

## ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТИКІВ PVC, PP, PE

Під зварюванням пластиків розуміється нероз'ємне з'єднання термопластичних матеріалів із застосуванням тепла й тиску з або без використання додаткових матеріалів. Помилково зварюванням називають спосіб холодного з'єднання або з'єднання з набуханням пластику, який не підлягає цьому поняттю, оскільки тут поверхня пластику розм'якшується за допомогою розчинника й потім склеюється.

Усі процеси зварювання відбуваються в термопластичному стані в зоні зварного шва. Там ниткоподібні молекули матеріалу з'єднуються й переплітаються в гомогенне утворення.

У принципі, зварюються пластики одного виду, тобто PP з PP, і в одному виді — пластики з однаковими або близькими молекулярною вагою та густиною, причому колір можна при цьому не враховувати. М'який і жорсткий PE зварювати один з одним не можна.

Єдиним винятком є можливість отримання зварних з'єднань достатньої міцності під час зварювання твердого PVC й акрилового скла.

## ЗВАРЮВАННЯ ГАРЯЧИМ ГАЗОМ

### Робоче місце

До зварного обладнання поряд зі зварювальними пістолетами й форсунками (швидкісними зварювальними пістолетами діаметром 3, 4 і 5 мм, круглими і прихваточними форсунками, форсунками для профільного дроту) належать також прилади для вимірювання температури, кількості повітря, віддільники масла й води. Особливо добре зарекомендували себе прилади для вимірювання температури з наконечником голчастого типу, оскільки для вимірювання температури наконечник можна ввести в форсунку. Точний вимір температури є передумовою отримання точних зварних швів з високим коефіцієнтом зварювання (**див. с.15**).

### Підготовка шва

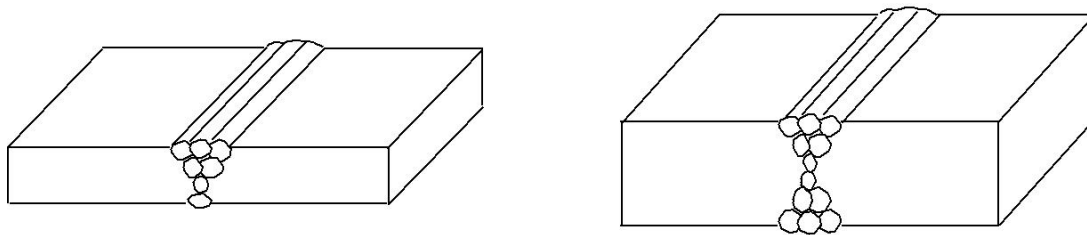
Найважливіші форми шва — це подвійний V- (X-) подібний шов, V-подібний шов, а також кутовий шов, тобто шов для з'єднання плит під прямим кутом. Плити мають бути бездоганно прямими й повинна бути знята фаска в 30°. Це можна зробити рубанком, інструментом для правки, фрезою, ножем, циклею.

Найбільш уживаний шов — це подвійний V-подібний шов, за якого зварюють із двох сторін поперемінно, щоб знизити напруження. Для більш тонких плит і там, де зварювання можливе лише з одного боку, рекомендовано простий V-подібний шов. Без чищення зварювальних поверхонь і зварного дроту не обійтися. Тому бруд, жири, піт від рук, окисну плівку слід видалити, щоб отримати хорошу якість зварювання. Простого чищення розчинником недостатньо.

## Способи зварювання

Оптимальні результати виходять лише за умови, що основний матеріал і зварний дріт є рівномірно пластичними. Прилади слід періодично контролювати й регулювати за температурою й кількістю повітря. Перед заправкою зварного дроту слід початкову ділянку частково прогріти, щоб поверхня стала матовою. Перед наварюванням нового шару наварений раніше шар очищують за допомогою підходящого інструмента від окисної плівки, яка утворюється на поверхні за високої температури.

Для зменшення деформації важливо, щоб зварний шар охолоджувався на повітрі, перш ніж виробу надати нове положення. Під час зварювання товстих плит з використанням Х-подібної обробки крайків плити після проходження одного шва слід перевернути, щоб протилежні шви завжди були розташовані один проти одного. Під час зварювання потрібно намагатися, щоб зони нагрівання плит з двох боків від шва, приблизно 5–8 мм, були однакові. Для гарного з'єднання плит один з одним важливе утворення подвійного валику, причому плавиться в пластичній зоні повинні обидві плити. Ланцюжки молекул переплітаються між собою, й утворюється подвійний валик.



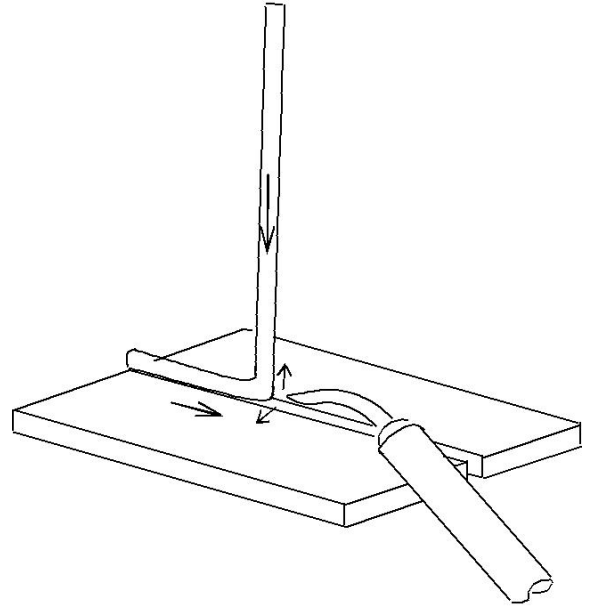
*Найбільш важливі зварні шви під час зварювання гарячим газом*

Приклади утворення зварних швів

Товщина матеріалу, мм		Зварювальний дріт Кількість × діаметр
V-подібний шов	2	1 × 4
	3	3 × 3
	4	1 × 3 і 2 × 4
	5	6 × 3
DV-подвійний	4	2 (1 × 4)
V-подібний шов (X-подібний шов)	5	2 (3 × 3)
	6	2 (3 × 3)
	8	2 (1 × 3 і 2 × 4)
	10	2 (6 × 3)

### Застосування круглих форсунок

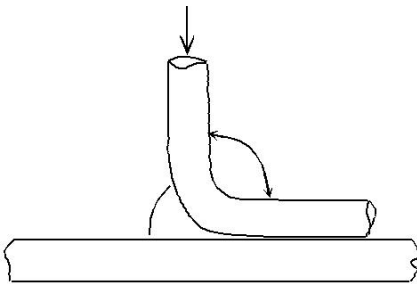
Цей спосіб вимагає більшого вміння і навичок, ніж під час роботи зі швидкісними зварювальними форсунками. При цьому дрот утримується під прямим кутом, щоб виключити утворення поперечних тріщин (при гострому куті) й осаджування (розплющування) при занадто тупому куті.



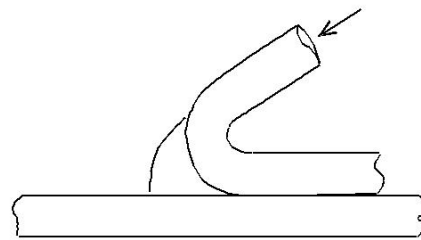
*Зварювання гарячим газом за допомогою круглого прутка*

### Застосування швидкісних форсунок

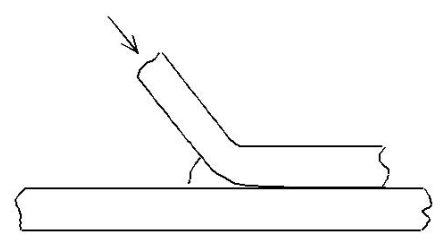
Зварювання швидкісними форсунками забезпечує порівняно з круглими форсунками у два рази більші швидкості зварювання й більшу безпеку. Застосовуються спеціальні форсунки, у які вставляється дріт з попереднім нагріванням. Вихід повітря з сопла форсунки до плити вузький і нагріває лише вузьку необхідну зону плити. Для дроту певних діаметрів і профілю є спеціальні форсунки.



