

ХІМІЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ ВНАПУСТОК ЕПОКСИДНИХ ВІТРИМЕРІВ ТА ЇХ НАНОКОМПЗИТІВ

А.В. Вашук, С.І. Мотруніч, В.Л. Демченко, М.В. Юрженко, М.О. Ковальчук, Є.П. Мамуна

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

У даній роботі розроблено технологію хімічного зварювання внапусток полімерних матеріалів на основі епоксидних смол (прозора плівка) та їх наноккомпозитів з окисненим графеном (чорна плівка). Зварювання плівкових матеріалів завтовшки 0,5 мм внапусток проведено в умовах ізотермічного нагрівання 150 °С та тиску обмежувальної пластини. Вибір ефективного режиму зварювання проведено за різної тривалості зварювання: 30 та 60 хв. Механічні випробування одержаних зварних з'єднань показали їх міцність на рівні основного матеріалу. Особливості структурної організації зварних з'єднань композитів досліджено методом ширококутової рентгенівської дифракції. Хімічну структуру матеріалу зварних з'єднань досліджено Фур'є трансмісійною інфрачервоною спектроскопією. Моделювання напружень, які виникають в зразках напусткових зварних з'єднань, розраховувалося з використанням експериментально встановлених методом термічного механічного аналізу показників модуля пружності та коефіцієнта лінійного розширення. Бібліогр. 12, табл. 1, рис. 7.

Ключові слова: епоксидні наноккомпозити, окиснений графен, вітрімери, зварні з'єднання, хімічне зварювання

Вступ. Розробка матеріалів з пам'яттю форми, які здатні реагувати на зміни навколишнього середовища (температура, сила, електромагнітне поле, розчинник, вологість тощо) та коригувати механічні параметри (форма, положення, деформація тощо) для відновлення до вихідного стану, є важливим і актуальним напрямком розвитку будівельної техніки [1], конструкцій, які розгортаються в космосі [2], штучних м'язів [3], біомедичних пристроїв [4], сенсорів [5], перетворювачів енергії [6]. Вирішення цієї проблеми тісно пов'язане з використанням полімерів сітчастої структури, що пояснюється їх високою термостійкістю, фіксуною здатністю та швидкістю відновлення форми. Виготовлення конструкцій з ефектом пам'яті форм може бути спрощене застосуванням зварювання.

У випадку дифузійного зварювання різнорідних матеріалів необхідно враховувати особливості теплового впливу на кожен із зварювальних полімерних матеріалів. Сумісність комбінацій матеріалів визначається за відношенням їх коефіцієнтів лінійного розширення (a_1/a_2). Згідно літератури, висока міцність з'єднань, одержаних дифузійним зварюванням, може бути отримана лише в комбінаціях матеріалів, для яких $a_1/a_2 < 1,2$ [7], що суттєво обмежує можливість застосування зварювання.

На відміну від дифузійного зварювання, яке обумовлено силами міжмолекулярної взаємодії в зоні з'єднання, хімічне зварювання відбувається за рахунок взаємодії функціональних груп на контактуючих поверхнях з утворенням хімічних

зв'язків. Хімічне зварювання різних матеріалів в одну деталь доцільно для побудови більш складних і багатофункціональних конструкцій. Зокрема, одним з методів одержання термочутливих матеріалів з пам'яттю форми є з'єднання полімерних композитів з дискретними температурами склування. Таким чином, форма кожної деталі деформується та відновлюється за відповідних температур незалежно одна від одної [8]. Іншою стратегією перетворення плоских плівок у тривимірні структури є створення двошаровості з подальшим застосуванням зовнішніх подразників (фото-, хімічної або іншої обробки) [9, 10]. Нещодавно активні 3D-статичні структури були одержані хімічним зварюванням рідкокристалічних еластомерів на основі епоксидних смол та їх композитів з полідопаміном (ПДА) з їх подальшим двонаправленим розтягом [11]. Так, різниця у відповіді на NIR-опроміненні (1,0 Вт/см²) призвела до специфічної 3D деформації відповідно до візерунку: композит відновлює початкову довжину, тоді як прозора плівка не реагує на світло та залишається у видовженій формі, що змушує зразок згинатися на 90° (рис. 1, а). Подібним чином лінійний візерунок може керувати згином зразка у формі кругової дуги (рис. 1, б), спіралі (рис. 1, в), кігтів (рис. 1, г). Варто зазначити, що потрібні 2D-динамічні структури, які демонструють автоматичні оборотні зміни форми, зручні для транспортування та зберігання.

