

УДК 667.64:678.026

**В.В. Іваник, В.О. Бойчук, І.Б. Боднар**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ НАВКОЛО НАПОВНЮВАЧА В КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ**

**V.V. Ivanyk, V.O. Boychuk, I.B. Bodnar**

### **STUDY OF MODEL FOR FORMATION OF EXTERNAL SURFACE LAYERS BETWEEN BASIC CONTAINER IN COMPOSITE MATERIALS**

Сьогодні, з метою підвищення експлуатаційних характеристик, інтенсивно розвиваються нові технології формування композитних матеріалів (КМ), а саме методи модифікування композицій. Для отримання КМ з високими показниками експлуатаційних характеристик слід враховувати природу, реологічні властивості зв'язувача, активність поверхні, геометричні параметри, дисперсність.

Особливу увагу при оцінюванні кінетики зовнішніх поверхневих шарів (ЗПШ) навколо наповнювача у процесі тверднення КМ слід звернути на параметр  $\alpha_{zp}$ , який характеризує граничний вміст (верхню межу) ЗПШ на поверхні наповнювача у зв'язувачі. Параметр  $\alpha_{zp}$  змінюється з плином часу, зменшуючи, відповідно, і вміст олігомера, який не знаходиться у стані ЗПШ у КМ.

Виходячи з граничного представлення ступеня армування та логарифмічного представлення модуля пружності КМ як двокомпонентної суміші [1]:

$$\ln E_k \approx \alpha_{zp} \cdot \ln E_{mi} + (1 - \alpha_{zp}) \cdot \ln E_c \quad (1)$$

де:  $E_{mi}$  – модуль пружності поверхневих шарів,  
отримуємо:

$$E_k \approx E_{mi}^{\alpha_{zp}} \cdot E_c^{1-\alpha_{zp}} \quad (2)$$

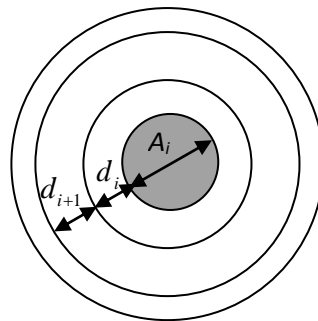


Рисунок 1. Схема покрокового формування ЗПШ навколо торсіону з волокон на різних стадіях тверднення КМ:  $A_i$  – ефективний переріз торсіону із зовнішнім поверхневим шаром до  $i$ -го кроку;  $d_i$  – приріст зовнішнього поверхневого шару на  $i$ -му кроці.

Згідно моделей полімерних сіток [2] у процесі зшивання матриці на кожному наступному послідовному кроці часу утворюється додаткова область ЗПШ, що збільшує товщину (ефективний переріз) гетерогенного поверхневого шару. Відповідно змінюються  $\alpha_{zp}$ ,  $V_k$  та  $V_c$  (рис. 1). Зазначимо, що на кожному наступному етапі структуроутворення гетерогенний поверхневий шар, який у сумі складається з об'єму

сусідніх областей ( $\sum d_i$ ), розглядали як основу для формування наступної області ( $d_{i+1}$ ) ЗПШ.

Враховуючи зв'язок тангенса кута механічних втрат з модулем пружності поверхневих шарів  $E_{nu}$  і модулем пружності епоксидного зв'язувача у об'ємі  $E_c$ , а також використовуючи формулу (2) з врахуванням припущень при означенні  $\alpha_{ep}$  [3], отримаємо:

$$tg \delta = \frac{E_{nu}^{1-\alpha_{ep}}}{(E_c + E_{nu})^{1-\alpha_{ep}}} \cdot \quad (3)$$

Тоді приріст товщини поверхневого шару  $d_i$  обчислюємо за допомогою ітерацій:

$$d_i = \frac{\alpha_{ep} \cdot A_i \cdot (1 - \alpha_{Hi})}{4 \cdot \alpha_{Hi}} \cdot \left(\frac{A_0}{A_i}\right)^2, \quad (4)$$

$$A_i = A_{i-1} + 2 \cdot d_{i-1} \quad (5)$$

де:  $A_i$  – товщина наповнювача (торсіону з волокон) з нарощеними на попередніх етапах тверднення поверхневими шарами;  $\alpha_{Hi}$  – вміст наповнювача з приєднаними поверхневими шарами у КМ на  $i$ -тому кроці часу.

При твердненні епоксидної смоли протягом  $t = 3,0 \dots 5,5$  год. відбувається перерозподіл областей у ЗПШ. Збільшення сумарного вмісту наповнювача з приєднаними ЗПШ і граничного вмісту (верхньої межі) поверхневих шарів ( $\alpha_H + \alpha_{ep} > 1$ ) у ці моменти часу тверднення, зумовлено перекриванням ЗПШ, утворених частками, з одного боку, і неперервними волокнами, з іншого боку. Завершення часу тверднення характерне наявністю таких основних ділянок композиту: волокна, часток, ЗПШ навколо волокна і часток, областей перекривання ЗПШ, які виникли біля поверхні часток і волокна. У процесі зшивання формуються ділянки перерозподілу після моменту насичення усього об'єму смоли поверхневими шарами.

Аналіз результатів досліджень показує, що у процесі зшивання зв'язувача збільшується об'єм ЗПШ навколо волокнистого наповнювача, причому найбільша інтенсивність зростання об'єму шарів відбувається на початку структуроутворення КМ (протягом  $t = 4,5$  год.).

#### **Література**

1. Маркин В.Б., Аникеева Л.Н., Тарасов А.В. Расчетная оценка вязкоупругих характеристик межфазных слоев и закономерности их влияния в полимерных композиционных материалах // Труды международной научно-технической конференции „Композиты – в народное хозяйство России” (Композит-95). – Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1995. -С.86-92.
2. Горбаткина Ю.А. Влияние модификаторов на адгезионные свойства полимерных композиций. Ч.2. Общие представления / Ю.А.Горбаткина // Клеи. Герметики. Технол.-2004.-№4.-С.24-29.
3. Маркин В. А., Тарасов А.К. Оценка вязкоупругих характеристик межфазных слоев и закономерности их влияния на механические свойства полимерных композиционных материалов. Див.: <http://www.aomai.ab.ru:8080/books/Filles/1999-03/HTML/12/pap-12.html>.