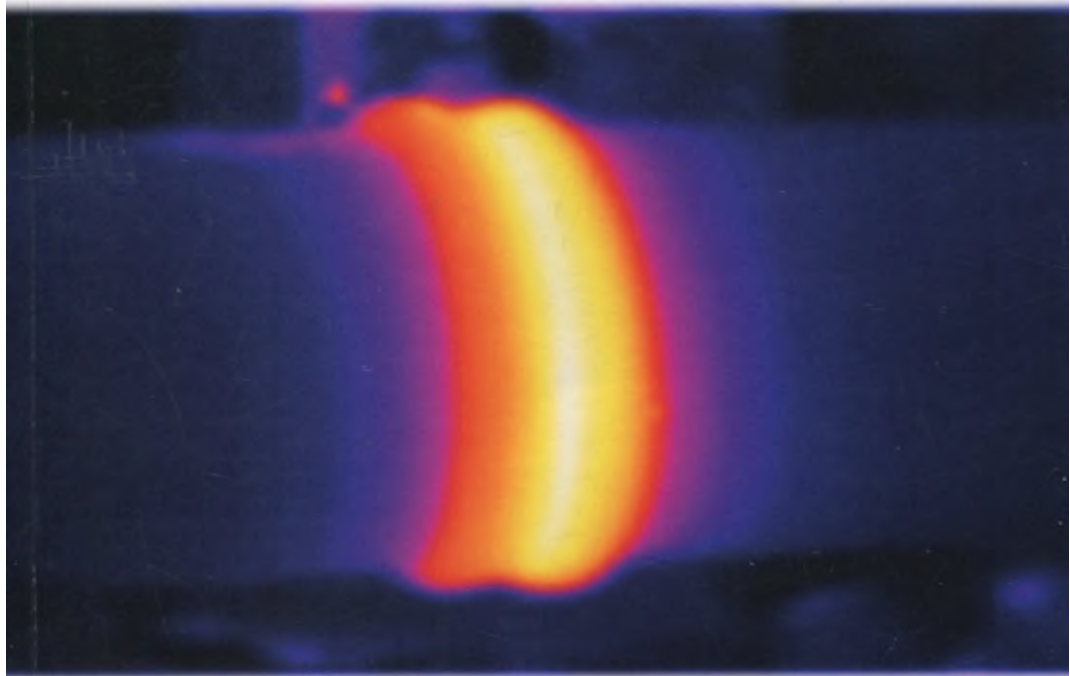


621.791

М.В. Юрженко М.Г. Кораб

Ю69

# ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЛАСТМАС



Монографія



M. V. Iurzhenko M. G. Korab

---

# WELDING OF HIGH-TECH PLASTICS

Monograph

*Stereotype edition*



Sumy  
University Book  
2025

М. В. Юрженко М. Г. Кораб

---

# ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОПЧНИХ ПЛАСТМАС

Монографія

*Стереотипне видання*



Суми  
Університетська книга  
2025

УДК 621.791:678.029.43

ББК 30.4+30.68

Ю 70

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України. Протокол № 7 від 27.12.2016.

Рецензенти:

КУЗНЕЦОВ В. Д., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерії поверхні зварювального факультету НТУУ «КПІ»;

МАМУНЯ Є. П., докт. фіз.-мат. наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України

Ця монографія є у відкритому доступі, що означає можливість вільно читати, друкувати, розповсюджувати (цілком або частково) за обов'язкової умови, що на оригінальне джерело буде зроблено посилання. Копіювання і розповсюдження без посилання на монографію, як на оригінальне джерело, є забороненим.

Друкується в авторській редакції. За достовірність матеріалу, який викладено у монографії, читання оригінальних джерел, оформлення тексту і рисунків, точність і стиль викладення відповідальність покладається на авторів.

### **Юрженко М. В.**

Ю 70 Зварювання високотехнологічних пластмас: монографія / М. В. Юрженко, М.Г. Кораб. — Суми: Університетська книга, Стереотип., 2025. — 319 с.