*Правильне використання зварного прутка*



*Неправильне використання неприпустиме розтягування*



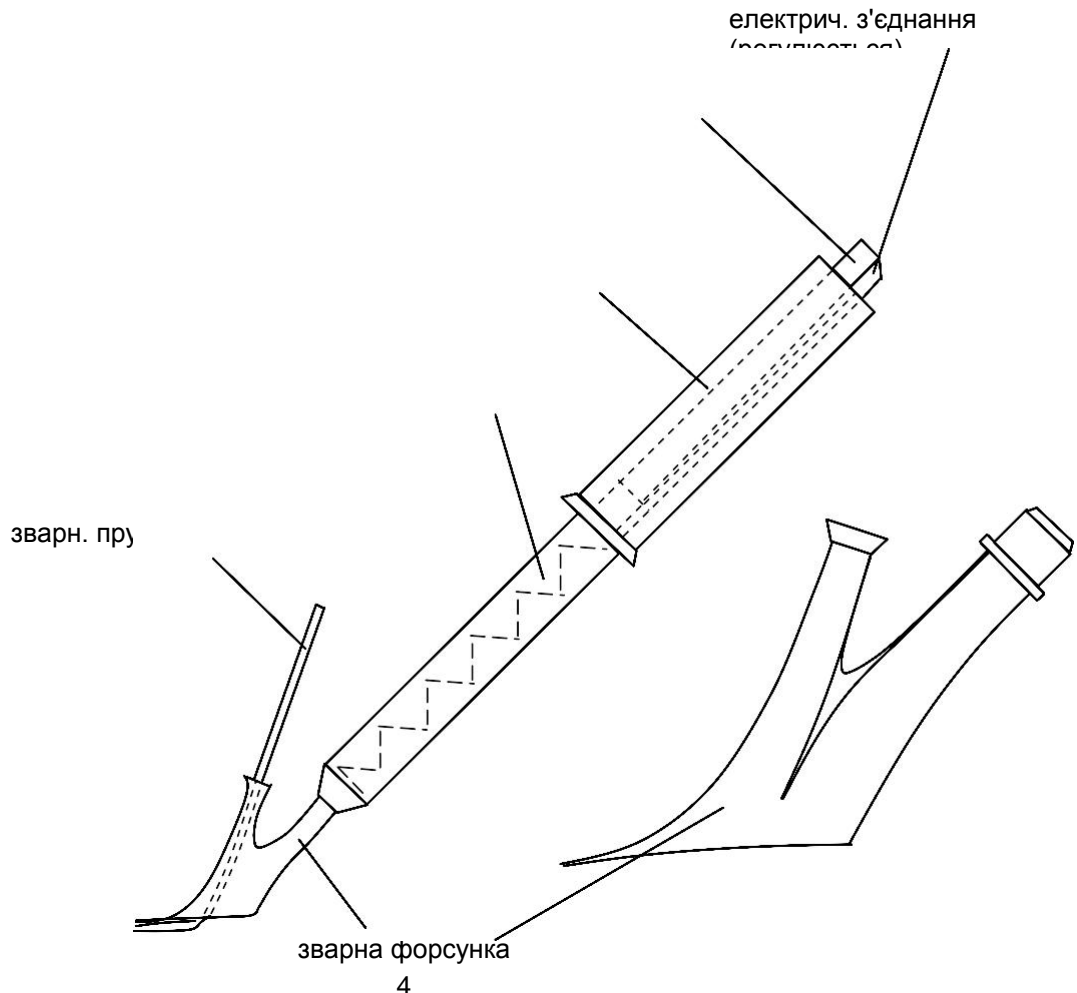
*Неправильне використання неприпустимий осад*

### Застосування прихваточних форсунок

Зварювання такими форсунками слугує для фіксації зварюваних деталей. При цьому підводиться гаряче повітря, але без додаткового дроту, і відбувається розплавлення крайків. Прихваточні форсунки обов'язково застосовуються при V-подібних швах для досягнення бездоганного з'єднання кореневої зони й виключення концентрації напруження під час згину. Рекомендовано застосовувати такі форсунки й тоді, коли, наприклад, зварювана деталь має зовні приєднувальні елементи та ін.

## Дефекти зварювання

- Плита й дріт нагріті нерівномірно (зони зварного дроту ліворуч і праворуч нагріті нерівномірно).
- Температура й кількість повітря не відповідають одне одному.
- Плита й дріт недостатньо очищені.
- Повітря не очищене від вологи, масла й пилу.
- V-подібні шви не схоплені.
- Усередині зварювального шва є повітряні бульбашки.
- Зварний дріт за обсягом не достатній, щоб заповнити канавку в зоні зварювання.
- Плити не вирівняні.
- Занадто швидке зварювання: зварювальний дріт залишився круглим і недостатньо сформованим, у результаті чого з'єднання не зварено або зварено не повністю.
- Через високу температуру зварювання виникає термічний дефект. Перевага швидкого зварювання нівелюється через термічне пошкодження молекулярних ланцюжків, причому, у крайньому разі, початкове формування з довгими ланцюжками майже цілком переходить у вихідну монотірну форму. Це трапляється особливо під час зварювання поліетилену й поліпропілену.



## Подальша обробка швів

Як правило, зварні шви залишаються без додаткової обробки. Проте їх можна обробляти: стругати, шліфувати, знімати напилком, при цьому треба стежити, щоб не утворювалися канавки, подряпини, надрізи. Після багаторазового шліфування щоразу більш тонким наждачним папером зварні шви можна також полірувати (наприклад, під час зварювання PVC, PETG).

Таблиця з орієнтовними даними на с. 21.

## Зварюваність різних типів матеріалів

У принципі, зварюються пластики лише одного виду, тобто PP з PP, і в одному виді — пластики з однаковими чи близькими молекулярною вагою і щільністю, до того ж колір можна при цьому не враховувати. На практиці це означає, що певні матеріали можна зварювати між собою з достатнім ступенем надійності лише всередині однієї або двох сусідніх груп за індексом плавлення. Вказані групи матеріалів можна знайти у визначеннях форм за DIN 16776 (PE) і DIN 16774 (PP). Релевантні для зварювання величини MFR також можна запозичити з найменування формувальних мас. М'який і жорсткий PE зварювати один з одним не можна.

Єдиним винятком є можливість отримання зварних з'єднань достатньої міцності під час зварювання твердого PVC й акрилового скла.

## PE високої густини (PE-HD)

Деталі трубопроводів групи плавлення з індексом 005 (MFR 190/5: 0,4-0,7 г/10 хв), групи 010 (MFR 190/5: 0,7-1,3 г/10 хв) або групи 003 (MFR 190/5: 0,3 г/10 хв) і 005 (MFR 190/5: 0,4-0,7 г/10 хв) придатні для зварювання один з одним. Це означає, що в'язкість розплаву, тобто характеристика плавлення, під час нагрівання дуже схожі. Це висловлювання міститься в DVS 2207 частина 1 (DVS — Німецький союз зварювальників) і підтверджується в повідомленні DVGW (Німецький союз з газу й води).

## PP тип 1(PP-H) і тип 2(PP C, PP-R)

Зварюваність вказана в межах групи індексу плавлення 006 (MFR 190/5: 0,4-0,8 г/10 хв). Це твердження ви можете знайти також у DVS 2207 частина 11.

## PVDF (полівініліденфторид)

На ринку представлені два типи PVDF, що виготовляються різними способами: емульсійний і суспензійний PVDF. Не вдаючись у подробиці, слід сказати, що напівфабрикати обома способами можуть зварюватись між собою з високою якістю з'єднання.

Директива **DVS 2207** частина **15** стосується як зварювання за допомогою нагрівальних елементів, так і муфтового зварювання екструдованих труб або деталей, литих під тиском. Директива може використовуватися і для таких напівфабрикатів, як плити, та ін.

## ЗВАРЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Нагрівання здійснюється через металевий нагрівальний елемент. Перенесення тепла через прямий контакт набагато інтенсивніше, ніж під час зварювання гарячим повітрям, розподілення тепла по перетину матеріалу більш сприятливе, жодна із зон не нагрівається більше, ніж потрібно для зварювання. Тому з'єднання виходять без будь-яких внутрішніх напружень. Зварювання за такого способу здійснюється шляхом стиснення нагрітих поверхонь із заданим тиском та охолодження без зняття цього тиску. Сучасні прилади оснащені функцією реєстрації даних, дозволяють складати протоколи зварювання.

Для якості зварювання вирішальними є такі фактори (див. рис. на с. 4):

### 1. Попередня обробка шва

Чистота зварювальних деталей і нагрівального елемента за цього способу є найважливішою умовою. Тефлонові плівки або покриття полегшують очищення грійних поверхонь і перешкоджають налипанню пластику на грійний елемент. Це особливо необхідно під час зварювання PVC.

### 2. Температура нагрівального елемента

Як правило, для напівфабрикатів більшої товщини потрібні більш низькі температури нагріву в межах допусків (див. табл. на стор. 21-24) при відповідно більш тривалому часі нагрівання.

### 3. Час витримки нагрівального елемента над зварюваним матеріалом

Добре вирівняні зварювані поверхні витримують над нагрітим інструментом рівномірно і під тиском, зазначеним на с. 21-24, до тих пір, поки не з'явиться потовщення (наплив) розплавленого матеріалу.

### 4. Час підігрівання

У подальшому відрізок загального часу такту тиск під час підігрівання лінійно зменшують до нуля, щоб досягти більш рівномірного теплового потоку в матеріалі. Виключається різка теплова зона між пластичним і непластичним станом матеріалу.

### 5. Час з'єднання зварюваних деталей

Для зварювання з високим коефіцієнтом міцності зварного шва (див. с.15) швидке з'єднання зварювальних частин є вирішальним фактором. Це особливо стосується PVC.

### 6. Час з'єднання (зчеплення)

Під час з'єднання, тобто час, протягом якого повністю відбувається зниження тиску, тиск підвищується відносно повільно. Миттєве включення повного тиску зчеплення могло б видавити пластичний матеріал із зони зварювання. У результаті цього знизився б коефіцієнт міцності зварного шва.

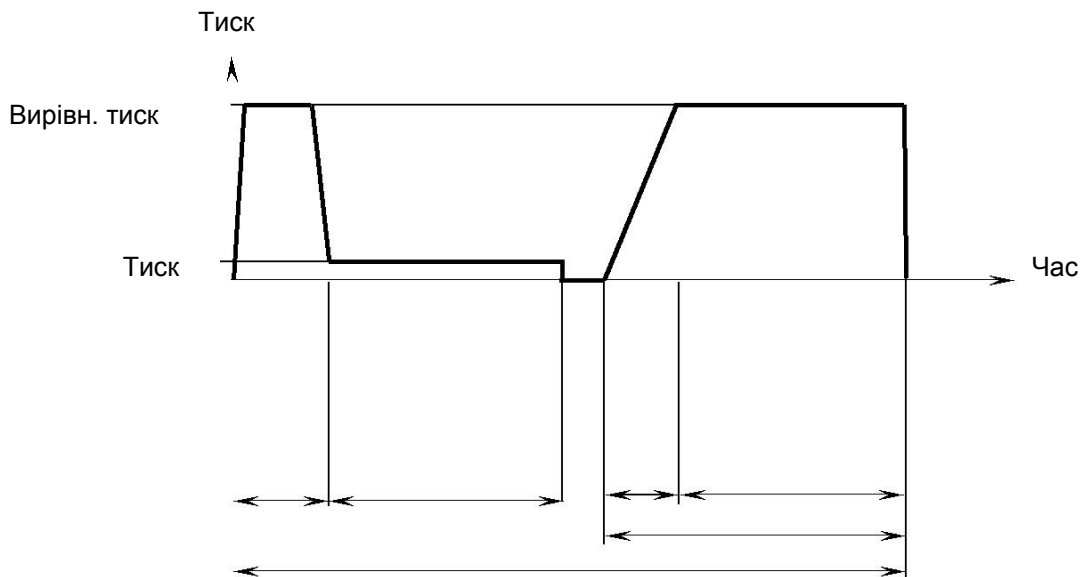
### 7. Тиск зчеплення й час охолодження

Ці показники залежать від матеріалу й товщини стінки. Після охолодження до кімнатної температури за тиску з'єднання досягається повна міцність зварного шва. Деталь можна витягати зі зварювальної машини.

