

УДК 678.02:678.5.059

О. Є. Колосов канд.техн.наук, с.н.с.
НТУ України «Київський політехнічний інститут» м.Київ, Україна

ДО ВИБОРУ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ ОРІЄНТОВАНИХ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ

Описаны четыре подхода к выбору адекватной физической модели капиллярно-пористых тел в технологии получения конструкций из ориентированных волокнистых композитов, которая учитывает интегральные характеристики волокнистого наполнителя как капиллярно-пористого тела, а именно: пористость, удельную внутреннюю поверхность, эффективный капиллярный радиус.

Is developed the four directions on the choice of adequate physical model of capillary porous bodies in technology of receipt of constructions from oriented fibred composites, which takes into account integral descriptions of fibred filament as a capillary porous body, namely: porosity, specific internal surface, effective capillary radius.

Вступ

Для розуміння механізму й успішної розробки просочувальних і сушильних операцій та реалізуючого їх технологічного устаткування при отриманні намотувальних конструкцій із композитів на основі полімерних матриць і орієнтованих волокнистих наповнювачів (ОВН) у вигляді ровінгів, джгутів, тканин тощо, первинне значення має вивчення всього комплексу «елементарних» явищ перенесення рідини і вологи, складаючих фізичну сутність реальних операцій просочення і сушіння капілярно-пористих середовищ (тіл) [1].

В даний час існують два основні підходи до проектування параметрів технології і розрахунку елементів конструкцій композитів на основі ОВН: феноменологічний та структурний [2]. Перший заснований на розгляді композиту як монолітного матеріалу з деяким тензором приведених пружних (в'язкопружних) характеристик; другий — на припущенні про гетерогенність властивостей досліджуваного континуума з циліндричними включеннями довільного перетину.

Феноменологічний підхід завдяки простоті його передумов є найбільш поширеним. Проте він може розглядатися лише як наближений, оскільки властивості елементів композитів на основі ОВН розрізняються між собою в деяких випадках вельми суттєво, і приведені фізико-механічні константи системи часом втрачають фізичний сенс. Структурний же підхід дозволяє коректніше моделювати параметри технології і проводити розрахунок напружено-деформованого стану конструкцій з урахуванням конкретного виду навантаження, оскільки враховує реальну структуру досліджуваних композитів.

Що стосується аспектів моделювання параметрів технологічних операцій, а саме технології просочення і сушіння, то окрім прямих фізико-хімічних методів, для опису процесів перенесення просочувальної рідини і вологи в цих технологіях використовуються і розвиваються нові модельні фізико-математичні і процедурно-комп'ютеризовані підходи, що реалізуються, зокрема, з використанням фізичних (структурних) моделей [3]. Перш за все це:

1) структурно-мережеві моделі пористого і корпускулярного середовища різних структур – «Pore Network Models» (випадкові, регулярні й ін. решітки і упаковки);

2) методологія і математичний апарат теорії перколяції (percolation – просочування); для наших завдань – це розгляд умов протікання – перенесення рідини або газу залежно від статистичних характеристик решіток, що моделюють дисперсне або пористе середовище (перколяція по зв'язках, перколяція по вузлах);

3) кластерний аналіз (cluster – пучок, зв'язка) – статистичне виявлення відособлених структур; у задачах перенесення вивчаються об'єднання –кластери провідних ділянок, часток, молекул й ін., їх розміри, характеристики і зв'язок з переносними властивостями середовища; різновиди кластерного підходу давно використовувалися в завданнях класифікаційного аналізу; зараз термін «кластер» став модним і застосовується в самих різних галузях – від молекулярних процесів до економіки і політики;

4) фрактальний аналіз – «Fractal Theory» (fractus – дроблений) – моделювання і вивчення властивостей геометричних елементів (ліній, поверхонь, об'ємних утворень), що враховує зміну довжини, площі, об'єму при зміні масштабу виміру.

Причому всі вищеперелічені 4 підходи часто використовуються спільно, або у довільній комбінації [3—7].