В даній роботі запропоновано технологію хімічного зварювання прозорих полімерних плівок на основі епоксидних смол та їх композитів з окисненим графеном, досліджено особливос-

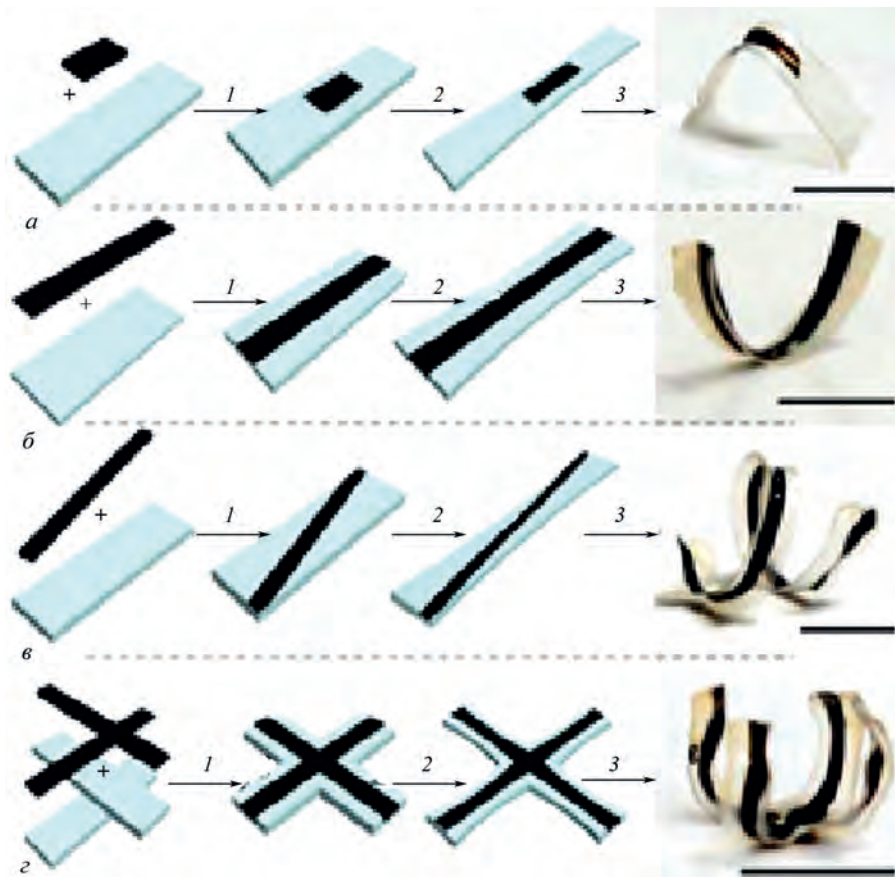


Рис. 1. Схематичні ілюстрації одержання зварних з'єднань та зображення відповідних 3D-структур: композитна плівка у центрі (а), посередині (б), по діагоналі (в), навхрест (г) [11]

ті структурної організації одержаних зварних з'єднань та встановлені їх механічні та термічні властивості.

Матеріали та методики досліджень. Дигліцидилового етеру бісфенолу А (4,4'-ізопропілідендифенол дигліцидиловий ефір, 2,2-біс[4-(гліцидилокси)феніл]пропан, ДГЕБА) з такими основними характеристиками: епоксидна еквівалентна маса 172...176, $M = 340,41$ г/моль, $\rho = 1,21$ г/мл за 25 °С.

Триметилпропан трис(3-меркаптопропіонату) (T_3M) з такими основними характеристиками: $\geq 95,0$ %, $T_k = 220$ °С/0,3 мм. Нг, $n_{20D} = 1,518$, $M = 398,56$ г/моль, $\rho = 1,16$ г/мл за 25 °С.

