

УДК 544.526 : 542.952.6 : 678.686 : 678.744.33

Т.Ф.Самойленко, Н.В.Ярова, Г.Я.Менжерес, О.О.Бровко

**КІНЕТИКА УФ-ІНІЦІЙОВАНОГО ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИ-АКРИЛАТНИХ  
ВЗАЄМОПРОНИКНИХ ПОЛІМЕРНИХ СІТОК ЗА РІЗНИХ УМОВ ТВЕРДНЕННЯ**

Досліджено особливості перебігу УФ-ініційованої полімеризації епокси-акрилатних взаємопроникних полімерних сіток (ВПС) і їхніх вихідних компонентів за різних умов тверднення. Методом ІЧ-спектроскопії оцінено ступінь перетворення функціональних груп олігомерів, а за допомогою екстракції — повноту їхнього отверднення. Показано, що полімеризація акрилату відбувається швидше, ніж епоксиду, а ступінь перетворення функціональних груп компонентів у суміші вищий, ніж у вихідних речовинах. Виявлено, що внаслідок інгібувальної дії кисню ефективність полімеризації у відкритій формі суттєво залежить як від вмісту акрилатної складової, так і від товщини плівки та є нижчою, ніж у закритій формі. Знайдено, що наявність у реакційній суміші епоксидного олігомеру знижує інгібувальний вплив кисню і сприяє полімеризації акрилату. Підтверджено, що дані епокси-акрилатні ВПС здатні ефективно утворюватися при наявності лише фотоініціатора катіонної полімеризації.

*ВСТУП.* Отримання нових типів матеріалів на основі ВПС, які поєднують властивості обох гомополімерів, є актуальним завданням хімії високомолекулярних сполук. Синтезуючи епокси-акрилатні ВПС, вдається поєднати високу швидкість полімеризації акрилатів і стійкість до дії ультрафіолетового (УФ) опромінення акрилатних полімерів з низькою усадкою та хорошою адгезією епоксидів [1—3].

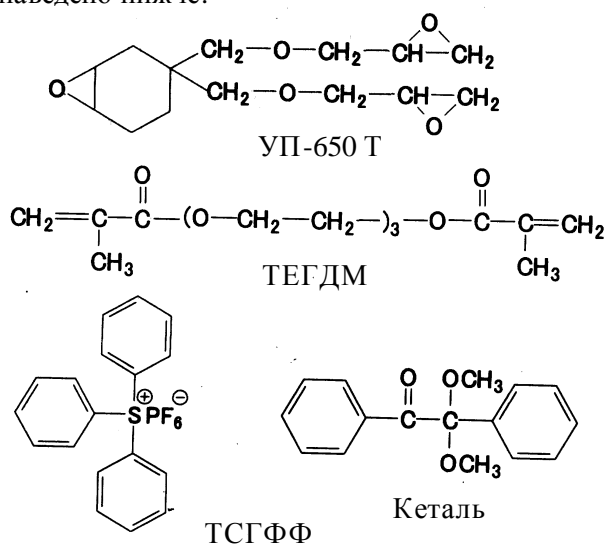
Одним із найпростіших методів одержання одночасних ВПС є фотохімічно ініційована полімеризація суміші багатфункціональних мономерів, які полімеризуються незалежно один від одного (акрилати — за вільнорадикальним механізмом, а епоксиди — за катіонним) [3, 4]. Основними її перевагами, порівняно із термічною полімеризацією, є високі швидкість та ефективність процесу, низький рівень економічних затрат і ризику забруднення навколишнього природного середовища (внаслідок низького споживання енергії та відсутності випарів органічних розчинників) [1, 5].

Відомо, що через інгібування вільнорадикальної полімеризації киснем повітря її переважно проводять при його відсутності [1]. Але оскільки полімеризація на повітрі має низку технологічних переваг, серед яких — зручність при виготовленні захисних покриттів, важливим стає пошук шляхів зниження цього інгібувального впли-

ву. Один із таких прийомів передбачає полімеризацію акрилатів у суміші, де другим компонентом виступає бар'єром для дифузії кисню [3, 4]. Зважаючи на це, дослідження впливу епоксидної складової на полімеризацію акрилатів при формуванні ВПС становить значний теоретичний і практичний інтерес. Отже, метою даної роботи є вивчення кінетичних закономірностей ініційованого УФ-випромінюванням синтезу епокси-акрилатних ВПС різного складу за кисневих і безкисневих умов.

*ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.* Для отримання ВПС як епоксидну складову використовували циклоаліфатичну трифункціональну смолу УП-650 Т, яка у своїй структурі містить епоксидні групи різної природи, а як акрилатну — біфункціональний триетиленглікольдиметакрилат (ТЕГДМ). Вибір метакрилатного олігомеру пояснюється намаганням вирівняти швидкості полімеризації обох компонентів суміші внаслідок нижчої реакційної здатності метакрилатів порівняно з акрилатами [4]. Компоненти ВПС (УП-650 Т:ТЕГДМ) змішували у масових співвідношеннях 25:75, 50:50 і 75:25. Для фотоініціювання застосовували як комбінацію двох ініціаторів — 2,2-диметокси-2-фенілацетофенону (кеталу) та трифенілсульфоній гексафлуорофосфату (ТСГФФ, 50 %-й розчин у пропіленкарбонаті) у кількостях 3 та 0,5 % від маси реакційної

суміші, так і тільки ТСГФФ. Кеталь ініціює радикальну полімеризацію, а ТСГФФ, окрім ініціювання катіонної полімеризації, здатний генерувати також і активні вільні радикали [6]. Хімічну будову компонентів ВПС та ініціаторів наведено нижче:



Кінетичні закономірності фотополімеризації епокси-акрилатних композицій вивчали методом інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії. Спектри УФ-опромінюваних зразків, нанесених тонким шаром на сольову пластину NaCl (відкрита форма) або між двома пластинами (закрита форма), знімали через певні проміжки часу на ІЧ-спектрофотометрі Tensor 37 фірми Bruker (Німеччина) у діапазоні частот від 4000 до 600  $\text{cm}^{-1}$ . Джерелом УФ-випромінювання була ртутно-кварцева лампа ДРТ-1000 з інтенсивністю опромінювання на площині поверхні зразка 4  $\text{мВт/см}^2$ .

Для оцінки повноти полімеризації компонентів у ВПС і у вихідних акрилатній та епоксидній сітках вимірювали вміст гель-фракції отриманих зразків. Зразки формували у вигляді плівок: у закритій формі — між двома скляними пластинами, обробле-

ними розчином диметилдихлорсилану в толуені у співвідношенні 2:3 як антиадгезивом, а у відкритій формі — на поверхні скляної пластинки, обробленої силіконовою оливою. Товщину плівок, яка становить 160  $\mu\text{м}$ , регулювали обмежувачами по боках пластин. Композиції у відкритій формі після УФ-опромінювання ще протягом 15 хв дозатверджували термообробленням при температурі 80  $^{\circ}\text{C}$  для їхнього повного отвердіння.

Вміст гель-фракції затверджених плівок визначали за результатами екстракції у киплячому пропан-2-оні (ацетоні). Зразки розміром 10×10 мм екстрагували в апараті Сокслета протягом 24 год і зважували після 3 год висушування в сушильній шафі при температурі 80  $^{\circ}\text{C}$  для повного видалення залишків розчинника. Масову частку гель-фракції розраховували як середнє арифметичне від значень, отриманих для трьох паралельних проб.

**ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.** З метою дослідження формування епокси-акрилатних ВПС попередньо було вивчено фотополімеризацію вихідних UP-650 T і TEGDM, ІЧ-спектри яких подано на рис. 1.

В ІЧ-спектрі вихідної епоксидної смоли (ЕС) UP-650 T (рис. 1, крива 3) наявні досить інтенсивні характеристичні смуги двох типів епокси-