Що стосується аспектів детерміації фізичної моделі капілярно-пористих тіл на основі ОВН, то слід зазначити, що волокнисту структуру таких тіл в загальному випадку не можна розглядати як просту суму лінійних капілярів з однаковим поперечним перетином, оскільки капіляри у волокнистих системах істотно відрізняються від циліндричних трубок [8—9]. До того ж, як правило, капіляр не буде круглим, а його стінки гладкими.

Форма і площа поперечного перетину капілярів можуть змінюватись у широких межах по його довжині для реальних наповнювачів. Крім того, капіляри можуть розгалужуватися, змикатися, закінчуватися тупиками (при просочуванні таких капілярів утворюється так званий "пляшковий ефект"), або порами великого об'єму.

Крім цього, шорсткуватість стінок капілярів викликає так званий "капілярний гістерезис" [9]. Останній сприяє прискоренню просочування при використанні складів зв'язуючих, що добре змочують, і навпаки, сповільнює просочування при використанні складів, що погано змочують. До того ж більшість капілярів у волокнистих системах не закриті з боків і мають відгалуження [8—9].

Фізична модель використовується для детермінації уточненої математичної моделі технологічного процесу просочування волокнистих наповнювачів полімерними рідинами, а саме епоксидними зв'язуючими (ЕЗ), з використанням класичної теорії фільтрації для ламінарної течії в'язкої неньютонівської рідини, що не стискується.

Тому при просочуванні тканих волокнистих наповнювачів ЕЗ, нанесеними на поверхню наповнювача, відбувається не тільки заповнення великих пор і капілярів ЕЗ (так звана "пенетрація"), але й проникнення його безпосередньо у волокна. Перше явище можна умовно назвати "поперечним" просочуванням (тобто просочуванням перпендикулярно до поверхні тканини), друге — "поздовжнім" просочуванням (тобто просочуванням уздовж капілярів волокон).

Як відмічено в роботах [1, 8—9], власне процес просочування включає в себе наступні основні стадії: нанесення просочувального складу на поверхню ОВН, наприклад, полотна (тканого матеріалу), проникнення просочувального складу в пори полотна, дифузію просочувального складу до поверхні волокон, дифузію просочувального складу всередину волокон.

Причому в процесах, що практично використовуються, вказані стадії не мають чітких кордонів, оскільки реальні матеріали володіють неоднорідною структурою і на різних ділянках вищеперелічені чотири стадії просочування протікають з різною швидкістю. Ці чинники нерідко ведуть до поєднання вищезгаданих стадій, що обумовлює доцільність застосування статистичних підходів до визначення геометрії і параметрів адекватної структурної (фізичної) моделі ОВН.

Постановка задачі

Метою досліджень є розробка нових підходів до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористого середовища на основі орієнтованих волокнистих наповнювачів, що використовується для прогнозування технологічних параметрів одержання виробів з композицій епоксиполімерів, зокрема, в процесах просочування і сушіння.

Деякі підходи до визначення параметрів адекватної структурної моделі ОВН

Базовим питанням при детермінуванні параметрів кінетичного рівняння процесу просочування [8—10] є коректне знаходження структурних характеристик фізичної моделі ОВН, на основі якої отримане це рівняння, а саме пористості ϵ , питомої внутрішньої поверхні $S_{уд}$ та ефективного (гідралічного) капілярного радіусу $r_{эф}$ того чи іншого типу використовуваного для просочування ОВН.

При побудові структурної (фізичної) моделі ОВН було розроблено чотири підходи до визначення її параметрів, зокрема, ефективного (гідралічного) капілярного радіусу $r_{эф}$. Перший з них — на основі мікроструктурного аналізу перетину композиту на основі ОВН. Другий — визначення $r_{эф}$ на основі аналізу для характерної кінетичної кривої процесу просочування. Третій — визначення $r_{эф}$ розрахунковим шляхом для гранично ущільненого ОВН круглого перетину (для гексагонального упакування волокон). Четвертий — визначення $r_{эф}$ ОВН у залежності від зусилля його натягнення N при просочуванні.

Обґрунтування та особливості реалізації цих підходів описуються нижче.

Перший підхід є доцільним для визначення структурних характеристик як для оптично прозорих, так і оптично непрозорих (наприклад, металоволокнистих) орієнтованих композиційно-волокнистих середовищ, і заснований на експериментальному дослідженні їх мікроструктури й побудові відповідних кривих розподілу.

