

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ  
та програма

V Всеукраїнської міжвузівської  
науково-технічної конференції  
(м. Суми, 17–20 квітня 2018 р.)



Суми  
Сумський державний університет  
2018

## ОСОБЛИВОСТІ КЛАСТЕРОУТВОРЕННЯ В РІДКОМУ ПОЛІМЕРНОМУ РЕАКТОПЛАСТИЧНОМУ КОМПОЗИТІ

*Колосова О. П., ас.; Ванін В. В., проф., НТУУ «КПІ ім. Сікорського», м. Київ*

При розгляді фізико-хімічних аспектів модифікації епоксидних полімерівкоротковолокнистимита/або безперервними волокнистими наповнювачами насамперед слід розглянути ряд питань. Серед них – особливості кластероутворення в рідкому полімерному композиті, поверхнева взаємодія використовуваних наповнювачів з епоксидним олігомером, механізм молекулярної взаємодії між епоксидним полімером і наповнювачем, а також адгезія між епоксидним полімером та наповнювачем. У даній роботі розглядається перший з вищевказаних механізмів.

Як правило, у загальному випадку під кластером розуміється група частинок наповнювача, розділених тонкими прошарками полімеру, що повністю знаходяться в плівковій фазі. Кластерні структури з дисперсних частинок утворюються внаслідок протікання ряду процесів (дифузійних, седиментаційних тощо), пов'язаних з мимовільним відносним переміщенням частинок наповнювача. Такі структури також утворюються в результаті вимушеного руху частинок наповнювача при перемішуванні (гомогенізації) полімерної матриці, що відбувається під дією зовнішніх сил (наприклад, під дією низькочастотного ультразвуку – УЗ – чи УЗ-кавітації).

Процес кластероутворення починається з взаємодії двох окремих частинок. Так як структура граничного шару формується в результаті прагнення цих частинок наповнювача знизити свою поверхневу енергію, то енергетично вигідніше, коли граничні (фейзонні) шари окремих частинок починають взаємодіяти між собою. Це призводить до нерівномірного розподілу частинок, але й водночас сприяє компенсації енергетичного надлишку.

При цьому частки наповнювача починають структуруватися так, щоби полімер у просторі між ними повністю переходив в орієнтаційно-впорядкований стан з утворенням лінійних кластерів. Тобто кластерів, в якому частинки радіуса  $r_c$  розташовуються уздовж кривої або деякої умовної лінії (рис. 1). Збільшення довжини лінійних кластерів відбувається до певних розмірів, після чого він стає гідродинамічно нестійким і розпадається на декілька малих лінійних кластерів або утворює кільцеподібний кластер (див. рис. 1 б).

Останні, у свою чергу, групуються між собою з утворенням просторових комірчастих кластерів, що є неправильними (спотвореними) сферами. Периферійний шар останніх складається з частинок наповнювача, що чергуються з плівковою фазою полімерної матриці. А внутрішня область сфери є вільною від частинок наповнювача й містить тільки полімерну матрицю в об'ємному стані.

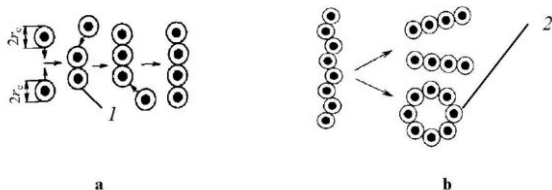


Рисунок 1. Схема кластероутворення в рідкому полімерному композиті:  
 а – утворення лінійного кластера; б – перетворення нестійкого лінійного кластера; 1 – елементарний двохчастковий лінійний кластер; 2 – кільцеподібний кластер [1]

Якщо ж наповнювач полідисперсний, то в процесі його поєднання з рідким полімером дрібні частинки «захоплюються» поверхнею крупних частинок, внаслідок чого виникають щільні клубкові кластери.

Слід зазначити, що кластери, які вільно розподілені в об'ємі матеріалу і не зв'язані між собою, не здійснюють зміцнюючої дії на полімер. При руйнуванні вони можуть слугувати тільки стопором для тріщин, знижуючи швидкість їх розповсюдження. Це приводить до підвищення тріщиностійкості затверділих полімерних композитів. Збільшення міцності наповненого частинками наповнювача затверділого композиту відбувається у тому випадку, коли в об'ємі цього композиту утворюється просторовий каркас з частинок наповнювача і плівкової фази полімерної матриці, що пронизує каркас об'ємної полімерної матриці.

Перехід від окремих кластерів до каркаса об'ємної полімерної матриці відбувається унаслідок об'єднання і укрупнення окремих малих кластерів. На певному етапі наповнення весь об'єм композиту пронизується одним нескінченним кластером з утворенням просторового каркаса. Це приводить до збільшення міцності композиту, а УЗ-дія розглядається як інтенсифікуючий чинник кластероутворення.

Окрім цього, також на міцність ПКМ значний вплив здійснює дисперсність частинок наповнювача. Основною величиною при цьому є величина питомої поверхні наповнювача, що припадає на одну його частку. Так, збільшення розміру частинок наповнювача призводить до збільшення їх площі поверхні, тобто до зниження їх поверхневої енергії, і, отже, енергії когезії. Це, у свою чергу, призводить до зниження міцності композиту. І навпаки: із збільшенням дисперсності наповнювача міцність ПКМ підвищується.

#### Список літератури:

1. Voronkov, A. G., Yartsev, V. P. (2006). Epoxy Polymer Solutions for Repair and Protection of Building Objects and Structures: Textbook, Izd. TGTU, Tambov [in Russian].