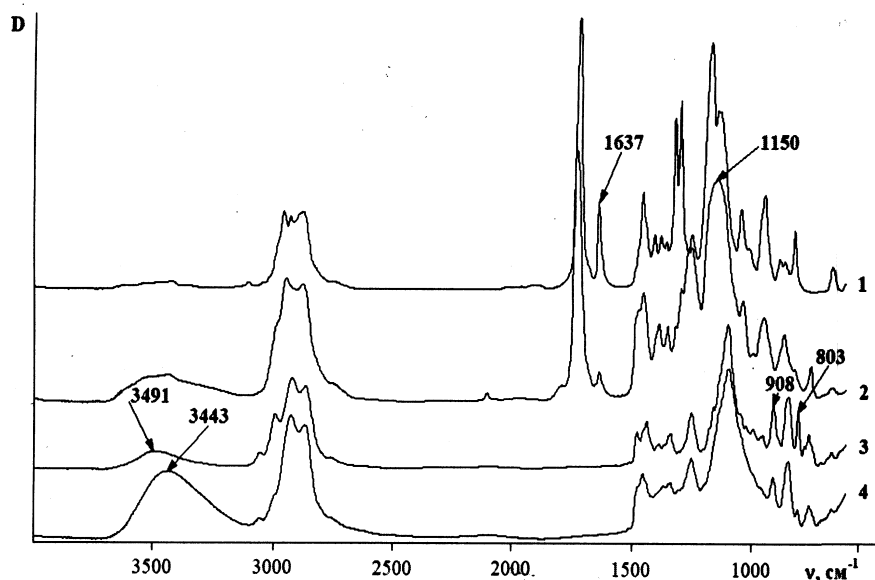


Рис. 1. ІЧ-спектри: вихідного (1) та затвердженого (2) TEGDM; вихідного (3) і затвердженого (4) UP-650T.

дних груп для УП-650 Т (смуги деформаційних коливань  $\delta_{\text{C}=\text{C}}$  908  $\text{cm}^{-1}$  для групи, сполученої з аліфатичною частиною молекули та  $\delta_{\text{C}=\text{C}}$  803  $\text{cm}^{-1}$  для епоксигрупи, конденсованої з циклогексановим фрагментом [7]. До коливань в епоксидному циклі також відносять загальні для обох видів груп смуги валентних коливань  $\nu_s$  при 1253 та  $\nu_{as}$  — при 840—850  $\text{cm}^{-1}$  [8—11]. Окрім падіння інтенсивності вищезазначених смуг коливань епоксидних кілець при фотополімеризації, в ІЧ-спектрі ЕС у діапазоні 1000—1200  $\text{cm}^{-1}$  зростає відносна інтенсивність смуги поглинання коливань етерних груп ( $\nu \text{C}-\text{O}-\text{C}$ ), які додатково (окрім наявних у структурі УП-650 Т етерних зв'язків гліцидилового угруповання) утворюються при розкритті епоксидних циклів. Значну напівширину цієї смуги автори [11] пояснюють перекриттям близьких симетричних та асиметричних валентних коливань зв'язків  $\text{C}-\text{O}$ . При розкритті оксиранових кілець відбувається зростання інтенсивності смуги поглинання валентних коливань гідроксильних груп при 3490  $\text{cm}^{-1}$ , зв'язаних водневими зв'язками, а також її зсув на 40—47  $\text{cm}^{-1}$  у низькочастотний діапазон спектру внаслідок зміни типу водневих зв'язків. Водночас перерозподіляється смуга деформаційних коливань  $-\text{CH}_2$ -груп при 1440—1480  $\text{cm}^{-1}$ , яка є складною внаслідок відмінностей у природі різних метиленових груп ЕС [11].

Характеристичною смугою у спектрі сполуки ТЕГДМ (рис. 1, крива 1) є смуга, пов'язана з коливанням подвійних зв'язків  $\nu \text{C}=\text{C}$  при 1637  $\text{cm}^{-1}$ , інтенсивність якої при полімеризації значно знижується. При полімеризації ТЕГДМ в ІЧ-спектрі відбуваються й інші зміни, зокрема, максимум інтенсивності смуги валентних коливань зв'язку  $\text{C}=\text{O}$  зміщується з 1719 до 1728  $\text{cm}^{-1}$ , а дублет смуг деформаційних коливань  $-\text{CH}_2$  та  $-\text{CH}_3$ -груп при 1300/1319  $\text{cm}^{-1}$  зміщується складною смугою з максимумом 1252