## Зварювання вигинанням

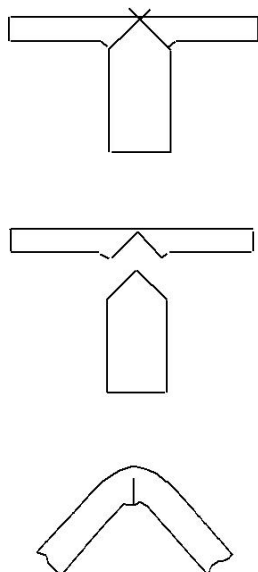
Цей комбінований спосіб (див. рис. на с. 4) є різновидом способу з використанням грійного елемента під час зварювання встик. Ніж зварювального елемента проникає в розплавлений матеріал. За великої товщини плити до розплавлення поверхні на ній можна вифрезерувати або пропиляти канавку, щоб знизити час нагрівання і не піддавати тривалому нагріванню матеріал. У разі досягнення необхідної глибини розплаву —  $\frac{2}{3}$ – $\frac{3}{4}$  товщини плити — від ножа надходить така кількість тепла, що під час вигинання виходить хороше термоформування. Зазвичай нагрівальний ніж має кут  $70^\circ$ , так що під час вигинання під  $90^\circ$  виходить бездоганне з'єднання. Якщо цей процес проводиться під більш тупим кутом, то застосовують відповідно більш гострі ножі.

Тиск/час — діаграма: хід зварювання під час стикового зварювання із грійними елементами

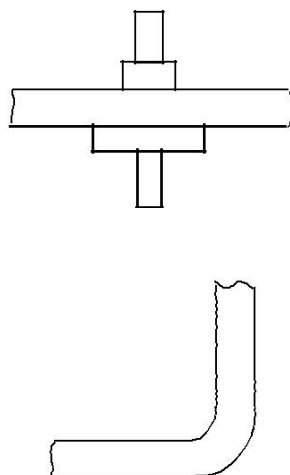


Під час вигинання більш довгих профілів після охолодження часто виявляється помітна опуклість. Крім поздовжньої деформації у зварній зоні посилюються також напруження від осідання під час охолодження, що можуть посилюватися власними напруженнями, які виникають в самому матеріалі під час виготовлення, на що слід звертати увагу. Вузькі бічні сторони кута призводять до більш сильних деформацій, широкі і, відповідно, більш жорсткі кути — до менших деформацій. Крім того, доцільно за значної товщини плит здійснити нагрівання їх зворотного боку за допомогою другого грійного ножа (з товщиною грійної поверхні не меншої за двократну товщину плити) або за допомогою гарячого повітря, щоб уникнути небажаних напружень.

*Зварювання з окантуванням*



*Вигин*



Далі ми рекомендуємо за товщини плити 10 мм і більше перед зварюванням вифрезерувати V-подібну канавку на глибину до 50% товщини плити. Ця канавка потрібна для того, щоб виключити надмірне видавлювання розплавленого матеріалу із зони шва. Крім того, час циклу зварювання скорочується, оскільки скорочується час охолодження.

Орієнтовні значення для вигинання на окантовно-вигинальній машині Вегенера типу ВМ 201

		Встановлена температура, °C		Час с/1 мм товщини
		вгорі	внизу	
Окантування	E	200	140	30
	PP	220	150	
	PVDF		230	45
			160	45
Вигин	PVC	220	170	30

**Способи зварювання**

Для нероз'ємних з'єднань труб і формованих фітінгів фірми ми рекомендуємо перевірені практикою способи зварювання:

- зварювання встик з використанням грійних елементів;
- зварювання за допомогою муфт з використанням грійних елементів (див. с. 9)
- зварювання за допомогою муфт з нагрівальною спіраллю (див. с. 10).



## Контактне стикове зварювання труб і формованих деталей із застосуванням нагрівальних елементів (див. рис. на с. 7)

Загальні умови для контактного стикового зварювання та зварювання за допомогою муфт з нагрівальним елементом у вигляді спіралі.

Ділянку для зварювання оберігати від несприятливих атмосферних впливів (наприклад, дії вологи, вітру, сильних сонячних променів і температури нижче ніж 0 °С). Якщо за рахунок відповідних заходів *попереднє нагрівання, накривання, нагрівання* виявлено, що необхідна для зварювання температура досягнута й рівномірно розподілена на стінці труб, то можна працювати за будь-якої зовнішньої температури. У разі попадання на труби сонячних променів нерівномірність нагрівання можна усунути шляхом своєчасного накривання зварюваних ділянок труб.

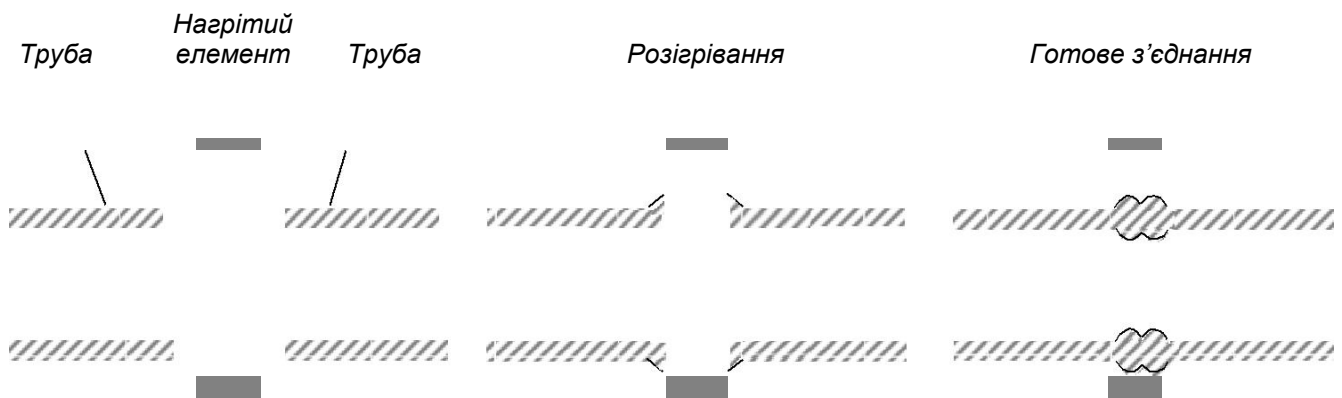
Сполучні поверхні зварюваних деталей слід очистити від забруднень.

Очищення проводити відразу ж перед зварюванням. Це стосується й нагрівального елемента, який треба очистити, наприклад, очищувачем для РЕ і не ворсистим папером. Щоб виключити прилипання труби до нагрівального елемента або навпаки полегшити роз'єднання труб, що зварюються, поверхню треба покрити тефлоном. Щоб уникнути охолодження труб під час зварювання за сильного вітру, протилежні кінці труб слід закрити. Перед стиковим зварюванням з використанням грійного елемента торці труб нагрівають до температури зварювання і відразу ж притискають один до одного після видалення грійного елемента.

### Підготовка зварного шва

Частини трубопроводу перед затисненням співвісно вирівнюють у зварювальному апараті. Подовжня рухливість труб забезпечується відомим способом, наприклад за допомогою регулювальних роликів блоків.

### Принцип стикового зварювання нагрітим елементом



Сполучні поверхні обробляють механічно в затисненому стані, знімають стружку не більше ніж 0,2 мм; тирсу, яка потрапила в труби, видаляють. До зварюваних поверхонь не можна торкатися руками. Після механічної обробки перевірити паралельність площин. Щілина не повинна перевищувати розміри, наведені в таблиці. Одночасно слід перевірити, щоб зсув кінців труб не перевищував 10% товщини стінок. За необхідності товщину стінок слід вирівняти, знявши частину товщини механічно.

Максимальна ширина щілини після механічної обробки

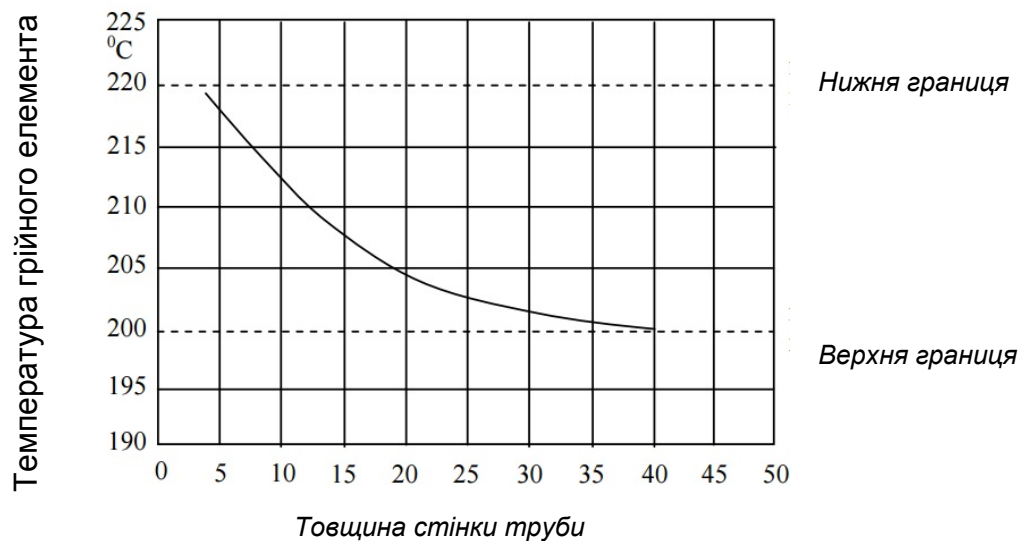
Зовнішній діаметр d, мм	Ширина щілини a, мм
≤ 355	0,5
400 – < 630	1,0
630 – < 800	1,3
800 – ≤ 1000	1,5

### Процес зварювання

Нагрітий до температури зварювання нагрівальний елемент (значення для РЕ див. у табл.) поміщають між зварюваними відрізками, і кінці труб притискають з двох сторін з певним тиском. Для PVDF температура становить  $240 \pm 8$  °C, для РР —  $210 \pm 10$  °C.

