

4. Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу [Текст] / Жигуц Ю., Широков В. // Машинознавство. – Львів. – 2005. – №4. – С. 48-50.
5. Жигуц, Ю. Ю. Обчислення характеру фазових діаграм із використанням методів геометричної термодинаміки [Текст] / Жигуц Ю. Ю. // Тези доп. міжн. наук. конф. „Фізика конденсованих систем та прикладне матеріалознавство”. Львів: НУ „Львівська політехніка”. 2007. – С. 16.

### Abstract

The present paper the basic solutions to the problem of obtaining cavitation-resistant steels examined the use of thermite steels, the benefits of combining thermite steels with metallothermic methods of getting is showed. The advantages of metallothermic synthesis methods include: autonomy of processes, independence of energy sources, simplicity of equipment, high-performance process and easy transition from experimental research to industrial production. The need to developed the technology of synthesis thermite cavitation-resistant steels, as a result of aluminothermic reactions and establishment of technological features' of synthesis it all led. At the first phase of the study of chemical composition of the synthesized cavitation-resistant steels is determined. In continuation of studies microstructure, mechanical and technological tests were performed. Technological features of the synthesis process and the impact of components exothermic reaction were revealed. The result of comprehensive research was the development of fusion technology thermite cavitation-resistant steel "30X10Г10", setting of the charge for the synthesis of the specified steel, revealing the microstructure and mechanical properties of thermite steel "30X10Г10", the research of technological properties of steel, namely the casting of properties and effects on the structure of individual alloying elements.

**Keywords:** metallothermic synthesis, cavitation-resistant steels, properties

Аналізується ефективний підхід до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористого середовища на основі орієнтованих волокнистих наповнювачів, що надалі використовується для прогнозування технологічних параметрів одержання виробів з композицій епоксиполімерів, зокрема, в процесах просочування

**Ключові слова:** структура, модель, капіляр, пори, волокнистий наповнювач

Анализируется эффективный подход к выбору адекватной физической модели капиллярно-пористой среды на основе ориентированных волокнистых наполнителей, которая далее используется для прогнозирования технологических параметров получения изделий из композиций эпоксидных полимеров, в частности, в процессах пропитки

**Ключевые слова:** структура, модель, капилляр, поры, волокнистый наполнитель

УДК 535.024: 620.168: 678.02: 678.5.059

## ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРИ КАПІЛЯРНО- ПОРИСТОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ ОРІЄНТОВАНИХ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ

**О. Є. Колосов**

Доктор технічних наук, професор\*

Контактний тел.: 067- 446-41-12, (044) 236-95-48

E-mail: a-kolosov@ukr.net; a-kolosov@i.ua

**В. І. Сівецький**

Кандидат технічних наук, професор\*

Контактний тел.: (044) 454-92-77, 050-440-98-95

**Л. А. Кричківська\***

Контактний тел.: (044) 236-95-48

**О. П. Колосова**

Науковий співробітник\*\*

Контактний тел.: (044) 236-95-48

\*Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

\*\*Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

пр. Перемоги 37, корпус 19, м. Київ, Україна, 03056

## 1. Вступ

Для розуміння механізму й успішної розробки просочувальних 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, які складають фізичну сутність реальних операцій просочення капілярно-пористих середовищ (тіл) [1].

Шукана фізична модель, як правило, надалі використовується для детермінації уточненої математичної моделі технологічного процесу просочування ОВН 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 розчинами 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).

Таким чином, прогнозування кінетики технологічного процесу просочування орієнтованих і тканих ВН розчинами ЕЗ базується, перш за все, на аналізі структури ВН, і тому є актуальним для моделювання реального технологічного процесу просочування.

## 2. Постановка задачі

Метою досліджень є аналіз ефективного підходу до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористого середовища на основі орієнтованих волокнистих наповнювачів, що надалі використовується для прогнозування технологічних параметрів одержання виробів з композицій епоксиполімерів, зокрема, в процесах просочування.