2-етилгексаноат олова (II) (октоат олова, сіль олова (II) 2-етилгексаноевої кислоти, олова(II) 2-етилгексаноат, $Sn(Oct)_2$) з такими основними характеристиками: 92,5...100,0 %, $n_{20D} = 1,493$, $M = 405,12$ г/моль, $\rho = 1,251$ г/мл за 25 °С.

Окиснений графен (ОГ). Наночастинки окисненого графену представляли собою блоки з 15...20 слабкоз'язаних графенових шарів з такими основними характеристиками: 4...10 % окислених країв (епоксидні, карбонільні, гідроксильні, фенольні групи), $\rho = 1,8$ г/см³. Детальна структура ОГ все ще не зрозуміла через нерегулярне накладання шарів.

Прозорі полімерні плівки (полі(ДГЕБА/ T_3M)) одержано термічним твердненням ДГЕБА та

T_3M за рівного молярного співвідношення тіольних та епоксидних груп в присутності 5,0 мас.% $Sn(Oct)_2$. Композитні плівки (полі(ДГЕБА/ T_3M)/ОГ) одержані з додаванням до одержаної суміші ОГ з концентрацією наповнення у 1,0 мас.% [12]. Змішування сумішей проводили в ультразвуковій бані ВАКУ ВК-2000 за частоти 44 Гц та 50 °С впродовж 30 хв. Полімеризацію сумішей проводили в умовах ступінчатого ізотермічного нагрівання: 120, 150 °С/2 год. Товщина одержаних полі(ДГЕБА/ T_3M) та полі(ДГЕБА/ T_3M)/ОГ плівок становила 0,5 мм.

Випробування на статичний одновісний розтяг проводилося відповідно до стандарту ISO 527 на модернізованій розривній машині 2054 P-5, обладнаній тензодатчиком 500N. Попередньо зразки були вирізані у формі смужок довжиною 60 мм та шириною 25 мм. Зразки плівкових матеріалів та зварних з'єднань були випробувані зі швидкістю 2 мм/хв і контролю температури (25 °С). Модуль Юнга E для кожного зразка розраховували як нахил кривої деформування σ - ϵ між 0,25 та 0,5 % деформації ϵ . Видовження при розриві визначали як значення деформації при зниженні напруження до 10 % від максимального значення міцності. Напруження при руйнуванні для основного матеріалу та зразків напусткових зварних з'єднань визначали за формулою:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S_c},$$

де σ_p – напруження при руйнуванні, МПа; P_p – навантаження при руйнуванні, Н; S_c – площа поперечного перерізу в місці руйнування, мм².

Морфологічні особливості шліфів зварних з'єднань проводили з використанням мікроскопа Versamet-2 в режимі просвічування у відповідності до ДСТУ EN12814–5:2018. Фіксація отриманих результатів здійснювалася за допомогою цифрової фотокамери, якою обладнаний мікроскоп.

Особливості структурної організації плівок полі(ДГЕБА/Т₃М) та полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ, а також зварних з'єднань на їх основі досліджено методом ширококутової рентгенографії на дифрактометрі XRD-7000 (Shimadzu, Японія), рентгенооптична схема якого виконана за методом Дебая–Шеррера на проходження первинного пучка через досліджуваній зразок, з використанням CuK_α -випромінювання ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) і графітового монохроматора. Дослідження проведено методом автоматичного покрокового сканування в режимі 30 кВ на 30 мА в інтервалі кутів розсіювання (2θ) від 3,0 до 55° за часу експозиції 5 с. Температура проведення досліджень становила $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначення середньої відстані між молекулярними шарами в аморфних полімерах (d) виконували згідно з рівнянням Вульфа–Брегга:

$$d = n\lambda(2 \sin \theta_m)^{-1},$$

де n – порядковий номер дифракційного максимуму (в дослідженнях усіх типів полімерів дорівнює одиниці, оскільки структура високомолекулярних сполук має релаксаційний характер); λ – довжина хвилі характеристичного рентгенівського випромінювання ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ для CuK_α -випромінювання); θ_m – кутове положення дифракційного максимуму на профілі розсіювання.