Контроль температури здійснюється за допомогою швидкодіючого поверхневого термодатчика, у цьому випадку з використанням контактної рідини або термічних штифтів чи розплав солей.

Температура зварювання РЕ-HD (РЕ63/РЕ80/РЕ100)



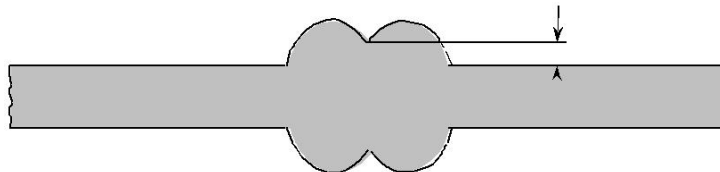
Потрібне компенсаційне притискне зусилля можна розрахувати, виходячи зі зварюваної площі й питомого тиску. Зазвичай виробники зварювальних машин називають величину в табличній формі, тому що більшість апаратів не забезпечені вимірювальними приладами тиску й працюють з гідравлікою. До цього тиску слід додати зусилля руху інструмента, яке залежить від тертя між деталями машини й ваги зварюваної деталі. Процес вирівнювання можна вважати закінченим, якщо на всьому протязі зварювальних деталей утворюється опуклість, як наведено в таблиці на с. 21-24. Під час розпочатого зараз процесу нагрівання тиск стиснення поступово знижується до 0. Після підігрівання поверхні, що стикаються, потрібно обережно звільнити від нагрівачів. Час на роз'єднання зварювальних поверхонь, витяг нагрівачів і з'єднання поверхонь, що стикаються, називається часом підготовки до зварювання і він повинен бути мінімальним.

Зварювані поверхні повинні стикатися зі швидкістю близькою до 0. Після чого тиск повільно підвищують. Час див. на с. 21-24. Притиск зберігається до повного охолодження. Зазначені в таблиці дані з величини притиску різні для труб і плит.

Різке охолодження або застосування охолоджувальних середовищ неприпустимо. За великої товщини стінок труб, наприклад починаючи з 20 мм, накривання зони зварного шва під час охолодження забезпечує більш рівномірне охолодження і відповідно більш високу якість зварного з'єднання. Після зварювання по обидва боки від стику повинні утворюватися два валики (див. рис.).

Якщо потрібно зняти валик, то найкраще це зробити до повного охолодження, через те що зняття холодного матеріалу може привести до утворення рисок. За твердих матеріалів, таких як PVDF, може відбутися руйнування матеріалу.

Утворення валиків під час стикового зварювання



## **ЗВАРЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ З'ЄДНУВАЛЬНИХ МУФТ І НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Труба й деталь трубопроводу зварюються навперехрест. За допомогою нагрівального елемента у вигляді муфти або штуцера обидві поверхні нагрівають до температури зварювання, після чого їх з'єднують. Нагрівальний елемент і муфта підібрані за розміром так, що під час їх з'єднання необхідно докласти якийсь тиск. За діаметра труб:

- $\geq 63$  мм РЕ високої щільності й РР;
- $\geq 50$  мм PVDF застосовується відповідне зварювальне обладнання.

## Підготовка зварного шва

Сполучні поверхні труби механічно знімають відповідним інструментом або циклею. Фітинг очищають зсередини мийним засобом (наприклад, очищувачем Tangit фірми Henkel) і ґрунтовно промокають НЕ ворсистим папером.

На трубі зовні роблять скіс приблизно 15°,

- шириною 2 мм при діаметрі труби до 50 мм;
- шириною 3 мм при більшому діаметрі.

Під час ручного зварювання на трубу нанести мітку, щоб знати глибину вставки кінця труби в нагрівальний елемент.

Принцип муфтового зварювання з грійним елементом

*(Перекладені до зображень слова:*

*Грійний елемент*

*Фітинг*

*Грійна втулка*

*Труба*

*Нагрівання*

*Готове з'єднання)*

## Процес зварювання

Нагрівальний інструмент гріють до температури  $260 \pm 10$  °С. Контроль температури визначають швидкодіючим поверхневим вимірником температури, зокрема, з використанням розплаву солей. Для нагрівання спочатку вводять фітинг до грані, потім насаджують або вставляють до мітки кінець труби.

Зварювані частини гріють протягом часу, наведеного в таблиці на с. 24.

По закінченні заданого часу фітинг і трубу різко знімають і не повертаючи вставляють до мітки або до грані у фітинг. Деталі залишають у зафіксованому положенні на час, що дорівнює часу нагрівання.

## ЗВАРЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІТИНГІВ З НАГРІВАЛЬНОЮ СПІРАЛЛЮ ВСЕРЕДИНІ

### Загальні умови

Сполучні поверхні, тобто труба і внутрішня стінка муфти зварюються за допомогою нагрівання спіралі, забитої в тілі муфти, електричним струмом до температури зварювання. Цей спосіб застосовують для зварювання PE-HD і PP.

### Підготовка шва (див. 2 рис. на с.10)

Для бездоганного зварювання цим способом чистота поверхні має вирішальне значення. Поверхні труби зачищають шабером або циклею. Усередині труби знімають задирки, а зовні її заокруглюють по радіусу, що дорівнює половині товщини стінки труби. Фітинг очищають зсередини мийним засобом (наприклад, очищувачем Tangit фірми Henkel) і ґрунтовно промокають НЕ ворсистим папером. Відхилення від круглості труби не повинно перевищувати 1,5% по зовнішньому діаметру.

Під час насадження фітингу треба стежити, щоб не було перекосу і щоб не додавалося занадто велике зусилля, яке могло б зашкодити або змістити спіраль.

Принцип зварювання труб з муфтою і нагрівальною спіраллю

### *(Перекладені до зображень слова:*

*Фітинг із нагрівальною спіраллю*

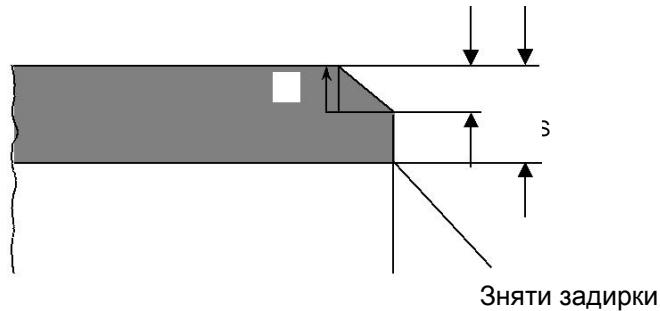
*Труба*

*Підключення до зварювального апарату*

*Плавлення*

*Готове з'єднання)*

## Підготовка кінців труб



## Процес зварювання

Допускається використання лише зварювальних апаратів, зазначених для цього типу фітингу. Параметри зварювання визначають і виставляють на апараті до початку процесу відповідно до діаметра й номінального тиску труби. Зварювальний апарат з'єднується з фітингом кабелем, і зварювання протікає автоматично, на сучасних апаратах під час зварювання складаються протоколи. З'єднання можна навантажувати лише після охолодження.

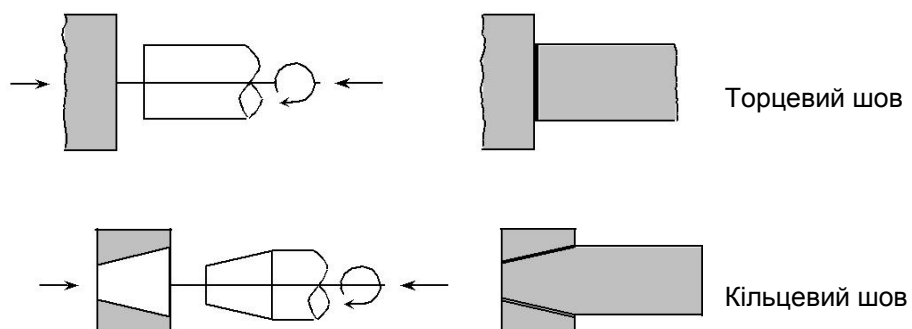
## ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ

### Спосіб

Під час зварювання тертям з'єднання відбувається без підведення тепла і в основному без допоміжних матеріалів, необхідна енергія утворюється від взаємного тертя зварюваних деталей по поверхнях з'єднання і прикладення тиску.

При цьому найчастіше одна деталь зафіксована нерухомо, а друга обертається, у такому разі сполучні поверхні можуть бути або торцевими або охоплювати один одного.

### Зварювання тертям



### Підготовка зварювання (рис.)

Сполучні поверхні зварюваних деталей не повинні мати забруднення. Чистильні засоби, що викликають розчинення або набухання пластику, застосовувати неприпустимо. Для успішного зварювання дуже важлива геометрична форма деталей. Під час з'єднання встик деталей діаметром до 30–40 мм потрібне поперечне обточування, у той час як для деталей діаметром більше ніж 40 мм потрібна механічна обробка однієї або обох сполучних поверхонь у вигляді сфери. Тонкостінні деталі (труби) необхідно в зоні зварювання підперти відповідним способом.

