

## Визначення дисперсійної складової вільної поверхневої енергії в полімерних композитах

*Данченко Ю. М.<sup>1</sup>, Андронов В. А.<sup>1</sup>, Карєв А. І.<sup>2</sup>, Олійник Г. С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Національна академія національної гвардії України, Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

<sup>3</sup>Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна  
*yuliyadanchenko7@gmail.com*

Вільна поверхнева енергія (ВПЕ) твердої поверхні характеризується некомпенсованою поверхневою енергією на межі поділу фаз «тверде тіло – газ». У відповідності до теорії Фоукса ВПЕ ( $\gamma_s$ ) будь-якої твердої поверхні виражається сумою складових, кожна з яких відображає природу взаємодій у твердому тілі:

$$\gamma_s = \gamma_s^d + \gamma_s^p + \gamma_s^h + \gamma_s^i + \gamma_s^{ab} + \gamma_s^o, \quad (1)$$

де  $\gamma_s^d$ ,  $\gamma_s^p$ ,  $\gamma_s^h$ ,  $\gamma_s^i$ ,  $\gamma_s^{ab}$  – складові ВПЕ, які характеризують дисперсійні, полярні, водневі (зв'язки), індукційні і кислотно-лужні взаємодії відповідно;  $\gamma_s^o$  – відноситься до усіх інших взаємодій, які не враховані попередніми складовими.

Відповідно до висновків Ван Осса і Гуда дисперсійна складова ВПЕ ( $\gamma_s^d$ ) (Ліфшица Ван дер Ваальса) поєднує енергію дисперсійних, індукційних і полярних взаємодій. При цьому встановлюється, що  $\gamma_s^d \gg \gamma_s^p$  і  $\gamma_s^d \gg \gamma_s^i$ . Інші складові формули (1) авторами були об'єднані у кислотно-лужну складову ВПЕ ( $\gamma_s^{ab}$ ). Отже, вираз (1) спростився до двох складових:

$$\gamma_s = \gamma_s^d + \gamma_s^{ab}. \quad (2)$$

Дисперсійна складова енергії взаємодії двох фаз ( $\gamma_s^d$ ) зумовлена взаємодією молекул за рахунок миттєвих диполів, яка розраховується з середньо геометричного значення:

$$\gamma_s^d = \gamma_p^d + \gamma_f^d - 2(\gamma_p^d \gamma_f^d)^{1/2} = [(\gamma_p^d)^{1/2} - (\gamma_f^d)^{1/2}]^2, \quad (3)$$

де  $\gamma_p^d$ ,  $\gamma_f^d$  – дисперсійна складова ВПЕ полімеру та наповнювача відповідно.

Дисперсійна складова ВПЕ композиту залежить від  $\gamma_p^d$ ,  $\gamma_f^d$  та об'ємної частки наповнювача  $\omega$ . При врахуванні об'ємної частки наповнювача  $\omega$  та об'ємної частки полімеру  $(1-\omega)$  рівняння (3) перетворюється на наступне:

$$\gamma_s^d = \gamma_p^d - 2\omega [\gamma_p^d + (\gamma_p^d \gamma_f^d)^{1/2}] + \omega^2 [\gamma_p^d + 2 \cdot (\gamma_p^d \gamma_f^d)^{1/2} + \gamma_f^d]. \quad (4)$$

В результаті розрахунків встановлено, що при додаванні наповнювачів з невеликою дисперсійною складовою ВПЕ  $\gamma_f^d = 0-20$  мДж/м<sup>2</sup> в області наповнення  $\omega = 0-0,5$  дисперсійна складова ВПЕ композиту стабільно зменшується. При додаванні наповнювачів з високими значеннями  $\gamma_f^d \geq 50$  мДж/м<sup>2</sup> в області наповнення  $\omega = 0,2-0,5$ ,  $\gamma_s^d$  різко зростає. У всіх випадках (за виключенням  $\gamma_f^d = 0$ ) спостерігаються екстремальні залежності і чим більше значення  $\gamma_f^d$ , тим яскравіше виражене мінімальне значення  $\gamma_s^d$ . Отже, отримані залежності можна розділити на дві зони: зону до мінімуму  $\gamma_s^d$  і зону після мінімуму  $\gamma_s^d$ . Наявність екстремуму свідчить про кореляцію дисперсійної складової ВПЕ полімеру та наповнювача з деякими експлуатаційними характеристиками композитів (міцність, стійкість до агресивних середовищ, адгезійна міцність до різних поверхонь тощо), залежності яких від вмісту наповнювача у більшості випадків, мають екстремуми.