Хімічну структуру зварних з'єднань досліджували Фур'є трансмісійною інфрачервоною спектроскопією (ФТІЧ) з використанням спектрометра Tensor 37 виробництва компанії Bruker в діапазоні частот 4000...600 cm^{-1} . Для кожного спектра усереднено 32 послідовних скани з розподільною здатністю 4 cm^{-1} . Як внутрішній стандарт використовували інтенсивність смуги поглинання з максимумом за 1607 cm^{-1} , яка відповідає коливанням фенільних груп.

Для оцінки можливих деформацій та напружень при нагріванні зразків були проведені додаткові дослідження напружено-деформованого стану зразків основного матеріалу (полі(ДГЕБА/Т₃М) та полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ) та зварних з'єднань, які проводилися за допомогою пакету програм скінченно-елементного аналізу ANSYS19.1. Мо-

делювання проводили при нагріванні зразків від 40 до 100 $^\circ\text{C}$. Вихідними даними для розрахунку НДС були прийняті експериментально встановлені значення модуля пружності та коефіцієнта температурного лінійного розширення, одержані методом термічного механічного аналізу. Модель зразка розміром 60×10×0,5 розбивалася на просту гексогональну скінченно-елементну сітку з розміром елемента 0,25 мм.

Експериментальна частина та обговорення.

Хімічне зварювання внапусток полі(ДГЕБА/Т₃М) та полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ проводили термомеханічним методом в умовах ізотермічного нагрівання за 150 $^\circ\text{C}$ та тиску обмежувальної пластини, вкритої антиадгезійною плівкою в термічній камері MTS651.06E-04 Environmental Chamber (США). Вибір ефективного режиму зварювання проводили на основі зміни тривалості процесу зварювання. Було розглянуто два сценарії витримки: 30 та 60 хв. Схема формування напусткового зварного з'єднання представлена на рис. 2, а. Підведення енергії в зону з'єднання шляхом термічного нагрівання забезпечило формування з'єднання товщиною 1,0 мм. Первинний контроль якості з'єднання візуальним оглядом показав відсутність дефектів, а саме зміни кольору, витіснення ОГ назовні, а також слідів пропалів, пор та раковин (рис. 2, б). Варто зазначити, що переходу полі(ДГЕБА/Т₃М) та полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ у в'язко-плинний стан під час зварювання не відбувалося, що підтверджується стабільністю їх розмірів та відсутністю деформацій після формування з'єднання (рис. 2, б).

Для оцінки фізико-механічних властивостей одержаних полі(ДГЕБА/Т₃М) та полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ плівок, а також їх напусткових зварних з'єднань було проведено комплекс

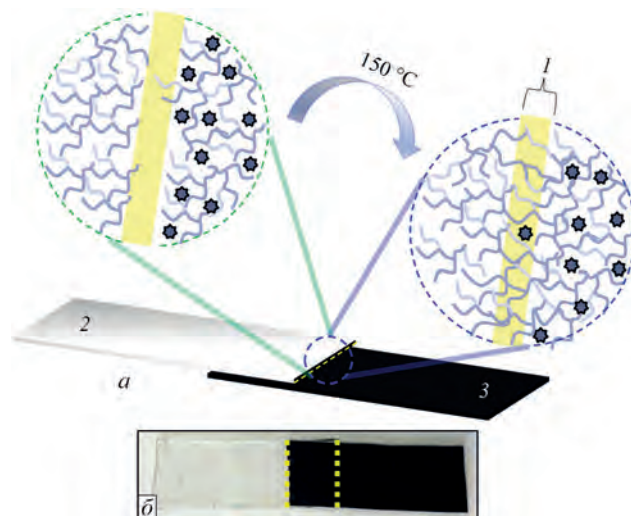


Рис. 2. Схематичне зображення відновлення структури матеріалу в зоні шва під час хімічного зварювання (а): 1 – зона шва; 2 – прозора плівка; 3 – композит; б – зовнішній вигляд одержаного напусткового зварного з'єднання