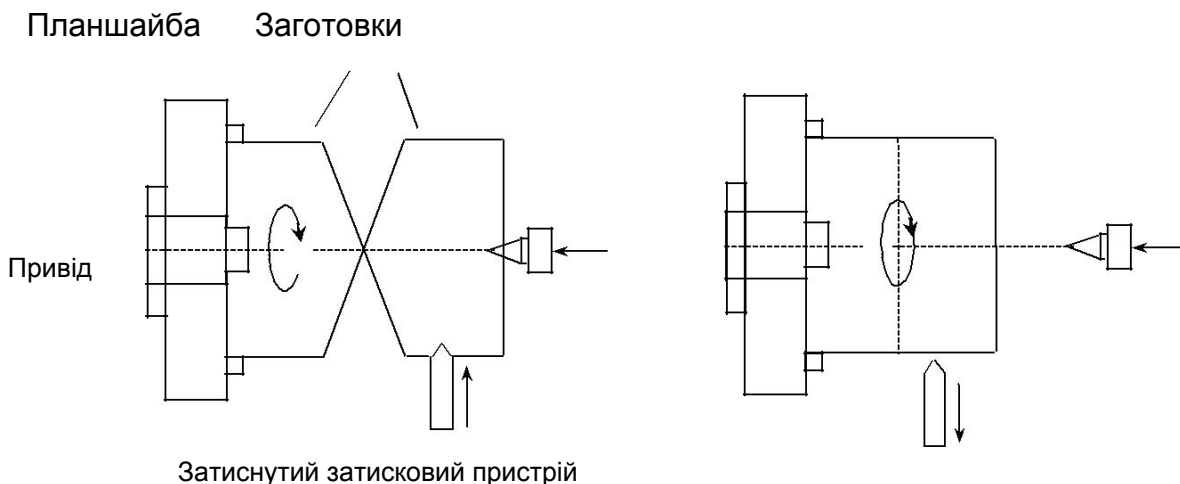
### Процес зварювання

Зварювані деталі затискають у пристрої, після чого одна деталь під час обертання притискається до іншої, частіше нерухомої деталі. Досягнувши температури зварювання, потрібний момент визначається тим, що на периферії виділяється тістоподібний матеріал, блокування з нерухомої деталі знімається і триває спільне обертання обох деталей. Таке обертання необхідно якнайшвидше припинити й деталі витримують так до повного охолодження.

Істотні параметри під час зварювання тертям:

Тиск під час розігріву:	Тиск, за якого сполучні поверхні притискаються один до одного
Час розігріву:	Час, протягом якого тиск є ефективним
Тиск під час стикування:	Тиск для з'єднання зварювальних деталей.
Час зчеплення:	Час, протягом якого тиск зчеплення діє.

На рис. показаний принцип зварювання тертям. Ліворуч: підготовка до зварювання, праворуч: готове зварювання.



Будова: планшайба, привід, стопорне пристосування в затиснутому стані (праворуч): кінець конуса, стопорне пристосування у вільному стані.

Залежно від діаметра зварювальних поверхонь під час зварювання працюють з окружною швидкістю близько 1–4 м/с. Матеріали для зварювання і взаємопов'язані з ними умови (наприклад, швидкість тертя, тиск під час розігрівання й стикування) повинні визначатися зварювальником заздалегідь під час досвідченого зварювання деталей аналогічного призначення. Тиск під час розігрівання й стикування становить для олефінів і PVC-U біля 0,5–1,5 Н/мм<sup>2</sup>. При цьому тиск тертя слід тримати на такому мінімальному рівні, щоб, коли пластик стане пластичним, його не викинуло відцентровою силою.

## ЕКСТРУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Цей спосіб застосовується, зокрема, під час зварювання товстостінних деталей. Зварювання ведеться з добавками. Для PVC цей спосіб застосовується лише умовно. Екструдер під час зварювання не повинен зупинятися (через небезпеку розкладання).

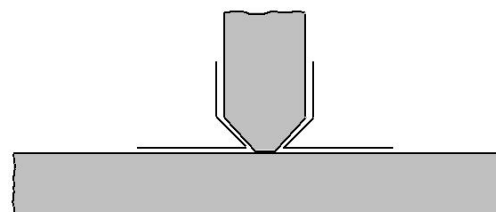
Для PVDF необхідно використовувати за погодженням з виробником спеціальні шнеки.

### Підготовка

Безпосередньо перед зварюванням пошкоджені місця в зоні зварювання (особливо від екологічних і хімічних впливів) слід видалити аж до неушкодженого матеріалу. Чистильні засоби, що впливають агресивно на матеріал або змінюють його, використовувати не можна. Ми рекомендуємо за такого способу працювати завжди вдвох.

Температура	Температура екструдату, заміряна на виході з форсунки, °С	Температура повітря, заміряна в форсунці подачі теплого повітря, °С	Кількість повітря, л/хв
PE твердий	200–230	210–240	350–400
PP	200–240	210–250	350–400
PVC-U	170–180	230–250	350–400
PVDF	240–260	240–270	350–400

Очищення зони зварювання



Зона підготовки



## Вплив вологи

Пластики та зварювальні добавки з поліолефінів можуть за певних умов поглинати вологу. Дослідники видних виробників і фірми отримали такі дані:

Зварювальна добавка приймає вологу залежно від матеріалу й навколишнього середовища. Під час екструзійного зварювання наявність вологи може проявитися у формі виїду у шві або грубої поверхні шва. Цей феномен посилюється зі збільшенням товщини шва (величина а).

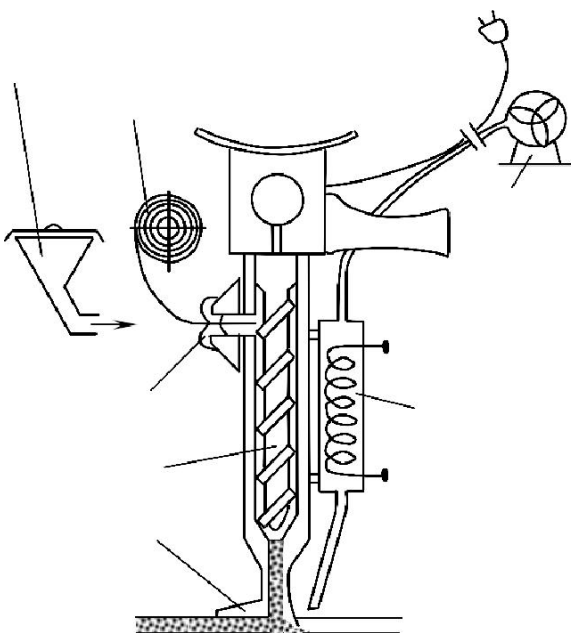
Щоб уникнути вологи, ми рекомендуємо дотримувати таких моментів:

1. Встановити волого- й маслосепаратори в системі подачі повітря.
2. Не допускати різниці температур зварювальних деталей (конденсатна волога).
3. Зварювальні добавки зберігати за можливості в сухому місці.
4. Просушити зварювальні добавки за температури 80 °С не менше 12 годин.
5. Шви з великим розміром а (> 18 мм) зварювати за кілька проходів.

## Зварювальний апарат

За переносного зварювального апарату, під яким розуміється апарат з невеликим екструдером як пластифікаційний блок, який працює від електродвигуна (ручна дріль). Для попереднього нагрівання зварного шва використовується повітродувка або звичайний повітронагрівач з підключенням до джерела стисненого повітря.

*(Екструдер, воронка з гранулятом або котушка з повітрям, подача повітря, подача дроту, малий екструдер, нагрівач газу, зварювальна насадка)*



Екструзійне зварювання з використанням гарячого газу має такі ознаки:

- зварюють з використанням добавок однакового типу;
- добавку повністю пластифікують до однорідного стану;
- поверхні, що стикаються, нагрівають гарячим повітрям до температури зварювання
- екструдована маса розподіляється і вирівнюється ковзним черевиком;
- порівняно зі способом зварювання гарячим газом досягається скорочення циклу за високої якості шва. економія за рахунок скорочення циклу зварювання.

### Форма зварювальної насадки

Екструзійна зварювальна добавка розподіляється і притискається ковзною насадкою. Від форми насадки залежать:

- об'єм заповнення;
- швидкості заповнення;
- кут зустрічі;
- розтікання матеріалу;
- закриття шва;
- рівномірність тиску.

Зварювальні насадки мають відповідати формі шва. У принципі, що ширший шов, тим довша повинна бути насадка (див. DVS 2207-4).

Як матеріал для зварювальної насадки підходять тільки пластики з високою термостійкістю. Добре себе зарекомендував PTFE. Крім високої термостійкості цей матеріал має хороші ковзні властивості.

На малюнках зображені форми зварювальних насадок для V-подібного шва й кутового шва.

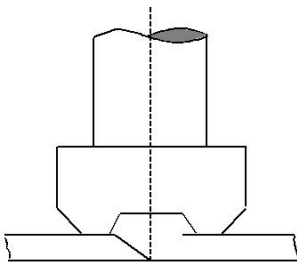
### Подальша обробка шва

У принципі зварювальний шов можна виконати так, що не буде потрібна ніяка додаткова обробка.

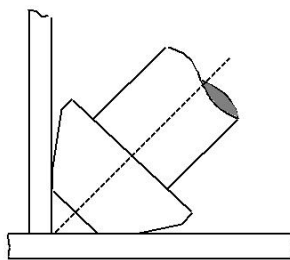
Екструзійні зварні шви повинні мати рівномірну гладку поверхню і бездоганно зварені прикордові зони.