За цим підходом адекватна модель структури ОВН, перш за все, повинна враховувати стохастичний характер розподілу волокон в структурі композиту на основі ОВН [4]. По знайдених параметрах структурної моделі і виду упакування волокон у перетині композиту на основі ОВН в оптимумі проводиться вибір оптимальної схеми армування і відпрацювання раціональної технології на етапі проектування конструкції (наприклад, оцінка параметрів технологічного процесу просочення ОВН полімерними зв'язуючими [10], а також здійснюється прогнозування напружено-деформованого стану конструкції з урахуванням характеру діючого навантаження [5, 7].

При цьому на розподіл волокон в перетині композиту істотний вплив здійснюють такі чинники, як параметри одержання конструкції (зусилля натягнення наповнювача при просоченні і намотуванні при одержанні оболонкових конструкцій, шаг розкладки, швидкість намотування, температурно-часовий режим твердіння і пресування), процентне співвідношення складаючих компонентів, їх властивості й ін.

Спостерігається і стохастичність значень структурних параметрів упаковки волокон у перетині композиту, визначувана структурним аналізом шліфу натурної конструкції. Тому статистичні підходи до дослідження структури і детермінації параметрів адекватної структурної моделі з використанням теорії випадкових процесів є актуальними.

Найбільш адекватним уявленням структури ОВН є структура капілярно-пористого тіла, яка складається із системи паралельно-звивистих капілярів різних радіусів, яку можна детермінувати за допомогою функції розподілу пор радіусом r по розмірах $\phi(r)$.

Відповідно до розробленого підходу, після затвердіння просоченого орієнтованого волокнистого композиту за визначеного зусилля натягнення ОВН при просочуванні (і сушінні) N роблять мікрошліф його перетину у поперечному до волокон напрямі. Далі у перетині мікрошліфа експериментально досліджують розподіл довжин екстхорд волокон, або функцію розподілу $\phi(r) = G(\ell)$ пор за розмірами ℓ . При цьому екстхорди символізують відстані між волокнами в перерізі композиту, або, як у нашому випадку, еквівалентний (ефективний) діаметр (чи подвійний радіус $r_{эф}$) пор, а довжини екстхорд носять випадковий характер.

За умови найкращого наближення теоретичної кривої розподілу до експериментальної проводять детермінізацію теоретичної кривої розподілу $\varphi(\rho) = G(\ell)$. Після цього обчислюють пористість ε , питому внутрішню поверхню $S_{уд}$ та ефективний (або еквівалентний) капілярний радіус $r_{эф}$ шуканого ОВН як капілярно-пористого тіла за допомогою функції розподілу довжин екстхорд $\varphi(\rho) = G(\ell)$.

Пористість ε у капілярно-пористому тілі згідно [8] визначається так:

$$\varepsilon = N^0 \pi \beta_o \int_0^{\infty} \rho^2 \phi(\rho) d\rho = \frac{N^0 \pi \beta_o \bar{\rho}^2}{4} = \frac{N^0 \pi \beta_o}{4} \int_0^{\infty} \rho^2 \phi(\rho) d\rho, \quad (1)$$

де N^0 — кількість замірів поміж волокнами у площині шліфу композиту.

У свою чергу, питому внутрішню поверхню $S_{уд}$ можна визначити таким чином:

$$S_{уд} = k_o N^0 \pi \beta \int_0^{\infty} \rho \phi(\rho) d\rho = \kappa_o N^0 \pi \beta_o \bar{\rho}, \quad (2)$$

де коефіцієнти k_o і β_o можна трактувати як поправочні коефіцієнти, що враховують специфіку структури ОВН як капілярно-пористого середовища (відповідно шорсткуватість поверхні і звивистість еквівалентного циліндричного капіляра).

