

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Запорізький національний технічний університет

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
з дисципліни «Зварювання пластмас» для студентів освітньої  
програми „Технології та устаткування зварювання” всіх форм навчання

2016

Конспект лекцій з дисципліни «Зварювання пластмас» для студентів освітньої програми „Технології та устаткування зварювання” всіх форм навчання / Укл.: О.Є. Капустян, С.П. Бережний – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. - 70 с.

Укладачі: О.Є. Капустян, старш. викл.;  
С.П. Бережний, канд. техн. наук, доцент.  
Рецензент: А.О. Шумілов , канд. техн. наук, доцент  
Редактор: І.П. Аверченко  
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено  
на засіданні кафедри ОТЗВ  
Протокол № 2  
від 29.09.2016

Рекомендовано до видання  
НМК ІФФ  
Протокол № 2  
від 11.10.2016

## ЗМІСТ

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ НАЗВ ПОЛИМЕРОВ .....	5
1 ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТМАС І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ .....	7
1.1 Загальні відомості про полімерні матеріали .....	7
1.2 Фізичний стан полімерів.....	16
1.3 Класифікація пластмас.....	17
2 ОСНОВНІ ВИДИ КОНСТРУКТИВНИХ ТЕРМОПЛАСТІВ І ЇХ ВЛАСТИВОСТІ.....	19
3 СУТЬ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС .....	21
3.1 Зварюваність пластмас.....	21
3.2 Фактори, що впливають на вибір способів зварювання .....	25
4 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС ГАЗОВИМ ТЕПЛОНОСІЄМ.....	27
4.1 Суть і різновидності процесу зварювання газovým теплоносієм... ..	27
4.2 Технологія пруткового зварювання.....	30
4.3 Обладнання для зварювання газovým теплоносієм.....	33
5 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС НАГРІТИМ ІНСТРУМЕНТОМ.....	34
5.1 Суть і різновидності процесу зварювання нагрітим інструментом.....	34
5.2 Технологія зварювання оплавленням.....	36
5.3 Пресове зварювання проплавленням.....	41
5.4 Обладнання для термоконтального зварювання .....	43
6 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС СТРУМОМ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ..	44
6.1 Суть процесу високочастотного зварювання .....	44
6.2 Технологія зварювання .....	46
6.3 Обладнання для зварювання СВЧ .....	48
7 УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	49
7.1 Суть процесу ультразвукового зварювання .....	49
7.2 Різновидності процесу ультразвукового зварювання .....	51
7.3 Технологія ультразвукового зварювання .....	53
7.4 Обладнання для ультразвукового зварювання.....	55
8 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС ЕКСТРУДОВАНОЮ ПРИСАДКОЮ .....	56
8.1 Суть і різновиди процесу зварювання.....	56
8.2 Технологія зварювання екструдованою присадкою .....	57
8.3 Обладнання для екструзійного зварювання .....	58
9 ЗВАРЮВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ.....	59
9.1 Суть процесу зварювання інфрачервоним випромінюванням.....	59

9.2 Технологічні особливості зварювання ІЧ-випромінюванням.....	61
9.3 Обладнання для зварювання.....	62
10 НАПИЛЮВАННЯ ПЛАСТМАС.....	63
10.1 Способи напилювання полімерів.....	63
10.2 Матеріали для нанесення полімерних покриттів .....	64
10.3 Обладнання для напилення пластмас.....	66
10.4 Технологія нанесення покриттів.....	67
ВИСНОВОК.....	69
ЛІТЕРАТУРА.....	69

**ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ НАЗВ ПОЛИМЕРІВ**

АБС - сополімер стіролоакрілонітріла з каучуком  
АВЦ - ацетат целюлози  
АЦ - ацетат целюлози  
ЕЦ – етіленцелюлоза  
НЦ - нітрат целюлози  
ПА - поліамід  
ПАР - поліакрилати  
ПАША - поліметилметакрилат  
ПВА - полівінілацетат  
ПВБ - полівінілбутіраль  
ПВД - поліетилен, отриманий при високому тиску  
ПВДХ - полівініліденхлорид  
ПВС - полівініловий спирт  
ПВХ - полівінілхлорид  
ПВХЖ - полівінілхлорид жорсткий  
ПВХП - полівінілхлорид пластифікований  
ПЕ - поліетилен  
ПЕВ - насичені полієфіри  
ПЕТФ - поліетилентерефталат  
ПЗФ - полівініліденфторид  
ПП - полііміди  
ПК - полікарбонат  
ПНД - поліетилен, отриманий при низькому тиску  
ПОМ - полиоксиметилен  
ПП - поліпропілен  
ПС - полістирол  
ПТП - пентапласт  
ПТФХЕ - політрифторхлоретилен  
ПУ - поліуретан  
САН - сополімер стіролу з акрилонітрилом  
СВФГФП - сополімер вініліденфторида з гексафторпропіленом  
СВФТРФЕ - сополімер вініліденфторида з трифторетиленом  
СВФТФЕ - сополімер вініліденфторида з тетрафторетиленом  
СВФТФХЕ - сополімер вініліденфторида з трифторхлоретиленом  
СЕП - сополімер етилену з пропиленом

СММА - сополімер метілметакрідата з метилакрилатом  
УПС - полістирол ударостійкий  
Ф - фторопласти

# 1 ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТМАС І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

## 1.1 Загальні відомості про полімерні матеріали

Пластичні маси - це синтетичні матеріали органічного походження, виготовлені на основі високомолекулярних з'єднань.

Полімерними з'єднаннями (полімерами) називають речовини, молекули яких складаються з багаточисельних елементарних структурних ланок, з'єднаних між собою хімічними (ковалентними) зв'язками в довгі ланцюги лінійної або розгалуженої будови. Такі ланцюги називають макромолекулами.

Між молекулами полімерів є специфічна взаємодія, що зветься міжмолекулярними силами, або силами Ван-дер-Ваальса.

Міжмолекулярні сили поділяють на чотири основні групи:

- дисперсійні (сили Лондона);
- конформаційні;
- орієнтаційні (сили Кеезома);
- індукційні сили.

П'ятий вид молекулярних зв'язків - воднева зв'язок, якщо вона виникає між молекулами, а не в межах однієї молекули.

Дисперсійні сили є результатом виникнення елементарних диполів в результаті руху електронів навколо ядра. Вони отримали свою назву за аналогією з явищем оптичної дисперсії. Атом електрично нейтральний, якщо у нього врівноважені позитивні і негативні заряди і коли заряди ці розташовані в просторі симетрично відносно один одного. Якщо уявити собі два найпростіших атома, що знаходяться поруч і складаються з ядра і тільки одного електрона, взаємодія між атомами буде різною у залежності від того, чи знаходяться електрони на своїх орбітах навпроти один одного або на протилежних сторонах орбіт. Ця різниця в розподілі електричних зарядів, що впливає з фаз руху електронів навколо ядра, призводить до утворення диполів, що флюктуують. Таких елементарних диполів, що флюктуують в атомі стільки ж, скільки і електронів. Результат дії всіх елементарних диполів, що флюктуують приводить до виникнення електричного поля, яке впливає на сусідні молекули. Дія цих диполів викликає виникнення дипольних моментів в сусідніх

молекулах, завдяки чому вони взаємно притягуються. Отже, в результаті постійного руху електронів в атомах електрони ці завжди електрично несиметричні і мають дипольні моменти, які з часом в середньому компенсуються до нуля. Дисперсійні сили мають обмежену зону дії, тому що виникають тільки при достатньо великому зближенні молекул. Кожна молекула може одночасно діяти на інші молекули, що знаходяться на досить малій відстані. Тяжіння дисперсійними силами обернено пропорційно  $r^6$ , де  $r$  - відстань між центрами мас ядер атомів сусідніх молекул. Воно дуже сильно зменшується в міру віддалення молекул друг від друга. Дисперсійну взаємодію називають також трокінетичною.

Конформаційні сили. Миттєвий дипольний момент і пов'язане з ним електростатичне вплив може бути результатом не тільки миттєвих змін у взаємному розташуванні електронів (дисперсійні сили), але і змін в положенні атомів або їх груп, що утворюють окремі ланки молекули. Їх обертання навколо зв'язку і зміна просторового положення називається конформацією (рис. 1.1). Конформація викликає зміни електростатичного поля окремих ланок молекули. Міжмолекулярний вплив, що виникає при цьому, носить назву конформаційних сил. Конформація може виникати не тільки у ланцюгових молекул (рис. 1.1), а й при кільцевих зв'язках типу  $\pi$  (рис. 1.2). Наявність зв'язків типу  $\pi$  блокує можливість обертання.

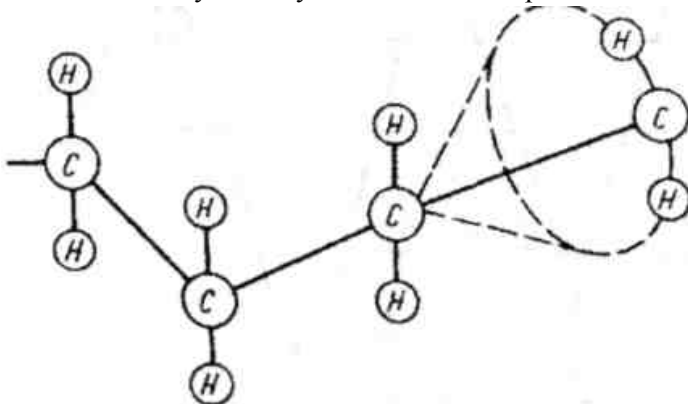
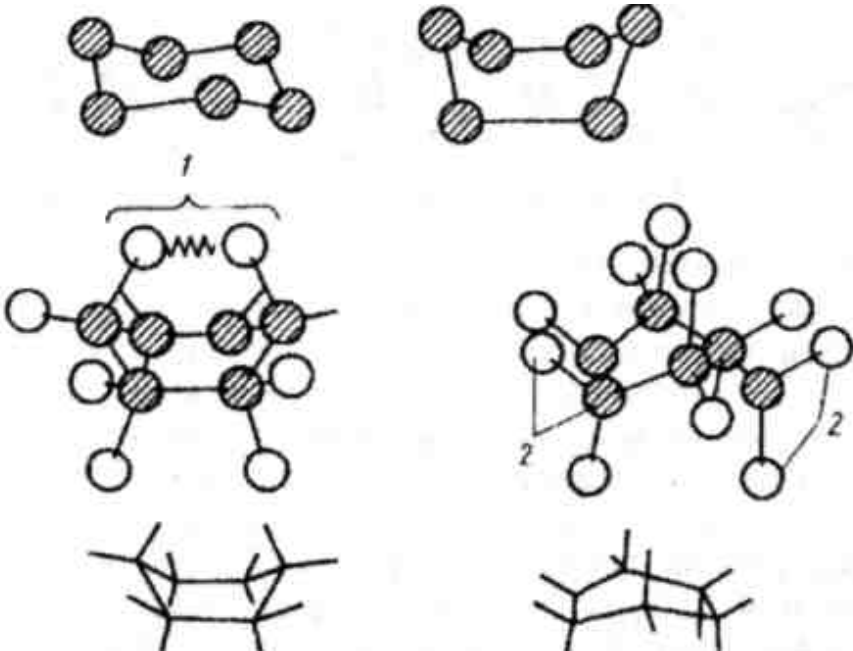


Рисунок 1.1 – Конформація ланцюгової молекули

З конформацією пов'язані відмінності в енергетичному стані молекули (рис. 1.3). Дисперсійні і конформаційні сили - величини



адитивні, тому, не дивлячись на малі значення сил, їх сума в разі великих молекул полімерів викликає сильну взаємодію між ними.



1 – інтерференція атомів водню; 2 – навпротилежачі атоми водню

Рисунок 1.2 – Конформація кільця циклогексану і взаємодія з атомами водню

Орієнтаційні сили - це сили електростатичного типу, що виникають між молекулами, які є постійними диполями. Постійним диполем називають таку молекулу, в якій позитивні і негативні електричні заряди розташовані несиметрично. Точка, в якій зосереджений позитивний заряд, називається позитивним полюсом, точка, в якій зосереджений негативний заряд, негативним полюсом. Пряма, що з'єднає обидва полюси, називається віссю диполя. Твір абсолютної величини заряду е одного з полюсів диполя на відстань  $l$  між полюсами називається дипольним моментом:

$$\mu_d = el, \text{ К}\cdot\text{м (Кулонметри)}$$

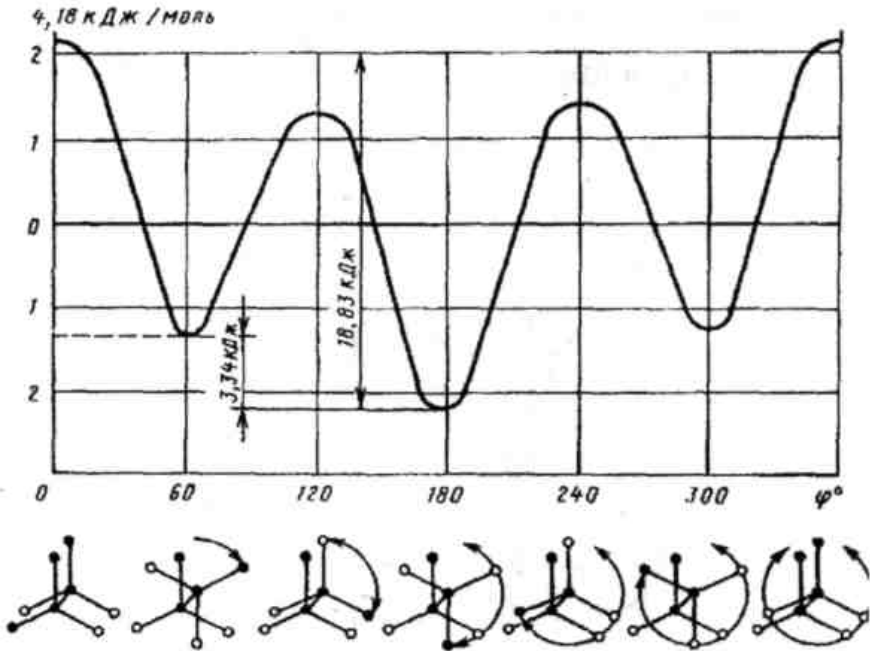


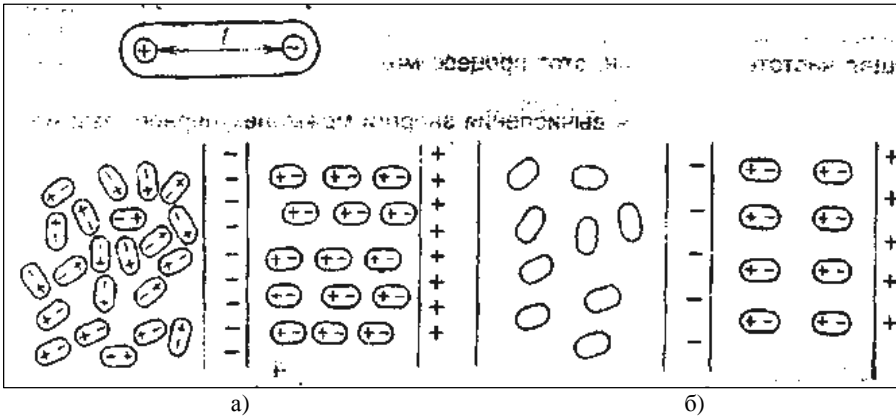
Рисунок 1.3 – Зміна енергії молекули n-бутану в залежності від кута повороту

Дипольний момент представляється вектором, спрямованим уздовж осі диполя від негативного полюса до позитивного. Дипольний момент молекули є векторною сумою дипольних моментів її складових. Результуючий дипольний момент складається з дипольних моментів атомів, дипольних моментів зв'язків і дипольних моментів груп атомів в залежності від їх розташування в просторі.

На відміну від розглянутих вище дисперсійних сил, які не залежать від температури, орієнтаційні сили дуже швидко зменшуються зі збільшенням температури, тому що орієнтація диполів порушується в результаті збільшення рухливості молекул при нагріванні.

Дії орієнтаційних сил, тобто взаємодії диполь - диполь може заважати будова полярних молекул. У деяких випадках полярна молекула має такі розміри, що її неполярна частина заважає наближенню будь-якого іншого диполя на відстань ефективної

взаємодії. У цьому випадку говорять про просторові перешкоди дипольної взаємодії. В електричному полі постійні диполі орієнтуються уздовж лінії силового поля (рис. 1.4).



а – орієнтація постійних диполів; б – індуктивна поляризація неполярних молекул

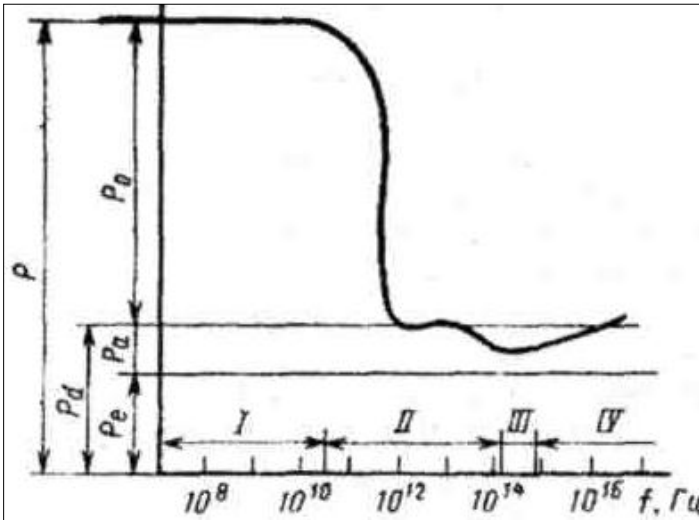
Рисунок 1.4 – Вплив електричного поля на постійні диполі та неполярні молекули

Індукційні сили. Полярні молекули не мають постійного дипольного моменту, потрапляючи під дію електричного поля, вони стають диполями в результаті переміщення електричних зарядів усередині молекули. Диполі, що утворилися внаслідок цього називаються індукційними. Зсув електричних зарядів молекули може відбутися або в результаті застосування зовнішнього електричного поля, або в результаті впливу електричного поля постійного диполя. Сили, що виникають при взаємодії постійного й індукційного диполів, називаються індукційними силами. Зсув зарядів в неполярній молекулі і утворення індукційного диполя називається поляризацією. Розрізняють три види поляризації: електронну, атомну і орієнтаційну.