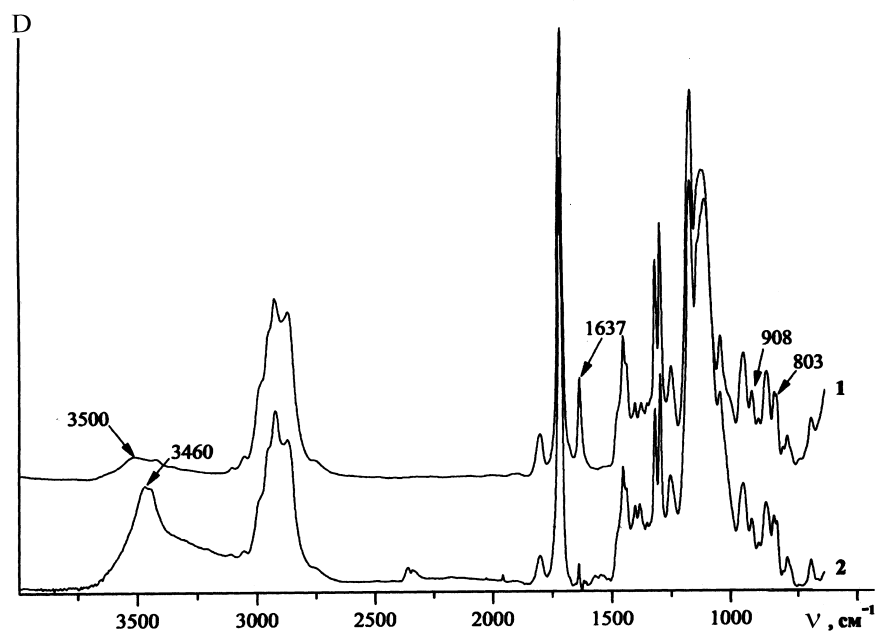


Рис. 2. ІЧ-спектри: 1 — суміші УП-650 Т : ТЕГДМ = 50:50 (3 % ТСГФФ, 0,5 % кеталь); 2 — ВПС УП-650 Т : ТЕГДМ = 50:50 (3 % ТСГФФ, 0,5 % кеталь).

$\text{cm}^{-1}$  з одночасним зниженням її інтенсивності. Також дещо уширюється смуга деформаційних коливань метильної групи ( $\delta$  1454  $\text{cm}^{-1}$ ), зростає інтенсивність слабкої смуги при 3450  $\text{cm}^{-1}$ , яку в довідковій літературі [12] відносять до коливань  $\text{C}=\text{O}$  групи, і практично зникає смуга  $\delta \text{C}=\text{C}$  з частотою 815  $\text{cm}^{-1}$ , притаманна крутильним деформаційним коливанням подвійного зв'язку акрилатів [13].

На рис. 2 представлено ІЧ-спектри рідкої та затвердженої суміші УП-650 Т і ТЕГДМ з масовим співвідношенням компонентів 50:50 та двома фотоініціаторами у кількостях 3 % за масою для ТСГФФ та 0,5 % для кеталю. На спектрах наявні усі смуги поглинання, що властиві окремим речовинам, характер зміни цих смуг у процесі полімеризації має ті ж самі особливості, що й у спектрах індивідуальних компонентів. Це свідчить про відсутність взаємодії компонентів між собою, а отже, проходження двох незалежних процесів гомополімеризації з формуванням ВПС. Проте варто зазначити, що аналіз ІЧ-спектрів суміші є дещо утрудненим через близькість розташування смуг поглинання епоксидних груп (803  $\text{cm}^{-1}$ ) і подвійних зв'язків (815  $\text{cm}^{-1}$ ).

Кінетику фотополімеризації як вихідних сполук, так і епокси-акрилатної ВПС вивчали за змі-

ною відносної інтенсивності характеристичних смуг поглинання — 803 та 908  $\text{cm}^{-1}$  для епоксидних груп УП-650 Т і 1637  $\text{cm}^{-1}$  для подвійних зв'язків у ТЕГДМ. Як внутрішній стандарт використали смугу валентних асиметричних коливань  $\nu_{as} \text{CH}_2$  з максимумом 2925  $\text{cm}^{-1}$ . Залежності ступеня перетворення ( $\alpha$ , %) даних функціональних груп від часу ( $\tau$ ) наведено на рис. 3.

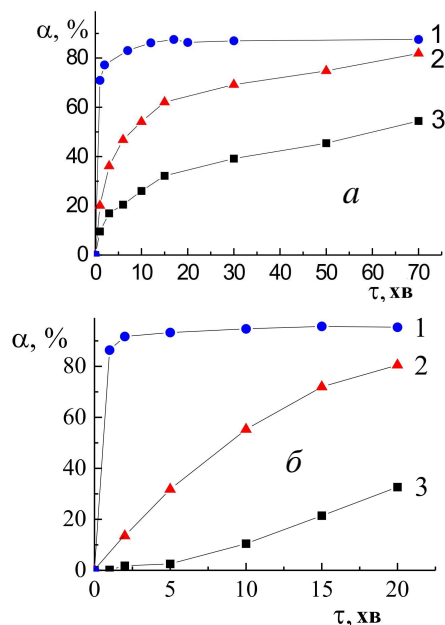


Рис. 3. Кінетичні залежності ступеня перетворення функціональних груп: 1 — подвійних зв'язків 1637  $\text{cm}^{-1}$ ; 2 — епоксидних груп 803  $\text{cm}^{-1}$ ; 3 — епоксидних груп 908  $\text{cm}^{-1}$ ; а — вихідних УП-650 Т і ТЕГДМ; б — ВПС УП-650 Т: ТЕГДМ = 50:50 (3 % ТСГФФ, 0,5 % кеталь).