Якщо прийняти, як і в роботах [8—9], як ефективний (або еквівалентний капілярний радіус) $r_{эф}$ шуканого ОВН гідралічний радіус, який визначається за аналогією з циліндричним капіляром як відношення подвоєного об'єму пор до їх поверхні, то будемо мати:

$$r_{эф} = \frac{2\varepsilon}{S_{уд}} = \frac{2}{\kappa_o} \left[\int_0^{\infty} \rho^2 \phi(\rho) d\rho / \int_0^{\infty} \rho \phi(\rho) d\rho \right] \quad (3)$$

Для гранично армованого композитного середовища з великою об'ємною часткою циліндричних включень (для максимальної реалізації початкових характеристик компонентів, що становлять, в середі) применяється геометрична модель середі Ваніна у вигляді системи кругових циліндричних волокон, осі яких паралельні і розташовані у вузлах двоякоперіодичної решітки паралелограмів, а простір між волокнами заповнений зв'язуючим середовищем [4].

Перетини волокон не повинні при цьому накладатися один на інший. Мікросхліф натурної оболонкової конструкції на основі ОВН зображений на рис.1—а, а елементарний осередок такої моделі зображений на рис.1—б. Площина шліфу досліджуваного композиту моделюється двоякоперіодичним продовженням елементарного осередку.

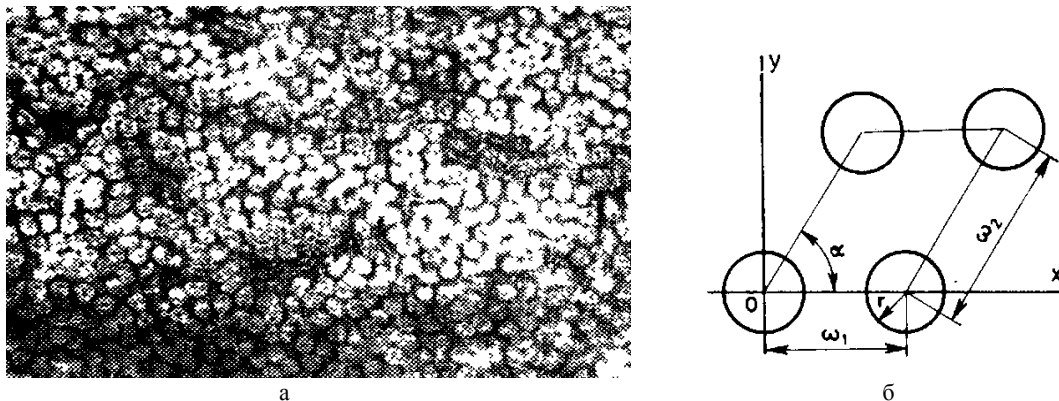


Рис. 1. Фотографія мікросхліфа натурної оболонкової конструкції з епоксидного органічного пластику (а, збільшення $\times 1250$) і адекватна структурна модель ОВН з рівновеликими вузловими колами (б)

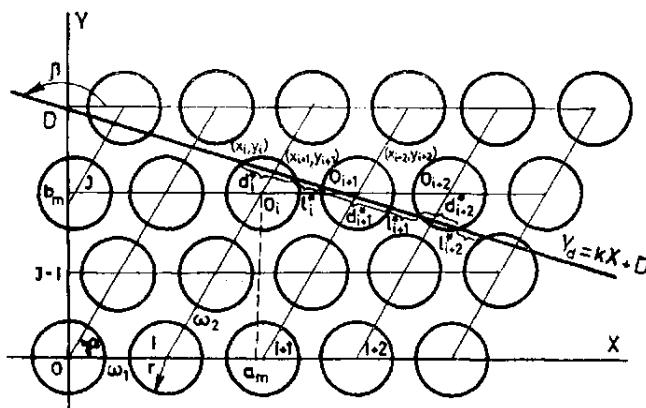


Рис. 2. Схема вимірів довжин хорд кіл і відстаней між суміжними колами при «киданні» випадкової січної в модельній решітчастій площині, отриманої двоякоперіодичним продовженням елементарного осередку

Як параметри упаковки волокон вибрані довжини його сторін ω_1 і ω_2 та кут між ними α . Одиницею виміру відстаней у модельній площині для зручності прийнята базова довжина сторони елементарного осередку ω_1 .