## 3. Будова і капілярна структура орієнтованих і тканих волокнистих матеріалів

Капілярну структуру ОВН слід віднести до найважливіших факторів, що впливають на швидкість і повноту процесу просочування. Адже надходження просочувальної рідини в ці матеріали є процесом, яким в основному управляють закони капілярності і в'язкості [1].

Досить очевидно, що у загальному випадку капілярна структура будь-якого волокнистого матеріалу складається із мікроструктури речовини волокна, з якого він складається, а також із макроструктури волокнистого матеріалу. Причому діаметр капілярів обох структур є зовсім різного порядку. Тому доречно розглянути обидві капілярні структури окремо.

### Капілярна структура волокон

На рис. 1 наведена схема будови рослинного волокна, яка була запропонована Фрей-Віслінгом [1]. Ця схема враховує деякі морфологічні особливості волокна, а саме: наявність фібрил з діаметром біля 0,4 мкм, що відповідає виокремлюваній здатності мікроскопу, а також більш дрібних мікрофібрил.

Окремі природні текстильні волокна є пучком макроскопічних фібрил, між якими розташовані мікроскопічні капілярні простори (рис. 1). У свою чергу, мікроскопічні фібрили складаються із пучків субмікроскопічних фібрил, між якими знаходяться грубі щілини і пустоти з поперечником (50 – 130) Å, що чергуються з тонкими капілярами, які мають поперечник не більш 10 Å.

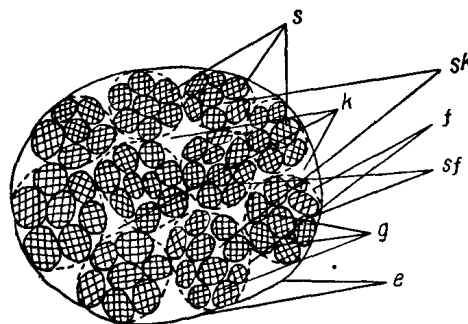


Рис. 1. Схема будови натурального текстильного волокна по Фрей-Віслінгу [1]: *e* – окреме волокно; *f* – мікроскопічні фібрили; *k* – мікроскопічні капілярні простори; *sf* – субмікроскопічні фібрили; *sfc* – субмікроскопічні капілярні простори; *g* – кристалічні просторові ґрати; *s* – щілини між кристалітами

Мікроскопічні і субмікроскопічні капілярні простори обумовлюють всмоктування рідин сухими волокнами при набуханні.

Структура використовуваних хімічних волокон значно простіша, хоча ці волокна в більшості випадків складаються також із пов'язаних між собою кристалітів. Відпадають деякі морфологічні особливості волокна: існування фібрил, наявність центрального каналу тощо.

При цьому на розподіл волокон в перетині реально-го 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.

Потрібно підкреслити, що одного тільки геометричного уявлення про пористість недостатньо для пояснення різної здатності проникнення рідин у волокно. На проникнення рідини у волокно вельми сильно можуть впливати взаємодія рідини з речовиною поверхні стінок (адсорбція), сили електростатичного тяжіння або відштовхування тощо.

Таким чином, проникнення просочувальної рідини в глибину капілярів, що є в окремих волокнах, особливо за ті короткі терміни, протягом яких відбувається просочування, не може бути значним.

Незмірно більше значення для практики має проникнення просочувальної рідини в простори між волокнами (міжволоконний простір чи penetрація) або нитками волокнистого матеріалу, про що йдеться далі.

#### Будова і капілярна структура тканин

Слід відзначити, що найбільш поширеними видами переплетень тканин, що застосовуються як наповнювач у процесі формування шаруватих пластиків, є полотняне, саржеве, сатинове й атласне. Ці види переплетень здійснюють вплив на капілярну структуру тканин.