Для виключення утворення канавок у корені шва підварний шов зварюють з нагріванням. Виступаючий по краях зварювальної насадки екструдований матеріал видаляють за допомогою відповідної циклі, особливо якщо з'єднання призначене для великих навантажень.

Утворення зварної насадки



V-шов



Кутовий шов

## Запобігання утворенню порожнин у зварювальному шві

Порожнини утворюються лише після процесу зварювання. Їх можна попередити зміною швидкості охолодження, геометрією зварювальної насадки, але не варіюванням параметрами зварювання. Порожнини виникають особливо за великої товщини стінки й за низьких робочих температур (але не температур зварювання).

Вони виникають через те, що після застигання поверхні шва на ній утворюється плівка, яка протидіє об'ємному осіданню. Як наслідок — неминуче виникають порожнини. Повільне охолодження не призводить до утворення воронки, воно досягається тим, що зварювальний шов накривають тканиною, яка має достатню термостійкість.

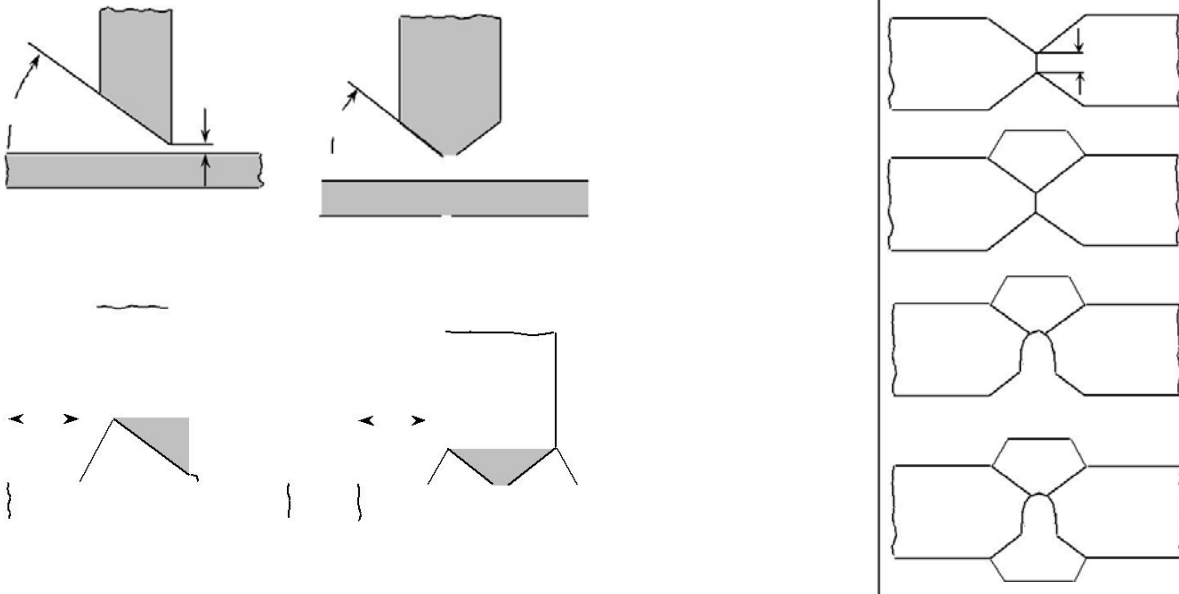
При цьому також усуваються напруження в зоні шва.

## Форми швів (див. рис.)

Т-подібний стик, HV-шов (половинний V-подібний шов), кутовий шов, DV (подвійний) — V-подібний шов. Верхній ярус **g** слугує для ковзання та напрямку зварювальної насадки.

### *(Підписи до зображення:*

*Т-подібний HV-шов зі щілиною, Т-подібний HV-шов зі знятим двостороннім крайком, підготовлений стик, заварений шов, стикове з'єднання з DV-швом, підготовлений стик, заварений верх, оброблений корінь шва, заварений низ.)*



## Величини та зовнішні впливи, що визначають бездоганну якість стикових швів

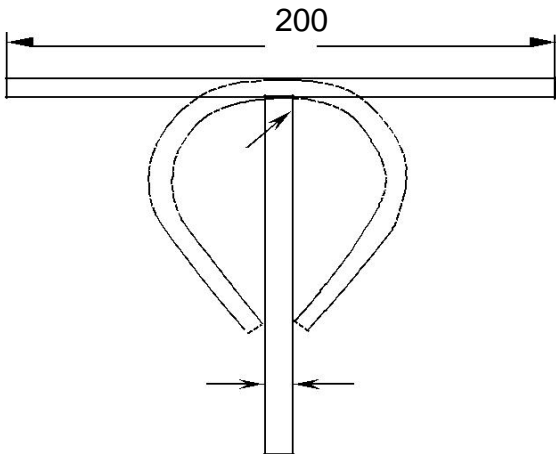
- температура зварювальної присадки;
- температура основного матеріалу;
- температура зварювального газу;
- масова витрата зварювальної добавки;
- кількість грійного газу;
- швидкість зварювання;
- зварювальний тиск.

## ВИПРОБУВАННЯ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ

### Випробування ручні

Рекомендації DVS 2203 частина 5 свідчать: «Виконання цих технологічних випробувань — це простий метод заводського орієнтовного контролю. За витратами сил цей метод доцільно використовувати за товщиною зразків до 1 0мм.

Взірець довжиною з обробленим зварним швом згинають через планку товщиною 6 мм із заокругленими кінцями з плавним додаванням сили (див. рис. нижче) до розриву або до дотику кінців зразка з планкою».



### Коефіцієнт міцності зварного шва

(випробування на розрив)

Схема ручного випробування DVS 2203, частина 2.

Коефіцієнт міцності зварного шва вказує співвідношення межі міцності на розтяг зварного шва  $\sigma_1$  до межі міцності на розтягування основного матеріалу  $\sigma_0$ :  $(\sigma_1/\sigma_0)$ . Короткочасний коефіцієнт міцності зварного шва використовують для короткострокових навантажень до однієї години. Під час розрахунку конструкцій застосовують тільки довгостроковий коефіцієнт міцності зварного шва.

Короткочасний і довгостроковий коефіцієнт міцності зварного шва

	Зварювання гарячим газом		Зварювання встик із нагрівальним елементом		Екструзійне зварювання	
	Короткострокове	Довгострокове	Короткострокове	Довгострокове	Короткострокове	Довгострокове
PE-HWU PE-HWST	0,8	0,4	0,9	0,8	0,8	0,6
PP-DWU PP-DWST	0,8	0,4	0,9	0,8	0,8	0,6
PVC-CAW PVC-MZ	0,8	0,4	0,9	0,6	—	—
PVDF	0,8	0,4	0,9	0,6	—	—

### Технологічне випробування на вигинання

Це випробування слугує разом з іншими видами випробувань для оцінки  $h$  виконаних зварювальних робіт. Кут вигину й характер зламу дозволяють зробити висновок про особливості формування з'єднання і відповідно про якість зварного шва. Усталені властивості зварного з'єднання можна визначити за результатами випробувань на вигинання лише умовно.

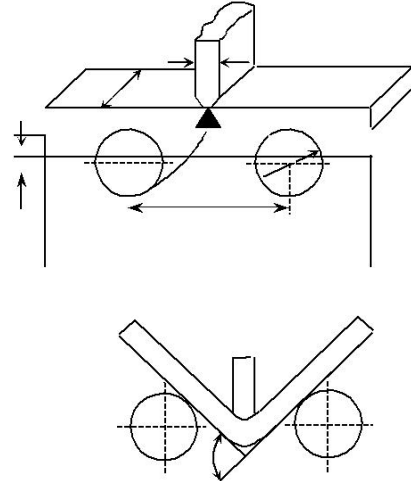


Рис. Схематичне представлення механічного випробування

Рис. Залежність мінімального кута вигину від товщини зразка для напівфабрикатів

*(Підписи до зображення)*

*Кут вигину, товщина зразка, HS-зварювання встик з грільним елементом, WF-зварювання, WZ-зварювання, WE-зварювання)*

## ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ

### Ефективна несуча здатність

Зовнішні та внутрішні надрізи, а також несприятливі перепади товщини визначають ефективну несучу здатність, яка за деяких умов значною мірою нижча, ніж міцність самого матеріалу. Зварні з'єднання у будь-якому випадку є неоднорідними. Оскільки зварні шви в здебільшого не піддаються обробці, то й нерівномірності на їх поверхні також знижують їх ефективну несучу здатність.

На рисунку показано чотири різних кутових з'єднання різного виду. Якщо ці з'єднання піддати згинальному навантаженню, то виявиться, що прямокутні сполуки в основному більш несприятливі, ніж з'єднання з заокругленим крайком і з заокругленням поза зварним швом. Заокруглення завжди дозволяють безперешкодний силовий потік і забезпечують ефективну несучу здатність, яка майже в 10 разів вища, ніж звичайне прямокутне кутове з'єднання.

### Кутові зварні з'єднання

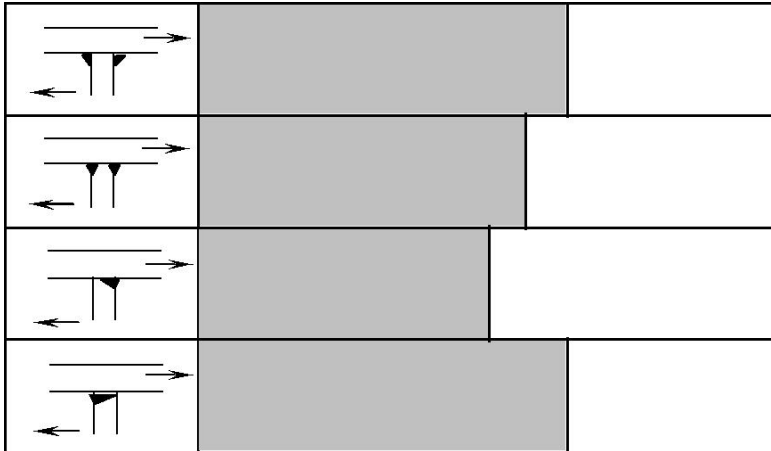
*(рисунок)*

Т-подібні з'єднання зі швом з одного боку дають значно гірші характеристики, ніж з двостороннім швом (див. рис.). Важливо також, щоб з боку додатку розтяжного навантаження на деталі не було надрізів. Сприятливо для ефективної несучої здатності позначається також наявність на кутовому шві заокруглення, яке позитивно впливає на силовий потік.