Повна полярна поляризація складається з електронної, атомної та орієнтаційної поляризацій. Ці три складові тісно пов'язані з частотою прикладеного поля (рис. 1.5).

Електронна поляризація виникає дуже швидко, вона встигає змінюватися, навіть якщо частота змін поля дуже велика (ультрафіолетова область). Її можна вважати процесом, позбавленим інерційності. Значно більш повільним процесом через велику масу

атомних ядер є атомна поляризація, відповідна частоті радіохвиль, цей процес можна віднести до повільних релаксаційних процесів.



$P_0$  – орієнтація поляризації;  $P_a$  – атомна поляризація;  $P_e$  – електронна поляризація;  $P_d$  – деформаційна поляризація

Рисунок 1.5 – Залежність молярної поляризації  $P$  від частоти електромагнітного поля

Молекулярні кристали. Це кристали, в яких переважає зв'язок Ван-дер-Ваальса. Такий зв'язок виникає між будь-якими елементарними частинками (іонами, атомами, молекулами), але для багатьох кристалів вона мала в порівнянні з іншими більш значними силами. Велика кількість твердих тіл складається з молекул, зчеплення між якими здійснюється силами Ван-дер-Ваальса. Більшість органічних сполук мають саме таку структуру. Зв'язок між атомами всередині окремих молекул ковалентний і набагато сильніший. Наприклад, воднева молекула має енергію дисоціації 4,75 еВ, в порівнянні з енергією зв'язку 0,01 еВ на молекулу в твердому тілі. Речовини з молекулярною структурою на відміну від іонних і атомних кристалів мають низькі температури плавлення і кипіння, невеликі твердість і щільність, тому що відстані між молекулами великі.

У кристалах інертних газів зв'язок Ван-дер-Ваальса єдиний, а, отже, він визначає структуру і властивості кристалів. Виникнення сил

тяжіння між атомами інертних газів пояснюють миттєвої поляризацією атомів при зближенні (рис. 1.6).

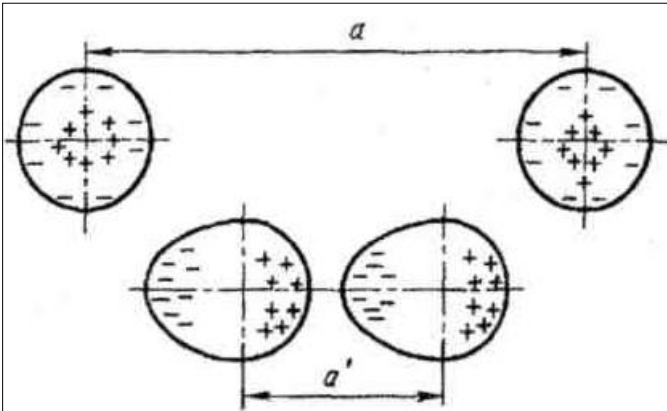


Рисунок 1.6 – Утворення диполів при зближенні атомів аргону

Аналогічні сили діють між молекулами з насиченими зв'язками в кристалах двоатомних газів  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $Cl_2$ , існування яких також можливе лише при дуже низьких температурах і високому тиску; в кристалах  $I_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ , а також  $CH_4$  та інших органічних речовинах - при нормальних умовах.

Атоми, що беруть участь у зв'язку мають сферичносиметричні розподіли електронів, сили Ван-дер-Ваальса не мають спрямованого характеру, так як миттєвий диполь утворюється з кожним із сусідніх атомів. В результаті атоми, прагнучи збільшити число сусідів в кристалічній решітці, укладаються найбільш компактним чином.

Енергія зв'язку сил Ван-дер-Ваальса невелика (у аргону 0,08 eV), тому молекулярні кристали мають низькі температури плавлення і випаровування. Багато з них при нормальних умовах газу. Молекулярні кристали-діелектрики, так як кристал побудований з електрично нейтральних атомів (молекул), у яких енергетичні зони повністю добудовані. Для полімерів мала енергія зв'язку визначає великі температурні коефіцієнти лінійного розширення.

Міжмолекулярні сили збільшуються у міру збільшення тиску (чим ближче знаходяться молекули, тим сильніше вони притягуються). Збільшення температури дає зворотний ефект, тому що внаслідок теплового руху зростає неупорядкованість молекул. При досить низькій температурі навіть незначні міжмолекулярні сили

утримують молекули в рідкому або твердому стані. Збільшення тиску призводить до збільшення температури кипіння речовини, тому що молекули сильніше притягуються.

У твердих речовинах з молекулярними ґратами, зазвичай, діє кілька видів міжмолекулярних сил одночасно. Причому їх частка в силах зчеплення в різних речовинах різна. Завжди мають місце дисперсійні сили. Дисперсійні і інформаційні сили грають головну роль і в кристалах неполярних вуглеводнів і в багатомолекулярних з'єднаннях (поліетилен, каучук). У речовинах, до складу яких входять полярні молекули, значно більшу роль відіграють орієнтаційні та індукційні сили.

Значно менші сили зчеплення в рідинах. В результаті дії сил зчеплення сусідніх молекул утворюються привілейовані орієнтації, які, однак, не можуть охопити більшу область рідини і не можуть існувати довго. Такі привілейовані орієнтації молекул (рідкі кристали) розсіюються тепловими рухами.

При фрикційній взаємодії сили Ван-дер-Ваальса часто відповідальні за адсорбційні процеси, наприклад, за адсорбцію рідких мастильних матеріалів і полімерів на поверхні твердих тіл. Мова тут не йде про найперший шар адсорбованих молекул; його взаємодія частіше описується силами хімічної природи. Сили Ван-дер-Ваальса більш характерні для адсорбції кількох шарів молекул і діють між адсорбованими молекулами рідини.

Назва полімеру в більшості випадків пов'язана з назвою основної ланки і містить префікс "полі" (грецьке-багато): поліетилен(-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-)<sub>n</sub>, полістірол(-C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>-)<sub>n</sub>. В загальному виді (-M-)<sub>n</sub>, де -M- елементарна структурна ланка; n - кількість ланок, рівна, наприклад для полістіролу, 1000-3000.

Високомолекулярні з'єднання отримують шляхом сполучення вихідних елементарних груп у результаті реакції полімеризації або поліконденсації. В залежності від розмірів молекули полімеру змінюються і його фізичні властивості. Так поліетилен, що складається з 20 ланок, є рідиною, а збільшення довжини молекул до 1500-2000 ланок дає тверду й гнучку пластичну масу. Збільшення молекулярної ваги супроводжується підвищенням температури плавлення й кипіння.

На властивості полімерів, окрім величини і складу молекул, суттєво впливає їх структура. Згідно форми будови молекул полімери

розподіляються на 3 групи:

1. Лінійні полімери (рис. 1.7). Чим довші ланцюги молекул, тим вища механічна міцність полімеру, однак важче він перероблюється (вища  $T_{пл}$ ), гірше розчиняється.

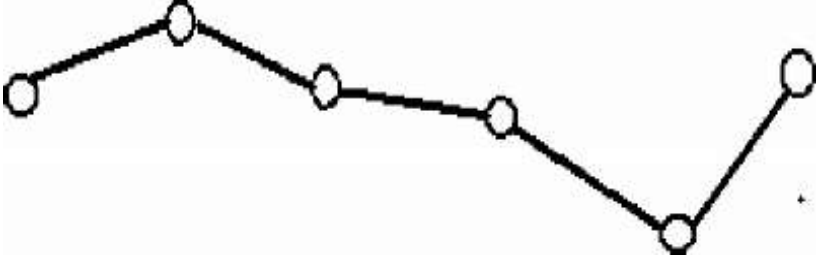


Рисунок 1.7 - Схема будови макромолекули лінійного полімеру

2. Розгалужені полімери (рис. 1.8). Наявність розгалужень призводить до послаблення міжмолекулярних сил і відповідно до зниження міцності й температури розм'якшення полімеру.

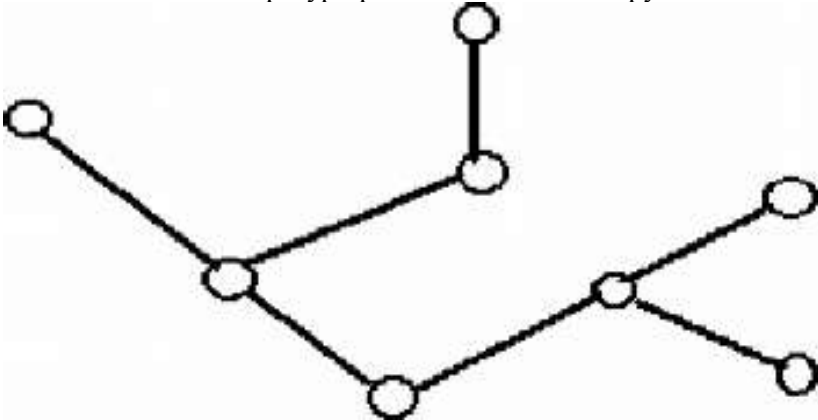


Рисунок 1.8 - Схема будови макромолекули розгалуженого полімеру

3. У тривимірних (просторових) полімерів (рис. 1.9) ланцюги макромолекул пов'язані між собою за допомогою різноманітних містків, що утворюються різними атомами. Такі полімери називають зшитими.

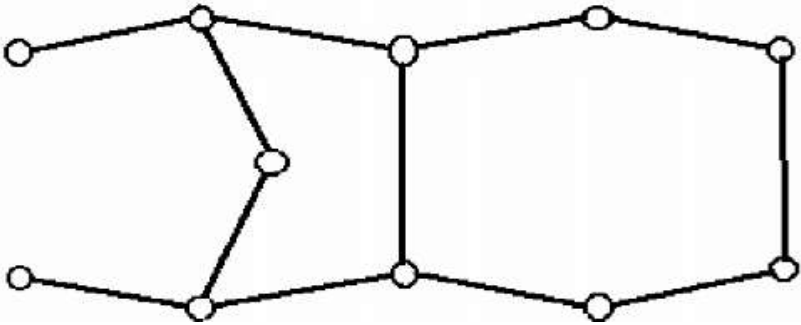


Рисунок 1.9 - Схема будови макромолекули тривимірного полімеру

## 1.2 Фізичний стан полімерів

Полімери можуть перебувати в аморфному й кристалічному стані.

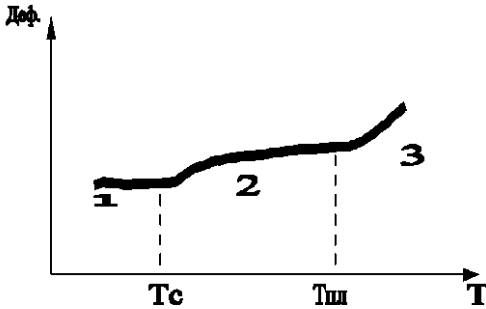
Аморфний стан полімерів визначається хаотичним розташуванням ланцюгів та ланок молекул.

Кристалічний стан відзначається визначеною направленістю ланцюгів і ланок макромолекул. Кристалізація спостерігається тільки у полімерів із лінійною і слабкорозгалуженою структурою. Високомолекулярні з'єднання із сильнорозгалуженою структурою практично не кристалізуються. При переході полімеру з аморфного в кристалічний стан значно підвищується міцність на розрив, твердість і теплостійкість. Наявність аморфної фази зменшує жорсткість матеріалу і збільшує його еластичність. Збільшити кількість аморфної фази можна швидким охолодженням розплавів.

При зниженні температури полімерів їх пластичність зменшується. Навіть в аморфних полімерів закріплення молекул може досягнути такого ступеню, що деформація під дією зовнішніх навантажень матиме пружний характер.

Такий стан полімерів інколи називають склоподібним, а температура, при якій це настає, називають температурою переходу у склоподібний стан (коли густина полімеру досягає  $10^{13}$  Пз). Для поліетилену  $t_{ск} = -70^\circ \text{C}$ . Термомеханічна крива аморфного полімеру зображена на рис 1.10.





1 - зона склоподібного стану; 2 - зона високоеластичного стану; 3 - зона в'язко-текучого стану

Рисунок 1.10 - Термомеханічна крива аморфного полімеру

Термомеханічні криві кристалічних і аморфних полімерів будуть відрізнятися. Термомеханічні властивості полімерів можна змінювати шляхом уведення різноманітних добавок пластифікаторів і наповнювачів.

Пластифікатори - речовини, що вводяться для послаблення зв'язку між ланцюгами макромолекул. Проникаючи в міжмолекулярні проміжки, вони послабляють міжмолекулярний зв'язок, збільшуючи пластичність і морозостійкість полімерів. У вигляді пластифікаторів використовують похідні фосфорної і фталієвої кислот (дібутилфталат, трифенілфосфат та ін.).

Наповнювачі - речовини, що вводять для створення механічного каркасу і підвищення механічних властивостей полімерів (тальк, слюда, скляна повсть, тканини).

Якраз матеріали, що складаються з полімерного сполучного, наповнювачів, пластифікаторів і інших домішок (стабілізаторів, фарбників), називаються пластмасами.

### 1.3 Класифікація пластмас

З точки зору зварювальників пластмаси доцільно класифікувати за наступними ознаками: в залежності від реакції на термічний вплив, від фізико-механічних властивостей, а також складу основної макромолекули.

В залежності від поведінки при нагріванні полімери і пластмаси

на їх основі розподіляються на 2 групи: термопластичні та термореактивні (термопласти та реактопласти). Термопласти при нагріванні стають м'якими та пластичними, а при охолодженні знову твердіють, повертаючись у попередній стан. Вони можуть багатократно витримувати нагрівання до температури нижче температури деструкції (деструкція — процес порушення чи руйнування структури). Їх можна переробляти у вироби із застосуванням литва, зварювання, пресування.

Реактопласти під дією температури піддаються температурним змінам у результаті з'єднання макромолекул між собою поперечними хімічними зв'язками з утворенням тримірних просторових молекул. Вироби з реактопластів при нагріванні не розм'якшуються і не можуть піддаватись повторній переробці. Такі пластмаси випускаються у виді порошків або волокнітів, які перероблюються у готові вироби за допомогою пресування з наступним спіканням або склеюванням.

В залежності від фізико-механічних властивостей (модуля пружності) пластмаси розподіляються на жорсткі, напівжорсткі і м'які.

Жорсткі пластмаси - це тверді і пружні матеріали з високим модулем пружності ( $E > 10^3$  МПа).

Напівжорсткі - із модулем пружності  $E = 5 \cdot 10^2$  МПа.

М'які - із низьким модулем пружності і високим відносним подовженням ( $E \sim (2-10) \cdot 10$  МПа).

В залежності від будови основної ланки молекули термопласти розподіляються на наступні групи: поліолефіни, хлорвміщуючі, фторвміщуючі пластики, поліаміди, полістироли, поліакрилати, полікарбонати.

Поліолефіни - матеріали на основі високомолекулярних з'єднань, що утворились при полімеризації карбоводневих з'єднань (поліетилен, поліізобутилен, поліпропілен, полівінілциклогексан).

Група хлорвміщуючих пластиків включає матеріали на основі полімерів і співполімерів вінілхлориду, вінілденхлориду, а також пентапластів.

Фторвміщуючі пластики - на основі полімерів, які містять фтор. Найбільш відомий - політетрафторетилен (Ф4). Крім цього випускаються фторолони Ф4М, Ф3, Ф40, Ф42, Ф2.

До поліамідів відносяться гетероланцюгові полімери, що містять в основному ланцюгу макромолекули амідні групи -CO-NH-. Поліаміди бувають аліфатичні й ароматичні. Переважно випускаються

аліфатичні поліаміди (капрон, капролон, нейлон, П-610, П-54), ароматичні - фенілон.

Група полістиролу включає матеріали на основі стиролу і його співполімерів (з акрілонітрилом і  $\alpha$ -метилстиролом).

Група акрилових пластиків включає полімери й співполімери акрилової і метакрилової кислот (поліметилметакрилат).

До полікарбонатів відносяться складні поліефіри вугільної кислоти. Найбільш розповсюджений полікарбонат на основі дифенілпропану (дифлон).

## 2 ОСНОВНІ ВИДИ КОНСТРУКТИВНИХ ТЕРМОПЛАСТІВ І ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

Вініпласт - пластмаса на основі полівінілхлориду  $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$  із молекулярною масою 50000-120000. Вініпласт представляє собою жорсткий термопластичний матеріал, до складу якого окрім полівінілхлориду входять наповнювачі, стабілізатори, модифікатори й пластифікатори.

В жорсткому вініпласті < 15 % пластифікаторів, в м'якому > 15 % (полівініловий пластикат). Випускається у виді листів, стержнів, труб. Межа міцності ( $\sigma_b$ ) при розтягу у вініпласта становить 45- 70 МПа, у пластиката - 10-15 МПа.

Робоча температура не перевищує 50-70° С, при  $t = 160-180^\circ \text{C}$  він починає розкладатись. Вініпласт відзначається високою хімічною стійкістю в різноманітних середовищах, переважаючи в цьому відношенні не тільки метал, але і більшість неметалів. Він стійкий у соляній, плавиковій, сірчаній, 50 % азотній кислотах, в розчинах лугів, солей і органічних кислот. Висока хімічна стійкість вініпласту зробила його одним із найбільш розповсюджених антикорозійних матеріалів. Висока механічна міцність зробила його найбільш розповсюдженим матеріалом для виготовлення різноманітних конструкцій.

Значний об'єм у виробництві полівінілхлоридних матеріалів займають плівки. Полівінілову пасту наносять на тканину для отримання заміни шкіри і декоративних матеріалів (наприклад,

лінолеум).

Поліетилен - полімер етилену з лінійною будовою  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$ .

В залежності від  $t^\circ$  і величини тиску при полімеризації отримують поліетилен низького (ПЕНТ) і високого (ПЕВТ) тиску. ПЕНТ має молекулярну масу 250000-350000, ПЕВТ - 18000- 25000.

Поліетилен стійкий в соляній, плавиковій, 90 % сірчаній і 40 % азотній кислотах при кімнатній температурі. З підвищенням температури стійкість його знижується. Він стійкий в спиртах, однак у вуглеводах ароматичного ряду (бензол, ксилол) набрякає. Поліетилен старіє при підвищеній температурі на повітрі, особливо під дією ультрафіолетових промінів.

