

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона

На правах рукопису

**ШАДРІН**  
*Андрій Олександрович*

УДК 621.791.01:678.029 43

ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ  
ТА ОСОБЛИВОСТІ МІКРОСТРУКТУРИ  
ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ  
ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

05.03.06 —

технологія та машини зварювального виробництва

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Київ 1994

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано в Інституті електрозварювання ім.Б.О.Патона  
НАН України

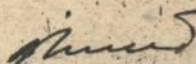
Науковий керівник: член-кореспондент НАН України, доктор  
технічних наук ЛОВАНОВ Л.М.  
Науковий консультант: завідувачий відділом, кандидат технічних  
наук КОРАБ Г.М.  
Офіційні вчені: доктор техн.наук ДЕМЧИШИН А.В.,  
канд.фіз.-мат.наук ТАНЦЕРА Т.П.  
Провідна організація: Інститут Укрвотобуспром, м.Львів

Захист дисертації відбудеться " 23 " листопада 1994 року  
о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради КО16.06.01  
по захисту дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата техніч-  
них наук при Інституті електрозварювання ім.Б.О.Патона НАН України  
за адресою: 252650, Київ, вул.Горького,69.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту електро-  
зварювання ім.Б.О.Патона.

Автореферат розіслано " 23 " листопада 1994 року.

Вчений секретар спеціалізова-  
ної вченої ради,  
канд.техн.наук

 В.М. НЕСТЕРЕНКО

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00755869 (/)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Полімери, зокрема термопласти, та термопластичні композиційні матеріали /ТКМ/ здобувають все ширше використання в різноманітних галузях народного господарства. Чим далі ширше ці матеріали застосовуються в вузлах та конструкціях, що потребують зварювання. Це особливо стосується таких галузей як авіа- та автомобілебудування, електротехніка, електроніка, будівництво та ін. Створення надійних в експлуатації з'єднань потребує розробки відповідних зварювальних технологій та обладнання. Для цього, в свою чергу, конче необхідним є глибоке розуміння процесів, що відбуваються на мікроскопічному рівні під час процесу зварювання. Встановлення та дослідження цього мікромеханізму можливе лише засобами оптичної та електронної мікроскопії. В цьому зв'язку актуальним є вивчення можливості застосування методів сучасної пластмасографії для досліджень мікроструктури ТКМ та їхніх зварних з'єднань.

Мета роботи полягає в розробці технології зварювання деталей та конструкції з термопластичних композиційних матеріалів з дисперсними та безперервними армуючими компонентами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Встановити молекулярний механізм з'єднання термопластів та ТКМ.
2. Систематизувати мікроструктуру зварних з'єднань по окремих зонах, дослідити причини та характер їх виникнення, визначити вплив на їхні властивості наявності армуючих компонентів, способу виготовлення напівфабрикатів.
3. Розробити експрес-методику оцінки зварюваності термопластів і ТКМ по мікрорізках.
4. Встановити придатність та ступінь ефективності сучасних методів пластмасографії для вивчення мікроструктури ТКМ та їхніх зварних з'єднань.

На захист виносяться такі положення:

1. Технологія зварювання елементів конструкцій із мінерало- та склонаповнених ТКМ на базі поліпропілену та поліаміду.
2. Молекулярний механізм зварюваності термопластів та ТКМ, що базується на концепції конформаційної рухомості полімерних макромолекул та на теорії подібності між процесами плавлення/кристалізації в полімерах та бездифузійними /мартенситними/ перетвореннями в металах.
3. Результати комплексних досліджень мікроструктури та зварюваності ТКМ типу ПА6-ЛТ-20, ПА6-210-КС, ЛСТ-ПП.
4. Систематизацію мікроструктурних зон зварних з'єднань термопластів та ТКМ, результати вивчення причин виникнення цих зон, впливу на цей процес способу виготовлення напівфабрикатів та наявності

армуючих компонентів.

5. Експрес-методику оцінки зварюваності термопластів і ТКМ по мікроразках.

Наукова новизна. В роботі поставлено і розв'язано задачу розробки технології зварювання ТКМ на базі поліпропілену та поліаміду типу ПА6-ЛТ-20, ПА6-210-КС, ЛСТ-ПП для використання в автомобіле- та автобусобудуванні та в виробництві компресорів холодильного обладнання.

Встановлено, що для ТКМ з безперервними армуючими наповнювачами /скловолокнами у випадку матеріалу ЛСТ-ПП/ традиційне зварювання встик є неприйнятним і може бути змінене на зварювання по схемі шпунтового з'єднання, що забезпечує перетинання волокнами умовної лінії сполучення зварюваних деталей. Встановлено, що підвищення міцності таких з'єднань з 50 до 75 % міцності основного матеріалу може бути досягнуте за рахунок перевищення довжини виступів над глибиною западин в 1,5 рази. Доведено можливість отримання з'єднань, рівномірних з основним матеріалом.

Встановлено, що для дисперснонаповнених ТКМ /на зразок ПА6-ЛТ-20, ПА6-210-КС/ може бути використано зварювання встик. Крім того визначено, що з використанням інфрачервоного нагріву може бути збережено поверхневий шар розплаву матриці на поверхнях, що оплавляються, що дозволяє забезпечити міцність шва на рівні 100 % міцності основного матеріалу.