Міцність одержаних плівок та їх зварних з'єднань

Зразок	Режим зварювання		σ_p , МПа	Руйнування
	T , °C	t , хв		
полі(ДГЕБА/Т ₃ М)	–	–	18,1...19,9	–
полі(ДГЕБА/Т ₃ М)/ОГ	–	–	20,1...22,4	–
Зварне з'єднання	150	30	8,1...9,5	Шов
		60	12,1...13,5	Основний матеріал полі(ДГЕБА/Т ₃ М)

випробувань та досліджень. Встановлено, що руйнування зварних з'єднань, одержаних впродовж 30 хв, відбувається по зварному шву за 8,1...9,5 МПа (таблиця). Водночас зі збільшенням тривалості зварювання до 60 хв руйнування зварних з'єднань відбувається по основному матеріалу полі(ДГЕБА/Т₃М), за межами зварного з'єднання. Варто зазначити, що у даному випадку σ_p зварних з'єднань знаходиться на рівні основного матеріалу полі(ДГЕБА/Т₃М).

Проведені дослідження макроструктури експериментальних зварних з'єднань дозволили встановити відсутність жодних ознак інтерфаз (рис. 3). Отже, під час хімічного зварювання утворення самостійної неперервної фази, яка за своїми властивостями відрізнялась би від властивостей основних матеріалів полі(ДГЕБА/Т₃М) та полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ не спостерігається.

Аналіз ширококутових рентгенівських дифрактограм (рис. 4), показав, що зварне з'єднання характеризується лише ближнім упорядкуванням при трансляції в просторі фрагментів міжвузлових молекулярних ланок. Про це свідчить прояв на дифрактограмі одного дифракційного максимуму дифузного типу (аморфне гало) з кутовим положенням $2\theta_m$ близько 18,8°. Разом з тим середня відстань між шарами міжвузлових молекулярних ланок в зварному з'єднанні згідно з рівнянням Брегга становить 2,5 Å. Водночас, порівняно з основним матеріалом оптично прозорої (рис. 4, крива 2) та композитної плівки (рис. 4, крива 3) на дифрактограмі зразка шва (рис. 4, крива 1) зміщення дифракційного максимуму дифузного типу не фіксується. Це вказує на те, що внаслідок формування зварного шва середня відстань між шарами молекулярних ланок не змінюється.

Як і очікувалося, на ФТІЧ-спектрах зони шва (рис. 5, крива 1) зафіксовано смуги поглинання 3441, 1735, 1607, 1509, 1244, 1032, 825 см⁻¹, типові для основного матеріалу полі(ДГЕБА/Т₃М). Спектри полі(ДГЕБА/Т₃М) (рис. 5, крива 2) та полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ (рис. 5, крива 3) використано для порівняння. Варто відмітити, що відсутність на спектрі зони шва (рис. 5, крива 1) мультиплетних піків в діапазоні частот 500...400 см⁻¹ (характерні для полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ) підтверджує формування шва, який за хімічною структурою ідентичний полі(ДГЕБА/Т₃М).