Критерієм адекватності структурної моделі досліджуваного композиту служить збіг з певним ступенем точності (що на практиці становить 90—95%) коефіцієнтів і ймовірнісних характеристик кривих розподілів довжин хорд кіл і відстаней між сусідніми волокнами (екстхорд), а також величини «пористості» ε і відносного вмісту зв'язуючого в моделі і натурному

композиті відповідно.

Вказані величини визначаються в результаті вимірів, проводимих уздовж випадкової січної прямої, що «кидається» у модельній площині (рис. 2) і в площині мікросліфа поперечного перетину натурної оболонкової конструкції (рис. 1 — а) [8].

Для репрезентативності отримуваних кривих розподілів і характеристик моделі параметри січної прямої $Y_d = kX + D$, тобто кут нахилу β і вільний член D , що визначають її розташування відносно початку координат модельної площини, є випадковими величинами, рівномірно розподіленими в інтервалі $(0, 1)$, тобто $\beta, D = \text{var}$.

Методика отримання модельних і експериментальних кривих розподілів згідно запропонованому підходу детально описана в [10]. Слід зазначити, що отримання експериментальних кривих розподілів вельми трудомісткий процес, оскільки параметри випадкової січної для випадку $\beta, D = \text{var}$ вибираються на основі результатів функціонування алгоритму генерування псевдовипадкових чисел по методу Монте-Карло в інтервалі $(0, 1)$.

Модельні і експериментальні криві розподілів повинні хорд волокон (кіл) і ектсхорд можна апроксимувати, наприклад, за допомогою універсального трипараметричного розподілу Ваніна $P(z)$, що має δ -подібний характер, і детермінованого при позитивних значеннях випадкової змінної z [7]:

$$P(z) = \left(\frac{z}{\sigma\sqrt{2}} \right)^b \cdot \frac{\exp\left(-\frac{a^2}{2} - \frac{z^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \text{sh}\left(\frac{az}{\sigma}\right)}{a\sigma\Gamma\left(1 + \frac{b}{2}\right) \cdot F\left(\frac{1-b}{2}, \frac{3}{2}, -\frac{a^2}{2}\right)}, \quad (4)$$

$\bar{S}_\sigma(x)$ — середньоквадратичне відхилення; a і b — безрозмірні параметри, що встановлюються, як і $\bar{S}_\sigma(x)$, на основі обробки експериментальних даних; $F(1 + b/2)$ — гамма-функція Ейлера; $F[(1 - b)/2, 3/2, -a^2/2]$ — вироджена гіпергеометрична функція Куммера.

Таким чином, послідовність припущень при побудові адекватної структурної моделі ОВН в технології просочування, що схематично наведена на рис. 3 (а—д), полягає в наступному.

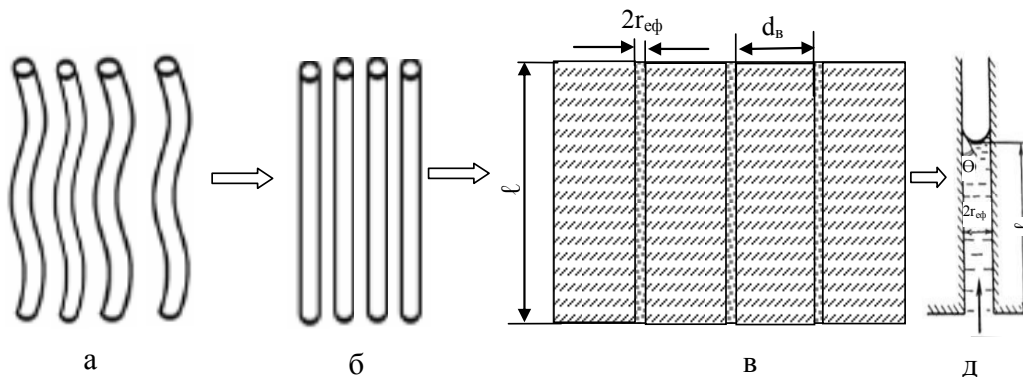


Рис.3. Послідовність припущень (а—д) при побудові адекватної структурної моделі ОВН в технології їх просочування; d_b — середній діаметр волокна; Θ — крайовий кут змочування