Засобами оптичної та електронної мікроскопії досліджено та систематизовано мікроструктурні зони зварного з'єднання. Встановлено, що критичними зонами з'єднання, відповідальними за експлуатаційні характеристики шва, є зона сплавлення та підгратові області зони поблизу границі проплавлення. Вперше досліджено мікроструктуру зварюваних деталей на стадії оплавлення, що дало змогу пояснити існування напружених ділянок в зоні поблизу границі проплавлення.

Розроблено експрес-метод оцінки зварюваності термопластів та ТКМ. Встановлено, що характер деформування та руйнування зварного мікроразка свідчить про здатність матеріалу утворювати зварні з'єднання.

Встановлено молекулярний механізм зварюваності термопластів і ТКМ, основними визначними рисами якого є:

1. Домінуючим типом теплового руху і масопереносу в процесі утворення зварних з'єднань є конформаційна рухомість полімерних ланцюгів.

2. Центри сферолітизації є могутнім фактором конформаційних перетворень в навколишніх областях розплаву. Такі перетворення являють собою особливий тип масопереносу, що відрізняється від класичної ди-

фузії і споріднений рухомості, що має місце під час мартенситних перетворень.

3. Спроможність центрів сферолітизації виконувати функції активних центрів масопереносу під час зварювання залежить від їх концентрації на поверхні контакту зварюваних деталей.

4. Ознакою оптимальності параметрів зварювання є формування в зоні сплавлення спільних для зварюваних деталей сферолітів завершеної форми. На цій основі запропоновано нову модель кристалічних утворень /сферолітів/ в полімерах.

Практична значимість роботи полягає в розробці технологічних рекомендацій по зварюванню конструктивних елементів з ТМ з дисперсним та безперервним армуючим наповненням, які покладено в основу створення механізованих та автоматизованих виробництв в автомобіле- та автобусобудуванні, а також у виробництві побутових холодильників.

Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідались на Всесоюзній школі-семінарі молодих вчених "Полімери і композиційні матеріали" /Баку, вересень 1987 р./, на II конференції молодих вчених та спеціалістів ІЗС ім.Є.О.Патона, /Київ, травень 1988 р./, на 41-му Конгресі Міжнародного Інституту Зварювання /МІЗ, Відень, липень 1988 р./, I Міжнародній конференції молодих вчених та спеціалістів в галузі зварювання та суміжних технологій /Київ, травень, 1989 р./, на 42-му Конгресі МІЗ /Еспо, Фінляндія, вересень, 1989/, на Республіканському семінарі "Проблеми рідкого стану та кристалізації розплавів" /Київ, травень 1990 р. - Диплом за найкращу доповідь/, на Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції "Заваряване - 90" /с.Еленіте, Болгарія, вересень, 1990 р./, на Міжнародному конгресі з прикладної хімії АПІХЕМ-91 /Братіслава, червень 1991 р./, на конгресі Американського товариства інженерів-полімерників АНТЕК-92 /Детройт, США, травень 1992 р./, на 8 Міжгалузевій конференції "Досвід та перспективи використання композиційних матеріалів в машинобудуванні" /Самара, Росія, вересень 1992 р./, на конференції АероМат-93 /Анахейм, Каліфорнія, США, червень 1993 р./.

Публікації. За результатами виконаної роботи надруковано 15 робіт.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається із вступу, чотирьох глав, висновків, та переліку використаної літератури з 115 найменувань. Дисертацію викладено на 128 сторінках, включаючи 66 малюнків та одну таблицю.

4

У вступі обґрунтовується актуальність роботи, викладено основні положення та мету роботи.

Перша глава присвячена огляду сучасних теорій та концепцій зварюваності полімерів, Відповідні розділи присвячено реологічній моделі, моделі заліковування тріщин, комбінованій моделі, моделі хімічних реакцій, проаналізовано їхні переваги та недоліки. Викладено задачі, які вирішувались під час виконання роботи.

В другій главі викладено загальні відомості про ТКМ, їх класифікацію та способи виробництва, про стан та перспективи їх використання в різних галузях промисловості. Описано методику пластмасографічних досліджень, наведено результати таких досліджень широкого спектру ТКМ та їхніх зварних з'єднань.

В третій главі викладено результати розробки технології зварювання матеріалів ЛСТ-ПП, ПАБ-210-КС; ПАБ-ЛТ-20. Наведено результати механічних випробувань зразків цих матеріалів. Викладено хід та результати розробки експрес-методи оцінки зварюваності термопластів і ТКМ по мікрорізках. Наведено дані щодо розробки оригінального пристрою для зварювання зразків термопластів і ТКМ встик.

В четвертій главі викладено систематизацію мікроструктурних зон зварних з'єднань встик, вплив на формування цих зон способу виготовлення зварених зразків. Досліджено мікроструктуру зразків на проміжних етапах процесу зварювання встик. Викладено молекулярну модель механізму зварюваності та встановлено мікроструктурні ознаки зварюваності термопластів та ТКМ. Наведено результати дослідження впливу армуючих компонентів на формування мікроструктури зварних з'єднань ТКМ. Викладено результати практичного використання розроблених технологій зварювання матеріалів ЛСТ-ПП та ПАБ-210-КС.

#### ЗАГАЛЬНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Термопластичні композиційні матеріали /ТКМ/ – це полімерні композити, матрицею для яких правлять термопласти. Як армуючі наповнювачі для них можуть використовуватись дисперсні /мінеральні частки, рублені волокна/ або безперервні /волоконні/ матеріали. Класифікувати ТКМ можна зокрема за структурними або за функціональними ознаками. ТКМ можуть бути виготовлені практично всіма засобами, відомими для композиційних матеріалів на реактопластичній матриці. При цьому ТКМ мають ряд переваг перед останнім типом матеріалів: робота з ТКМ не потребує розчинників, у них відсутній довготривалий час отвердіння, ТКМ не токсичні, мають вищу хімічну стійкість, кращі тепло- та електроізоляційні властивості, вони здатні до релаксації напружень, тощо.

Суттєвою відзнакою є те, що ТКМ можуть бути з'єднані шляхом зварювання.

Властивості ТКМ значною мірою визначаються їхньою мікроструктурою - кількісним співвідношенням та просторовим взаємним розташуванням елементів матриці та армуючих компонентів, їх здатністю до взаємодії. В зв'язку з цим дослідження мікроструктури ТКМ є важливим етапом розробки технології зварювання цих матеріалів.

При виконанні даної роботи препарування зразків для мікроструктурних досліджень проводилось за методиками, розробленими для звичайних пластмас. Основними методами препарування є:

1. Мікротомування.
2. Виготовлення шліфів з фігурами травлення.
3. Виготовлення тонкошарових прозорих шліфів.

Для ТКМ, що вміщують значний /вище 10...15 %/ об'ємний процент армуючих наповнювачів, найбільш ефективним виявилось виготовлення шліфів з фігурами травлення, що дозволяють отримувати інформацію від макро- до мікрорівня. Застосування мікротомування обмежене в зв'язку з небезпекою uszkodження або руйнування різучого інструменту /застосування скляних ножів виключається/. Відмінність в методиці препарування зразків ТКМ від аналогічних операцій для чистих термопластів полягає в необхідності частішого та якнайстараннішого очищення поверхні шліфів від продуктів руйнування армуючих елементів під час механічної обробки. Слід також використовувати більш глибокий вакуум /2,54 Па замість 2,66Па/ під час плазмохімічного травлення шліфів.

Застосування зазначених методів дозволило дослідити методами оптичної мікроскопії мікроструктурні особливості широкої гами сучасних ТКМ, що розроблені в ВІАМ, НІАТ, НВО "Пластмаси" /м.Москва/, ІПМ НАН України /м.Київ/, СТІ "Армопласт" /м.Северодонецьк/ для потреб авіа-, автомобіле- та приладобудування. Для досліджень використовувались мікроскопи МПС-4, Полам Л-211, Амплівал, МІН-8. З їх допомогою досліджено мікроструктуру таких ТКМ та їх зварних з'єднань:

- ЛСТ-ПП /поліпропілен з 30 % безперервного скловолокна/;
- КТМ-1-1 /полікарбонат з СВМ-тканиною/;
- КТМ-1-2 /поліамід з фенілосновим волокном, плакований шаром фторопласту Ф-2/;
- КТМ-У-1 /полісульфон з вуглетканиною ЕЛУР/;
- ТКМ на основі фторопласту Ф-10 із скловолокном;
- полікарбонат з рубленим вуглеволокном;
- ПАБ-210-КС /сополімер поліаміду 6 та 210 з 30 % коротких відрізків скловолокна/;

- ПА6-ЛТ-20 /поліамід-6 з 20 % часток каоліну/;
- ПЕТФ-СВ /поліетилентерефталат з 15 % скловолокна/ та ряд інших матеріалів.

Веручись до розробки технології зварювання ТКМ слід виходити з того, що зварюваність цих матеріалів цілком визначається зварюваністю матричного термoplastу. Відомо, що присутність армуючих елементів підвищує в'язкість розплаву матеріалу, що змушує використовувати підвищені температури нагрівального інструменту при зварюванні /наприклад, якщо для поліпропілену звичайно температура нагрівального інструменту складає 220...240 °С, то для матеріалу ЛСТ-ПП початкова температура складала 270 °С/. В той же час розплав ТКМ є дуже чутливим до тиску оплавлення та осадки.

Відомо, що в усіх пристроях для зварювання встик пластин, труб використовуються каретки та фіксатори, що ковзають по циліндричних напрямляючих через відповідні в'улки. Втрати на тертя при цьому врахуванню практично не підлягають. В зв'язку з цим було розроблено та виготовлено пристрій, в якому каретки переміщуються по шарових котках. Це дозволило знизити втрати на тертя до величин, близьких до коефіцієнту корисної дії шарикопідшипників, і точність вимірювання тиску в цьому пристрої визначається точністю тарування динамометра.