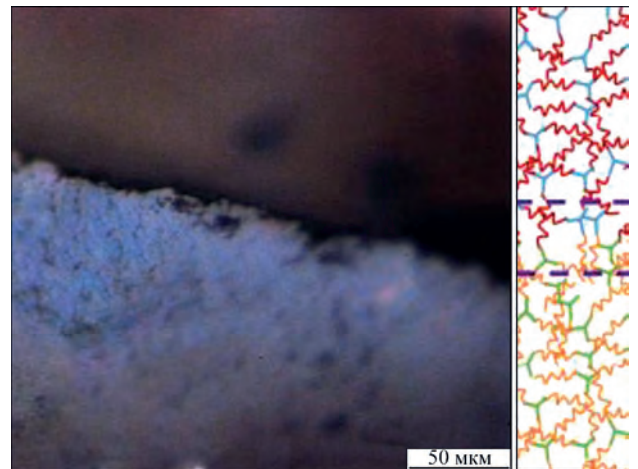


Рис. 3. Оптична фотографія шліфів зварних з'єднань

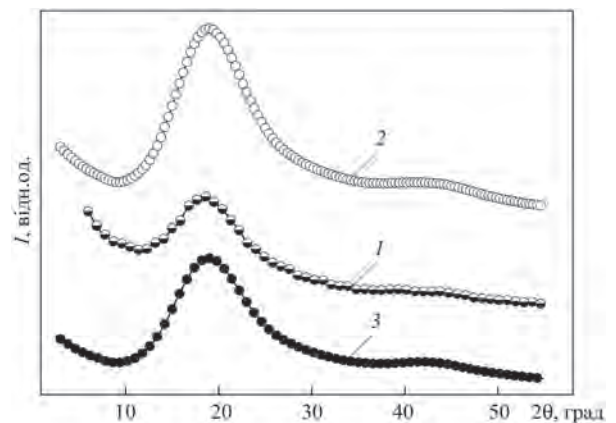


Рис. 4. Ширококутові рентгенівські дифрактограми зварного з'єднання: зона шва (1); полі(ДГЕБА/Т₃М) (2); полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ (3)

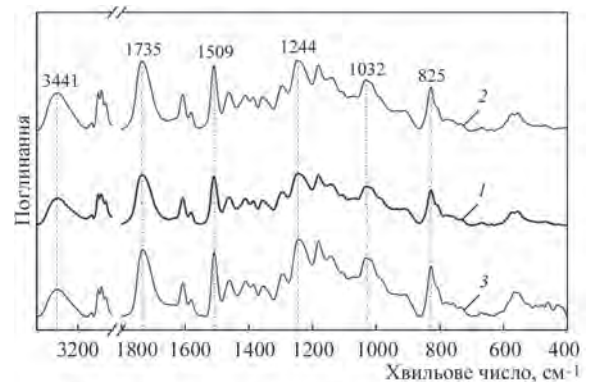


Рис. 5. Типові ФТІЧ спектри зварного з'єднання: зона шва (1); полі(ДГЕБА/Т₃М) (2); полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ (3)

На рис. 6, 7 приведені результати розрахунків напружень, що виникають в зразках напусткових зварних з'єднань при їх нагріванні від 40 до 100 °C (розрахункові моделі I та моделі II). Показано, що

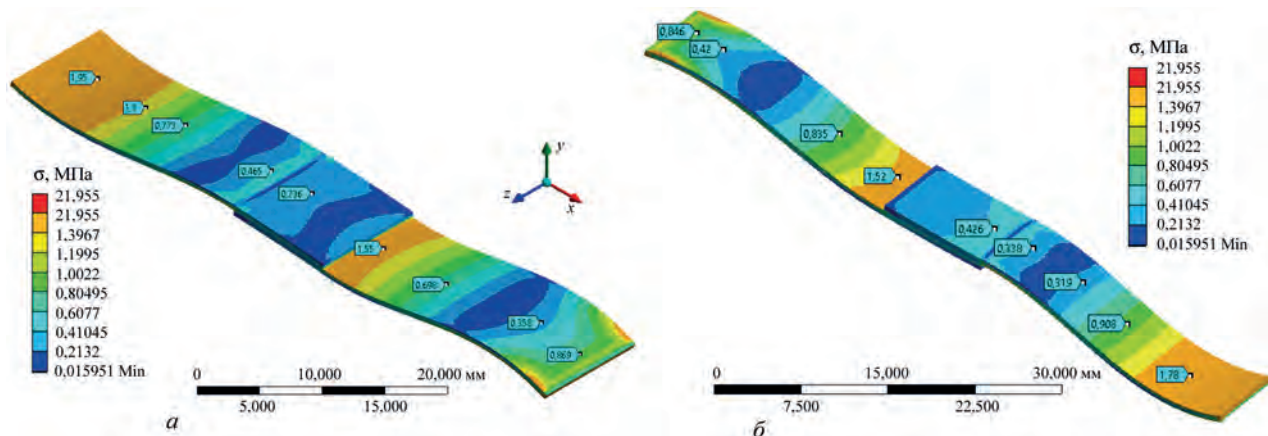


Рис. 6. Напруження, що виникають в зразку напусткового зварного з'єднання при розрахунковій моделі I (ліва частина полі(ДГЕБА/Т₃М), права частина полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ)) при його нагріванні від 40 до 100 °С (маркери вказують напруження на поверхні); а – вид зверху; б – знизу