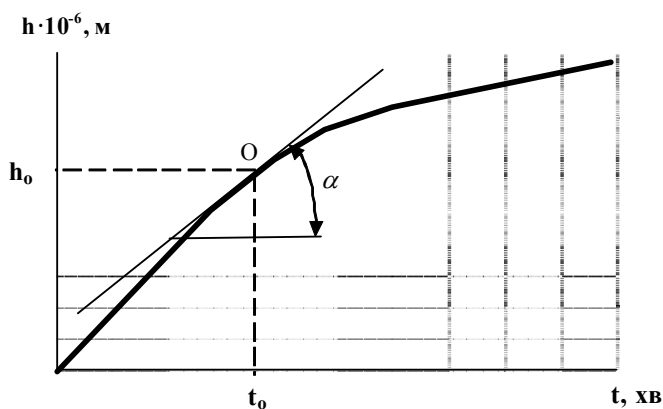


Рис. 4. До визначення r_{ef} волокнистих наповнювачів розрахунковим методом для характерної кінетичної кривої процесу просочування ОВН

Від структури ОВН, яка у загальному випадку складається із системи паралельно-звивистих капілярів різних радіусів (рис. 3—а), яку можна детермінувати за допомогою функції розподілу пор радіусом ρ по розмірах $\varphi(\rho)$, переходять за допомогою співвідношень (1—4) до осереднення структури ОВН як регулярної структури лінійних капілярів з однаковим поздовжнім перетином (рис. 3—б), схема заповнення просочувальною рідиною яких показана на рис. 3—в і рис. 3—г (поперечний перетин ОВН).

Тобто в кінцевому підсумку переходять до схеми просочування одиночного капіляру довжиною l (рис. 3—д), діаметр якого дорівнює $2r_{\text{ef}}$.

Другий підхід до визначення r_{ef} на основі аналізу для характерної кінетичної кривої процесу просочування полягає в наступному.

З аналізу кінетичного рівняння просочування, наведеного в [10], для егулярної структури використовуваних тканих ОВН маємо наступний вираз для визначення ефективного радіуса пор r_{ef} :

$$r_{ef} = \frac{\eta h^2}{2\sigma \cos \theta}, \quad (5)$$

де η — в'язкість рідини; θ — крайовий кут змочування; h — висота підняття стовпа рідини; σ — поверхневий натяг рідини; t — час просочування.

Тобто, знаючи реологічні властивості ЕЗ й експериментальну кінетичну криву процесу просочування, що у більшості випадків має наведену на рис. 4 залежність $h = f(t^{1/2})$ [8—9], можна розрахунковим шляхом знайти шукане значення r_{ef} . Причому це значення не повинно залежати від конкретного вибору точки $O(t_0, h_0)$ на відрізку кінетичної кривої (див. рис. 4).

З кінетичного рівняння, наведеного в [10], можна також знайти значення ефективного радіуса пор r_{ef} :

$$\frac{dh}{dt} = \frac{r\sigma \cos \theta}{4\eta h} \Rightarrow r_{ef} = \frac{dh}{dt} \frac{4\eta h}{\sigma \cos \theta} = \operatorname{tg} \alpha \frac{4\eta h}{\sigma \cos \theta}, \quad (6)$$

де $\operatorname{tg} \alpha$ — тангенс кута нахилу дотичної до експериментальної кінетичної кривої в точці O у фіксований момент часу.

Третій підхід до визначення r_{ef} розрахунковим шляхом для гранично ущільненого ОВН круглого перетину (для гексагонального упакування волокон), що є найбільш ймовірним за оптимального зусилля натягнення ОВН N_{opt} , ґрунтується на наступних припущеннях.

Теоретично r_{ef} гранично ущільненого армуючого волокнистого наповнювача круглого перетину можна розрахувати за формулою: $r_{ef} = 2S/\Pi$, де S — площа перетину капіляра; Π — периметр перетину капіляра.

В ідеальному випадку безпосереднього контакту циліндричних волокон ОВН одного діаметру (скляних волокон у нашому випадку) найбільш ймовірною є гексагональна структура їх розташування (див. рис. 5). У цьому випадку можна припустити, що ЕЗ тече по каналах, що мають форму зачорненої фігури на рис. 5.