За допомогою даного пристрою розроблено технологію зварювання матеріалів ПА6-ЛТ-20, ПА6-2ІО-КС, ПЕТФ-СВ та ЛСТ-ПП. Для матеріалів з дисперсним наповненням /на основі ПА6 та ПЕТФ/ використовувалось зварювання встик, для ЛСТ-ПП, що включає в себе склотканину, використано зварювання по шпунтовій схемі /виступ-западина/. Для зварювання зразків матеріалу ПА6-2ІО-КС було використано нагрів інфрачервоним випроміненням.

Зварні гразки було піддано механічним випробуванням на розривній машині ФП-ІО з швидкістю розтягнення 20 мм/хв. Результати випробувань наведено на рис.І-3. Отримані з'єднання, міцність яких на розрив становить від 45-50 % міцності основного матеріалу для матеріалу ПА6-ЛТ-20 до 100 % для матеріалу ПА6-2ІО-КС.

Для матеріалу ЛСТ-ПП визначальним параметром, що впливає на міцність, виявилась величина осадки виступу в порівнянні з фіксованою /10 мм/ глибиною западини. При співвідношенні 1,4...1,5:1 зразки мають найвищі показники міцності /близько 75 %/.

Результати випробувань наведено на рис.І-3.

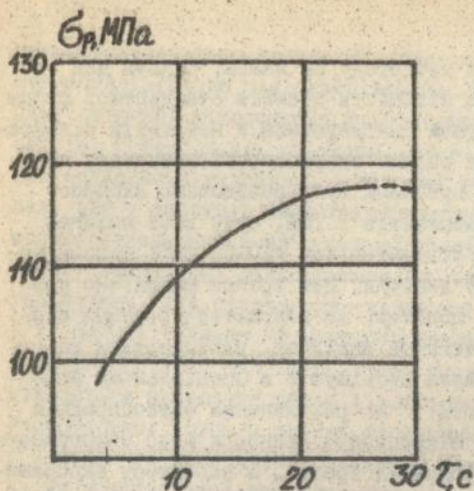


Рис.1. Залежність руйнівного напруження від часу інфрачервоного опромінення для зразків матеріалу ПА6-210-КС.

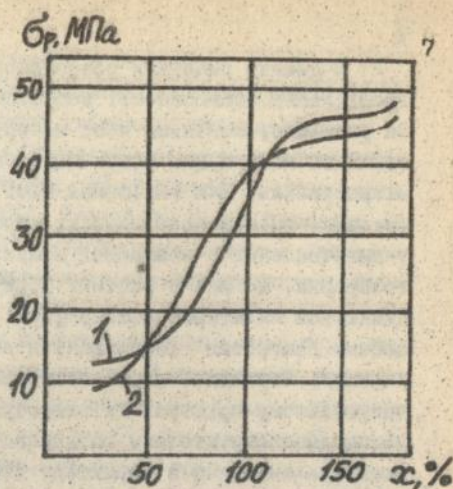


Рис.2. Залежність руйнівного напруження від глибини осадки для зразків матеріалу ЛСТ-ІІІ, 1- температура інструменту 280 °С 2- температура інструменту 310 °С

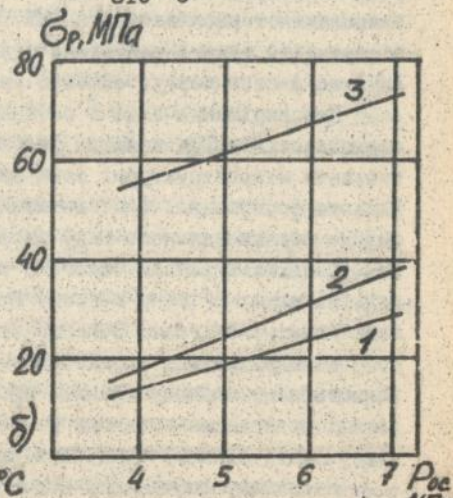
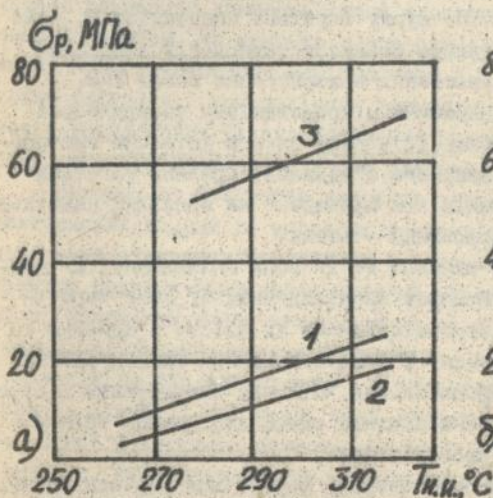


Рис.3. Залежність руйнівного напруження зварних з'єднань встик мінералонаповнених ТКМ від температури нагрівального інструменту /а/ та тиску осадки /б/.