Використовують як матеріал для пакування, гарний діелектрик. Не шкідливий для харчових продуктів. Як конструкційний матеріал використовують для облицювання апаратури, виготовлення газоходів, трубопроводів і ін. деталей, що працюють при незначних навантаженнях.

Близький до ПЕНТ за властивостями є поліпропілен

$(-\text{CH}_2-\text{CH}-)_n$ , але більш міцний і теплостійкий.



Полістирол - лінійний полімер  $(-\text{C}_8\text{H}_8)_n$  з молекулярною масою 100000-600000. Випускають переважно у вигляді гранул (блочний) або у вигляді порошку, які перероблюють у вироби відливанням під тиском. Полістирол - прозорий, відзначається хорошими оптичними властивостями, вологостійкістю, малими діелектричними втратами. Однак він піддається дії багатьох розчинників, є крихким і чутливим до надрізу, має низьку атмосферостійкість (жовтіє) і теплостійкість. Не є шкідливим і тому його використовують у харчовій і фармацевтичній (при низьких  $t^\circ$ ), хімічній і електротехнічній промисловостях.

Поліметилметакрилат- полімер метилового ефіру акрилової кислоти. Являє собою аморфну прозору речовину з високою проникаючою здатністю для видимих і УФ-променів.

Він стійкий до дії видимих і УФ-променів, води і атмосферного впливу, відзначається високою міцністю й пружністю ( $\sigma_{\text{в}} > 70\text{-}100$  МПа).

Ударна в'язкість поліметилметакрилату практично не

змінюється в інтервалі  $(-183...+60)^{\circ}\text{C}$ . Теплостійкість низька. При  $t = + 80^{\circ}\text{C}$  розм'якшується і його можна гнути, штампувати. Випускають у виді листів і блоків. Використовують для виготовлення предметів широкого вжитку, скління літаків, кораблів і ін.

Поліаміди. В якості конструкційних матеріалів застосовують капрон, капролон В, П-66, П-610, П-54. Мають високу міцність (60-80 МПа) і ударну в'язкість,  $t_{\text{пл}} = 200-240^{\circ}\text{C}$ .

Стійкі до дії мінеральних, тваринних і рослинних речовин, стійкі у вуглеводах, ефірах і розчинах лугів, але мало стійкі до кислот (навіть рослинних). Відзначаються хорошою зносостійкістю при терті, кавітації. Використовують для виготовлення деталей вузлів тертя.

Фторопласти (фторолони). Найбільш цінним є фторпласт-4  $(\text{CF}_2-\text{CF}_2)_n$ -тетрафторетилен. Висококристалічна речовина білого кольору, при  $t = 327^{\circ}\text{C}$  переходить у кристалічний стан, а при  $t = 415^{\circ}\text{C}$  - розм'якшується, але не піддається переробці литвом і пресуванням. Отримують шляхом пресування порошоків і спікання при  $t = 375-385^{\circ}\text{C}$ . Найбільш корозійностійкий матеріал зі всіх відомих. Має високу термостійкість (до  $250^{\circ}\text{C}$ ). Недолік - не зварюється.

Плавки фторопласти Ф2, Ф3, Ф-4м, Ф40, Ф42 піддаються хімічній переробці і зварюються, але мають нижчу температуру плавлення (від  $160-230$  до  $260-300^{\circ}\text{C}$ ), меншу температуростійкість і корозійну стійкість. Використовують для виготовлення конструкцій у хімічній промисловості.

## **3 СУТЬ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС**

### **3.1 Зварюваність пластмас**

Зварювання пластмас - процес отримання нероз'ємних з'єднань за рахунок сил міжмолекулярної взаємодії, що виникають у результаті теплового активування поверхонь, що з'єднуються і доведення їх до в'язкотекучого стану з наступним стискуванням з'єднуваних елементів.

Активация зварюваних поверхонь досягається за рахунок контакту з теплоносіями - нагрітим присадним матеріалом, газом, інструментом, а також завдяки поглинанню і перетворенню енергії коливальних (електричних чи механічних), променевої енергії.

При активації поверхонь і розм'якшенні матеріалу в процесі їх

стискання відбувається взаємодифузія молекул, а також перемішування об'ємів поверхневих шарів, що призводить після охолодження до утворення нероз'ємного з'єднання.

Здатність полімерів утворювати якісні з'єднання залежить від можливості переходити в рідкотекучий стан, що у свою чергу, залежить від ширини температурного інтервалу в'язкотекучого стану і в'язкості полімеру в цьому стані (інтервал від  $t_{пл}$ , до  $t$  термодеструкції називають інтервалом в'язкотекучого стану)

Зварюваність характеризує придатність матеріалу до утворення нероз'ємного з'єднання при раціональному технологічному процесі.

Залежно від властивостей полімерних матеріалів механізм утворення нероз'ємного з'єднання може бути дифузійно-реологічним і хімічним.

Диффузионно-реологічний процес взаємодії зварювальних поверхонь найбільш ефективно реалізується в стадії в'язко-текучого стану матеріалу, коли макромолекули набувають максимальну рухливість і мають найменшу щільність упаковки. У ряді випадків (в аморфних і частково кристалічних полімерних матеріалах) домогтися розпушеності структури можна впливом на полімер розчинників. Ступінь і швидкість дифузії залежать від молекулярної маси полімерів і полярності ланок макромолекул. З їх зменшенням швидкість дифузії зростає.

Молекулярно-масовий розподіл, розгалуженість молекулярних ланцюгів, полярність молекулярних ланок можуть характеризуватися енергією активації в'язкої течії і в кількісному відношенні оцінювати зварюваність полімерів. У тій же мірі оцінка зварюваності може бути проведена по інтервалу температур, в якому полімер може зберігати в'язкотекучий стан, і за влучним висловом, в'язкості розплаву. Залежність здатності матеріалу зварюватись від ширини інтервалу в'язко-текучого стану й в'язкості розплаву підтверджена багатьма дослідниками. У відповідності з цим усі термопласти з точки зору їх зварюваності розподіляються на 3 групи (табл. 3.1).

До першої групи відносяться термопласти з наступними властивостями: енергія активації переходу у в'язкотекучий стан менше енергії хімічного зв'язку (енергія зв'язку C-C складає 290 кДж/моль); температурний інтервал в'язко-текучого стану перевищує 50° С.

До другої групи належать матеріали з високою енергією активації в'язкої течії (близької до енергії хімічного зв'язку), вузьким

інтервалом в'язко-текучого стану і підвищеною в'язкістю розплаву. Для забезпечення можливості зварювання термопластів цієї групи необхідно відшукувати оптимальні способи зварювання, які б виключали можливість перегрівання й деструкції матеріалу.

До третьої групи відносяться термопласти, у котрих енергія активації в'язкої течії перевищує енергію хімічного зв'язку. Такі термопласти практично не можуть бути переведені у в'язкотекучий стан, тому можливість зварювання практично відсутня.

Таблиця 3.1 - Критерії оцінки зварюваності термопластів

Зварюваність	Молярна внутрішня енергія, кДж/моль	Інтервал температур в'язкотекучого стану, °С	Динамічна в'язкість розплаву, Па·с	Характерні термопласти
Добре зварюються	150	50	$10^2$ - $10^5$	ПЭ, ПП, Ф-4М, Ф-42, Ф-30, Ф-2, Ф-40
Обмежено зварюються	150—250	50	$10^5$ - $10^{11}$	ПВХ, ПК, ПЭТФ
Не зварюються	250—334	—	$10^{11}$ - $10^{12}$	АЦ, ПВА, Ф-4

На міцність зварного шва впливає стан поверхонь зварюваних матеріалів, зокрема їх забрудненість, ступінь окислення, особливо в умовах підвищеної вологості, а також концентрація наповнювача. Очищення від забруднень і знежирення є необхідними умовами якісного зварювання.

Реологічний механізм зварювання сприяє розриву зв'язків і видалення із зони шва зазначених інгредієнтів.

Здатність багатьох термопластичних матеріалів до впорядкованого розташування макромолекул (кристалізації) забезпечує при певних температурних умовах відновлення структури зварних швів, близької до основного матеріалу.

Прискорення процесу охолодження зварних швів, що допускається для аморфних полімерів, у кристалічних викликає розпушення структури шва. Зварні шви кристалізуються, що полімерів повинні остигати природним шляхом. Рекристалізована структура матеріалу зварного шва покращує міжмолекулярну взаємодію по лінії зварювання, збільшує щільність упаковки макромолекул зварного шва

і підвищує його механічні характеристики.

Таким чином, на фактори, що визначають оптимальне протікання дифузійно-реологічного процесу зварювання, можна впливати технологічними прийомами, економічна доцільність яких визначає їх практичне застосування.

Хімічне зварювання засновано на утворенні хімічних зв'язків між полімерними матеріалами. На відміну від склеювання при хімічному зварюванні не утворюється самостійної безперервної фази.

Матеріали, які не піддаються дифузійному зварюванню (реактопласти, вулканізатори, рідкосітчасті полімери зі сходною структурою), можна з'єднати шляхом хімічної взаємодії функціональних груп або за допомогою присадного матеріалу, близького за активністю до кожного із зварювальних полімерів, при цьому нагрів і зварювальний тиск створюють необхідні умови для протікання процесу, а присадні матеріали сприяють активації реакційноздатних груп.

Якість хімічного зварювання визначається довжиною, концентрацією, рухливістю активних груп контактуючих матеріалів. Технологічними прийомами можна домогтися поліпшення зварюваності важкозварювальних полімерів. Так, попередня обробка поверхні матеріалу хімічним агентом сприяє збільшенню пластичності поверхневих шарів, а за допомогою механічної обробки поверхонь, що з'єднуються, усувається менш реакційноздатний шар матеріалу.

При зварюванні пластмас якість зварних з'єднань залежить не тільки від властивості полімеру, а також від конструктивних особливостей з'єднань, їх жорсткості, способу активації поверхонь і режимів зварювання.

Активация зварюваних поверхонь може здійснюватись за допомогою теплової енергії, що підводиться зовні, або що генерується безпосередньо в зварюваному матеріалі шляхом перетворення енергії електричних чи механічних коливань у теплову енергію.



### 3.2 Фактори, що впливають на вибір способів зварювання

Зварюванню віддають перевагу іншим методам з'єднання, якщо з'єднуються деталі виготовлені з однорідних матеріалів; якщо недоцільно використання кріпильних елементів і клеїв; коли необхідно отримати конструкцію мінімальної ваги; в разі пред'явлення особливих вимог щодо забезпечення високої продуктивності праці, механізації та автоматизації процесу.

Способи зварювання виробів з пластмас відрізняються один від одного своїми технологічними параметрами, оснащенням та обладнанням, мають свої області застосування, характеризуються різними умовами праці та техніко-економічними показниками.

Конкретні рекомендації щодо вибору способу зварювання в залежності від матеріалу і геометричних параметрів виробів, що зварюються, в даний час не розроблені, проте при вирішенні даного завдання необхідно враховувати властивості матеріалів виробів, що з'єднуються, конструктивні вимоги до з'єднання і технологічність його виконання, а також експлуатаційні вимоги.

Властивості матеріалу виробів, що з'єднуються мають найбільший вплив на вибір способу з'єднання. Наприклад, при зварюванні полімерів з просторовою структурою макромолекул (недоотверджених реактопластів, зшитих термопластів та ін.) Перевагу слід віддавати хімічному зварюванню, при цьому спосіб нагріву треба вибирати так, щоб енергія підводилася безпосередньо до з'єднувальних поверхонь, забезпечувалася висока швидкість підвищення температури і підтримка її на заданому рівні протягом певного часу. До таких способів відносяться високочастотний і ультразвукової нагрів товстостінних виробів; і підведення тепла від металевих елементів, що нагріваються до тонкостінних виробів.

При виборі теплових способів зварювання слід враховувати теплопровідність матеріалу, інтервал між температурами плинності і деструкції, інтервал температур плавлення, діелектричні характеристики та ін. Наприклад, при зварюванні труб з жорсткого полівінілхлориду в умовах будівельного майданчика рекомендується зварювання нагрітим інструментом з підведенням тепла до з'єднувальних поверхонь за допомогою профільованого інструменту, що збільшує поверхню зварювання в порівнянні з плоскими

інструментами і забезпечує підвищення міцності з'єднання при короткочасних випробуваннях на розтягнення приблизно на 30 %. Це пов'язано з тим, що у полівінілхлориду дуже вузький інтервал оптимальних температур зварювання, дотримання яких можливе лише за умови виконання зварювання на автоматизованому обладнанні в стаціонарних умовах, а використання профільованого інструменту дозволяє розширити цей інтервал.

Зварювання розплавом застосовується для пластмас, що мають відносно низьку температуру розм'якшення і здатних витримувати значний перегрів без помітної деструкції, зварювання тертям рекомендується для термопластів, в'язкість яких вища за температуру плавлення змінюється плавно (полиолефіни, жорсткий полівінілхлорид). Високочастотне зварювання неприйнятне для поліетилену, поліпропілену та інших неполярних пластмас.

З конструктивних факторів при виборі способу з'єднання повинні враховуватися товщина виробів, що з'єднуються ширина і довжина шва, можливість доступу до з'єднання з обох сторін.

До технологічних факторів належать: обсяг підготовчих робіт; необхідність застосування індивідуального оснащення; можливість механізації процесів; трудомісткість і тривалість роботи; технологічні параметри; параметри навколишнього середовища; можливість забезпечення необхідних технологічних параметрів в умовах виготовлення з'єднання; час, після якого виготовлене з'єднання може експлуатуватися; можливість контролю якості з'єднання; масштаби виробництва, кваліфікація робочого персоналу. Наприклад, оскільки зварювання нагрітим газом і зварювання розплавом характеризуються можливістю підведення тепла безпосередньо до з'єднувальних поверхонь до будь-якого місця конструкції то дані методи зварювання рекомендуються для складання та ремонту великогабаритних конструкцій в умовах будівельного майданчика. При зварюванні в цих же умовах товстостінних виробів невеликих габаритних розмірів (наприклад, труб) рекомендується зварювання нагрітим інструментом з підведенням тепла до з'єднувальних поверхонь, так як в цьому випадку швидкість зварювання не залежить від теплопровідності матеріалу виробу і локалізація області прогріву дає можливість зменшити витрату енергії.

Якщо теплове зварювання веде до викривлення виробів, що з'єднуються викликає деструкцію полімеру і втрату форми виробу,

доцільно застосовувати зварювання за допомогою розчинників. Цей спосіб ефективно використовується для з'єднання листів з поліметилметакрилату і труб з полівінілхлориду.

Хімічне зварювання виробів з склопластиків застосовується тільки в разі недоцільності використання інших способів з'єднання, так як для його здійснення необхідно при виготовленні виробів забезпечити недоотвердженість і залишкову пластичність полімеру в поверхневому шарі в місцях з'єднання, що вимагає застосування складного обладнання і технології.

Серед параметрів експлуатації, що впливають на вибір способу з'єднання, найбільш істотне значення мають навантаження на з'єднання в період виготовлення та експлуатації конструкцій. Можна виділити три види навантажень: ті, що відривають, що зрушують і відшаровуватися. У більшості випадків ці навантаження діють спільно, але майже завжди один з них є вирішальним. Вибір способу з'єднання проводиться з умови найкращого сприйняття навантажень готовим з'єднанням при обліку інших, зазначених вище факторів.

## **4 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС ГАЗОВИМ ТЕПЛОНОСІЄМ**

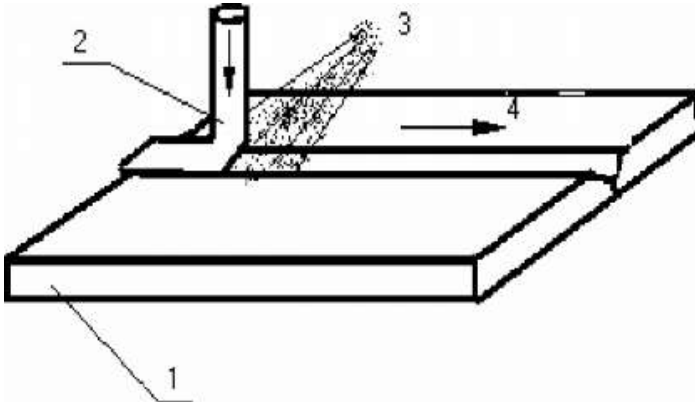
### **4.1 Суть і різновидності процесу зварювання газовим теплоносієм**

Зварювання термопластів газовим теплоносієм ґрунтується на нагріванні з'єднуваних поверхонь до температури зварювання струменем нагрітого газу. Нагрівати можна послідовно одну за одною ділянки шва, або весь шов одночасно.

В якості газа-теплоносія найбільш часто використовують повітря. При зварюванні термопластів, що схильні до сильного окислення при нагріванні, замість повітря беруть азот або інертні гази.

Існує дві різновидності цього способу зварювання: із застосуванням присадного прутка і без присадки.

Зварювання із застосуванням присадного прутка (рис. 4.1) використовують для виконання швів різноманітної конфігурації на деталях товщиною 2-20 мм. Зварювання без присадки використовується переважно для з'єднання плівок і тонколистових елементів.

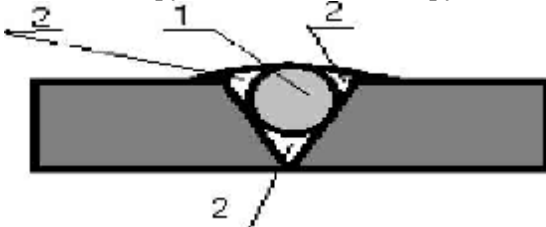


1 - зварювані деталі; 2 - присадка; 3 - подача гарячого газу; 4 - напрямок зварювання.

Рисунок 4.1 - Схема процесу пруткового зварювання газовим теплоносієм

Гарячий газ, що виходить із сопла пальника, нагріває одночасно кромки деталей і основу прутка, котрий притискають до розігрітих кромки вручну, або за допомогою спеціальних пристроїв. Утворення зварного з'єднання в цьому (як і в інших) випадку можливо, якщо поверхня кромки і прутка буде у в'язкотекучому стані. Тому температура газу теплоносія на виході із сопла пальника повинна перевищувати температуру переходу у в'язкотекучий стан не менш ніж на  $50-100^{\circ}\text{C}$ .