Отримані результати свідчать про суттєві відмінності у поведінці різних функціональних груп. Найвищу реакційну здатність мають подвійні зв'язки акрилатної складової, ступінь перетворення яких вже через 20 хв опромінення виходить на плато і сягає близько 88 і 96 % для вихідного ТЕГДМ і ТЕГДМ у суміші відповідно. На вищу, порівняно з епоксидами, швидкість фотополімеризації акрилатів вказують і літературні дані [14, 15]. Це призводить до того, що повільніший ріст епоксидної сітки виявляється обмеженим попередньо сформованою акрилатною сіткою [3, 4].

Епоксидні групи обох типів характеризуються нижчим ступенем перетворення, ніж подвійні зв'язки, при чому гірше реагують аліфа-

тичні епоксидні групи ( $\delta$  908  $\text{cm}^{-1}$ ). Це пов'язано з відмінностями у хімічній природі епоксигруп різних типів — конденсована з циклогексановим кільцем група характеризується значно більшим внутрішнім напруженням і, як наслідок, виявляє вищу реакційну здатність [16, 17]. До того ж відомо, що при фотополімеризації гліцидилові оксиранові кільця відрізняються тривалим індукційним періодом, а також, внаслідок своєї високої, порівняно із жорсткою аліцикличною структурою, рухливості, під час реакції можуть за допомогою водневих зв'язків утворювати із сусіднім атомом кисню, який входить до складу етерної групи, стабільне псевдо-п'ятичленне кільце, що призводить до зростання енергії активації реакції розкриття епоксидної групи [16].

Циклоаліфатичні оксиранові групи та подвійні зв'язки акрилату у складі композиції реагують інтенсивніше, ніж поодиночі — 80,5 % ступеня перетворення супроти 65 % за 20 хв УФ-опромінення. Це пов'язано з додатковим впливом фотоініціатора полімеризації епоксидів, здатним генерувати вільні радикали, і на протікання полімеризації акрилатів, з одного боку [18], та із сенсibiliзуювальним впливом радикалів на перебіг катіонної полімеризації — з другого [3]. Ще однією причиною такої поведінки олігомерів у суміші може бути сольубілізуювальна і пластифікуювальна дія другого олігомера на полімеризацію першого, яка полягає у зниженні в'язкості реакційного середовища і підвищенні рухливості реагентів [4, 18, 19]. Подібні ефекти спостерігали й інші дослідники, зокрема додавання акрилатної складової — гександіолдіакрилату — до епоксидованого поліізопрену пришвидшувало розкриття епоксидних циклів, внаслідок чого вдалося досягти однакової швидкості формування обох сіток [19, 20], а сумісна полімеризація 3,4-епоксициклогексилметил-3,4-епоксициклогексил-карбоксилату з гександіол-діакрилатом зумовила зростання ступеня перетворення подвійних зв'язків акрилату, але водночас — і зниження ступеня перетворення епоксидних груп внаслідок склування швидко сформованої акрилатної структури [20]. У літературі подаються й протилежні результати, які полягають у зниженні швидкостей і зростанні енергії активації при полімеризації в суміші, пояснених зниженням рухливості макроланцюгів внаслідок стеричних і в'язкісних обмежень [21].

Гліцидилові епоксидні групи в досліджуваній суміші полімеризуються майже так само, як і індивідуально — ступінь перетворення становить близько 33 і 35 % відповідно. Такий низький рівень конверсії епоксидних груп цього типу слід, окрім обмежень, зумовлених їхньою хімічною природою, пояснити високою в'язкістю реакційної системи, яка зростає в результаті швидшої полімеризації по більш реакційноздатним функціональним групам та утруднює дифузію олігомера. Наявність значної кількості непрореагованих епоксигруп цього типу спостерігали також і в інших роботах [7, 22].

Відомо, що ініціатор катіонної полімеризації ТСГФФ, окрім протонів при фотолізі утворює також і радикали, внаслідок чого може одночасно ініціювати полімеризацію як за катіонним, так і за вільнорадикальним механізмом [23]. Тому було досліджено можливість його використання для системи УП-650 Т і ТЕГДМ з масовим співвідношенням компонентів 50:50. Залежності ступеня перетворення функціональних груп від часу ( $\tau$ ) в таких умовах тверднення подано на рис. 4.

