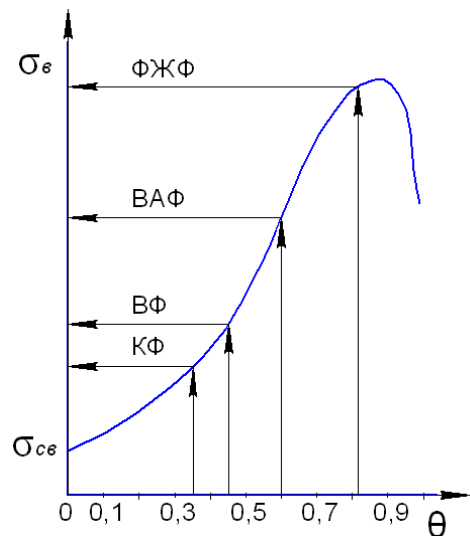


Рисунок 1 — Залежність міцності ПКМ від об'ємного вмісту наповнювача

Значення технологічних параметрів (тиск, температура, час) розраховують, користуючись різними існуючими методиками, однак не завжди визначений тиск для режиму формування забезпечить регламентований об'ємний вміст у конструкції з ПКМ. Перш за все це пов'язано з тим, наскільки точно обрана модель визначення технологічних параметрів описує процеси, які відбуваються в конструкції під час формування.

Безумовно, у випадку, коли відбувається формування невеликих за розміром конструкцій, можна і не враховувати наявність поглинаючого шару, аргументуючи це тим, що збиток зв'язуючого вільно перетече у зони технологічних припусків. Але якщо конструкція, що формується, має достатньо великі

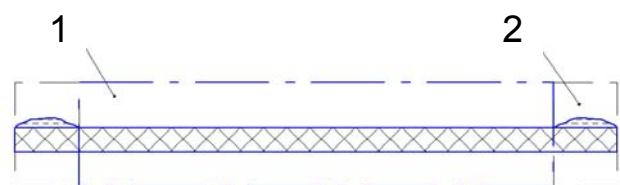


Рисунок 2 — Утворення зон із збитковим вмістом зв'язуючого: 1 — зона виробу; 2 — зона припуску

габаритні розміри і складається з десятків шарів армуючого матеріалу, тоді виникає необхідність врахування й поглинаючого шару. Перш за все тому, що зв'язуюче перейде у твердий стан або у стан з високим ступенем в'язкості до того часу, коли воно (зв'язуюче) досягне зони припуску, а це, в свою чергу, призведе до утворення зон із надлишковим вмістом зв'язуючого (рис. 2).

Модель, що дозволяє врахувати перетікання зв'язуючого в поглинаючий шар, є модель фільтрування рідини в середовищі з порожнинами, яка описується законом Дарсі, в одновимірній постановці (рис. 3) [2]:

$$q = -\frac{K}{\mu} \frac{dP}{dx}, \quad (1)$$

де K – проникність середовища; μ – в'язкість.

Проникність середовища можна розрахувати таким чином:

$$K = -\frac{d^2}{k_0} \frac{(1-\theta_a)^3}{\theta_a^2}, \quad (2)$$

де d – діаметр волокна; k_0 – емпіричний коефіцієнт, що враховує структуру армуючого матеріалу; θ_a – об'ємний вміст армуючого матеріалу.

Подане рівняння (2) розв'язується, і при постійній площі пакета, що формується, тиск визначається так [3]:

$$p_0 = -\frac{\mu(\eta, t) \cdot (K_\epsilon h_c + K_c h_\epsilon)}{K_\epsilon K_c} \frac{dh}{dt} - p_a, \quad (3)$$

де p_a – атмосферний тиск; K_ϵ – проникність поглинаючого шару; K_c – проникність пакета ПКМ; h_ϵ – товщина поглинаючого шару; h_c – товщина пакета ПКМ.

Проінтегрувавши залежність (3) за часом отримуємо вираз у інтегральній формі. Залежність (3) враховує перетікання надлишків зв'язуючого не тільки до крайок, але й у поглинаючий шар. Рівняння (3) є функцією не тільки структури матеріалу, що формується, але й в'язкості та структури поглинаючого шару. З рівняння (3), знаючи потрібний тиск формування, можна виразити товщину поглинаючого шару:

$$h_\epsilon = \frac{K_\epsilon}{K_c} \frac{\left[2(p_0 + p_a) \cdot \tau \cdot K_c - \mu(\eta, t) \cdot h_c^2 \right]}{2\mu(\eta, t) \cdot h_c}. \quad (4)$$

де τ – час.

Таким чином, залежність (4) пов'язує між собою технологічні параметри процесу формування, характеристики КМ і структуру поглинаючого шару.