Поверхневі шари швидко переходять у в'язкотекучий стан, а середня частина прутка знаходиться в пружно-пластичному стані.



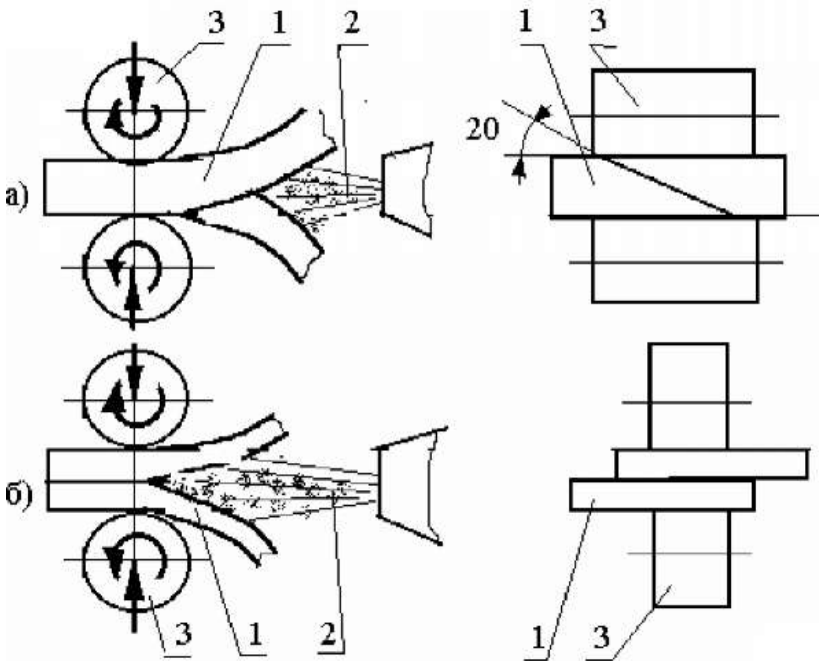
1 - основний об'єм розробки, заповнений присадкою з мало зміненою структурою; 2 - об'єми розробки, заповнені витисненим розплавленим матеріалом кромки і поверхневого шару кромки (найбільш слабка зона)

Рисунок 4.2 - Будова шва, звареного із застосуванням присадного прутка

Цей метод зварювання є універсальним, відрізняється

простою, не вимагає складного обладнання, придатний для зварювання різноманітних товщин в будь-якому просторовому положенні. Тому він має широке застосування, не дивлячись на відносно низьку продуктивність і не досить високу міцність з'єднань.

Менш розповсюдженим є метод безпруткового зварювання. При цьому способі з'єднувані поверхні нагрівають гарячим газом і притискають одна до одної за допомогою обтискуючих роликів. Товстолистові полімери зварюють зі скосом кромки на "вус" (рис. 4.3 а), а тонколистові - в напуск (рис. 4.3 б).



а) на вус; б) в напуск

1 - деталі; 2 - струмінь газу; 3 - обтискуючі ролики

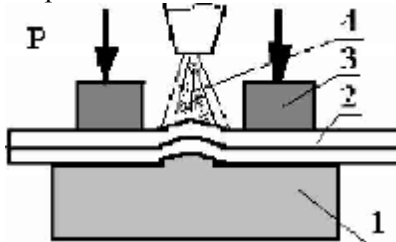
Рисунок 4.3 - Схема безпруткового зварювання газовим теплоносієм

Можливе зварювання тонких плівок проплавленням на пружній основі для створення необхідного тиску в зоні зварювання.

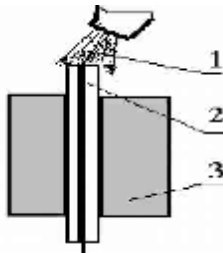
Досить розповсюдженим є також спосіб зварювання торцевих з'єднань оплавленням.

Однак переважно використовують зварювання стикових або

внапуск з'єднань з обтисканням їх притискуючими роликami. При такому способі зварювання забезпечується висока продуктивність процесу ( $V_{зв} = 100-200$  м/год) і висока міцність зварних з'єднань ( $\sigma_{зв.шв.} = 0,8-0,95$  осн.мат.) При зварюванні оплавленням (для рідкоплинних матеріалів) переважно використовують відкрите полум'я. В цьому випадку шви також відзначаються високою міцністю, але низькою морозостійкістю.



1 - пружна підкладка; 2 - плівка; 3 - прижим; 4 - струмінь газу.  
Рисунок 4.4 - Зварювання плівок на пружній основі



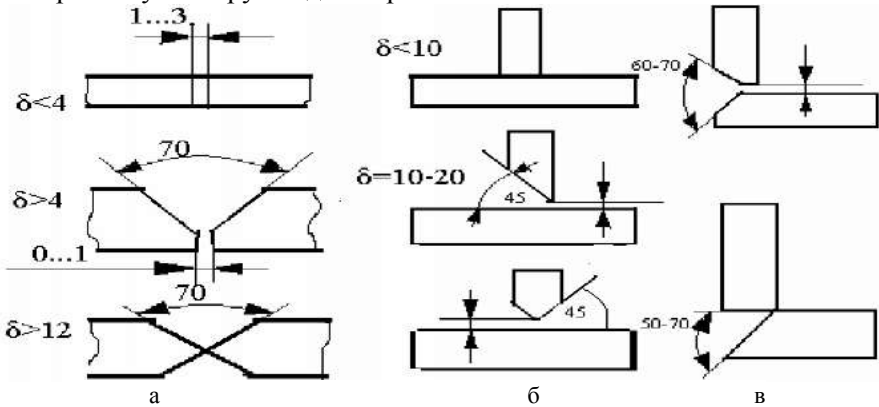
1 - струмінь газу; 2 - деталі; 3 - накладки  
Рисунок 4.5 - Зварювання торцевих з'єднань гарячим газом

#### 4.2 Технологія пруткового зварювання

Цей спосіб використовують переважно для зварювання жорстких термопластів (вініпласту, поліпропілену, ПЕНТ, поліамідів, поліметилметакрилату), бо тільки при достатній жорсткості прутка може бути забезпечене необхідне зусилля притискання в зоні зварювання.

З'єднання внапуск використовують дуже рідко, бо їх міцність в

5-6 раз менша міцності стикових з'єднань. Стикові і таврові з'єднання із двостороннім скосом забезпечують більшу міцність і в 1,6-1,7 раза меншу витрату присадного матеріалу. Кромки з'єднань обробляють на стругальних і фрезерних станках, або іншими способами механічної обробки. Глянець із поверхні листів усувають наждачним папером, що підвищує міцність таврових з'єднань і з'єднань внапуск. Діаметр присадного прутка вибирають у залежності від товщини матеріалу, геометрії шва і потрібної швидкості зварювання. Для цього використовують прутки діаметром 2-3 мм.



а – стикові; б – таврові; в - кутові

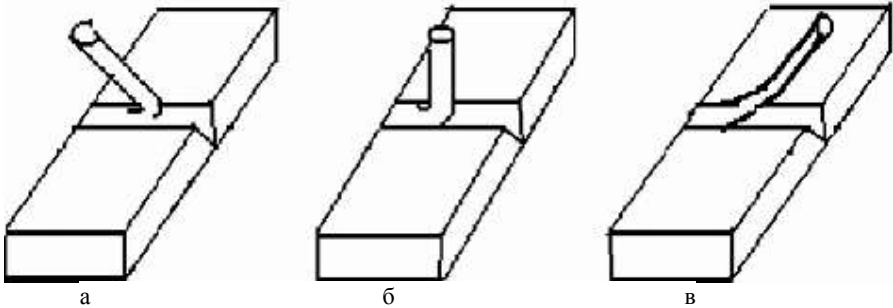
Рисунок 4.6 - Основні типи зварних з'єднань при прутковому зварюванні

Використання прутків більшого діаметра скорочує час заповнення розробки, зменшує кількість проходів і збільшує міцність зварних з'єднань. Однак використовувати прутки діаметром більш ніж 5 мм небажано, бо неможливо забезпечити їх рівномірне прогрівання, що може призвести до утворення великих внутрішніх напружень і дефектів.

Корінь шва переважно варять прутком  $\varnothing 2$  мм, а далі розробку заповнюють прутком  $\varnothing 3$  мм при  $\delta < 4$  мм і  $\varnothing 4$  мм при  $\delta > 4$  мм. Як правило, для зварювання використовують присадні прутки такого ж типу, що й основний матеріал, однак більш пластичний, які мають температуру розм'якшення на  $10-15^{\circ}$  С нижче температури розм'якшення основного матеріалу.

Це сприяє кращому сплавленню і збільшує міцність зварних з'єднань. При зварюванні пруток необхідно подавати під кутом  $90^{\circ}$

відносно поверхні листів.



а -  $\alpha > 90^\circ$ ; б -  $\alpha = 90^\circ$ ; в -  $\alpha < 90^\circ$

Рисунок 4.7 - Можливе розташування присадки

Якщо кут  $\alpha > 90^\circ$ , то пруток витягується і в ньому виникають значні розтягуючі напруження при охолодженні; якщо  $\alpha < 90^\circ$ , то він стискується і можливе утворення хвилястості і несплавень. Якщо присадний пруток дуже м'який, то кращі результати досягаються при  $\alpha > 90^\circ$ , бо у цьому випадку можна створити більший тиск.

Для зварювання використовують пальники, що мають діаметр сопла на 0,5-1 мм більше діаметра присадки.

Температура газу на виході із сопла (на відстані 6 мм від нього) повинна на 50-100° С перевищувати температуру текучості полімеру і, як правило, становити 240-300° С. Витрата газу - 0,3 м<sup>3</sup>/год на 1 мм<sup>2</sup> сопла. Відстань до зони зварювання - 5-8 мм. Зусилля натискання на пруток Р для більшості полімерів складає 3 Н/мм<sup>2</sup>, а для поліамідів і поліметилметакрилату Р = 0.

Як правило  $v_{зв} = 0,15-0,2$  м/хв при діаметрі прутка 3 мм, та  $v_{зв} = 0,1-0,15$  м/хв при діаметрі прутка 4 мм. З'єднання великої товщини заварюють за декілька проходів (рис. 4.8).

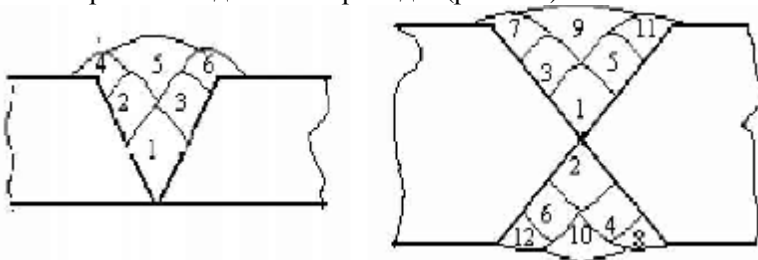


Рисунок 4.8 - Послідовність заповнення розробки кромки при прутковому зварюванні



Основними типами зварних з'єднань є стикові, внапуск, таврові й кутові.

Враховуючи, що пластмаси мають значну усадку і утворюють значні деформації, то при зварюванні з V-подібною розробкою доцільно збирати листи зі зворотнім прогином.

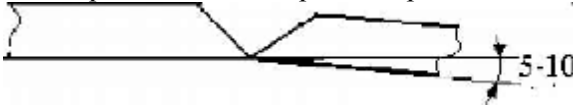


Рисунок 4.9 - Схема розташування деталей перед зварюванням  
Зварні шви не рекомендується навантажувати одразу після зварювання. Витримка - 10-24 год.

### 4.3 Обладнання для зварювання газовим теплоносієм

Для ручного зварювання термопластів газовим теплоносієм використовують переважно електропневматичні пальники, в яких газ нагрівається за допомогою електронагрівача, підключеного до напруги 12-36 В.

Це пальники ГЗП-2 пристрої УСП-03 і ін. В польових умовах використовують пальники, що нагріваються газозгараючими сумішами (газополуменеві) посередньої дії ГГК-1 і прямої дії ГПП-1.

Для напівавтоматичного зварювання листів термопластів із застосуванням присадного прутка створений напівавтомат ППП-1, який змонтований на самохідному візку і комплектується спеціальним блоком живлення.

Для механізованого зварювання плівок гарячим газом без присадного прутка випускаються машини МСП-5У, МСП-12, СПК-М.

Машина МСП-5У є універсальною. Вона розрахована на здійснення процесу зварювання гарячим газом, нагрітим інструментом і інфрачервоним випромінюванням.

## **5 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС НАГРІТИМ ІНСТРУМЕНТОМ**

### **5.1 Суть і різновидності процесу зварювання нагрітим інструментом**

Цей спосіб зварювання є універсальним, придатним для з'єднання майже всіх термопластів. Суть способу полягає у тому, що з'єднувані деталі, контактуючи з нагрітим інструментом, розігріваються в місцях з'єднання до температури в'язкотекучого стану і стискаються з метою зближення зварюваних ділянок поверхонь на відстань, при якій між ними виникають сили міжмолекулярної взаємодії. В результаті сумісного перетікання поверхневих шарів відбувається їх часткове перемішування, а також взаємодифузія сегментів макромолекул полімеру з однієї поверхні в іншу. В результаті цього після остигання утворюється нероз'ємне з'єднання. Такий спосіб зварювання називають також термоконтатним або контактнo-тепловим. Він відрізняється простотою використoванoгo обладнання і високою якістю з'єднань.

Існує дві різновидності процесу термоконтатного зварювання: проплавленням і оплавленням.

При зварюванні проплавленням нагрівач торкається до зовнішньої поверхні деталі і тепло передається до зварюваних поверхонь через товщину матеріалу. Такий метод застосовують при зварюванні плівок і тонких листів.

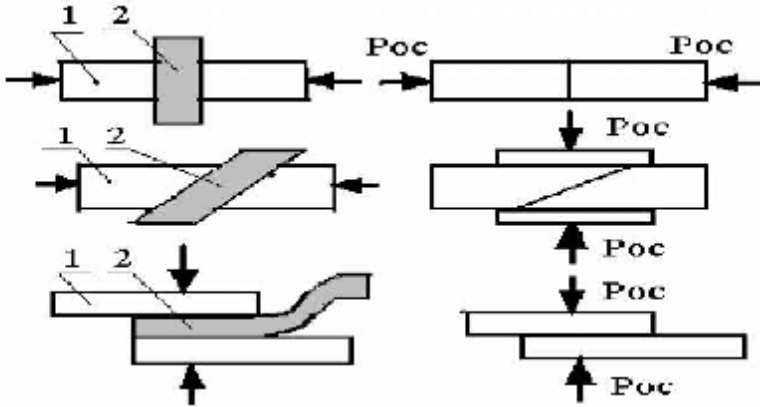
При зварюванні оплавленням нагрівач контактує безпосередньо зі зварюваними поверхнями. Цей спосіб використовують для з'єднання деталей компактного перетину-стержнів, труб і ін. профілю.

Основні схеми підведення тепла при зварюванні оплавленням представлені на рис. 5.1.

Зварювання проплавленням, що використовується для з'єднання тонколистових деталей, може здійснюватись з одностороннім і двостороннім підведенням тепла. В обох випадках розподіл температури по товщині зварюваних матеріалів є нерівномірним через низький коефіцієнт теплопровідності полімерних матеріалів.

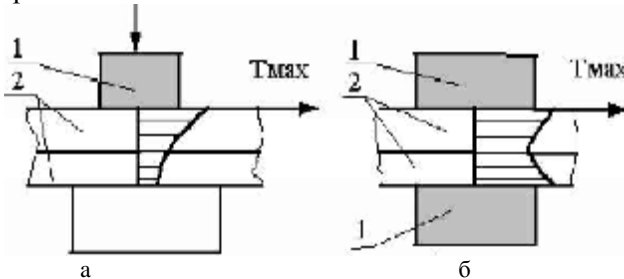
Швидкість досягнення визначеної температури в зоні зварювання залежить від температури інструмента, товщини матеріалу і його теплофізичних властивостей. Двостороннє нагрівання полегшує умови зварювання, дає можливість швидше нагріти матеріал

до потрібної температури і тому використовується для зварювання товстих плівок ( $\delta > 0,35$  мм).



1 - з'єднувальні деталі; 2 - нагрівач

Рисунок 5.1 - Схема процесу термоконтактного зварювання полімерів оплавленням



1 - нагрівач; 2 - деталі

Рисунок 5.2 - Розподіл температури по товщині деталей при зварюванні полімерів проплавленням з одностороннім (а) і двостороннім (б) підводом тепла

При зварюванні проплавленням нагрівач виконує одночасно і функцію пресуючого елемента, за допомогою якого необхідне зусилля осадки передається у зварювальну зону. Нагрівач може мати постійну температуру (інерційний), або працювати в імпульсному режимі. В останньому випадку тепла енергія в нагрівачі виділяється короткочасно для нагрівання до температури зварювання. Як правило, це досягається за рахунок пропускання імпульсного струму через нагрівальний елемент, виготовлений з ніхромової стрічки чи дроту.

Після вимикання струму деталі витримуються під тиском

декілька секунд для охолодження під навантаженням із метою запобігання їх жолоблення.

Тому при термоімпульсному зварюванні досягається більш висока якість з'єднань у порівнянні зі зварюванням інерційним нагрівачем. Термоімпульсне зварювання використовують переважно для з'єднання плівок:

$\delta < 0,1$  мм - при односторонньому нагріванні;

$\delta = 0,2-0,3$  мм - при двосторонньому нагріванні.

Зварювання гарячим інструментом забезпечує хорошу якість з'єднань.

## 5.2 Технологія зварювання оплавленням

При зварюванні оплавленням елементів значної товщини (> 4 мм) найбільш розповсюдженими типами зварних з'єднань є стикові з прямими й скошеними (на вус) кромками, а також таврові з'єднання.

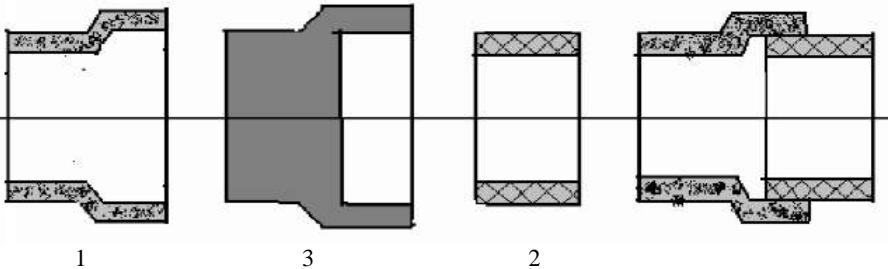
При зварюванні тонких елементів основними типами з'єднань є на вус, внапуск і торцьові. Підготовка кромок - механічною обробкою.