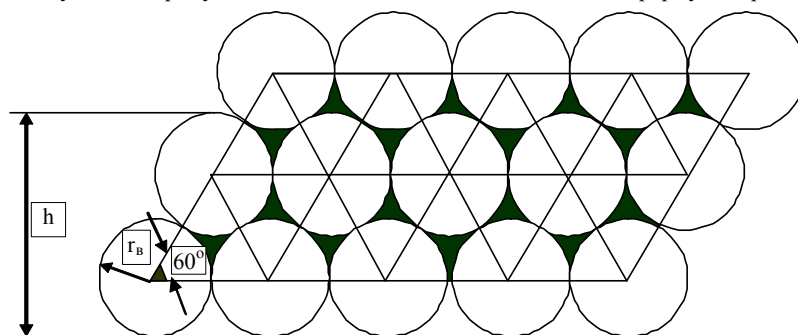


Рис. 5. До розрахунку ефективного капілярного радіуса r_{ef} за припущення гексагонального упакування скляних волокон у структурі гранично ущільненого армуючого волокнистого наповнювача

Тоді, розрахувавши значення Π і S , для цього ідеалізованого випадку, відповідно до послідовності розрахунків, наведених в [10], будемо мати: $r_{ef} = 0,036 d_b$, де d_b — діаметр волокна наповнювача (для джгутів і тканин на основі скляних волокон, діаметр елементарних волокон складає біля 9—11 мкм), або $r_{ef} = 0,036 \cdot 10 = 0,36$ мкм.

Четвертий підхід до визначення r_{ef} ОВН у залежності від зусилля його натягнення N при просочуванні заснований на

припущенні, що в результаті натягнення волокнистого наповнювача значення r_{ef} буде змінюватись, а саме зменшуватись. При цьому швидкість просочування буде зменшуватись як у результаті зміни структури, так і в результаті зменшення товщини ОВН.

Тому обробка експериментальних кінетичних кривих просочування, отриманих при різних значеннях зусилля натягнення N ОВН, дозволяє отримати шукану експериментально-статистичну залежність $r_{ef} = f(N)$.

На рис. 6 показана характерна експериментальна залежність ефективного капілярного радіуса тканого наповнювача $r_{ef} = f(N)$ при просочуванні [10].

Очевидно, що за розробленим підходом для досліджуваних температур просочування T треба також знаходити експериментальні залежності $r_{ef} = f(N)$, тобто будувати сімейство цих експериментальних кривих. Після цього за допомогою методів

$r_{ef} \cdot 10^6, \text{м}$ залежність ефективного капілярного радіуса r_{ef} від зусилля натягнення N

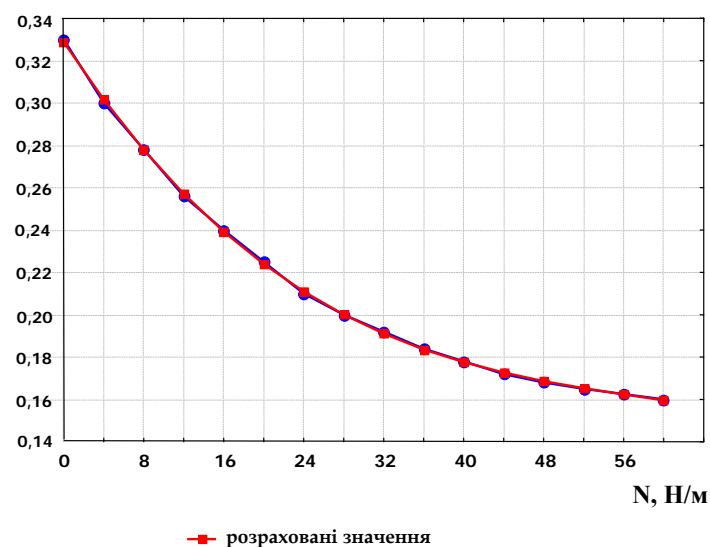


Рис. 6. Залежність розрахункового значення r_{ef} орієнтованого склонаповнювача від зусилля натягнення N при температурі просочування 50°C

експериментально-статистичного моделювання треба знаходити коефіцієнти апроксимуючого рівняння для конкретного значення N , тобто знаходити шукане значення $\Gamma_{\text{еф}}$.