ISBN 978-966-680-809-0

Монографія присвячена науково-технічним та промислово-виробничим розробкам, дослідженням та випробовуванням в галузі зварювання високотехнологічних, насамперед термостійких полімерів, полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) на їх основі та виробів з них. На прикладі двох високотехнологічних термостійких полімерів, а саме напівкристалічного поліетеретеркетону (РЕЕК) та аморфного поліетеріміду (PEI) та ПКМ на їх основі розроблено та відпрацьовано базові принципи і технологічні підходи до зварювання високотехнологічних пластмас з використанням теплового, терморезисторного (закладним елементом) та ультразвукового зварювання. Розроблені технологічні рекомендації апробовані на низці високотехнологічних пластмас іншої хімічної будови, за результатами випробувань підтверджено можливість їх застосування при зварюванні виробів з високотехнологічних- насамперед, термостійких пластмас, у т. ч. складних геометричних форм.

Монографія призначена для інженерного, технологічного та технічного персоналу науково-виробничих підприємств, науковців, аспірантів і студентів фізико-технічних спеціальностей.

УДК 621.791:678.029.43

ББК 30.4+30.68

© М. В. Юрженко, М. Г. Кораб, 2025

© ТОВ «ВТД “Університетська книга”

2025

ISBN 978-966-680-809-0

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b> .....	10
<b>ВСТУП</b> .....	12
<b>РОЗДІЛ 1. ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНІ ПОЛІМЕРИ ТА</b>	
<b>КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ЇХ ОСНОВІ</b> .....	16
1.1. Види високотехнологічних термопластичних полімерів та їх загальні властивості.....	16
1.1.1. Елементоорганічні термостійкі полімери.....	19
1.1.2. Високотехнологічні полімери на основі модифікованого поліетилену.....	23
1.1.3. Високотехнологічні ариленові полімери.....	25
1.1.3.1. Поліфеніленсульфіди.....	28
1.1.3.2. Полііміди.....	29
1.1.3.3. Поліетеріміди.....	31
1.1.3.4. Полісульфони.....	34
1.1.3.5. Поліетеркетони.....	35
1.2. Полімерні композиційні матеріали на основі високотехнологічних полімерів та їх практичне застосування.....	39
1.2.1. ПКМ на основі поліфеніленсульфіду (PPS).....	46
1.2.2. ПКМ на основі полііміду (PI).....	48
1.2.3. Поліетерімід (PEI) та ПКМ на його основі.....	50
1.2.4. Полісульфони (PSU, PES, PPSU) та ПКМ на їх основі.....	53
1.2.5. Поліетеретеркетон (PEEK) та ПКМ на його основі.....	55
1.2.6. Препреги.....	59
1.2.7. Характеристики високотехнологічних ПКМ ZX-324 на основі PEEK та ПКМ ZX-410 на основі PEI.....	65
1.3. Дослідження теплофізичних властивостей новітніх високотехнологічних ПКМ.....	69

1.3.1. Температурна поведінка коефіцієнту теплопровідності високотехнологічних ПКМ.....	69
1.3.1.1. Методика та обладнання для визначення коефіцієнту теплопровідності високотехнологічних ПКМ.....	70
1.3.1.2. Експериментальні результати вимірювань коефіцієнту теплопровідності високотехнологічних ПКМ.....	73
1.3.2. Теплові процеси в високотехнологічних ПКМ.....	79
1.3.2.1. Методика та обладнання для вивчення теплових процесів в високотехнологічних ПКМ.....	79
1.3.2.2. Експериментальні результати дослідження теплових процесів в високотехнологічних ПКМ.....	80
1.3.3. Термодеструкція та термостабільність високотехнологічних ПКМ.....	82
1.3.3.1. Методика та обладнання для дослідження термодеструкції та термостабільності високотехнологічних ПКМ .....	82
1.3.3.2. Експериментальні дослідження термоокислювальної деструкції та термостабільності високотехнологічних ПКМ.....	84
1.3.4. Термомеханічна поведінка високотехнологічних ПКМ....	86
1.3.4.1. Методика та обладнання для дослідження термомеханічної поведінки високотехнологічних ПКМ.....	86
1.3.4.2. Експериментальні дослідження термомеханічної поведінки високотехнологічних ПКМ.....	87
1.3.4.3. Температурні залежності повзучості та релаксації напруження високотехнологічних ПКМ.....	93
1.4. Опис основних способів зварювання, що застосовують при виготовленні конструкцій з високотехнологічних пластмас.....	101

**РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВАРЮВАНОСТІ, РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ТЕРМОРЕЗИСТОРНОГО ЗВАРЮВАННЯ НОВИХ ПКМ НА ОСНОВІ ВИСО-**

<b>КОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОЛІМЕРІВ.....</b>	<b>109</b>
2.1. Технології терморезисторного зварювання високотехнологічних ПКМ.....	109
2.2. Математичне моделювання термічних процесів при терморезисторному зварюванні високотехнологічних ПКМ.....	118
2.3. Експериментальні дослідження процесу терморезисторного зварювання високотехнологічних ПКМ.....	132
2.3.1. Основні параметри закладних елементів, які виготовлені з плетеної металевої сітки.....	135
2.3.2. Дослідження теплових процесів при терморезисторному зварюванні високотехнологічних ПКМ.....	145
2.3.3. Експериментальні дослідження міцнісних характеристик терморезисторних зварних швів високотехнологічних ПКМ .....	158
2.4. Технологічних рекомендацій з терморезисторного зварювання високотехнологічних ПКМ.....	172
2.4.1. Технологічні рекомендації з терморезисторного зварювання високотехнологічних ПКМ на основі поліетеріміду (PEI).....	173
2.4.2. Технологічні рекомендації з терморезисторного зварювання високотехнологічних ПКМ на основі поліетеретеркетону(PEEK).....	175
2.4.3. Дослідне випробування розроблених технології та технологічних рекомендацій.....	176
<b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВАРЮВАНOSTI, РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО ЗВАРЮВАННЯ НОВИХ ПКМ НА ОСНОВІ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОЛІМЕРІВ.....</b>	<b>185</b>
3.1. Технології зварювання нагрітим інструментом встик високотехнологічних полімерів та ПКМ на їх основі, визначення	

меж варіювання основних параметрів технологічного процесу зварювання.....	185
3.2. Моделювання термомеханічних процесів при зварюванні нагрітим інструментом встик високотехнологічних ПКМ.....	194
3.3. Дослідження впливу основних параметрів режиму зварювання нагрітим інструментом на морфологію та міцнісні характеристики зварних з'єднань високотехнологічних ПКМ.....	210
3.3.1. Експериментальне обладнання для зварювання нагрітим інструментом високотехнологічних ПКМ.....	210
3.3.2. Дослідження теплових процесів при зварюванні нагрітим інструментом встик високотехнологічних ПКМ.....	220
3.3.3. Експериментальні дослідження морфології та міцнісних характеристик зварних з'єднань високотехнологічних ПКМ при стиковому зварюванні нагрітим інструментом.....	230
3.3.4. Дослідне зварювання нагрітим інструментом плівкових матеріалів з високотехнологічних полімеру ЕТБЕ класу поліолефінів.....	246
3.4. Розробка макетів обладнання та технологічних рекомендацій для зварювання нагрітим інструментом встик виробів з високотехнологічних ПКМ.....	251
<b>РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВАРЮВАНOSTI, РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ НОВИХ ПКМ НА ОСНОВІ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОЛІМЕРІВ.....</b>	<b>263</b>
4.1. Технології ультразвукового зварювання високотехнологічних ПКМ, визначення меж варіювання основних параметрів технологічного процесу зварювання.....	263
4.2. Математичне моделювання термомеханічних процесів при УЗ зварюванні високотехнологічних ПКМ.....	270

4.3. Експериментальне дослідження впливу основних параметрів режиму УЗ зварювання на морфологію та міцнісні характеристики зварних з'єднань високотехнологічних ПКМ.....	283
<b>ЗАКЛЮЧЕННЯ</b> .....	293
<b>ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	299
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЗНИК</b> .....	315