Основними параметрами зварювання оплавленням є температура нагрівача, час нагрівання поверхонь, величина тиску при нагріванні й осаджуванні, час осадки й витримка під тиском. Окрім основних параметрів враховують глибину проплавлення, а також величину й швидкість осадки. Як правило, температуру нагрівача встановлюють на 100-200° С вище температури плавлення термопласту. Глибину оплавлення вибирають із таким розрахунком, щоб відбулося гарантоване оплавлення всіх ділянок з'єднуваних поверхонь. Для зменшення величини оплавлення й кількості ґрату торці заготовок перед зварюванням підлягають механічній обробці. Величина тиску при оплавленні може змінюватись в широких межах - від 0,5-1 МПа на початку оплавлення до 0,1-0,15 МПа - після достатнього прогрівання матеріалу і зниження його в'язкості. Бажано, щоб час нагрівання складав 15-30 с. Після досягнення потрібної величини оплавлення, нагрівальний елемент усувають із зони стику, а деталі притискають із усиллям садки, рівним 0,2-1 МПа. Усиллям витримують постійним до повного охолодження виробу.

Якщо величина тиску й швидкість осадки недостатні і в зоні

стику залишаться газовий прошарок, або окислений і деструйований матеріал, це призведе до утворення нещільностей, які перейдуть у тріщини під впливом зовнішніх навантажень.

Для активації реологічних процесів у стику застосовують різні форми розробки кромки (фігурні, на вус). Це сприяє також збільшенню площі контакту і веде до підвищення міцності з'єднань. Для з'єднання труб із поліолефінів широке розповсюдження знаходить розтрубне зварювання. Для здійснення процесу зварювання використовують нагрівальний інструмент, виготовлений у виді гільзи й дорна (рис. 5.3). Розмір інструмента залежить від розміру труб. Внутрішній діаметр гільзи відповідає зовнішньому діаметру труби, а зовнішній діаметр дорна - на 0,3-0,5 мм менше внутрішнього діаметра гільзи. Застосовують розтрубне зварювання для з'єднання труб <math>< \text{Ø}160 \text{ мм}</math>. Цей спосіб забезпечує більшу міцність з'єднання, не потребує видалення ґрату й обробки торців, не вимагає високої кваліфікації зварювальників.



1 - деталь із розтрубом; 2 - труба; 3 - нагрівальний елемент

Рисунок 5.3 - Схема термоконттактного зварювання в розтрубі

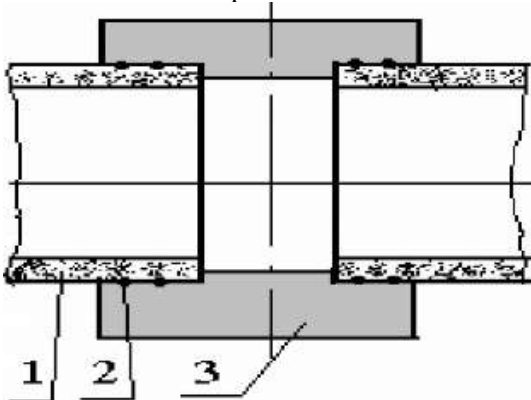
Розтрубом можна з'єднувати металеві труби із пластмасовими. Для цього металеву трубу спочатку обробляють, наносять на її поверхню канавки, напорошують шар пластмаси (0,3-0,5 мм) і поки напорошений шар ще гарячий, на нього насаджують пластмасову трубу і витримують до повного охолодження.

Деколи застосовують зварювання закладними елементами:

- терморезисторне;
- індукційне.

Підготовка труб і сполучних деталей до зварювання передбачає очистку і знежирення поверхонь, що зварюються, а також підгонку зовнішнього діаметра труби до внутрішнього діаметра розтрубною частиною сполучної деталі, який прийнятий рівним мінімальному

значенню зовнішнього діаметра труби, що виключає великі зазори між поверхнями, що сполучаються. При підгонці з поверхні труби механічним шляхом знімається зайвий шар матеріалу на довжину розтруба з'єднувальної деталі, що підвищує якість зварювання за рахунок видалення поверхневого окисленого шару труби.



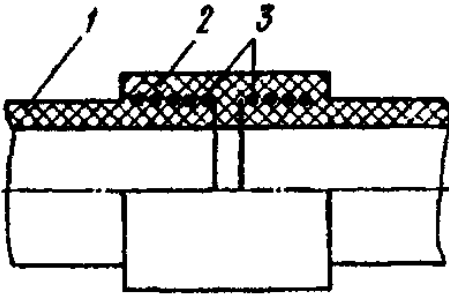
1 - деталі; 2 - металевий дріт; 3 - втулка

Рисунок 5.4 - Вид зварного з'єднання з закладними елементами

При складанні з'єднання труба вставляється в розтруб з'єднувальної деталі до упору у внутрішній кільцевий виступ, що контролюється по позначці на трубі.

Кінці спіралі підключаються до спеціального джерела струму низької напруги (3-36 В), налаштованого на оптимальний режим зварювання. Підтримувані автоматично після включення джерела живлення тривалість і потужність імпульсу електричного струму залежать від матеріалу і діаметра труб, матеріалу і конструкції закладного елемента. Як правило, час пропускання струму становить кілька десятків секунд.

Для створення оптимальних умов зварювання в розтрубній частині сполучної деталі з обох сторін спіралі розташовані зони, що не зварюються між собою. Ширина їх (7 мм) підбрана так, щоб розплавлений матеріал, витікаючи із зони зварювання, застигав і перешкоджав подальшому витіканню розплаву, створюючи в зоні зварювання тиск, необхідний для отримання міцного з'єднання. Зварювання труби з сполучною деталлю відбувається по межвитковим зазорам спіралі (рис. 5.5).



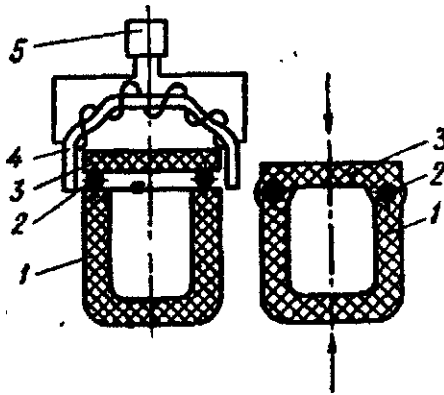
1 - труба; 2 - втулка; 3 - спіраль з металевого дроту

Рисунок 5.5 - З'єднання труб з розтрубною втулкою зварюванням залишаються в шві нагрітим елементом у вигляді спіралі

Зварювання пластмасових труб із застосуванням литих з'єднувальних деталей із закладним нагрівальним елементом значно спрощує проведення робіт з монтажу трубопроводів, так як труби встановлюють відразу в проектне положення, а в процесі зварювання не потрібні спеціальні інструменти. У порівнянні з іншими способами зварювання знижуються вимоги до кваліфікації зварника, підвищується продуктивність зварювальних робіт, скорочується термін монтажу трубопроводу, підвищується якість зварних з'єднань (з'єднання з металевим вкладишем у виді спіралі є найбільш стійкими при тривалій експлуатації трубопроводів в умовах вібрації, пульсуючої, знакозмінної та інших видів динамічних навантажень). З'єднання трубопроводів легко ремонтувати - закладений елемент можна знову підключити до джерела живлення і повторити зварювання.

При індукційному зварюванні нагрівання закладного елемента здійснюється в електромагнітному високочастотному полі з використанням індуктора (рис. 5.6), підключеного до генератора високої частоти (кілька одиниць або десятків кілогерц). В якості заставних нагрівальних елементів застосовуються не тільки металеві вкладиші зі сталі, нікелю, кобальту, а й тонкоподрібнений порошок окису заліза з частинками розміром до 20 мкм, який наносять на поверхні, що сполучаються вводять поверхневі шари деталі або включають до складу адгезивов на основі термопластів того ж складу, що і деталі, які з'єднуються (у виді гранул, стрічки або дроту). При

нагріванні в індукторі адгезив плавиться, утворюючи міцний зв'язок з матеріалом деталей, що з'єднуються.



1,3 - вироби, що зварюються; 2 - заставний нагрівальний елемент у виді дроту;  
4 - індуктор; 5 - генератор високої частоти

Рисунок 5.6 - Схема індукційного зварювання

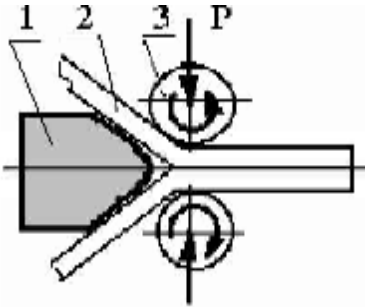
Цей спосіб зварювання використовується головним чином для з'єднання виробів з поліетилену, поліпропілену та інших термопластів товщиною не менше 0,6 мм.

Зварювання оплавленням плівок здійснюється внапуск або з накладкою. При цьому способі зварювані поверхні плівок нагріваються за допомогою клиновидного нагрівального інструменту, розташованого між плівками, після чого плівки стискаються за допомогою роликів.

Зварювання можна здійснювати вручну, або автоматично при механізованій подачі матеріалу і нерухомому нагрівальному елементу. Цей спосіб використовують при зварюванні плівок  $\delta > 150$  мкм. Тонкі плівки прогриваються по всій товщині, втрачають форму і прилипають до нагрівача, або роликів. Максимальна товщина плівок не обмежується.

Температура нагрівання - як і в попередньому випадку. При забрудненні нагрівача продуктами деструкції полімеру температуру збільшують на  $60-130^{\circ}$  С. Швидкість зварювання підбирають експериментально в межах 0,15-1,5 м/с. Зусилля на роликах - 100-200 Н.





1 - нагрівальний інструмент; 2 - деталі; 3 - обтискуючі ролики; Р - зусилля стискування

Рисунок 5.7 - Схема термоконтактного зварювання плівок оплавленням

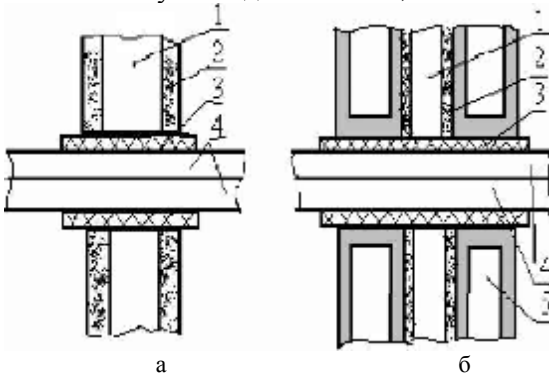
### 5.3 Пресове зварювання проплавленням

При пресовому зварюванні проплавленням використовують інерційні нагрівальні елементи з великою теплоємністю, або малоінерційні стрічкові нагрівачі, що працюють в імпульсному режимі. Пресове зварювання інерційними нагрівачами дає хороші результати для армованих плівок, бо вони вимагають великої витримки при нагріванні і значних зусиль (тим більших, чим тонший шар пластмаси, що покриває армуючий шар). При цьому конструкція зварювального обладнання повинна забезпечувати деформацію матеріалу в зоні шва, але обмежувати її у навколошовній зоні, бо інакше там утворюються складки.

При зварюванні плівок переважно використовують з'єднання внапуск, або з різноманітними накладками. Для армованих плівок між з'єднуваними елементами закладають смужки полімерного матеріалу, що використаний для покриття армованого шару. Це поліпшує процес зварювання. Міняючи величину перекриття плівок можна отримувати з'єднання із широким діапазоном міцностних характеристик.

При зварюванні неармованих полімерів температура нагріву при односторонньому нагріванні становить 130-140° С для ПЕВТ і 200-240° С - для інших полімерів. При двосторонньому нагріванні

температура нагрівачів на 20-40° С нижча. Час нагрівання становить 2-5 с, а тиск 0,05-0,08 МПа. При зварюванні армованих плівок час нагрівання збільшується до 120-180 с, а тиск складає 0,7-1,2 МПа.



1 - нагрівач; 2 - теплоізоляційна пластинка; 3 - роздільна прокладка; 4 - зварюваний матеріал; 5 - охолоджуючий елемент.

Рисунок 5.8 - Схема пресового зварювання нагрівальним інструментом без охолодження (а) і з охолодженням (б) бокових зон шва.

При безперервному контактній-тепловому зварюванні переміщення матеріалу відносно інструменту накладає додаткові умови на характер розподілу температури. При цьому розподіл температури сильно залежить від швидкості зварювання. Так як температура інструмента обмежується можливістю термодеструкції поверхневих шарів, то це, у свою чергу, є обмеженням для вибору швидкості зварювання.

При термоімпульсному зварюванні час нагрівання й температура нагрівача пов'язані між собою. Тому регулюють час нагрівання. Вибирають цей параметр експериментально. Термоконтактне зварювання є єдиним способом, що дає можливість зварювати вироби з фторопласта Ф-4. Процес зварювання відзначається великою витримкою при зварюванні (товстих деталей - 20-40 хв, для плівок - 1-2 хв.). Температура інструменту - 370-390° С.

#### 5.4 Обладнання для термоконтактного зварювання

Для термоконтактного зварювання випускаються ручні пристрої переважно для роботи в монтажних умовах, механізовані головки й напівавтомати, а також стаціонарні машини й установки.

Основний елемент будь-якого пристрою - нагрівач. Вони можуть працювати в тривалому режимі (інерційні) і в імпульсному. Нагрівальний елемент може бути виготовлений у виді ролика з електропідігрівом, полоза або пластини із вкладеними в них нагрівальними елементами, а також у виді стрічки зі сплавів високого опору. Робоча поверхня нагрівача, як правило, має спеціальне покриття з целофану або фторопласта Ф4 для запобігання прилипання до неї розплавленого полімеру.

Для ручного зварювання плівок використовують ручні ролики (типа ВНІСТ-3), а також полози (УСП-1) і кліщі (КС). Кліщі КС розраховані на крокове виконання зварних швів на плівках -  $\delta < 0,5\text{мм}$ . Потужність нагрівача - 0,50 кВт, нагрівання двостороннє.

Більш якісні зварні з'єднання досягаються при використанні напівавтоматів. Напівавтомати ПСП-11, ПСП-16, ПСП-15 призначені для зварювання плівок із поліолефінів товщиною 200, 100 і 300 мкм відповідно. Напівавтомат ПСП-15 має двосторонній нагрів, інші - односторонній.

Для автоматичного безперервного зварювання прямолінійних швів на плівках  $\delta < 500\text{ мкм}$  використовують машину ПСП-5У.

Для зварювання армованих плівок і складних композицій використовують зварювальні преси ПС-4, ПС-12, ПС-100, ПС-300. Вони мають двосторонній нагрів ( $t = 250^\circ$ ) і розраховані на зварювання матеріалів  $\delta \leq 3\text{ мм}$ .

Листи з термопластів  $\delta = 3\text{-}30\text{ мм}$  зварюють встик (або на вус) на установках з інерційними нагрівачами (МСФ і ПСП-8). За один прохід заварюється шов довжиною 500-700 мм. Для зварювання труб із термопластів використовуються різноманітні установки й пристрої з гідравлічним, пневматичним або важільним приводом.

Це установки ІЕЗ ім. Патона типу УСТТ 100-1200, а також установки з гідравлічним приводом конструкції - ВНДІСТ: УСП-5, УМСТ-09, УСКП-6 і ін.

## **6 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС СТРУМОМ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ**

### **6.1 Суть процесу високочастотного зварювання**

Зварювання полімерних матеріалів струмом високої частоти базується на нагріванні їх до в'язкотекучого стану в результаті перетворення електричної енергії поля високої частоти в теплову безпосередньо в об'ємі зварюваного матеріалу.

Нагрівання термопластів у високочастотному полі відбувається завдяки здатності ланок макромолекул дипольної будови поляризуватись при прикладенні зовнішнього електричного поля. При зміні напрямку поля змінюється поляризація молекул.

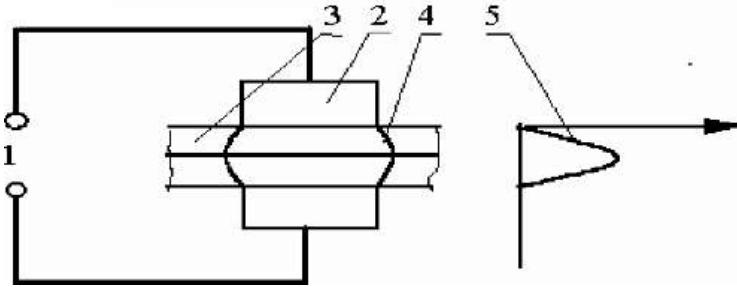
Енергія, що затрачується на подолання "внутрішнього тертя", тобто внутрішнього опору при поляризації молекул, перетворюється в теплову енергію, завдяки чому температура термопласта швидко підвищується. При цьому, температура найбільше підвищується в зоні зварного з'єднання, а біля електродів (на поверхні матеріалу) вона досягає нижчих значень через тепловіддачу в електроди і менший внутрішній опір. Схема діелектричного нагрівання і розподіл температури показані на рис. 6.1. По мірі нагрівання термопласта його в'язкість зменшується. При досягненні в'язкотекучого стану умови переорієнтації диполів полегшуються й інтенсивність тепловиділення за рахунок внутрішнього тертя зменшується, а відповідно, і зменшується інтенсивність наростання температури.

Під дією механічного зусилля, прикладеного до електродів, а також електродинамічних сил високочастотного поля відбувається перетікання й перемішування об'ємів розплаву поверхневих шарів. Після виключення високочастотного поля й остигання деталі утворюється нероз'ємне з'єднання. Різні пластмаси в змінному електричному полі нагріваються не однаково інтенсивно. Здатність матеріалу нагріватись у високочастотному полі характеризує фактор діелектричних утрат:

$$K = \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta,$$

де  $\varepsilon$  - відносна діелектрична проникненість, безрозмірна величина;

$\text{tg}\delta$  - тангенс кута діелектричних втрат, безрозмірна величина.