На рис. представлені зварні з'єднання, які піддавалися розтяжному навантаженню. У зоні шва виникають розтяжні або зрізні напруження. Оброблений V-подібний шов має більш високу ефективну несучу здатність, оскільки силовий потік більш вільний і зведені до мінімуму надрізи й подряпини. Під час простого зварного з'єднання за допомогою накладок не виникають ні розтяжні, ні зрізні зусилля, ні згинні моменти у зварному шві. Ефективна несуча здатність дуже низька, бо силовий потік дуже обмежений. На противагу до цього з'єднання з подвійною планкою дозволяє більш сприятливий напрямок сил. Цей тип з'єднання має більш високу ефективну несучу здатність. Те ж саме стосується і хрестових з'єднань.

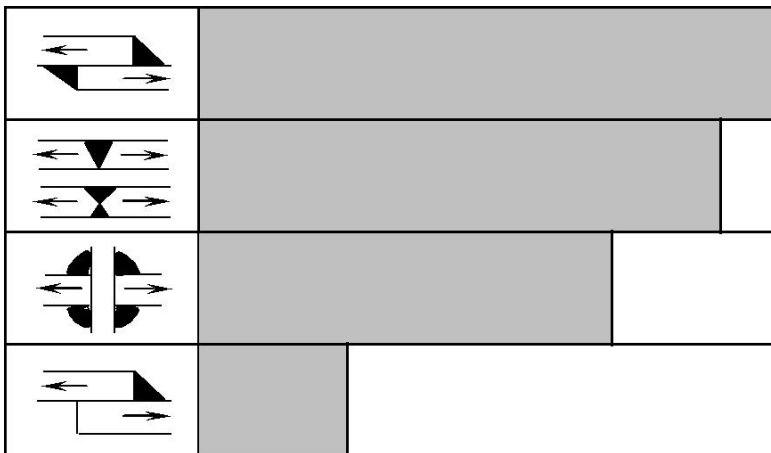
Т-подібні зварні з'єднання:

0% 100



Плоскі зварні з'єднання:

0% 100



### Розташування зварних швів

Наступні приклади здійснення слід розглядати разом і на додаток до DVS 2205 лист 3 (Припис німецького Союзу зварників).

При несучих зварних швах або при кутових швах їх необхідні розміри повинні задаватися з урахуванням того, щоб вони були достатні для несення навантажень. Більш переважними є стикові з'єднання.

V-подібні шви слід варити з кореневої сторони. Варто також намагатися досягнути плавних переходів під час зварювання встик плит різної товщини.

***(Підписи до зображення:***

***Приклади оформлення кутових зварних з'єднань***

***Стикові з'єднання з різною товщиною стінок***

***Сприятливо***

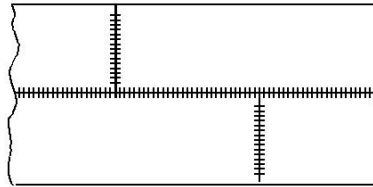
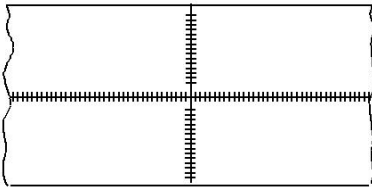
***Несприятливо***

***Кутовий стик***

***Рамний кут)***

Неприпустимо скупчення зварних швів і їх перетин.

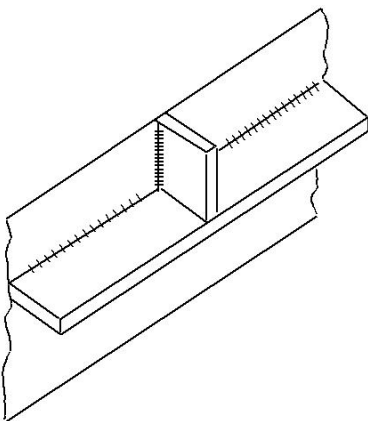
Приклади розташування швів



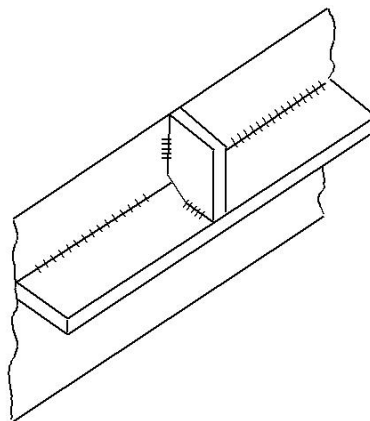
***Перехрещування неприпустимо***

***1,2 — послідовність зварювання***

З'єднання із зусиллям



Правильно



неправильно

**Напруження**

Під час зварювання пластиків можуть виникати напруження залежно від способу зварювання в різних напрямках: поперек шва, вздовж, а за товстих стінок й у вертикальному напрямку. Викликаються ці напруження через місцеве нагрівання та нерівномірне охолодження.



**(Підписи до зображення:**

*σ<sub>вzdovж</sub>*

*Зварювання нагрівальним елементом*

*Направлене зварювання*

*Зварювання гарячим газом*

*σ<sub>поперек</sub>*)

На рис.: характер розподілу напружень під час зварювання по довжині зварного шва за способів зварювання з нагрівальним елементом та гарячим газом (за Менгесом).

Під час нагрівання пластику у зварній зоні виникають напруження стиснення, викликані термічним розширенням матеріалу, причому під час зварювання відбувається релаксація цих напружень через пластичність термопластиків. Під час наступного охолодження виникають термічні розтягувальні напруження. Якщо поздовжні напруження в перетині шву не залежать від способу зварювання, то поперечні напруження, що виникають одночасно, від нього залежать. Вирішальним при цьому є те, чи затиснута зварювана деталь, чи вона може вільно осідати. Під час зварювання гарячим газом відповідальними за виникнення поперечних напружень у процесі зварювання є термічні напруження, що виникають на основі вже згаданої релаксації напружень у початковій зоні. З цього випливає факт: у звареній в останній момент зоні залишаються розтяжні напруження, а в початковій звареній зоні вони все-таки наростають.

**(Підписи до зображення:**

*σ<sub>вzdovж</sub>*

*σ<sub>поперек</sub>*

*зварювання гарячим газом*

*напруження*

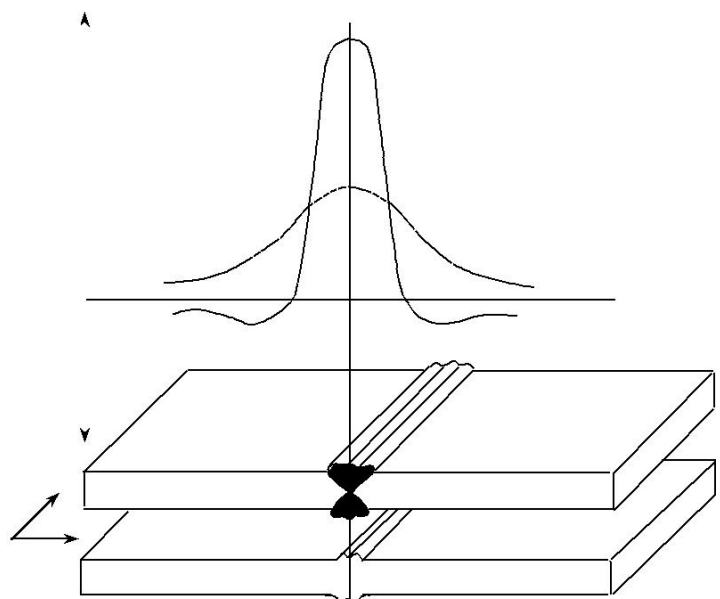
*розтяг*

*стиск*

*грійний елемент*

*стиківий шов*

*середина шва*)



На рис.\* характер напружень під час зварювання по перерізу зварного шва вертикально до шва. Величина напруження у шві під час зварювання з нагрівальним елементом дуже залежить від величини тиску під час зварювання (за Менгесом).

## КОНСУЛЬТАЦІЯ

Наші співробітники торгового відділу та відділу технічного застосування мають багаторічний досвід у переробці й застосуванні наших термопластичних матеріалів. Ми охоче надамо вам консультацію.