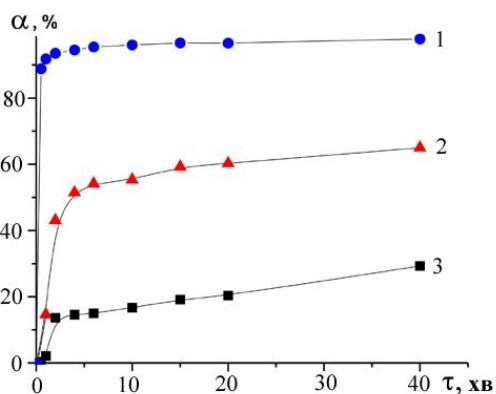


Рис. 4. Кінетичні залежності ступеня перетворення функціональних груп ВПС УП-650 Т : ТЕГДМ = 50:50 (3 % ТСГФФ): 1 — подвійних зв'язків  $1637\text{ см}^{-1}$ ; 2 — епоксидних груп  $803\text{ см}^{-1}$ ; 3 — епоксидних груп  $908\text{ см}^{-1}$ .

Наведені кінетичні залежності показують, що при використанні одного фотоініціатора подвійні зв'язки реагують так само інтенсивно, як і у системі з двома ініціаторами, а ступінь їх перетворення навіть зростає, сягаючи майже 98 %. Водночас ступінь перетворення епоксидних груп дещо знижується (65 і 30 % через 20 хв опромінення для епоксидних груп, сполучених з алі-

фатичним і циклоаліфатичним фрагментами молекули відповідно). Цей факт можна пояснити недостатньою кількістю ініціатора, який в першу чергу витрачається на ініціювання більш швидкого процесу вільнорадикальної полімеризації акрилату.

Щодо цих результатів у літературі також існують суперечливі відомості, оскільки в деяких експериментах [23, 24] було достатньо одного катіонного фотоініціатора, інколи його наявність була не лише економічно доцільною, а ще й технологічно бажаною внаслідок вирівнювання швидкості обох видів полімеризації і утворенню більш гомогенної структури [25], а в інших [2] — спостерігалось занадто повільне утворення радикалів при фотолізі ініціатора, швидкість і ступінь полімеризації виявлялись дуже низькими.

Під час експерименту були проведені ІЧ-спектроскопічні дослідження фотополімеризації епокси-акрилатних композицій на поверхні пластини NaCl, тобто у відкритій формі. Проте виявлено, що в отриманих ІЧ-спектрах суміші УП-650 Т : ТЕГДМ = 50:50 як з одним, так і з двома ініціаторами протягом 1 год УФ-опромінення і ще 30 хв термічного доотвердження майже не відбувалося помітних змін, а сам зразок залишався рідким. Це викликано інгібувальним впливом наявного у повітрі молекулярного кисню на вільнорадикальну полімеризацію [1, 26]. Кисень є бірадикалом, здатним гасити збуджений триплетний стан молекули фотоініціатора, зв'язувати високоенергетичні первинні радикали та реагувати як з радикалами, так і з макроланцюгом, який зростає, утворюючи стабільні та пасивні пероксидні радикали [1, 5]. Внаслідок цього виникає індукційний період, різко падає швидкість полімеризації, тонкі плівки не тверднуть взагалі, а товстіші характеризуються липкою поверхнею і неповним ступенем перетворення [1, 27]. Як відомо, збільшення товщини плівки є одним з визначальних факторів мінімізації інгібувального ефекту кисню [15], тому у тонкому шарі (технологічно необхідному для проведення ІЧ-спектроскопічного аналізу) зразок не полімеризувався, але у товстішому (160 мкм, на скляній підкладці) вдалося одержати плівки з досить високою часткою гель-фракції (78 % для композиції з двома фотоініціаторами і 80 % — з одним). Ці та інші результати екстракції плівок в ацетоні, сформованих на основі сумішей різного скла-

ду, як у відкритій (в. ф.), так і закритій (з. ф.) формах, наведені нижче:

ТЕГДМ (з. ф.)	99.45(0.5 % кеталь)	66.53(3 % ТСГФФ)
УП-650 Т : ТЕГДМ (25:75)	96.79(з. ф.)	28.73 (в. ф.)
УП-650 Т : ТЕГДМ (50:50)	96.21(з. ф.)	78.06 (в. ф.)
УП-650 Т : ТЕГДМ (50:50) (3 % ТСГФФ)	98.87(з. ф.)	80.45(в. ф.)
УП-650 Т : ТЕГДМ (75:25)	93.16(з. ф.)	90.55(в. ф.)
УП-650 Т (3 % ТСГФФ)	99.53(з. ф.)	99(в. ф.)