Капілярна структура таких матеріалів, як волокнисті полотна і корд, не є постійною, а у великій мірі залежить від умов, в яких знаходяться ці системи, і зокрема, від механічних впливів, яких вони зазнають в різних технологічних процесах (стиснення між направляючими і віджимними роликками, розтягнення в просочувальному агрегаті тощо). Тому нижче буде розглянута капілярна структура тільки тканин, що визначається в основному процесом прядіння і ткацтва, і що є більш або менш постійною.

Значення істинного і уявного об'ємів пор тканини, що непросочилася, дає технологу вказівку на максимальне заповнення пор тканини, якого можна чекати при просочуванні, і дозволяє використати для характеристики міри просочування «коефіцієнт просочування», під яким мають на увазі відношення об'єму пор, заповнених рідиною, до загального об'єму пор тканини.

Крім того, порівняння істинної й уявної пористості до і після імпрегнації (просочування) може дати істотні вказівки і на зміну санітарно-гігієнічних властивостей тканини. Установлення максимального діаметру пор має велике практичне значення, оскільки, як ми побачимо нижче, саме по цих порах відбувається в основному проникнення полімерної рідини в тканину.

Нарешті, дуже важлива для технолога і експериментальна крива розподілу пор по діаметру, оскільки це дозволяє вирішити вельми неясне до цього часу питання про те, наскільки можливі при просочуванні тканини явища, що дозволяють відфільтрувати частки дисперсій розчинів полімерних зв'язуючих, і яким максимальним розміром із цієї точки зору повинні володіти частки дисперсій розчинів полімерних зв'язуючих.

#### 4. Адекватна структурна модель

Усе вищезазначене слугувало до розроблення ефективного підходу до вибору відповідної фізичної моделі. Послідовність припущень при побудові адекватної структурної моделі ОВН в технології просочування, що схематично наведена на рис. 2 (а—д), полягає в наступному.

Від структури ОВН, яка у загальному випадку складається із системи паралельно-звивистих капілярів різних радіусів (рис. 2-а), яку можна детермінувати, наприклад, за допомогою функції розподілу пор радіусом  $\rho$  по розмірах  $\varphi(\rho)$  [2], переходять за допомогою відповідних співвідношень до осереднення структури ОВН як регулярної структури лінійних капілярів з однаковим поздовжнім перетином (рис. 2-б), схема заповнення просочувальною рідиною яких показана на рис. 2-в і рис. 2-г (поперечний перетин ОВН).

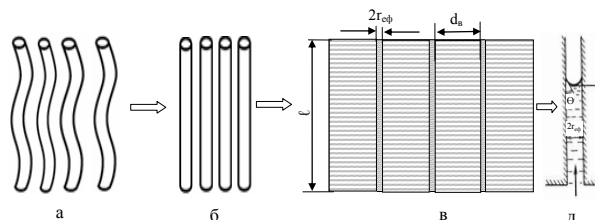


Рис. 2. Послідовність припущень (а—д) при побудові адекватної структурної моделі ОВН в технології їх просочування:  $d_s$  — середній діаметр волокна;  $\theta$  — крайовий кут змочування

Тобто в кінцевому підсумку переходять до схеми просочування одиночного капіляру довжиною  $\ell$  (рис. 2-д), діаметр якого дорівнює  $2r_{\text{eff}}$ .

Надалі вибрана адекватна фізична модель структури капілярно-пористих тіл використовується для моделювання реального технологічного процесу просочування волокнистих наповнювачів епоксидними зв'язуючими в технології одержання конструкцій із орієнтованих волокнистих композитів [2]. Це відбувається з використанням класичної теорії фільтрації для ламінарної течії в'язкої неньютонівської рідини, що не стискується, на базі застосування відповідної математичної моделі, що враховує інтегральні характеристики волокнистого наповнювача як капілярно-пористого тіла, а саме: пористість, питому внутрішню поверхню, ефективний (еквівалентний) капілярний радіус.

#### 5. Висновки

Описаний ефективний підхід до вибору адекватної фізичної моделі капілярно-пористих тіл в технології одержання конструкцій із орієнтованих волокнистих композитів. 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.