1 - високочастотний генератор; 2 - електроди; 3 - зварюваний матеріал; 4 - розподіл ліній поля високої частоти; 5 - розподіл температури по товщині зварюваного матеріалу

Рисунок 6.1 - Схема зварювання полімерів СВЧ

Чим вище  $\epsilon$  і  $\text{tg}\delta$ , тим сильніше нагрівається полімер. Зварюватись можуть тільки ті пластмаси, у яких фактор діелектричних утрат  $K > 0,01$ . Це полярні пластики: полівінілхлорид, поліаміди, полівілацетати, поліакрилати. Фактор діелектричних втрат поліолефінів, полістиролу, політетрафторетилену дуже низький, а тому вони без спеціальних прийомів СВЧ не зварюються.

Питома потужність, яка виділяється у виді тепла при знаходженні діелектрика в електричному полі може бути визначена по ф-лі:

$$P=0,55 \cdot 10^{-3} \cdot \epsilon \cdot \text{tg}\delta \cdot f \cdot E^2 \text{ (Вт/м}^3\text{)},$$

де  $f$  - частота поля, Гц;

$E$  - напруженість поля, В/м.

Видно, що теплова потужність визначається параметрами поля ( $f$ ,  $E$ ), а також діелектричними властивостями полімеру. Тому, міняючи напруженість і частоту поля, можна міняти швидкість нагрівання.

Однак збільшення напруженості поля можливе лиш до певної межі, вище якої відбудеться електричний пробій матеріалу. В результаті - брак виробу й порушення роботи генератора високої частоти. Допустима величина напруги електричного поля при зварюванні дорівнює

$$U_{\text{доп}} = (0,5-0,65)U_{\text{проб}}$$

Величина пробивної напруги для ПВХ складає 12... 15 кВ/мм.

Збільшення частоти можливо також тільки в певних межах. Перш за все це пов'язано із санітарними нормами, по друге - частота певною мірою залежить від лінійних розмірів електродів. При порушенні певних співвідношень відбувається нерівномірне нагрівання пластмаси через утворення стоячих хвиль.

В залежності від конструктивних особливостей деталі можуть використовуватись різноманітні способи зварювання. Існує пресове, точкове і шовне зварювання.

При пресовому способі зварювання використовують електроди, що мають форму шва (по крайній мірі один). Електроди одночасно і передають тиск на зварювані деталі й охолоджують поверхню матеріалу в зоні зварного шва, забезпечуючи хороший товарний вид деталі. В залежності від розмірів електродів за один цикл зварюється повністю весь шов, або окрема його ділянка. Пресовий спосіб зварювання забезпечує міцність з'єднання на рівні міцності основного матеріалу.

Точкове зварювання є різновидністю пресового, але має малу площу. Застосовують для збирання і прихвачування деталей перед пресовим і шовним зварюванням.

Шовне або роликкове зварювання - для отримання довгих швів шляхом переміщення заготовок між двома дисковими роликами. Як правило нижній ролик має робочу ширину в 5-10 раз більше ширини верхнього, що забезпечує кращу подачу деталей. Цей спосіб є простим, але має істотний недолік - відносно невелика продуктивність (~5 м/хв). Використовують рідко - переважно для тонких плівок.

## 6.2 Технологія зварювання

Основними технологічними параметрами пресового високочастотного зварювання є напруженість електричного поля, величина тиску й час нагрівання. Усі вони в значній мірі залежать від частоти поля. Для здійснення високочастотного зварювання полімерів використовують наступні діапазони частот: 13,56; 27,12; 40,68 МГц.

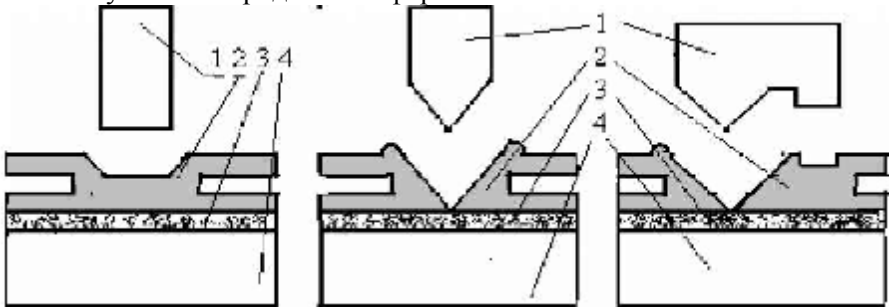
При розробці технології важливим моментом є вибір довжини й форми зварювальних електродів. Робоча довжина електрода залежить

від діелектричної постійної  $\epsilon$  і довжини хвилі  $\lambda$  коливання електричного поля

$$L = \lambda / 10\epsilon^{0,5}$$

Як правило, максимальна довжина хвилі не перевищує 1000 мм.

Ширина електрода  $b = 2\delta$ , але не менше 0,8 мм ( $\delta$  - товщина матеріалу). Найбільш висока якість зварних з'єднань забезпечується, коли верхній і нижній електроди однакової ширини. Якщо ширина електродів різна, то біля їх країв утворюється поле розсіювання і відбувається перегрівання матеріалу, що негативно впливає на якість з'єднань. При зварюванні СВЧ поруч із плоскими електродами застосовують електроди іншої форми.



1 - верхній електрод; 2 - деталі; 3 - прокладка; 4 - нижній електрод

Рисунок 6.2 - Форма електродів для зварювання СВЧ

Використовуючи електроди різної форми, можна отримувати шви різноманітного профілю і здійснювати різання по периметру шва. Робочий тиск електродів на поверхню деталі може мінятися в широких межах і залежить від типу матеріалу і його товщини. Для полівінілового пластику - 0,1-5, поліаміду - 0,7-2, вініласту - 2-5 МПа. При недостатньому тиску - сильне жолоблення, при завищеному - видавлювання матеріалу. Для запобігання утворення глибоких вм'ятин - використовують обмежувачі хода електродів.

В звичайних швах унапуск товщина матеріалу в зоні шва повинна складати не менше 60-70 % сумарної товщини.

Потужність, що видається на електроди, залежить від товщини пакета й часу зварювання. Чим товще пакет і менше час зварювання, тим більше потужність. Вибирають по номограмах. При вибраній потужності час зварювання уточнюють експериментально. Якщо

зварювання здійснюється із прорізанням пакета, то нижній електрод захищають листом гетінакса.

Продуктивність пресового зварювання СВЧ значно перевищує продуктивність інших способів зварювання. Але через те, що конфігурація електродів повинна відповідати конфігурації шва, такий спосіб зварювання доцільно використовувати для виготовлення великої партії однотипних деталей.

Недолік метода - не всі матеріали зварюються. Часом тому для їх зварювання практикують застосування надвисоких частот (для Ф4-2400 МГц). Даний метод можна використовувати і для зварювання стикових швів труб (роликове шовне зварювання).

### 6.3 Обладнання для зварювання СВЧ

Для зварювання СВЧ використовують універсальні й спеціалізовані установки. Установка складається зі зварювального преса й генератора високої частоти. Прес виготовлений із двох електродних блоків і механізму приводу електродів. За принципом дії установки бувають періодичної й безперервної дії, за конструктивним виконанням - ручні й стаціонарні.

Ручні установки використовують для пакування, а також зварювання швів невеликої довжини. Ручний прес - це кліщі. В Україні використовують ручні установки ЛС 2-03 (РФ), УЗП-100 (Болгарія), ЕДР-3 (Чехія) для зварювання плівок  $\delta = 0,1-2$  мм. Довжина шва 100-300 мм. Частота 40,68 і 27,12 МГц.

Стаціонарні установки відрізняються розмірами пресів (їх плит) і типами приводу преса (важільний, пневматичний, гідравлічний). Переважна більшість установок працює на частоті 27,12 МГц.

Використовуються установки ВЧД 1-4/27, ВЧД 2-4/27, ВЧД 3-1,6/27, ВЧД 6-4/27 (Росія).

Марка установки розшифровується наступним чином, наприклад, ВЧД 6-4/27:

- ВЧД - високочастотна для діелектриків;
- 6 - типорозмір столу 1500x2000, Р=10 т.с.;
- 4 - потужність, кВт;



— 27 - частота, МГц.

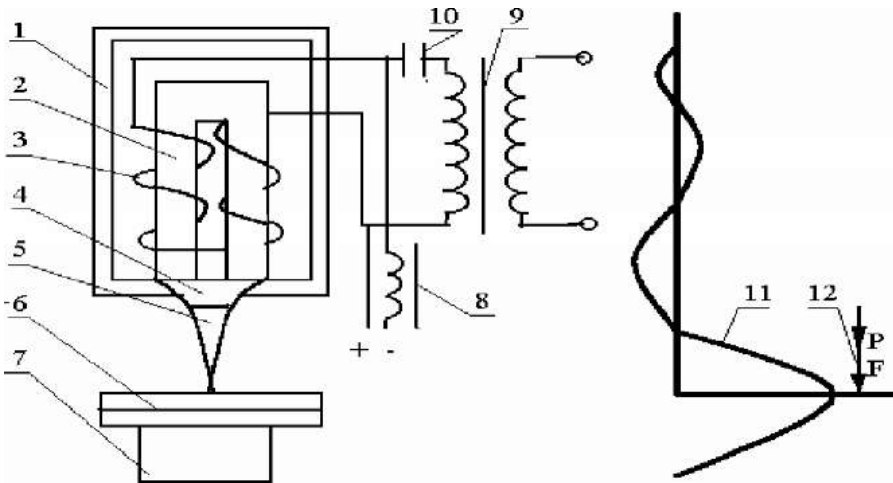
Установки УЗП-250-УЗП-1200 (Болгарія): де 250-1200-потужність ( $f = 27,12$  МГц).

## **7 УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ**

### **7.1 Суть процесу ультразвукового зварювання**

Ультразвукове зварювання полімерів базується на перетворенні механічної енергії ультразвукових коливань в теплову енергію безпосередньо в середині зварюваного матеріалу, нагріванні завдяки цьому зварюваних поверхонь до температури в'язкотекучого стану і стисканні їх із метою утворення нероз'ємного з'єднання.

Ультразвук являє собою механічні пружні коливання матеріального середовища, в якому вони розповсюджуються з частотою  $> 20$  кГц. Для зварювання використовують частоти 20-50 кГц. При введенні ультразвукових коливань у полімерні матеріали найбільш інтенсивне поглинання їх енергії й перетворення в теплову відбувається в окремих нещільностях матеріалу і, перш за все, на межі розділу з'єднуваних матеріалів. Окрім того, виникаюча при зварюванні поперечна складова ультразвукової хвилі, викликає поверхневе тертя на межі розділу, що також сприяє швидкому розігріванню матеріалу в цій зоні. Під дією механічних ультразвукових коливань відбувається вирівнювання мікронерівностей, руйнування й видалення поверхневих плівок і забруднень із зони зварювання. Під дією ультразвукових коливань відбувається також перемішування розплаву, що сприяє підвищенню якості зварних з'єднань. Необхідні для зварювання ультразвукові коливання виробляються спеціальними магнітострикційними перетворювачами, що живляться від високочастотного генератора. Для збільшення амплітуди механічних коливань і передачі їх на зварювальні електроди після магнітострикційного перетворювача встановлений трансформатор пружних коливань і хвилепровід спеціальної конструкції.



1 - корпус магнітострикційного перетворювача; 2 - сердечник магнітостриктора; 3 - обмотка; 4 - трансформатор пружних коливань; 5 - хвилепровід; 6 - деталь; 7 - опора; 8 - дросель для підмагнічування магнітостриктора; 9 - трансформатор ультразвукових коливань; 10 - роздільний конденсатор; 11 - еюра амплітуди зміщень коливальної системи; 12 - напрямок дії статичної сили  $P$  і динамічної сили  $F$  на виріб

Рисунок 7.1 - Схема процесу ультразвукового зварювання

Величина амплітуди коливань магнітостриктора невелика і складає 3...5 мкм. Задаючись певною закономірністю зміни площі поперечного перетину трансформатора і хвилепровода, можна збільшити амплітуду коливань в 10-20 раз.

Відмінною особливістю ультразвукового зварювання пластмас є те, що коливання вводять переважно перпендикулярно до зварюваних поверхонь і їх напрямок співпадає з напрямком дії тиску ( $P_{ст}$ ). При зварюванні металів коливання відбуваються в напрямку перпендикулярному до прикладеного навантаження (тобто в площині з'єднаних поверхонь).

Переваги ультразвукового зварювання (УЗЗ) порівняно із зварюванням струмом високої частоти (СВЧ):

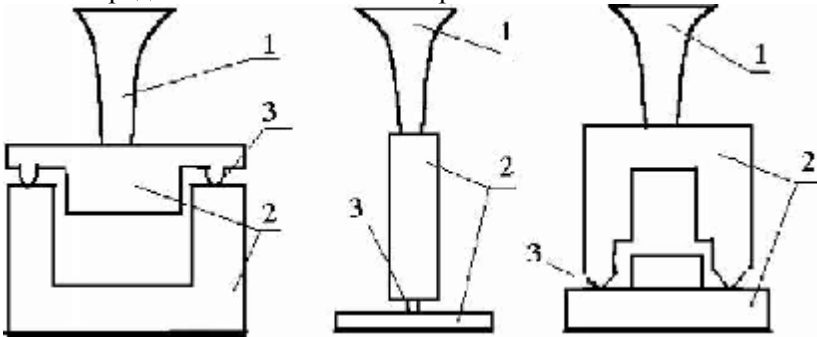
- для зварювання не потрібен другий електрод, бо процес здійснюється з одностороннім підводом енергії. Тому друга деталь може бути необмежено великої товщини;

- ультразвукове зварювання можна здійснювати в труднодоступних місцях, бо енергію можна передавати на значні відстані від місця введення;

- відсутня необхідність у попередньому очищенні з'єднуваних поверхонь від забруднень. Це дозволяє використовувати його для зварювання тари;
- до зварювальних електродів не підводиться напруга;
- кращі санітарно-гігієнічні умови праці у порівнянні з СВЧ.

## 7.2 Різновидності процесу ультразвукового зварювання

Існує декілька різновидностей ультразвукового зварювання. Це перш за все передаточне й контактне зварювання.



1 - хвилепровід; 2 - деталі; 3 - зона зварювання.

Рисунок 7.2 - Схема процесу передаточного зварювання

Передаточне зварювання використовують при виконанні таврових і стикових з'єднань в об'ємних конструкціях із жорстких термопластів. В цьому випадку підведення енергії механічних коливань здійснюється на значній відстані від місця утворення зварного з'єднання (до 250 мм).

Контактне зварювання застосовують при виконанні з'єднань на виробках із м'яких термопластів малої товщини (до 5 мм). В цьому випадку енергія ультразвукових коливань підводиться безпосередньо біля зони утворення зварних з'єднань. Контактне зварювання має декілька різновидностей: точкове, шовне і пресове.

Точкове зварювання виконують хвилепроводом компактного суцільного перетину (як правило круглого) при відсутності взаємного (поперечного) переміщення електроду і зварного виробу.

Шовне зварювання здійснюється компактним хвилепроводом із

заокругленою поверхнею при наявності взаємного переміщення деталі і зварювального електрода з визначеною швидкістю (швидкість зварювання). Застосовують переважно для отримання безперервних швів при зварюванні плівок.

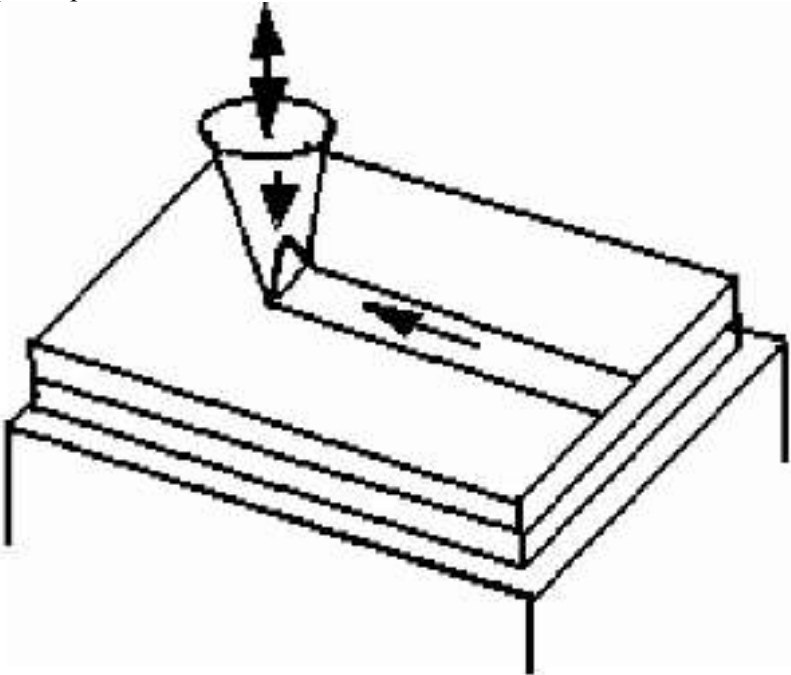


Рисунок 7.3 - Схема процесу шовного ультразвукового зварювання

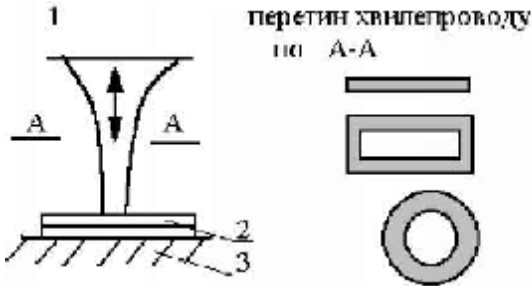
Пресове контактне зварювання виконують з використанням хвилепроводів розвинутої перетину при відсутності взаємного переміщення деталі відносно електрода.

Можливість утворення зварного з'єднання при різних способах зварювання залежить від властивостей матеріалу.  $E > 2.10$

Передаточним і контактним зварюванням добре зварюється полістирол і полікарбонати.

Полівінілхлорид і поліметилметакрилат добре зварюються контактним зварюванням і з трудом - пресовим.

Поліаміди, поліпропілен і поліетилен не зварюються передаточним зварюванням і посередньо зварюються контактним зварюванням (точковим і пресовим).



1 - хвилепровід; 2 - деталі; 3 - опора.