Отримані дані свідчать про високий ступінь отверднення усіх зразків, одержаних без доступу повітря, окрім ТЕГДМ, заполімеризованого при наявності одного ініціатора катіонної полімеризації (66.5 %), що означає неефективність його застосування у випадку окремої полімеризації акрилатів. При аналізі перебігу полімеризації у відкритій формі спостерігається обернено пропорційна залежність ступеня гел-фракції від вмісту акрилатної складової, що простежується на відповідному графіку (рис. 5).

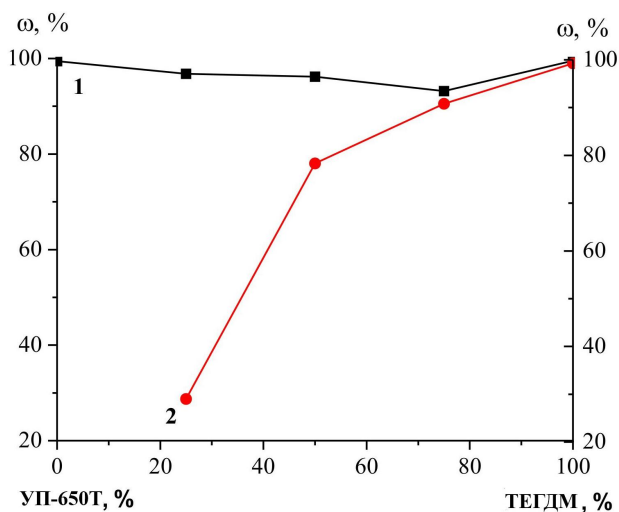


Рис. 5. Залежність вмісту гел-фракції ВПС від складу композицій: 1 — закриті форми; 2 — відкриті форми.

Примітно, що показники гел-фракції перевищують значення ступенів перетворення, розрахованих для окремих функціональних груп. Це може вказувати на наявність значної фізичної взаємодії — водневих зв'язків або вузлових переплетень між ланцюгами різних гомополімерів [28].

**ВИСНОВКИ.** В результаті проведених досліджень фотоініційованої полімеризації ВПС різного складу на основі епоксидної смоли УП-650 Т і акрилатної смоли ТЕГДМ виявлено, що полімеризація акрилатного компонента характеризується вищим ступенем перетворення, ніж полімеризація епоксидів. Показано, що ключове значення при цьому має природа епоксидних груп — пов'язані з циклоаліфатичним фрагментом епоксигрупи є більш реакційно здатними, ніж ті, що сполучені з аліфатичною. Встановлено, що ступінь перетворення як конденсованих з циклогексановим кільцем епоксидних груп у смоли УП-650 Т, так і подвійних зв'язків акрилату у суміші є вищим, ніж у вихідних речовинах. Виявлено, що полімеризація таких систем підлягає інгібувальній дії кисню, яка посилюється зі збільшенням вмісту акрилатної компоненти та зі зменшенням товщини плівки. Підтверджено, що для полімеризації даних епокси-акрилатних композицій достатньо використовувати один фотоініціатор ТСГФФ, спроможний викликати реакції як катіонної, так і радикальної полімеризації.

**РЕЗЮМЕ.** Исследованы особенности протекания УФ-инициированной полимеризации эпокси-акрилатных взаимопроникающих полимерных сетей (ВПС) и их исходных компонентов в разных условиях отверждения. Методом ИК-спектроскопии оценена степень превращения функциональных групп олигомеров, а с помощью экстракции — полнота их отверждения. Показано, что полимеризация акрилата происходит быстрее, чем эпоксида, а степень превращения функциональных групп компонентов в смеси выше, чем в исходных соединениях. Обнаружено, что вследствие ингибирующего действия кислорода эффективность полимеризации в открытой форме существенно зависит как от содержания акрилатной составляющей, так и от толщины пленки и является более низкой, чем в закрытой форме. Найдено, что присутствие в реакционной смеси эпоксидного олигомера снижает ингибирующее влияние кислорода и способствует полимеризации акрилата. Подтверждено, что данные эпокси-акрилатные ВПС способны эффективно образовываться в присутствии только фотоинициатора катіонной полимеризации.