#### Література

1. Цыплаков, О.Г. Научные основы технологии композиционно-волокнистых материалов. Ч.1 [Текст] / О.Г. Цыплаков. — Пермь, 1974. — 317с.
2. Колосов, О.С. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації [Текст] / Колосов О.С., Сівецький В.І., Панов Є.М., Мікульонюк І.О. та ін. - К.: ВД «Едельвейс», 2012. - 268 с.

**Abstract**

*It is shown that the prediction of the kinetics of impregnation process oriented and woven fibrous fillers epoxy binder solution is based primarily on an analysis of the structure of fibrous fillers. In this case, the capillary structure of fibrous fillers should include the most important factors that affect the speed and completeness of the impregnation process, after impregnating fluid flow in these materials is a process, which is mainly governed by laws of capillarity and viscosity. It is shown that in general the capillary structure of any fibrous material consists of material microstructure fiber from which it is made, as well as macro-fiber material, the diameter of the capillaries of the two structures is a completely different order. Are analyzed that the penetration depth of the liquid in the impregnation of capillaries in individual fibers, especially for those short periods during which there is a treatment, there can be significant. Therefore infinitely more practical importance is the penetration of impregnating fluid in the space between the fibers (interfiber space or penetration) or filaments of fibrous material. Describes an effective approach to the selection of an adequate physical model of capillary-porous bodies in the technology of construction of the oriented fiber composites. This physical model is then used for the determination of refined mathematical model of the process of impregnation of fibrous fillers epoxy bonding using conventional filtration theory of laminar flow of viscous non-Newtonian fluid which is not compressed.*

**Keywords:** structure, model, capillary pores, fiberfill

**В даній статті було запропоновано та використано новий високочутливий поляризаційно-модуляційний метод спектрометрії. Спосіб поляризаційно-модуляційної спектрометрії дозволяє з високою чутливістю вимірювати локальні механічні напруження в деталях із оптично прозорих матеріалів, а використання відбитого сонячного випромінювання дозволяє контролювати внутрішні напруження в листовому склі великих габаритів**

**Ключові слова:** внутрішні напруження, поляризаційно-модуляційний метод, монокристалічний сапфір

**В данной статье был предложен и использован новый высокочувствительный поляризационно-модуляционный метод спектрометрии. Способ поляризационно-модуляционной спектрометрии позволяет с высокой чувствительностью измерять локальные механические напряжения в деталях из оптически прозрачных материалов, а использование отраженного солнечного излучения позволяет контролировать внутренние напряжения в листовом стекле больших габаритов**

**Ключевые слова:** внутренние напряжения, поляризационно-модуляционный метод, монокристаллический сапфир

УДК 535.15

# НОВІ СПОСОБИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВНУТРІШНІХ НАПРУЖЕНЬ В ДЕТАЛЯХ З ОПТИЧНО ПРОЗОРІХ МАТЕРІАЛІВ

**В. П. Маслов**

Доктор технічних наук, професор  
Кафедра наукових, аналітичних та екологічних  
приладів і систем  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут"  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
Контактний тел.: (044) 525-05-55  
E-mail: vladmaslov@mail.ru

## 1. Вступ

Відомо, що в сучасних приладах широко використовується такий унікальний матеріал як сапфір. На прикладі деталей із сапфіру показано можливість вимірювання внутрішніх напружень за допомогою поляризаційних методів контролю. Висока стійкість до механічних, хімічних і температурних впливів, хороша прозорість в оптичному діапазоні від

ультрафіолетового до інфрачервоного випромінювання, яка властива матеріалу, дають можливість виготовляти сапфірові вікна та лінзи для оптичних приладів. Деталі із сапфіру використовують в термоядерних установках при діагностиці термоядерної плазми та аналізі стану поверхні розрядних плазмових камер [1], а також в космічній техніці – для виведення лазерного випромінювання в космічний простір і в системах зв'язку космічних апаратів. Високі електроізолюючі