- 1 - ПА6-ЛТ-20  
2 - ПА6-ЛТ-20 саженоповнений  
3 - ПЕТФ-СВ

В деяких випадках розробники матеріалу не змогли надати для дослідження зварюваності достатню кількість зразків стандартної форми та розмірів, оскільки нові матеріали синтезуються в невеликій кількості. В зв'язку з цим існує потреба оцінки зварюваності матеріалу по мікроразках. Для вирішення цієї проблеми було розроблено експрес-методику оцінки зварюваності термопластів і ТММ, суть якої полягає у виготовленні з незначної кількості матеріалу /50-60 см<sup>3</sup>/ пресованого зразка, що має в розтині форму лопатки. Цей зразок механічно розділяється на мікроразки в формі лопаток, що зварюються різними способами /нагрітим інструментом встик та внахлест, ультразвуком та іншими/. Отримані зварні мікроразки розміщують в спеціальному розтягувальному пристрої та випробують на розтягнення безпосередньо на предметному столику оптичного мікроскопу. Висновок щодо зварюваності робились виходячи з характеру деформації зразка, з характеру зародження та росту тріщин, з виду його зруйнування. Здатність мікроразка до пластичного деформування та руйнування свідчать про його придатність для використання в зварних вузлах і конструкціях.

Вирішення практичних задач призвело до необхідності поглиблення розуміння процесів, що відбуваються на молекулярному рівні під час зварювання термопластів та ТММ. На думку багатьох спеціалістів, саме відсутність такого розуміння стримує розвиток технології з'єднання ТММ, що, в свою чергу, обмежує зростання використання нових ТММ.

Для вирішення задачі встановлення мікромеханізму зварюваності термопластів і ТММ виникла необхідність перш за все детально систематизувати мікроструктурні зони зварного з'єднання, причини та етапи їхнього формування. Систематизацію зон проведено на прикладі найбільш широко розповсюдженого виду зварювання - встик.

Основними зонами такого з'єднання є: 1/ зона сплавлення; 2/ сферолітна зона; 3/ зона поблизу границі проплавлення; 4/ зона термічного впливу; 5/ грат. Зонами, відповідальними за якість з'єднання та його експлуатаційні характеристики, є зона сплавлення та підгратова область зони поблизу границі проплавлення. Під час випробувань в середовищі поверхнево-активних речовин можливе також зародження тріщин в підгратовій області зони термічного впливу.

Необхідну інформацію щодо особливостей формування вищезазначених зон дало дослідження мікроструктури зразків на проміжній стадії зварювального процесу. Експерименти проведено зі зразками полікарбонату /ПК/ - полімеру, аморфного в звичайних умовах, але здатного до кристалізації при певних умовах термообробки. Провіями оплавлення попередньо

закристалізованого зразка ПК, було стримано границю між аморфною та закристилізованою ділянками зразка. Цю границю було досліджено засобами оптичної мікроскопії та малокутової дифракції поляризованого світла. Встановлено, що чітка границя "твердий полімер-розплав" під час оплавлення відсутня, і під час осадки деформується не лише розплав, але і частково оплавлений матеріал. Наявність цього проміжку зумовлює виникнення в зварному з'єднанні зони поблизу границі проплавлення. Аналогічні експерименти було проведено для поліпропілену та полібутену, які підтвердили уявлення про природу виникнення цієї зони.

Значно впливає на мікроструктуру зварних з'єднань спосіб, в який було виготовлено напівфабрикати, що зварюються. В практичній роботі доводиться зварювати деталі, виготовлені різними способами /наприклад, екструдовані труби з литими фасонними виробами/. Оцінка якості такого з'єднання за зовнішніми ознаками, таким, як форма ґрата, в цьому випадку ускладнена і потребує більш глибокого аналізу. Для прокатаних зразків характерне значне розширення зони термічного впливу.

Аналіз мікроструктурних особливостей різних зон зварних з'єднань широкого спектру різноманітних термопластів і ТММ дозволив запропонувати теоретичну модель зварюваності цих матеріалів. В її основу покладено концепцію конформаційних трансформацій, властивих полімерним макромолекулам, та принцип мартенситної аналогії. Ці ідеї було розроблено В.Д.Гринюком під керівництвом Б.С.Касаткіна стосовно мікрOMEХАНІЗМУ деформації кристалічних термопластів. Розвиток цієї теорії дозволив застосувати її для пояснення кристалізації термопластів з розплаву, яка відбувається під час зварювання.

Відомо, що полімерам властива значна анізотропія міцностних характеристик вздовж та впоперек ланцюга полімерної макромолекули. Для утворення з'єднання необхідним є взаємопроникнення макромолекул через границю розділу зварюваних деталей. Такий масоперенос можливий в зв'язку зі здатністю ланок макромолекул до конформаційної рухомості. Конформаційні перетворення відбуваються під впливом зовнішніх факторів /теплових та/або механічних/. З появою довільних конформаційних перетворень ланцюгів пов'язані такі процеси, як кристалізація та плавлення. Деякі дослідники ототожнюють конформаційну рухомість з класичною дифузєю. Але порівняльний аналіз кристалізації термопластів з твердофазними перетвореннями в металах показує, що ця рухомість має іншу фізичну природу. Ряд ознак, що співпадають, вказують на глибоку аналогію між конформаційними перетвореннями, що відбуваються під час кристалізації полімерів з розплаву та мартенситними /бездифузійними/ перетвореннями в металах та сплавах в твердому стані. Найбільш важли-

вими ознаками існування такої аналогії є такі:

1. Однотипність кінетики обох перетворень. Їх швидкість визначається швидкістю виникнення зародків, але не дифузійними процесами.
2. Обидва процеси мають автокаталітичний характер.
3. Обидва процеси розтягнуті в деякому інтервалі температур, при цьому має місце значний температурний гістерезис між початком прямого та зворотнього перетворень.
4. Продуктами обох перетворень є кристали ламелярної форми, що утворюють мікрорельєф у вигляді двоскатних дахів.
5. Обидва типи перетворень можуть бути викликані як за рахунок зниження температури, так і за рахунок деформацій прикладними іззовні напруженнями.
6. Зворотність є характерною рисою обох перетворень.
7. Як для мартенситних сплавів, так і для полімерів властивим є "ефект пам'яті".