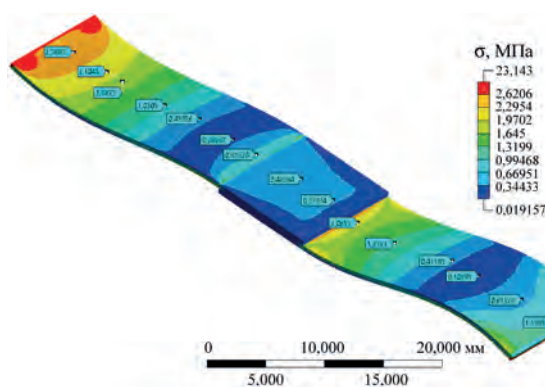


Рис. 7. Напруження, що виникають в зразку напусткового зварного з'єднання при розрахунковій моделі II (ліва частина полі(ДГЕБА/Т₃М), середня частина з властивостями, встановленими для зони шва, права частина полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ)) при його нагріванні від 40 до 100 °С (маркери вказують напруження на поверхні)

напруження, що виникають в моделі I (ліва частина полі(ДГЕБА/Т₃М) та права частина полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ) досягають близько 1,95 МПа, а в розрахунковій моделі II (ліва частина полі(ДГЕБА/Т₃М), середня частина з властивостями, встановленими для зони шва, та права частина полі(ДГЕБА/Т₃М)/ОГ) складають 2,36 МПа, на однаковій відстані від місця закріплення.

Висновки

Хімічне зварювання різних матеріалів в одну деталь доцільно для побудови більш складних і багатофункціональних конструкцій. У даній роботі наведено результати досліджень щодо розробки технології хімічного зварювання прозорих полімерних плівок на основі епоксидних смол (прозора плівка) та їх композитів, наповнених 1,0 мас.% окисненого графену (чорна плівка). Дослідження показали, що прогріву за 150 °С протягом 60 хв загалом достатньо для утворення якісного зварного з'єднання. Візуальний огляд зварних швів показав відсутність зміни кольору, витіснення окисненого графену назовні, а також слідів пропалів, пор та раковин на поверхні зварного з'єд-

нання, що забезпечує герметичність та механічні характеристики зварного з'єднання. Дослідження фізико-механічних властивостей зварних з'єднань, одержаних при 60-хвилинній тривалості зварювання показали, що руйнування відбувається за межами зварного з'єднання зі сторони матеріалу прозорої плівки, а межа міцності відповідно знаходиться на рівні 12,1...13,5 МПа. При цьому напусткове зварне з'єднання лишається практично неушкодженим. Дослідження макроструктури експериментальних зварних з'єднань показало, що зображення поверхні одержаних швів не відображають утворення самостійної неперервної інтерфазы. ФТІЧ спектральні дослідження дозволили встановити повну відповідність між спектрами зони шва та прозорі полімерної плівки. Встановлено, що під час формування зварного шва середня відстань між шарами молекулярних ланок не змінюється, що підтверджено результатами ширококутової рентгенографії. Дослідження напружено-деформованого стану при підвищених температурах простих зварних полімерних виробів з використанням отриманих значень коефіцієнтів лінійного розширення методом скінченних елементів показало, що напруження, які виникають в розрахунковій моделі I, досягають близько 1,95 МПа, тоді як в розрахунковій моделі II – 2,36 МПа, на однаковій відстані від місця закріплення.

Дослідження виконані в рамках проекту дослідницьких лабораторій молодих вчених НАН України № 11/01–2021(2) для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки у 2020–2021 рр. (програма № 6541230).

Список літератури/References

- Zheng, Y. Dong, Y.H. Li (2018) Resilience and life-cycle performance of smart bridges with shape memory alloy (SMA)-cable-based bearings, *Construct. Build. Mater.*, 158, 389–400.
- Li, F., Liu, Y.J., Leng, J.S. (2019) Progress of shape memory polymers and their composites in aerospace applications. *Smart Mater. Struct.*, 28, 103003.