Таким чином, чотири вищезазначені підходи можуть бути застосовані для визначення $\Gamma_{\text{еф}}$ склотканого наповнювача, тобто бути використані при моделюванні параметрів реального технологічного процесу просочування.

Висновки

Описані чотири підходи до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористих тіл в технології одержання конструкцій із орієнтованих волокнистих композитів, що враховує інтегральні характеристики волокнистого наповнювача як капілярно-пористого тіла, а саме: пористість, питому внутрішню поверхню, ефективний (еквівалентний) капілярний радіус.

Ця фізична модель використовується для детермінації уточненої математичної моделі технологічного процесу просочування волокнистих наповнювачів епоксидними зв'язуючими з використанням класичної теорії фільтрації для ламінарної течії в'язкої неньютонівської рідини, що не стискується.

Список літератур

1. Коновалов В.И., Коваль А.М. Пропиточно-сушильное и клеепромазочное оборудование. – М. Химия, 1989. – 224 с.
2. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. — М.: Мир, 1982. — 336 с.
3. В.И. Коновалов. Современные вопросы теории переноса при сушке//В.И.Коновалов, Т.Кудра, Н.Ц.Гатапова//Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2008. – Т. 14. - № 3. - С. 538-559.
4. Ван Фо Фы Г. А. Теория армированных материалов с покрытиями. — К.: Техніка, 1971. — 232 с.
5. Иванченко Ф.К., Клявлин В.В., Колосов А.Е. Принципы построения модели структуры в теории армированных композиционных сред//Докл. АН УССР. Сер. А. — 1987. — № 8. — С. 25—29.
6. А.Е. Колосов, В.В.Клявлин. Некоторые аспекты детерминирования адекватной модели структуры ориентированных волокнистых композитов//Механика композит. материалов. — 1988. — № 6. — С. 1012 -1019.
7. Ванин Г. А. Новые функции распределения в механике композиционных сред//Прикл. механика. — 1984. — Т. 20, № 5. — С. 25—31.
8. Чизмаджев Ю.А. Макрокинетика процессов в пористых средах//Ю.А.Чизмаджев, В.С.Маркин, М.Р.Тарасевич и др. — М.: Наука, 1971. — 364 с.
9. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. – М.: Химия, 1982. – 320 с.
10. Кудряченко В.В. Прогнозування процесів просочення і сушіння виробів на основі тканин наповнювачів та полімерних зв'язуючих з використанням методу світлопропускання//В.В.Кудряченко, І.М.Федоткін, О.С.Колосов, В.І.Сівецький//Наукові вісті НТУУ "КПІ". — 2001.— №5. — С. 49—61.

УДК 621.923

В.П. Ларшин¹ д-р. техн. наук, Н.В. Лищенко¹ канд. техн. наук, С.Н. Макаров¹ канд. техн. наук,
А.В. Якимов² д-р техн. наук

1-Одесский национальный политехнический университет; 2-Одесская национальная академия пищевых технологий, г.Одесса, Украина

АНАЛИЗ РЕСУРСА СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Наведено аналіз взаємозв'язку між збільшенням стійкості різального інструменту і відповідними змінами режимних параметрів різання. Для кількісної оцінки цього взаємозв'язку запропоновано поправочні коефіцієнти на окремі режимні параметри різання. Дано рекомендації із застосування ефекту різкого збільшення стійкості різального інструменту при незначному зменшенні швидкості різання.

An analysis of interrelation between cutting tool life increment and cutting conditions parameters corresponding changes is given. Correction coefficients for separate cutting conditions parameters to quantitative estimation of this interrelation are proposed. Recommendations on the application of the effect of an essential increase in cutting tool life with a slight decrease in the cutting speed are given.

Высокоскоростная механическая обработка (в зарубежной литературе High Speed Machining или HSM) относится к одному из перспективных направлений развития современной технологии машиностроения [1]. Это направление сформировалось в 40-х годах прошлого века и с тех пор является перманентным. Вначале повышение