Рисунок 7.4 - Види хвилепроводів для пресового зварювання

Тонкі плівки з поліамідних матеріалів (ПК-4), поліетилентетрафталату (ПЕТФ), полікарбонату (діфлону), поліпропілену (ПП) і фторопласту Ф-30 добре зварюються контактним зварюванням. Плівки з поліетилену шовним зварюванням зварюються важко (мала міцність).

### 7.3 Технологія ультразвукового зварювання

При передаточному зварюванні якість зварних з'єднань у значній мірі залежить від підготовки кромки з'єднуваних поверхонь. Розробка кромки може відрізнятись по формі, але повинна мати виступ висотою до 0,4 мм, який входить у паз або опирається на плоску поверхню іншої деталі. Це сприяє концентрації енергії, прискорює процес нагрівання й зварювання, підвищує якість зварних з'єднань.

Якщо нема можливості виконати бортики, то концентрацію напружень на з'єднуваних поверхнях забезпечують посипанням тонкого шару дрібних крихіток полімерного матеріалу.

В залежності від форми деталі для передаточного зварювання можна використовувати різноманітні хвилепроводи, але краще точкові. При використанні хвилепроводів із великою випромінюючою поверхнею (ножові, контурні) обов'язковим є щільне прилягання їх по всьому контуру до поверхні деталі. Режими зварювання - частоту й амплітуду коливань торця електрода, як правило, вибирають дослідним шляхом. В більшості випадків:  $f = 20-21$  кГц;  $A = 20-30$  мкм;  $P = 50-100$  Н;  $\tau = 1-2$  с.

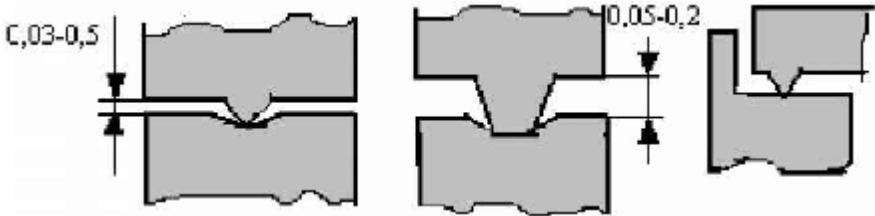


Рисунок 7.5 - Підготовка кромок для передаточного зварювання  
Пресовим зварюванням можна виконувати за 1 хід електродів шви, довжина яких залежить від підведеної потужності. При потужності 1,5-2 кВт довжина прямолінійних швів досягає 300 мм, по замкненому периметру 150-250 мм.

При точковому зварюванні діаметр точки не повинен перевищувати 15 мм.

Залежність якості зварних з'єднань від параметрів режиму описується кривими з екстремумами. Оптимальні значення режимів контактного зварювання орієнтовно складають:  $A = 20-50$  мкм при  $f = 20$  кГц;  $P = 5-10$  МПа;  $\tau = 1-5$  с.

Слід пам'ятати, що всі параметри режиму взаємопов'язані. Зміна одного з них вимагає корегування іншого. Особливо ретельно слід вибирати зусилля стискання, бо від цього залежить здатність контуру коливатись, що впливає на амплітуду. При зварюванні зусилля  $P$ , як правило, прикладають до включення коливачів і знімають після їх виключення. Якщо поверхні забруднені, то коливачі включають до прикладення тиску для очищення поверхонь у місцях зварювання.

При шовному зварюванні ковзаючим електродом найбільш істотний вплив на якість з'єднань спричиняє амплітуда коливачів. Максимальна міцність досягається при  $P > 4-20$  Н. Тому зварювальні головки роблять вагою 0,4-1,5 кг, щоб створювати тиск за рахунок їх ваги. Оптимальне значення  $A = 25-30$  мкм. При цьому швидкість зварювання, як правило, складає 1,5-2 м/хв. Для шовного зварювання використовують електроди з алюмінієвих сплавів Д16, В95 або титанового сплаву ВТ-5. Такі електроди не гріються, хоча сильно зношується. Кут при вершині інструменту  $35^\circ$ , а закруглення кінця робочої частини  $R = 1$  мм.

Ультразвуковим зварюванням з'єднують як однорідні, так і армовані плівки. Міцність з'єднання становить 50-80 % від міцності основного матеріалу.

## 7.4 Обладнання для ультразвукового зварювання

Усі ультразвукові установки складаються із джерел живлення і зварювальних машин.

Важливою частиною зварювальної машини є електромеханічна коливальна система, призначена для перетворення електричних коливань у механічні. Для цих цілей використовують магнітострикційні, феритні або п'єзоелектричні перетворювачі. Найбільш розповсюдженими є магнітострикційні.

Всі типи перетворювачів забезпечують амплітуду зміщення системи  $A = 3-5$  мкм. Для збільшення амплітуди коливань до перетворювача приєднують трансформатор пружних коливань і хвилепровід. При зварюванні використовують переважно циліндричні (ступеневі), експонентоїдальні, катеноїдальні і конічні хвилепроводи з точковою, ножовою (прямокутною) контурною робочою поверхнею. Збільшення амплітуди коливань хвилепроводом називається його коефіцієнтом підсилення  $K_n$ . Цей коефіцієнт залежить від співвідношення площ вхідного й вихідного кінців хвилепровода:

- для ступеневих

$$K_n = S_1/S_2;$$

- для експоненціальних

$$K_n = \sqrt{S_1/S_2} .$$

Оптимальне значення  $K_n=5-10$ .

При більш високих  $K_n$  хвилепровід може швидко вийти з ладу.

Виготовляють хвилепроводи зі сталей 45, 40Х, 30ХГСА і приєднують до трансформатора за допомогою різьби, а трансформатори до сердечника - паянням.

Опори в ультразвукових машинах можуть бути активні й пасивні. Активні - відбивають ультразвукові коливання і застосовуються для зварювання плівок і тонколистових матеріалів. Їх виготовляють із сталі або титану  $\delta = 8-10$  мм. Пасивні опори поглинають ультразвукові коливання, їх використовують при

зварюванні виробів складної геометричної форми. Для їх виготовлення використовують гуму, дерево, текстоліт.

Для передаточного, пресового і точкового зварювання різних виробів використовують машини МТУ-0,4, МТУ-1,5, УП-20 ( $P = 0,7$  і  $1,6$  кВт) і ін.

Для шовного зварювання плівок випускаються машини УЗП-4, УЗП-6, УПШ-12, УПШ-19.

Випускаються також переносні напіваавтоматичні установки РУСУ-28, РУСУ-50 (цифра-частота кГц), які складаються з генератора і зварювального пістолета і пов'язані гнучким кабелем.

## **8 ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС ЕКСТРУДОВАНОЮ ПРИСАДКОЮ**

### **8.1 Суть і різновиди процесу зварювання**

Зварювання екструдованою присадкою здійснюється шляхом подачі в зону зварювання за допомогою екструдера розплавленого матеріалу, який віддає своє тепло контактуючим із ним поверхням, нагріває їх до температури зварювання і, сплавляючись із ними, утворює після остигання нероз'ємне з'єднання.

Для кращого з'єднання матеріалів зона зварювання обтискається за допомогою спеціальних пристроїв.

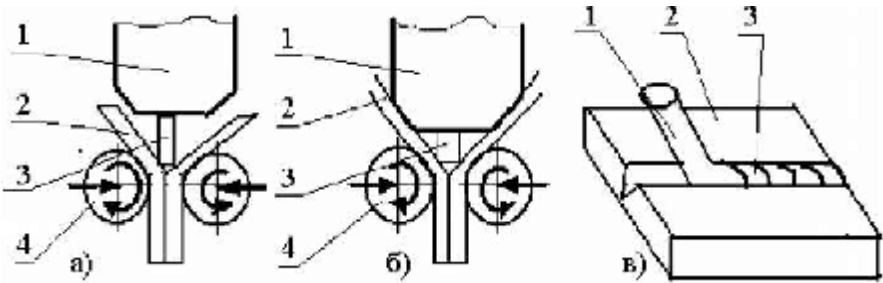
Зварювання екструдованою присадкою може виконуватись за двома схемами: без контакту мундштука екструдера із з'єднуваними поверхнями (екструзійне зварювання) і при контакті мундштука з поверхнею кромки (контактно-екструзійне зварювання).

Безконтактно-екструзійне зварювання застосовують для з'єднання плівок.

Контактно-екструзійне - для плівок і листових конструкцій.

Різновидністю екструзійного зварювання є зварювання литвом під тиском. Його використовують для зварювання деталей складної конфігурації у труднодоступних місцях. При цьому способі в зону з'єднання, заформованого у виді спеціальної ливарної форми, вприскується розплавлений полімер, який сплавляється із кромками деталей і при остиганні утворює зварний шов.





1 - мундштук; 2 - зварювані деталі; 3 - присадка; 4 - обтискувальні ролики

Рисунок 8.1 - Схема безконтактного (а), контактного (б) і під тиском (в) екструзійного зварювання

## 8.2 Технологія зварювання екструдованою присадкою

Основними параметрами екструзійного зварювання є: температура присадного матеріалу, діаметр і кількість присадного матеріалу, що подається в зону зварювання, зварювальний тиск.

Кількість присадного матеріалу, що вноситься в зону зварювання, залежить від швидкості зварювання й розмірів розробки кромки (або ширини й товщини шва при зварюванні плівок). Вона в середньому повинна на 10-15 % перевищувати кількість матеріалу, необхідного для заповнення розробки.

Оптимальний діаметр присадки для матеріалів  $\delta < 5$  мм -  $\text{Ø}5$  мм; для  $\delta > 5$  мм -  $\text{Ø}10$  мм. При бесконтактно-екструзійному зварюванні величина зазору між екструдером і поверхнею деталі повинна бути не більш 0,1 мм, бо при більших відстанях неможливе утворення потрібного тиску в зоні зварювання, що призводить до падіння міцності зварних з'єднань. Для кожного матеріалу є оптимальний діапазон температур, при якому забезпечується максимальна міцність з'єднань. Для ПЕВТ він становить  $190\text{-}280^\circ\text{C}$ ; для ПЕНТ -  $220\text{-}270^\circ\text{C}$ .

Величина тиску також істотно впливає на міцність з'єднань і ця залежність також описується кривими з максимумом. Для поліетилену рекомендоване значення тиску дорівнює 0,2 МПа.

Швидкість зварювання може змінюватись в широких межах (при одночасній зміні швидкості подачі полімеру). Для листових конструкцій  $V_{\text{зв}} = 0,1\text{-}3$  м/хв, для плівок вона може досягти 50-175

м/хв.

При контактній-екструзійному зварюванні температура присадки повинна бути на 20-30° С меншою, ніж при безконтактному зварюванні. Перевагою контактній-екструзійного зварювання є мала чутливість до стану поверхні деталі (наявності забруднень) і більш стабільна якість з'єднань.

При зварюванні поліетиленових (ПЕ) плівок  $\delta < 0,06$  мм присадку можна подавати поверх двох шарів матеріалу. При зварюванні ПЕ плівок  $\delta > 0,06$  мм і армованих плівок присадка - між з'єднуваними поверхнями. Оптимальна товщина присадки дорівнює  $\delta$  (Ø1,5-3 мм). Ширина напуску для ПЕ плівок - 3-4 мм, для армованих визначається експериментально. Якщо зварюються різнотипні матеріали, то присадка обирається з полімеру, що має більш високу температуру текучості.

### 8.3 Обладнання для екструзійного зварювання

Для зварювання екструдованою присадкою випускається ряд напівавтоматів зі шнековими пістолетами-екструдерами (ПСП-3, ПСП-4, ПСТ-2), а також із пістолетами-екструдерами прямоочного типу (ПСП-5, РЗСУ-500). Кожен напівавтомат складається зі зварювального пістолету й електроапаратної шафи.

В напівавтоматах із шнековими екструдерами подача матеріалу в зону зварювання здійснюється гвинтом, який обертається від двигуна або пневмотурбінки. Гвинт подає матеріал у нагрівальну камеру, виконану у виді трубки, обмотаної нагрівальним елементом. Там полімер розплавляється і через наконечник подається в зону зварювання. Змінні мундштуки розраховані на зварювання різних типів швів.

У безшнекових пістолетах розплав полімеру виштовхується холодним прутком, що подається в нагрівальну камеру роликками. Безшнекові пістолети напівавтоматів ПСП-5М, РЗСУ-500 мають додаткову подачу в зону зварювання газу теплоносія для підігрівання зварюваних кромки у матеріалів з вузьким інтервалом в'язкотекучого стану (наприклад-пентапласт). Безшнекові пістолети легші, їх маса 1,5 кг, а шнекових - 3-6 кг.

Всі пістолети розраховані на регулювання температури матеріалу в межах 150-200° С і створення тиску в межах 0,05-0,6 МПа. На базі шнекових пістолетів створені установка ПЗСУ-2000, зварювальна машина ПСМ-1, різні спеціалізовані установки.

## **9 ЗВАРЮВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ**

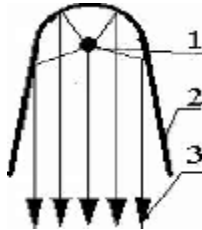
### **9.1 Суть процесу зварювання інфрачервоним випромінюванням**

Процес зварювання інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням базується на перетворенні променевої енергії у теплову в середині з'єднуваного матеріалу, що призводить до підвищення температури опромінюваного тіла. ІЧ-спектр має довжину хвилі 0,4 мкм, тобто від червоної межі видимого спектру до короткохвильової частини видимого діапазону. ІЧ-промені відзначаються усіма властивостями видимого спектру. Вони також відбиваються, переломлюються і поглинаються. Переважання одного явища над іншим залежить від довжини хвилі випромінювання, типу опромінюваного матеріалу і стану його поверхні.

Різні полімери поглинають різні частоти ІЧ-спектру з різним ступенем вибірковості. Для більшості термопластів максимум поглинаючої здібності припадає на довжину хвилі більше 3 мкм. Такі довжини хвиль утворюються при температурі випромінювача менше 700° С. Однак інтенсивність ІЧ-випромінювання при такій температурі мала. Тому важко створити термовипромінювачі, які дають потужний потік ІЧ-випромінювання у вузькому діапазоні частот, що відповідав би максимуму власних частот нагріваних матеріалів.

Практично доводиться користуватись випромінювачами що генерують потік широкого спектру частот. Однак, враховуючи, що в полімерах є різні домішки (барвники, стабілізатори), які також поглинають ІЧ-випромінювання інших частот, використання широкоспектрових нагрівачів є оправданим.

Джерело ІЧ-випромінювання складається з випромінювача (нагрівального елемента) і відбивача, який створює направлений потік променів.



1 - випромінювач; 2 - відбивач; 3 - потік променів.

Рисунок 9.1 - Схема будови інфрачервоного випромінювача

Джерело ІЧ-випромінювання розташовується на відстані 10-50 мм від поверхні нагріву. Так як втрати тепла на нагрівання повітряного проміжку незначні, то ККД процесу нагрівання полімерів досить високий. Характер зміни температури від часу нагрівання плівок із використанням силітового нагрівача приведений на рис. 9.2. Характер зміни температури залежить також від типу підкладки, бо частина променів проходить через матеріал і нагріває підкладку. Чим темніша підкладка і чим менша її теплопровідність, тим більше тепла вона віддає плівці. Переважно підкладку роблять із мікропористої сажонаповненої гуми. Зварювання ІЧ-променем, як і контактне теплове, може застосовуватись для більшості термопластів. Більш обмежене використання знаходять зварювання світловим випромінюванням і лазерним променем.

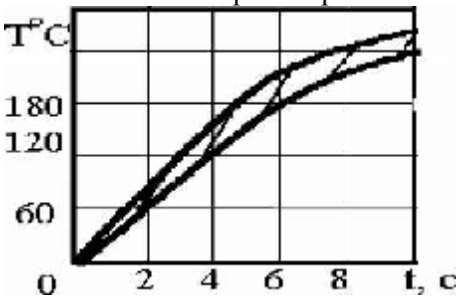


Рисунок 9.2 - Зміна температури з часом при нагріванні полімерів ІЧ-випромінюванням

Видимі промені мають довжину хвилі 0,4-0,76 мкм. Для їх отримання використовують переважно кварцові галогенні лампи з точковим, стержневим або кільцевим випромінювачем.

Процес зварювання світловими променями принципово не відрізняється від зварювання ІЧ-променями, але має нижчий ККД.

Для зварювання полімерів лазерним випромінюванням

використовують безперервні CO<sub>2</sub>-лазери з довжиною хвилі 1,06 мкм, а також імпульсні твердотільні лазери з неодимовими кристалами, що дають довжину хвилі 1,06 мкм.

Лазерне зварювання забезпечує дуже високу швидкість, яка дорівнює 3-4 м/с. Воно дає хороші результати на плівках із поліолефінів. Вініпластові плівки лазерним випромінюванням зварюються погано через розвиток процесів термодеструкції.

Для листових елементів і конструкцій з розвинутими елементами ці способи зварювання практично не використовуються.

## **9.2 Технологічні особливості зварювання ІЧ-випромінюванням**

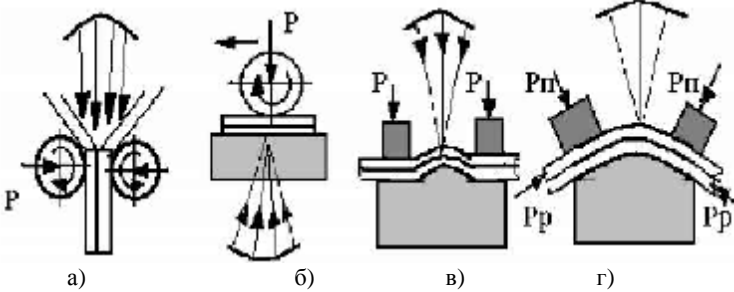
Використовують для зварювання плівок вторець, внапуск, а також для стикового зварювання товстостінних деталей.

При зварюванні плівок (переважно внапуск) використовують як наскрізне проплавлення, так і оплавлення з'єднаних поверхонь. При зварюванні оплавленням легко забезпечується створення необхідного тиску в зоні з'єднання.

Швидкість зварювання вибирають експериментально в залежності від потужності нагріву й відстані від нього. Величина тиску - із тих же міркувань, як і при термоконтakтному зварюванні оплавленням. При зварюванні проплавленням найбільш проблематичним є створення тиску в зоні з'єднання.