3. Yuan, J.K., Neri, W., Zakri, C. et al. (2019) Shape memory nanocomposite fibers for untethered high-energy microengines. *Science*, 365, 155–158.
4. Shin, Y.C., Lee, J.B., Kim, D.H. et al. (2019) Development of a shape-memory tube to prevent vascular stenosis. *Advanced Materials*, 31, 1904476.
5. Li, Z., Qi, X.M., Xu, L. et al. (2020) A self-repairing, large linear working range shape memory carbon nanotubes/ethylene vinyl acetate fiber strain sensor for human movement monitoring. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 12 (37), 42179–42192.
6. Xu, W., Wong, M.C., Guo, Q.Y. et al. (2019) Healable and shape-memory dual functional polymers for reliable and multipurpose mechanical energy harvesting devices. *J. Mater. Chem.* 7, 16267–16276.
7. Волков С.С. (2001) *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия.
Volkov, S.S. (2001) *Welding and adhesive bonding of polymer materials*. Moscow, Khimiya [in Russian].
8. Ji, F., Liu, X., Sheng, D., Yang, Y. (2020) Epoxy-vitrimer composites based on exchangeable aromatic disulfide bonds: Reprocessibility, adhesive, multi-shape memory effect. *Polymer*, 197, 122514.
9. Na, J.H., Evans, A.A., Bac, J. et al. (2015) Programming reversibly self-folding origami with micropatterned photocrosslinkable polymer trilayers. *Advanced Materials*, 27, 79–85.
10. Silverberg, J.L., Evans, A.A., McLeod, L. et al. (2014) Using origami design principles to fold reprogrammable mechanical metamaterials. *Science*, 345, 647–650.
11. Li, Z., Yang, Y., Wang, Z. et al. (2017) Polydopamine nanoparticles doped in liquid crystal elastomers for producing dynamic 3D structures. *Journal of Materials Chemistry A*, 5, 6740–6746.
12. Вашук А.В., Мотруніч С.І., Демченко В.Л., Юрженко М.В. (2022) Хімічне зварювання нанокompозитів на основі епоксидної смоли та окисненого графену. *Автоматичне зварювання*, 4, 50–53. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2022.04.07>
Vashchuk, A.V., Motrunich, S.I., Demchenko, V.L., Iurzhenko, M.V. (2022) Chemical welding of nanocomposites based on epoxy and oxidized graphene. *The Paton Welding J.*, 4, 50–53. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2022.04.07>

CHEMICAL OVERLAP WELDING OF EPOXY VITREMERS AND THEIR NANOCOMPOSITES

A.V. Vashchuk, S.I. Motrunich, V.L. Demchenko, M.V. Yurzhenko, M.O. Kovalchuk, E.P. Mamunya
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

In this work, the technology of chemical overlap welding of polymer materials based on epoxy resins (transparent film) and their nanocomposites with oxidized graphene (black film) was developed. The welding of film materials with a thickness of 0.5 mm was carried out under the conditions of isothermal heating of 150 °C and pressure of the limiting plate. The selection of an effective welding mode was carried out at different durations of welding: 30 and 60 min. Mechanical tests of the produced welded joints showed their strength at the level of the base material. Features of the structural organization of welded joints of composites were investigated by the method of wide-angle X-ray diffraction. The chemical structure of the material of welded joints was investigated by the Fourier transmission infrared spectroscopy. Modeling of stresses that occur in the specimens of welded joints was calculated using the values of the modulus of elasticity and the coefficient of linear expansion, experimentally found by the method of thermal mechanical analysis. 12 Ref., 1 Tabl., 7 Fig.

Key words: epoxy nanocomposites, oxidized graphene, vitremers, welded joints, chemical welding

Надійшла до редакції 11.05.2022

WORLD TRADE FAIR FOR WELDING ENGINEERING —
JOINING, CUTTING, SURFACING

LET'S JOIN
THE WORLD!

11. – 15. September, 2023

REGISTER NOW!

SCHWEISSEN & SCHNEIDEN
No. 1
IN THE WORLD

MESSE
ESSEN

DVS GERMAN WELDING SOCIETY

www.schweissen-schneiden.com