На користь аналогії свідчать також дослідження мікроструктури та пластичної деформації термопластів. Експерименти довели, що ламелярні кристали мають не складчасту, а двійниковоподібну природу.

Кристалізація полімерів з розплаву, як відомо, відбувається у вигляді сферолітів - через ряд проміжних геометричних форм. Одну з них наведено на рис.4. Саме такі зародки сферолітів, що розвиваються, являють собою могутній фактор масопереносу в оточуючих мікрооб'ємах полімеру, що кристалізується. Мікроструктура зони сплавлення і, відповідно, якість з'єднання залежить від концентрації цих зародків на лінії контакту зварюваних деталей. При помірній концентрації можливе утворення в зоні сплавлення сферолітів, спільних для обох зварюваних деталей. При надмірній концентрації активних центрів сферолітизації їхня взаємна конкуренція перешкоджає нормальному розвитку сферолітів і призводить до виникнення в зоні сплавлення транскристалічної структури /Рис.5/.

Армуючі наповнювачі суттєво впливають на хід вищезначених процесів. І дисперсні, і безперервні армуючі елементи набувають рухомості у випадках, коли розплав термопластичної матриці починає рух під впливом тиску оплавлення та осадки. Дисперсні компоненти /мінеральні частки, рублені волокна/ орієнтуються в зоні шва в напрямку паралельно площині контакту деталей, послаблюючи з'єднання. Мінеральні частки здатні до конгломерації в усіх зонах з'єднання, а також до деформування під дією тиску осадки до лінзовидних утворень, що

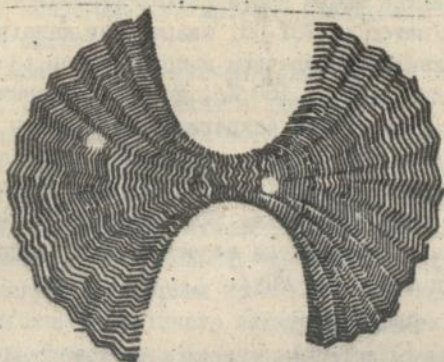


Рис.4. Схема сфероліта, що розвивається.

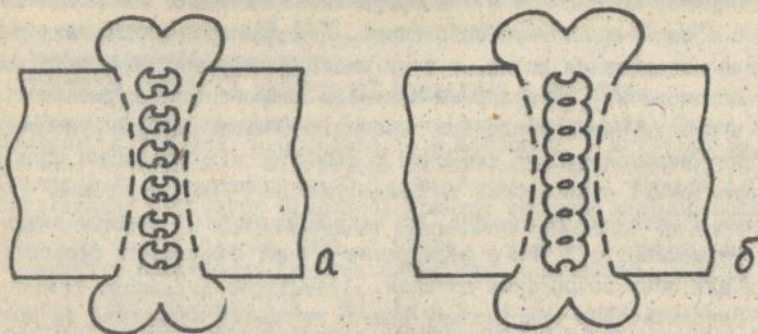


Рис.5. Помірна /а/ та надмірна /б/ концентрація активних центрів сферолітизації в зоні сплавлення.

значно послаблюють з'єднання. Для ТМ з безперервними волокнами зварювання встик внаслідок прагнення волокон до вигинання в напрямку плину розплаву є неприйнятним. Для таких матеріалів /типу ЛСТ-ПП/ розроблено технологію зварювання по шпунтовій схемі, яка забезпечує перетинання армуючими волокнами умовної лінії контакту деталей.

Критичним для якості зварювання є також наявність на поверхнях, що з'єднуються, шару матриці, достатнього для реалізації з'єднання /утворення спільних сферолітів /0,2...0,5 мм/. В зв'язку з цим для такого типу матеріалів розроблено технологію зварювання з використанням бесконтактного інфрачервоного на ріву /на прикладі матеріалу ПА6-210-КС/.

Виходячи з конкретних задач було розроблено технологію зварювання основ та накладок сидінь машин громадського транспорту, зокрема, автобусів ЛАЗ-4206 /матеріал ЛСТ-III, зварювання нагрітим інструментом по шпунтовій схемі. Температура нагрівального інструменту  $300 \pm 10$  °C, глибина осадки 140....150 %/, корпусу глушника компресора побутового холодильника моделі Астраханського заводу холодильного обладнання /матеріал ПА6-210-КС, зварювання встик за допомогою інфрачервоного нагріву/, та вузлів пневмосистеми /корпус фільтру, фланець підвідний та ін./ автомобіля "Москвич-21414"/ матеріал ПА6-ЛТ-20, зварювання встик, температура нагрівального інструменту  $270 \dots 290$  °C, тиск осадки 4,4...6,7 МПа/.

### ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологію зварювання вузлів та конструкцій з термопластичних композиційних матеріалів /ТКМ/, що включають в себе дисперсні /ПА6-210-КС, ПА6-ЛТ-20/ та безперервні наповнювачі /ЛСТ-III/.

Визначено, що для ТКМ з безперервним наповненням волокнами оптимальним є з'єднання по шпунтовій схемі. Для дисперсонаповнених рекомендовано зварювання встик, в тому числі з інфрачервоним нагрівом.

2. Встановлено молекулярний механізм зварюваності термопластів та ТКМ, в основу якого покладено концепцію конформаційної рухомості полімерних макромолекул та елементи подібності між процесами плавлення /кристалізації в полімерах та бездифузійними /мартенситними/ перетвореннями в металах. Визначено, що мікроструктурною ознакою зварюваності термопластів і ТКМ є формування в зоні сплавлення сферолітів, спільних для обох зварюваних деталей.

3. Запропоновано оригінальну модель процесів плавлення та кристалізації термопластів, яка визначає ці процеси як конформаційне розвпорядкування та впорядкування надмолекулярних утворень відповідно.

4. Проведено докладну систематизацію мікроструктурних зон зварних з'єднань встик, досліджено якісний вплив на формування цих зон способу виготовлення напівфабрикатів та параметрів зварювального процесу. Вперше досліджено мікроструктуру зразків на проміжній стадії зварювального процесу, що відкриває можливість по керуванню мікроструктурою зон зварного з'єднання для підвищення його якості.

5. Встановлено характер впливу дисперсних /10...20 об'ємних процентів/ та безперервних /25...40 об'ємних процентів/ армуючих наповнювачів на формування мікроструктурних зон зварних з'єднань ТКМ. Важливим є збереження на поверхнях, що з'єднуються, шар матричного термопласту, достатній для утворення шва /0,2...0,5 мм/. Визначено,

що відповідальними за якість з'єднань є зона сплавлення та зона поблизу границі проплавлення. Це дає можливість шляхом корегування параметрів зварювального процесу зменшувати анізотропію цих зон, підвищуючи якість шва.

6. Розроблено експрес-методику оцінки зварюваності термопластів і ТММ, основу на аналізі деформування та руйнування зварних мікроразрізів. Використання методики дозволяє визначати придатність нових матеріалів для використання в зварних вузлах та конструкціях.

7. Підтверджено високу ефективність методів пластмасографічного аналізу для дослідження мікроструктури ТММ та їхніх зварних з'єднань. Встановлено, що найвищу ефективність для досліджень має виготовлення шліфів з фігурами травлення, для яких не існує обмежень щодо кількісного і якісного складу композита, типу армуючого компонента та ін. Визначено, що пластмасографічний аналіз є найбільш інформативним методом контролю якості зварних з'єднань.

8. Запропоновані технології зварювання ТММ дозволяють розробити високоефективне обладнання для зварювання елементів конструкцій, зокрема для автобусів ДАЗ-4206, автомобілей "Москвич-21414", компресорів побутових холодильників.

#### ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО В РОБОТАХ:

1. Зварювання термопластичних композиційних матеріалів: Огляд /Г.В. Комаров, Л.Н.Мащук, А.О.Шадрін, А.М.Шестопал. - Київ:ІЕЗ ім.Є.О. Патона, 1992. -32с. - підготовка та написання розділів 2,3,5.
2. Гринюк В.Д., Константинова С.П., Мар'янович Г.І., Шадрін А.О. Дослідження структури міжфазної границі твердий полімер-розплав// Нові розробки по зварюванню та склеюванню пластмас. Зб.наук.робіт. Київ:ІЕЗ ім.Є.О.Патона,1989. -С.51-54. - участь в плануванні експерименту, проведення зварювальних експериментів, участь в аналізі отриманих результатів.
3. Гринюк В.Д., Золотар А.В., Шадрін А.О. Особливості макро- та мікроструктури стикових з'єднань напівфабрикатів з поліолефінів// Автомат.зварка. - 1989. - № 7. -С.38-41. - участь в плануванні експериментів, проведення зварювальних експериментів, участь в аналізі та інтерпретації отриманих результатів.
4. Grinyuk V.D., Shadrin A.A., Konstantinova S.P., Maryanovich G.I. *Modern methods of welded joints plastographic investigations (Doc. IIV-1063-89) // Welding in the World. - 1990. - V.28, No 1/2. - P.18-23.*
5. Гринюк В.Д., Шадрін А.О., Золотар А.В., Константинова С.П., Мар'янович Г.І., Семенов Р.Г., Мікроструктура та якість стикових зварних з'єднань поліетилену //Автом.зварка.-1990.-№11.-С.23-26,43- участь в плануванні експерименту, зварювальних експериментах, аналізі отриманих результатів.
6. Гринюк В.Д., Шадрін А.О., Константинова С.П., Золотар А.В., Мар'янович Г.І., Семенов Р.Г. Пластмасографічні методи аналізу //