Аналізуючи подану залежність (4), можна сказати, що товщина поглинаючого шару прямо пропорційна потрібному тиску формування,

зростання тиску формування веде до збільшення потрібної товщини поглинаючого шару, і це зрозуміло, оскільки зростання тиску під час формування дає змогу видалити більше надлишків зв'язуючого з пакету КМ. У свою чергу збільшення в'язкості зв'язуючого при сталому тиску, приводить до зменшення потрібної товщини поглинаючого шару. Це пов'язано з тим, що при сталому тиску швидкість перетікання надлишків зв'язуючого з більшою в'язкістю буде недостатньою для того, щоб повністю просочити поглинаючий шар великої товщини. У той час як зв'язуюче з меншою в'язкістю, але за таких самих умов, що й у попередньому випадку, буде вільно перетікати у поглинаючий шар, насичуючи його за всією товщиною (рис. 4, 5).

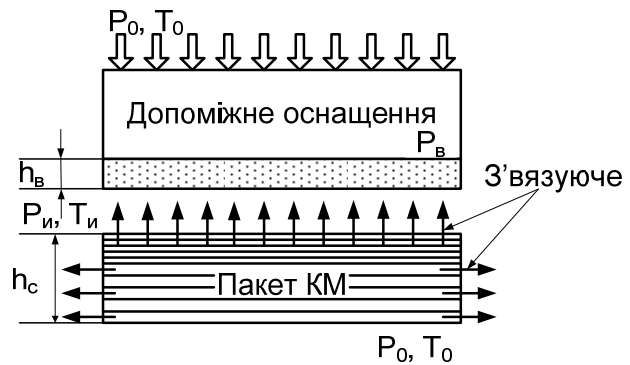


Рисунок 3 — Схема прикладання тиску

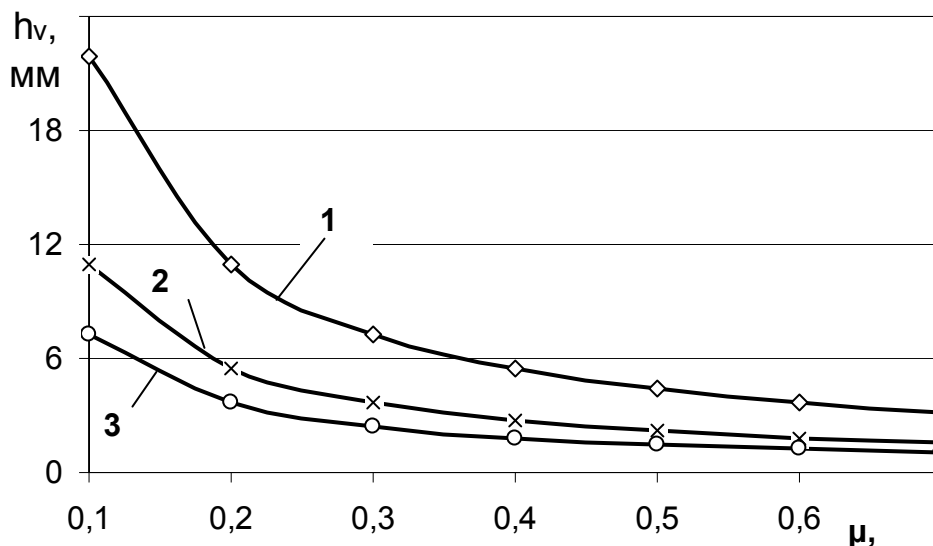


Рисунок 4 — Залежність товщини поглинаючого шару від в'язкості зв'язуючого для різних товщин пакета ПКМ: 1 – пакет ПКМ товщиною 1,4 мм (10 шарів); 2 – пакет ПКМ товщиною 2,8 мм (20 шарів); 3 – пакет ПКМ товщиною 4,2 мм (30 шарів)

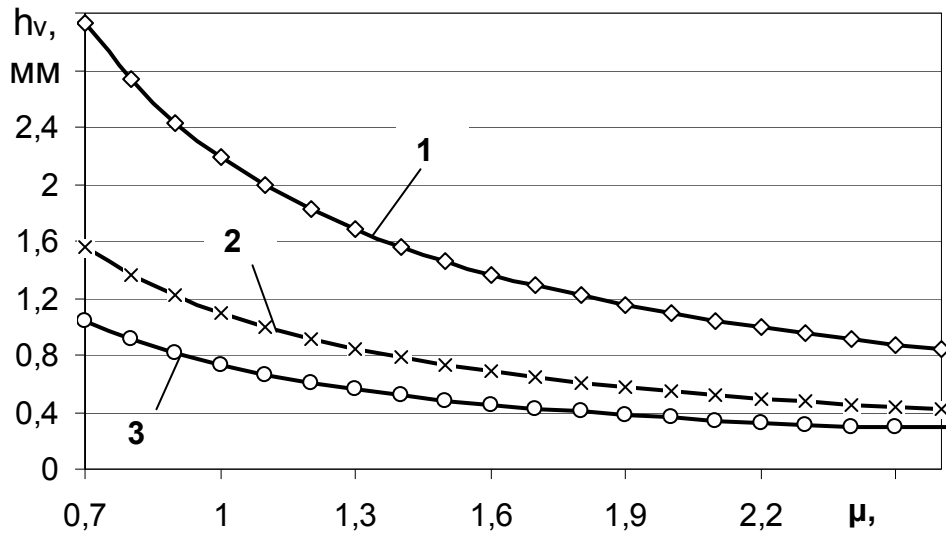


Рисунок 5 — Залежність товщини поглинаючого шару від в'язкості зв'язуючого для різних товщин пакету ПКМ: 1 – пакет ПКМ товщиною 1,4 мм (10 шарів); 2 – пакет ПКМ товщиною 2,8 мм (20 шарів); 3 – пакет ПКМ товщиною 4,2 мм (30 шарів)