**SUMMARY.** The specificities of UV initiated polymerization of epoxy-acrylate interpenetrating polymer networks (IPN) and their neat components in different curing conditions are studied. A degree of oligomers' func-

tional groups conversion was estimated by means of IR spectroscopy, and their curing completeness — by means of extraction. Acrylate polymerization was shown to proceed faster than epoxide polymerization, and a degree of components' functional groups conversion in a mixture — to be higher than those observed in neat substances. It was found that due to oxygen inhibition effect the effectiveness of polymerization in an open form, which is less than in a closed form, depends significantly on both acrylate component content and on a film thickness. The presence of epoxy oligomer in a mixture was shown to reduce the oxygen inhibition effect and to promote acrylate polymerization. It was confirmed that these epoxy-acrylate IPNs can be effectively formed in the presence of only cationic polymerization photoinitiator.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Cai Y., Jessop J.L.P.* // *Polymer*. -2006. -**47**, № 19. -P. 6560—6566.
2. *Decker C., Viet T.N.T., Decker D., Weber-Koehl E.* // *Ibid.* -2001. -**42**, № 13. -P. 5531—5541.
3. *De Brito M., Allonas X., Croutxe-Barghorna C. et al.* // *Prog. Org. Coat.* -2012. -**73**, № 2–3. -P. 186—193.
4. *Decker C., Viet T.N.T., Thi H.P.* // *Proc. RadTech Europe Conf.* -2001. -P. 213—220.
5. *Бабкин О.Э.* Полимерные покрытия УФ-отверждения. -СПб.: Изд-во СПбГУКИТ, 2012.
6. *Shichang L.W., Zhou W., Li S., Shi W.* // *Eur. Polym. J.* -2008. -**44**, № 6. -P. 1613—1619.
7. *Менджерес Г.Я., Дядюша А.Г., Ватулев В.Н. и др.* // *Журн. прикл. химии*. -1989. -**62**, № 10. -С. 2348—2352.
8. *Наканиси К.* Инфракрасные спектры и строение органических соединений. -М.: Мир, 1965.
9. *Serboli G.* // *Kunststoffe Plastics*. -1966. -**13**, № 4. -P. 150.
10. *Беллами Л.* Инфракрасные спектры сложных молекул. -М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
11. *Плиев Т.Н., Карнов О.Н.* Инфракрасные спектры и строение эпоксидов. -Минск: ВИНТИ, 1989.
12. *Смут А.* Прикладная ИК-спектроскопия / Пер. с англ. -М.: Мир, 1982.
13. *Decker C., Bendaikha T.* // *J. Appl. Polym. Sci.* -1998. -**70**, № 11. -P. 2269—2282.
14. *Udagawa A., Sakurai F., Takahashi T.* // *Ibid.* -1991. -**42**, № 7. -P. 1861—1867.
15. *Crivello J.V., Bulut U.* // *Macromolecules*. -2005. -**38**, № 9. -P. 3584—3595.
16. *Sangermano M., Bongiovanni R., Maluceli G., Priola A.* // *Surface Coatings Int., Pt B: Coatings Transactions*. -2005. -**88**, № 2. -P. 83—156.
17. *Samoilenko T.F., Iarova N.V., Menzheres G.Y., Brovko O.O.* // VI Int. conf. "Modern problems of physical chemistry". -Donetsk, 2013. -P. 150.
18. *Decker C., Decker D., Viet T.N.T., Xuan H.L.* // *Macromol. Symp.* -1996. -№ 102. -P. 63—71.
19. *Sangermano M., Carbonaro W., Malucelli G., Priola A.* // *Macromol. Mater. Eng.* -2008. -**293**, № 6. -P. 515—520.
20. *Lin M.-Sh., Wang M.-W.* // *Polym. Int.* -1999. -**48**, № 12. -P. 1237—1243.
21. *Клигштейн М.С., Менджерес Г. Я., Дегтярева А.А. и др.* // *Высокомолекуляр. соединения*. -1991. -**33**, № 5. -С. 973—978.
22. *Бровко О.О., Гончарова Л.А., Штомпель В.І. та ін.* // *Полімер. журн.* -2005. -**27**, № 1. -С. 45—50.
23. *Кочетов О.О., Бровко О.О., Сергеева Л.М.* // *Там же*. -2007. -**29**, № 1. -С. 24—29.
24. *Lecamp L., Pavillon C., Lebaudy P., Bunel C.* // *Eur. Polym. J.* -2005. -**41**, № 1. -P. 169—176.
25. *Voytekunas V.Yu., Ng F.L., Abadie M.J.M.* // *Ibid.* -2008. -**44**, № 11. -P. 3640—3649.
26. *Nowers J.R., Narasimhan B.* // *Polymer*. -2006. -**47**, № 4. -P. 1108—1118.
27. *Ritzenthaler S., Girard-Reydet E., Pascault J.P.* // *Ibid.* -2000. -**41**, № 16. -P. 6375—6386.

Інститут хімії високомолекулярних сполук  
НАН України, Київ

Надійшла 11.11.2013