- Пластич.маси.-1991.-№8.-С.56-58 - проведення зварювальних експериментів та пластмасографічних досліджень, аналіз результатів.
7. Гринюк В.Д., Шадрін А.О., Кораб Г.М. Про молекулярний механізм утворення зварних з'єднань кристалічних полімерів//Доп.АН СРСР.-1991.-Том 319, №6.-с.1370-1373 - участь в розробці теоретичної концепції, проведення пластмасографічних досліджень та вироблення графічної інтерпретації моделі.
  8. *Shadrin A.A. Martensite-Like Transformations in Welded Joints of Semicrystalline Polymers // ANTEC-92 Int. Conf. Proc.- Detroit, May 1-4, 1992.- Technomic Publ, Pa, USA, 1992.- P.1784-1787.*
  9. Гринюк В.Д., Шадрін А.О., Кораб Г.М. Молекулярний механізм утворення зварних з'єднань термопластичних матеріалів//Автом.зварка.-1992.-№7-8.-с.33-36,46.- участь в розробці теоретичної концепції, проведення пластмасографічних досліджень.
  10. Шадрін А.О., Гринюк В.Д., Шевцова-Казьмірчук Т.М. Експрес-метод та оснащення для попередньої оцінки зварюваності термопластів та композитів на їхній основі//Автом.зварка.-1992.-№9-10.-С.39-41.- участь в плануванні експерименту, проектування та виготовлення пресформи, проведення експериментів по зварюванню СЕП та пластмасографічних досліджень, аналіз результатів та розробка методики експрес-оцінки зварюваності.
  11. Шадрін А.О., Криваткін О.М. Зварювання встик з'єднань композиційного матеріалу ПА6-ЛТ-20//Автом.зварка.-1993.-№1.-С.42-44 - планування та проведення зварювальних експериментів, механічних випробувань та пластмасографічних досліджень, аналіз результатів.
  12. Шадрін А.О. Використання інфрачервоного нагріву для зварювання виробів із склонаповненого поліаміду// Автом.зварка, 1993-№2.-С.54-55.
  13. Золотар А.В., Шевцова-Казьмірчук Т.М., Шадрін А.О. Мікроскопічні дослідження зварних стикових з'єднань листового матеріалу типу "Компонор"//І Міжнар.конф. мол.вчених в галузі звар. та суміж.технол.:Тези доп., 16-20 травня 1989 р. - Київ: ІЕЗ ім.Є.О.Патона, 1989.-с.64.- участь в зварювальних експериментах та пластмасографічних дослідженнях.
  14. Шадрін А.О. Зварювання елементів конструкцій з склонаповнених термопластичних композиційних матеріалів//Досвід та перспективи використання композиційних матеріалів в машинобудуванні. УШ Міжгалузева конф.: Тези доп.,15-18 вересня 1992р. - Самара, НДІД, 1992.-С.28-29.
  15. *Shadrin A.A. Peculiarities of Thermoplastic Composite Microstructure Formation in Welding under the "Pressure + Shear" Conditions // AeroMat-93 Int. Conf.- Anaheim, CA, USA, June 7-10, 1993.- Conf. Proc.-P.1107.*

## АННОТАЦІЯ.

Шадрин А.А. Технология сварки и особенности микроструктуры сварных соединений термопластичных композиционных материалов.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.06 - "Технология и машины сварочного производства", Институт электросварки им.Е.О.Патона НАН Украины, Киев, 1994.

Защищается 15 научных работ, которые содержат данные о разработке технологии сварки и о теоретических исследованиях молекулярного механизма свариваемости термопластов и термопластичных композиционных материалов /ТКМ/. Разработана экспресс-методика оценки свариваемости термопластов и ТКМ, основанная на анализе характера деформации и разрушения сварных микрообразцов. Проведена подробная систематизация микроструктурных зон сварного соединения, исследованы причины и особенности их формирования. Практическое применение результатов работы предполагается при разработке линии для сварки сидений салона машин общественного транспорта из стеклонаполненного полипропилена.

Ключові слова:

зварювання термопластичних композиційних матеріалів, микроструктура, сфероліт, силалення, параметри зварювання.

## ABSTRACT

Shadrin A.A. Technology of Welding and Peculiarities of Microstructure of Welded Joints in Thermoplastic Composite Materials

Thesis for a candidate of technical sciences degree in speciality 05.03.06. - "Technology and Machines for Welding Production", E.O.Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1994.

Defended are 15 scientific papers containing the data on the welding technology development and the theoretical studies on a molecular mechanism of weldability of thermoplastics and thermoplastic composite materials (TCM). The express procedure has been devised for evaluation of weldability of thermoplastics and TCMS, based on the analysis of a character of deformation and fracture of welded specimens. A detailed systemitization of the welded joint microstructural zones has been made, the causes and the peculiarities of their formation studied. It is suggested that the work results can be applied for the development of a production line for welding public transport vehicle seats of glass-filled polypropylene.

Підп. до друку 24.II.94. Формат 60x84/16. Пап. сфс. № 2. Обс. друк.  
Ум. доук. арк. 0,93. Ум. фарбо-відб. I, I6. Обл.-вид. арк. 0,96. Ти-  
раж 100 прим. Зам. 309.

---

ІЕС Ім. Е.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.  
ПОД-ІЕС Ім. Е.О.Патона. 252650 Київ 5, МСП, вул. Горького, 69.



AB 31.461