Поглинаючий шар треба визначати з урахуванням зміни в'язкості під час отвердіння, оскільки на кінцевих етапах отвердіння в'язкість різко збільшується і зв'язуюче майже не видаляється з пакету КМ (рис. 6).

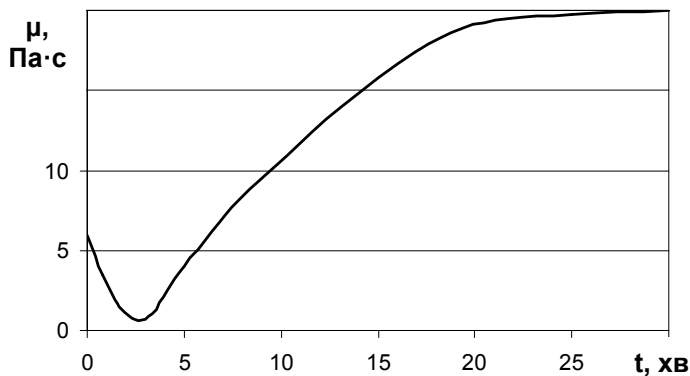


Рисунок 6 — Залежність в'язкості зв'язуючого від часу витримки при постійній температурі (317 К)

Товщина поглинаючого шару залежить і від об'ємного вмісту армуючого матеріалу в пакеті. Цей параметр входить у рівняння (5) у неявній формі через параметр K_c . Таким чином, товщина поглинаючого шару залежить від методу формування, адже саме метод формування забезпечує остаточний вміст армуючого матеріалу і зв'язуючого в готовому виробі (рис. 7).

Крім того, на товщину поглинаючого шару буде впливати і тип армуючого матеріалу, який виражається через коефіцієнт K_0 (рис. 8), що входить у залежність (5) через залежність (3).

Аналізуючи отриману залежність (4), також можна сказати, що зростання коефіцієнта K_0 з 0,5 до 10 приводить до незначного (близько 0,0015 мм) збільшення товщини поглинаючого шару, тобто тип плетіння поглинаючого шару майже не впливає на розрахункову товщину.

За отриманими результатами можна зробити висновки, проте що при розрахунку товщини поглинаючого шару за умови повного перетікання в нього зв'язуючого треба звертати увагу насамперед як на геометричні параметри пакета КМ (товщина, об'ємний вміст армуючого матеріалу), так і на в'язкість зв'язуючого. У свою чергу, як показали розрахунки, тип плетіння поглинаючого шару майже не впливає на товщину поглинаючого шару.

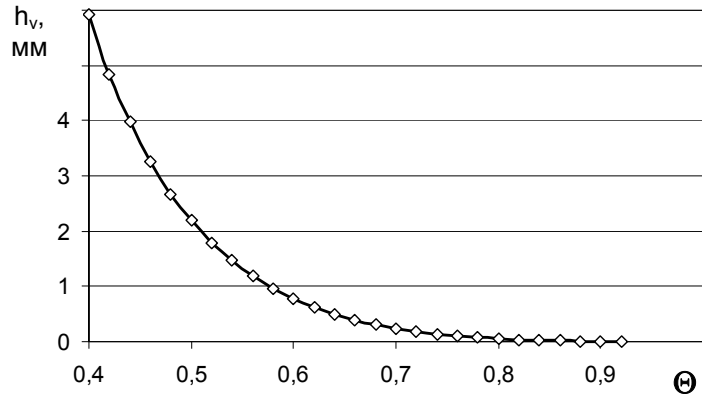


Рисунок 7 — Залежність товщини поглинаючого шару від об'ємного вмісту армуючого матеріалу в пакеті ПКМ товщиною 1,4 мм

Список використаних джерел

1. Технологія виробництва літальних апаратів із композиційних матеріалів [Текст] / С.А. Бичков, О.В. Гайдачук, В.Є. Гайдачук, та ін. – К.: ІСДО, 1995. – 376 с.
2. Gutowski, T.G. The consolidation of composites, in the manufacturing science of composites, Proc. / T.G. Gutowski, Z. Cai // Manufacturing International. – 1988. – Vol. 4. – P. 13 – 25.
3. Вамболь, О.О. Технологія формування листових панелей із полімерних композиційних матеріалів з регламентованими характеристиками: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02. – Харків, 2008. – 148 с.

Надійшла до редакції 04.06.2012.

*Рецензент канд. техн. наук, доцент О.В. Івановська,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків.*