Для цього використовують пружні підкладки, або ведуть процес зварювання через скляну підкладку. Інколи тиск створюють за допомогою натягу плівки (рис. 9.3). Створення тиску натягуванням плівки дає найгірші результати бо спричиняє утонінню плівки. Час нагрівання залежить від товщини плівки, потужності нагрівача й відстані, а також типу підкладки. В середньому час нагрівання пакету товщиною 100 мкм складає 2-4 с, товщиною 1-2 мм - 15-20 с. Міцність з'єднання на розшарування й зсув становить 85 % від міцності основного матеріалу. Зварювання листів, труб, стержнів і профільного прокату здійснюється нагрівальними елементами з відповідною площею нагріву. Нагрівальний елемент великої ширини може бути виконаний із суцільної смуги відповідної ширини, або набраний з окремих смужок. Відстань між ними не повинна перевищувати 0,4

ширини смужок. Технологія зварювання ІЧ-випромінюванням подібна зварюванню нагрітим інструментом. Однак даний процес дозволяє більш точно дозувати кількість введеного тепла, зменшує ймовірність деструкції поверхневих шарів матеріалу й можливість прилипання до них інструменту. Тому якість зварних з'єднань тут вище.



а) - зварювання оплавленням; б) - проплавлення через скло; в) - проплавлення на пружній підкладці; г) - проплавлення на жорсткій підкладці з розтягом.

Рисунок 9.3 - Схеми виконання зварювання ІЧ-променями

### 9.3 Обладнання для зварювання

Основним елементом установки для зварювання ІЧ-випромінюванням є зварювальна головка з випромінювачем. В якості випромінювача використовують ніхромові нагрівачі - спіральні й стрічкові, силітові стержні, а часом - кварцові лампи. Кожний нагрівач має рефлектор для забезпечення направленою потоку випромінювання нагрівачів.

Серійно випускаються машини МСП-5М і СПК-М для зварювання плівок. Машини мають водоохолоджувані рефлектори і випромінювачі з силітовими стержнями, а також пристрої для притискання плівок до підкладки, виконані у виді стрічки із прогумованої тканини. Притискувальні пристрої виконані у виді двох замкнутих сталених стрічок. Крім цього для зварювання лінолеуму випускаються пересувні трактори, ручні пристрої й інші. Розроблені й індивідуально випускаються установки для зварювання профільних елементів.

## 10 НАПИЛЮВАННЯ ПЛАСТМАС

### 10.1 Способи напилювання полімерів

Напилення пластмас - це процес нанесення їх частинок на поверхню металевих і неметалевих виробів з метою отримання шару полімерного покриття на поверхні деталі, який буде надавати спеціальні експлуатаційні властивості. Застосовують цей процес для нанесення антикорозійних, зносостійких, декоративних, електроізоляційних та інших покриттів з особливими фізико-хімічними властивостями. Існує декілька способів нанесення полімерів на металеві поверхні: плакування листами, занурювання в розплави і напилення. Останній є одним із найбільш прогресивних і продуктивних методів. Розрізняють вихорове й газополуменеве напилення.

Вихоровий метод застосовують для нанесення покриттів на деталі невеликих розмірів і складної конфігурації. Його суть полягає в тому, що в спеціальних посудинах створюють псевдокиплячий шар пластмасового порошку за рахунок продування повітря і в порошок занурюють очищені і нагріті до певної температури деталі (або вдувають порошок в середину нагрітої деталі).

Температура нагрівання виробу залежить від застосованого полімеру, а також співвідношення маси й площі поверхні виробу. Чим менше це співвідношення, тим більшою повинна бути температура нагріву виробу. В той же час вона повинна бути такою, щоб порошок, дотикаючись поверхні, розплавлявся й розтікався без ознак розкладання. Товщина нанесеного шару залежить від маси й температури виробу, а також і від часу перебування деталі в контакті з порошком. За 10-30 секунд товщина покриття досягає 0,2-0,3 мм.

При застосуванні неокислюючих газів (аргон, азот) для створення псевдокиплячого шару, якість полімерних покриттів поліпшується. Для виробів малої маси з розвинутою поверхнею після нанесення покриття потрібен додатковий нагрів для забезпечення кращого розтікання часток розплавленого полімеру й отримання рівномірного по товщині покриття.

При газополуменовому способі напорошування частки порошку продуваються через полум'я розпилювального пальника, де вони розплавляються і в розплавленому вигляді наносяться струменем

стисненого повітря на поверхню деталі. Попадаючи на поверхню виробу, частинки порошку розтікаються і зчепляються з нею, утворюючи однорідний шар покриття. Для забезпечення високої якості напорошеного шару деталей підігрівають до температури плавлення полімеру. Газополуменевий метод є основним при нанесенні покриттів із різноманітних полімерних матеріалів на крупногабаритні вироби різної конфігурації і на окремі ділянки деталей.

## 10.2 Матеріали для нанесення полімерних покриттів

Для напилення придатні тільки такі полімери, які при нагріванні можуть розплавлятися й переходити в рідкотекучий стан. При цьому величина температурного інтервалу між температурою плавлення й температурою термодеструкції має бути значною. Вони також повинні добре змочувати матеріал деталі, котру напорошують. Найповніше відповідають цим вимогам і тому широко використовуються для напилення поліетилен, полівінілбутираль, поліаміди, тіопласти і їх різноманітні композиції.

Вибір того, чи іншого матеріалу для напилення залежить від умов експлуатації виробів і вимог до напорошуваної поверхні. Полівінілбутираль являє собою порошок білого кольору, що є продуктом взаємодії полівінілового спирту і масляного ангідриду. Для напорошування придатні полівінілбутираль шлицьовий (ПТТТ) і клейовий (КА) і (КБ). В технологічному відношенні це один із кращих матеріалів для газотермічного напорошування. Він має однорідну грануляцію. Розмягчується при 80° С, плавиться при 160° С, розтікається при 200° С. Міцність зчеплення з металом 2-4 МПа.

Покриття з полівінілбутиралу мають золотистий, жовтий або зеленуватий відтінок у залежності від кольору матеріалу поверхні. Можуть працювати в межах температур від - 50° С до + 50° С. Вони є стійкими у водних розчинах вуглеводів, органічних кислот, у 25 % сірчаній кислоті. Відзначаються гарною вібростійкістю і високими діелектричними властивостями. Однак вони є нестійкими в спиртах і ефірах.

У виді порошку виготовляють поліетилен низького тиску. Для



підвищення стійкості проти старіння під дією УФ - променів у нього вводять стабілізатори (графіт, сажа до 3 %) та ін. Поліетиленові покриття відзначаються високою стійкістю у воді і водних розчинах солей і лугів, неокислюючих кислот. Поліетиленові покриття забезпечують високу працездатність деталей при знакозмінних навантаженнях в агресивних середовищах і високі діелектричні властивості. Температура переходу у в'язкотекучий стан  $+110^{\circ}\text{C}$ , розтікання  $+200^{\circ}\text{C}$ . Для нанесення покриттів використовують ПЕНТ з 3 % сажі або спеціальну композицію: 94 % ПЕНТ, 3 % алкифенольної смоли; 3 % синього моностралу (фталоціаніту).

Полістирол є одним із кращих матеріалів для напилення в технологічному відношенні, однак при остиганні утворюється сітка тріщин. Тому застосовують його в композиції з поліетиленом (50 % поліетилену, 35 % полістиролу, 15 % сріблястого графіту). Застосовують для захисту від корозії і як діелектрик.

З групи поліамідів у виді порошків випускається капрон, поліамід П-68, АК-7 та ін. Використовують переважно для вихорового напорошування, хоча можна і для полуменевого. Покриття з поліамідів відзначається високою зносостійкістю при терті, високою стійкістю в ацетоні, аміаці, жирних кислотах, трансформаторній олії. Погано стоять у вологій атмосфері, неорганічних кислотах. Мають низькі діелектричні властивості.

Тіопласти (полісульфідні каучуки) застосовуються для захисту металевих і бетонних конструкцій від дії води, неокислюючих кислот, мастил та ін. З цією метою використовують порошок "тіокола А". Для напилення використовують також епоксидні смоли і деякі емалі.

Найбільше розповсюдження в промислових масштабах знайшли композиційні матеріали:

ПФН - 12 (полівінілбутіраля 54 %, графіту 22 %, ідітола 21 %, уротропіну 2 %);

ТПФ - 37 (полівінілбутіраля 55 %, ПЕНТ 19,8 %, фенолоформальдегідної смоли 13,5 %, уротропіну 1,5 %, графіту 10,2%).

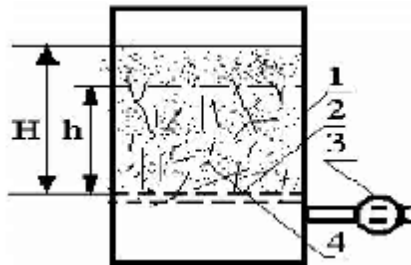
Покриття з цих матеріалів мають високу якість, добре зчіпляються, відзначаються гарними антикорозійними властивостями у водних розчинах і атмосферних середовищах.

### 10.3 Обладнання для напилення пластмас

Для газополуменового напилення полімерних матеріалів використовують установки, що складаються з порошкового живильника і розпилюючого апарату. Розпилюючий апарат являє собою багатополуменевий пальник з каналами для подачі полімерного порошку. З порошкового живильника в пальник порошки подаються по шлангах за допомогою стисненого повітря. Пролітаючи через факел полум'я, частки порошку оплавляються і, попадаючи на підігріту поверхню виробу, зчепляються з нею, утворюючи покриття.

Для напорошування полімерів використовують установку УПЛ, що має наступні технічні дані:

- грануляція порошку, мм, 0,15-0,25;
- тиск газів, МПа:
  - повітря 0,3-0,6;
  - ацетилену 0,03-0,1;
- витрата ацетилену, м<sup>3</sup>/год, 0,8-1,0;
- об'єм живильника, дм<sup>3</sup>, 10;
- продуктивність напилення (ПФН -12 ), кг/год, 11.



- 1 - корпус; 2 - пористе днище; 3 - вентиль; 4 - порошок полімеру;  
 Н - висота спученого шару полімеру; h - висота насипаного шару.

Рисунок 10.1 - Схема устаткування для напилення вихоривим способом у киплячому шарі

Устаткування для нанесення покриттів вихоривим способом виготовляється під певні розміри деталей і являє собою посудину із двома днищами, одне з яких є пористе.

На пористе днище насипають порошок шаром товщиною h. При подачі повітря через кран 2 порошок досягає висоти Н. Заздалегідь нагріту в печі деталь занурюють в шар порошку, який оплавляється й

утворює на деталі покриття. При необхідності можна додатково підігрівати порошок і повітря до температури, нижче температури плавлення полімеру.

#### 10.4 Технологія нанесення покриттів

Технологічний процес нанесення покриттів включає наступні операції: підготовка поверхні, нанесення полімерного шару, обробка покриття.

Вироби під напилення виготовляють таким чином, щоб поверхні, на які будуть наноситись покриття, можна було обробляти і вони були доступні для напилення. Усі гострі кромки необхідно заокруглити ( $R > 3$  мм), щоб на них трималось і не зменшувалось по товщині покриття. На зварних швах не повинно бути поверхневих дефектів, а їх підсилення повинно бути гладким або повністю знятим. Не можна наносити покриття зі сторони кореня шва, якщо там відсутній підварочний валик, бо воно спучиться. Поверхня на яку наноситиметься покриття, повинна бути чистою, сухою і мати достатню шершавість. На ній не повинно бути раковин, тріщин, заусенець та інших поверхневих дефектів. Потрібна шершавість поверхні створюється за рахунок її обробки електрокорундом або дробеструменевим способом. Після обробки поверхні покриття необхідно наносити не пізніше як через 6 годин у приміщенні і 0,5 годин - на відкритому повітрі.

Порошки для газополуменевого напорошування мають бути сипучими, грануляцією 0,15-0,25 мм. Тому їх необхідно просіяти. Вологість порошку - не перевищувати 2 %.

Напилення полімерів може здійснюватись на поверхню, підігріту до температури розтікання полімеру. Попередній підігрів виробів здійснюється газовими пальниками або в пічах. Підігрів у пічах дає більш стабільні результати. Найбільші проблеми виникають при напиленні крупногабаритних деталей зі значною товщиною елементів, їх підігрів здійснюють газовими чи розпилюючими пальниками невеликими ділянками, на які наносять покриття. По мірі прогрівання суміжних ділянок здійснюють їх напорошення.

При нанесенні покриття на різнотовщинну деталь процес

нагріву починають із ділянок максимальної товщини. Важливо при напиленні дотримуватись оптимального теплового режиму. Дистанція напорошування (відстань від сопла до поверхні), як правило, становить 100 мм. При цьому кінець факела полум'я знаходиться біля поверхні. Більша відстань - поверхня погано прогривається, менша - перегрів покриття. Істотне значення має також швидкість пересування пальника відносно оброблюваної поверхні, концентрація порошку в струмені, швидкість льоту часток порошку. Оптимальне співвідношення цих параметрів бажано витримувати якнайретельніше. Тому процес напилення бажано вести механізованим способом. Великою перевагою газополуменевого способу є можливість регулювання теплового режиму напорошування в широких межах за рахунок потужності полум'я, дистанції напилення і швидкості пересування пальника.

Потужність полум'я й концентрація порошку мають бути такими, щоб частки порошку в момент попадання на поверхню були розплавленими і розтікались по ній, але не загорались в полум'ї. Параметри режиму повинні забезпечувати рівномірне оплавлення нанесеного шару без його підгорання. За один прохід наносять шар товщиною 0,15-0,3 мм. Якщо потрібен більш товстий шар, то процес здійснюють за декілька проходів. Наступні шари наносять при меншій потужності полум'я. Після напорошування деталь поволі охолоджується.

При вихоровому способі напилення температура деталі залежить від її маси й товщини стінок, від властивостей полімеру і потрібної товщини шару покриття. Температура виробу повинна бути достатньою для повного розплавлення порошку після витягування її з камери. В той же час вона не може досягати температури деструкції. На виробі з товщиною стінки 10 мм, нагрітому до 250° С, за 20 с витримки утворюється шар поліетиленового покриття товщиною 0,6-0,7 мм. Щоб порошок наносився рівномірно по всій поверхні і проникав у важкодоступні місця, повітря його постійно спучує.

Вироби з тонкими стінками мають недостатній для повного оплавлення запас тепла і тому після витягнення з камери потребують додаткового оплавлення. Для цього їх завантажують у термостат при  $t = 300-350^{\circ}\text{C}$ . Після оплавлення - охолодження повільне.

## ВИСНОВОК

В даному курсі лекцій розглянуто тільки основні способи утворення нероз'ємних з'єднань і обробки поверхні металів із використанням енергії горючих і стиснених газів, а також найбільш розповсюджені способи зварювання і напилення полімерних матеріалів.

Способи різання неметалевих матеріалів із застосуванням енергії горючих і стиснених газів розглядаються в курсі "Термічне різання".

## ЛІТЕРАТУРА

1. Брук М.А., Павлов С.А. Полімеризація на поверхні твердих тіл. - М.: Хімія, 1990. - 130 с.
2. Волков С.С., Орлов Ю.Н., Черняк Б.Я. Сварка пластмас ультразвуком. - М.: Хімія, 1974. - 264 с.
3. Гальчинский Л.В., Осмак М.И. Сварка, склеивание и напыление пластмасс. - Львов: изд-во Университета, 1968. - 284 с.
4. Евсеев, Г. Б. Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов [Текст] / Г. Б. Евсеев, Д. Л. Глизманенко. - М. : Машиностроение, 1974. - 312 с.
5. Зайцев К.М., Мацюк Л.Н. Оправка пластмасс. - М.: Машиностроение, 1987. - 277 с.
6. Зайцев К. И. Сварка пластмасс при сооружении объектов нефтяной и газовой промышленности. М., 1984.
7. Зайцев К.И., Мацюк Л.Н. Сварка пластмасс. - М.: Машиностроение, 1978. - 224 с.
8. Карякіна М.І., Попцов В.Є. Технологія полімерних покриттів: Навчальний посібник для технікумів. - М.: Хімія, 1983 - 336 с.
9. Комаров Г. В. Сварка пластмасс // Сварка. Москва, 1985. Т. 17.
10. Комаров Г.В. Соединение деталей из полимерных

материалов: Учеб. пособие. – СПб.: Профессия, 2006. – 592 с.

11. Кораб, Г.Н. Словарь-справочник по сварке и склеиванию пластмасс / Г.Н. Кораб, А.Н. Шестопад, Г.В. Комаров [и др.]; под общ. ред. Б.Е. Патона. – К.: Наукова думка, 1988. – 160 с.

12. Кошелев В.В. Сварка полимерных материалов нагретым газом, инфракрасными лучами и нагретой экструдированной присадкой. М.: Стройиздат, 1984. – 127 с.

13. Красовський А.М., Толстопятов Е.М. Отримання тонких плівок розпленням полімерів у вакуумі / Под ред. Білого В.А.- Мн.: Наука і техніка, 1989.

14. Липін Ю.В., Рогачов А.В., Сидорський С.С., Харитонов В.В. Технологія вакуумної металізації полімерних матеріалів. - Гомель, 1994. - 206 с.

15. Паніматченко А.Д. Переробка пластмас. - Спб: Професія, 2005.

16. Сварка полимерных материалов: Справочник / К.И. Зайцев, Л.Н. Мацюк, А.В. Богдасhevский и др.; Под общ. ред. К.И. Зайцева, Л.Н. Мацюк. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.

17. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс / А.Н. Шестопад, Ю.С. Васильев, Э.А. Минеев, О.В. Тарасенко, В.П. Тарногородский. Под общ. ред. А.Н. Шестопала. – К.: Техніка, 1986. – 192 с.

18. Технология и оборудование для соединения изделий из полимерных материалов. К., 1983.

19. Тростянская Е. Б., Комаров Г. В., Шишкин В. А. Сварка пластмасс: Учеб. пособ. М., 1967.

20. Шестопад А. Н., Васильев Ю. С., Тарасенко О. В. и др. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс. К., 1990. Яковлев А.Д., Здор В.Ф., Каплан В.І. Порошкові полімерні матеріали і покриття на їх основі. Л.: Хімія, 1979. - 254 с.

21. ОСТ 102-52-80. Сварка пластмасс контактная тепловая. Термины и определения.