## СТАНДАРТИ ЗІ ЗВАРЮВАННЯ ТА СКЛЕЮВАННЮ ПЛАСТИКІВ

### Пам'ятні листки DVS

2201	Частина 2	Випробування напівфабрикатів з термопластиків, придатність до зварювання; спосіб випробування-вимоги
2203		Випробування напівфабрикатів і зварних з'єднань із термопластиків
	Частина 2	Випробування на розрив
	Частина 3	Випробування на ударне розтягнення
	Частина 4	Випробування на тривалу міцність на розтягнення
	Частина 5	Технологічні випробування на вигинання
2204		Склеювання термопластичних пластиків
	Частина 1	ПВХ без пластифікаторів
	Частина 3	Полістирол та аналогічні пластики
	Частина 4	Поліаміди
2204		Розрахунок ємностей та апаратів з термопластиків
	Частина 1	Дані
	Частина 2	Стоячі круглі ємності без надлишкового тиску
	Частина 3	Зварні з'єднання
	Частина 4	Фланцеві
	Частина 5	З'єднання
Дод. лист до 2205, ч. 5 Розрахунок ємностей та апаратів з термопластиків, прямокутних ємностей, конструктивні деталі		
2205		Випробування будівельних деталей і конструкцій з термопластичних пластиків
2207		Зварювання термопластичних пластиків
	Частина 1	Зварювання з нагрівальними елементами труб, частин трубопроводу й плит з ПЕ ВП (PE-HD)
	Частина 3	Зварювання гарячим газом термопластичних пластиків — плит і труб — параметри зварювання
	Частина 11	Зварювання з нагрівальними елементами термопластичних пластиків, трубопроводів з ПП
2208	Частина 1	Машини та прилади для зварювання термопластичних пластиків — зварювання з грійними елементами
	Частина 2	Зварювання термопластичних пластиків; машини та прилади для зварювання гарячим газом (за винятком екструзійного зварювання)
2209	Частина 1	Зварювання термопластичних пластиків; екструзійне зварювання, спосіб; ознаки

2210	Частина 1	Промислові трубопроводи з термопластичних пластиків; Проектування та виконання, надземні трубні системи
2211		Зварювальні добавки для термопластичних матеріалів
2212	Частина 1	Тестування зварників із пластиків, тест-група 1

Пам'ятні листи DVS можна отримати у видавництві Deutscher Verlag für Schweiß-Technik GmbH Aachener-Str- 172, 40223 Düsseldorf-

#### Стандарти DIN

DIN 1910 частина 1 (1983) Зварювання; класифікація способів зварювання

частина 3 (1977) Зварювання — зварювання пластиків, способи

DIN 16960 частина 1 (1974) Зварювання термопластичних пластиків; основи

Директиви VDI (Спілки німецьких інженерів)

VDI 2003 Обробка пластиків різанням

VDI2008 Формування напівфабрикатів з термопластичних пластиків

Стандарти й директиви DVI можна отримати у видавництві Deuzh-Verlag, a/c 1145, Burggrafenstr. 4-10 10772 Berlin 30.

#### ДЖЕРЕЛА ЛІТЕРАТУРИ

1. Вищевказані стандарти.
2. Брошури фірми Hoechst: «Формування, обробка, з'єднання, стикування».
3. Nadick: зварювання пластиків.

## ДОДАТОК

Залежно від машини та умов праці може знадобитися зміна наведених у таблиці орієнтовних даних, зокрема часу нагрівання. Для цього слід виготовити та випробувати робочі зразки.

## ЗВАРЮВАННЯ ГАРЯЧИМ ГАЗОМ

Орієнтовні дані для зварювання гарячим газом

Матеріал	Повітря, л/хв	Температура в соплі форсунки, °С	Швидкість газу, см/хв			
			Діаметр форсунки, мм		Діаметр швидкісної форсунки, мм	
			3	4	3	4
PE поліетилен	60–70	300–340	10–15	прибл.10	50–60	40–50
	60–70	300–340	10–15	прибл.10	50–60	40–50
	60–70	270–300#	—	—	25–30	20–25
PP PPs	60–70	280–320	прибл.10	<10	50–60	40–50
	60–70	280–320	прибл.10	<10	50–60	40–50
	60–70	280–320	прибл.10	<10	50–60	40–50
PVC	50–60	360–380	15–20	прибл.15	50–70	40–60
	50–60	350–360	15–20	прибл.15	60–80	50–70
	50–60	380–400	15–20	прибл.15	60–80	50–70
	45–50	340–360	20–25	15–20	прибл.100	прибл.75
	45–50	340–360	20–25	15–20	прибл. 100	прибл.75
PVDF	60–70	360–400	10–15	прибл.10	40–50	30–40
E-CTFE	60–70	400–430	—	—	25–30	20–25

Контактне стикове зварювання з нагрівальним елементом

Орієнтовні дані для стикового зварювання з нагрівальним елементом плит з PE-HD (PE-HWU, HWST)

Товщина плит, мм	Температура, °С	Вирівнювання р ≈ 0,15 Н/мм <sup>2</sup> , м <sup>2</sup> Висота валика, мм	Підігрівання р ≈ 0,1 Н/мм <sup>2</sup> Час, с	Перехід, макс. час, с	Закладення швів р ≈ 0,15 Н/мм <sup>2</sup>	
					Час повного зростання тиску, с	Час повного охолодження під тиском під час заповнення шва, мін. значення, хв
3	220	0,5	30	< 3	3,0	6,0
4	220	0,5	40	< 3	4,0	6,0
5	215	1,0	50	< 3	5,0	7,0
6	215	1,0	60	< 3	5,5	8,5
8	215	1,5	80	< 3	6,5	11,0
10	215	1,5	100	< 3	7,0	12,5
12	210	2,0	120	< 3	8,0	16,0
15	210	2,0	150	< 3	8,5	19,5
20	205	2,0	200	< 3	10,5	25,0
25	205	2,5	250	< 3	11,5	31,0
30	200	2,5	300	< 3	13,5	36,5
35	200	3,0	350	< 3	15,5	42,5
40	200	3,0	400	< 3	17,0	48,5

Орієнтовні дані для стикового зварювання з нагрівальним елементом плит з РР (PP-DWU/DWST, PPs)

Товщина плит, мм	Вирівнювання Висота валика у грійного елемента в кінці часу вирівнювання (вирівнювання за $p \approx 0,1 \text{ Н/мм}^2$ ). Висота валика, мм	Підігрівання $p \approx 0,01 \text{ Н/мм}^2$ Час, с	Перехід макс. час, с	Закладення швів $p \approx 0,15 \text{ Н/мм}^2$	
				Час для повного зростання тиску, с	Час охолодження під тиском під час заповнення шва, мін. значення, хв
3	0,5	105	< 3	5	6
4	0,5	130	< 3	5	6
5	0,5	145	< 3	5–6	6–12
6	0,5	160	< 3	5–6	6–12
8	1,0	190	< 3	6–8	12–20
10	1,0	215	< 3	6–8	12–20
12	1,0	245	< 3	8–11	20–30
15	1,0	280	< 3	8–11	20–30
20	1,5	340	< 3	11–14	30–40
25	1,5	390	< 3	11–14	30–40
30	1,5	430	< 3	14–19	40–55
35	2,0	470	< 3	14–19	40–55
40	2,0	505	< 3	19–25	55–70

Температура грійного елемента становить 210 +/-10 °С

Орієнтовні дані для стикового зварювання з нагрівальним елементом плит з PVC-U (PVC-SAW)

Товщина плит, мм	Вирівнювання за $p \approx 0,1 \text{ Н/мм}^2$ ). Висота валика, мм	Підігрівання $p \approx 0,01 \text{ Н/мм}^2$ Час, с	Перехід макс. час, с	Закладення швів $p \approx 0,3 \text{ Н/мм}^2$	
				Час для повного зростання тиску = 1 x товщина стінки, с	Час охолодження під тиском під час заповнення шва, мін. значення, хв
3	225–230	>0	45	3	3
4	225–230	>0	60	4	4
5	225–230	>0	75	5	5
6	225–230	>0	90	6	6
8	220–225	>0	120	8	8
10	220–225	>0	150	10	10
12	220–225	>0	180–225	12	12
15	220–225	>0	180–225	15	15
20	220–225		180–225	20	20

Орієнтовні дані для зварювання встик з використанням грійного елемента для плит PVDF (ПВДФ)

Товщина плит, мм	Вирівнювання за $p \approx 0,1 \text{ Н/мм}^2$ Висота валика у грійного елемента перед початком нагрівання Висота валика, мм	Підігрівання $p \leq 0,02 \text{ Н/мм}^2$ Час, с	Перехід макс. час, с	Закладення швів $p \approx 0,1 \text{ Н/мм}^2$	
				Час для повного зростання тиску, с	Час охолодження під тиском під час заповнення шва, мін. значення, хв
3	0,5	70	< 3	3,5	5,5
4	0,5	80	< 3	4,0	7,0
5	0,5	90	< 3	4,5	8,0
6	0,5	100	< 3	5,0	9,0
8	1,0	120	< 3	5,5	11,5
10	1,0	140	< 3	6,5	14,0
12	1,0	160	< 3	7,5	16,5
15	1,3	190	< 3	8,5	20,0
20	1,7	240	< 3	10,5	26,0
25	2,0	290	< 3	13,0	32,0

Температура грійного елемента становить  $240 \pm 8 \text{ }^\circ\text{C}$



Орієнтовні дані для зварювання встик з використанням грійного елемента для плит Е-СТФЕ

Товщина плит, мм	Вирівнювання за $p \approx 0,3 \text{ Н/мм}^2$ Висота валика у грійного елемента перед початком нагрівання Висота валика, мм	Підігрівання $p \leq 0,05 \text{ Н/мм}^2$ Час, с	Перехід макс. час, с	Закладення швів $p \approx 0,15 \text{ Н/мм}^2$	
				Час для повного зростання тиску, с	Час охолодження під тиском під час заповнення шва, мін. значення, хв
2,3	> 0,5	35	< 3	3	230
3	> 0,5	45	< 3	4	300
4	> 0,5	60	< 3	5	400
5	> 0,5	75	< 3	6	500

Температура грійного елемента становить 260–270 °С

Увага! Грійні елементи відомих машин для стикового зварювання мають температурне обмеження 250 °С.

Будь ласка, зв'яжіться з виробниками машин.

Орієнтовні дані для зварювання встик з використанням грійного елемента для плит з високомолекулярних матеріалів

Матеріал	Тиск вирівнювання (висота валика 1 мм), Н/мм <sup>2</sup>	Підігрівання $p = 0,01 \text{ Н/мм}^2$ Час, с	Перехід макс. час, с	Час для повного зростання тиску, с	Охолодження	
					Тиск, Н/мм <sup>2</sup>	Час, хв
PEHML 500	0,15	Товщина плити в м x 20	< 5	Товщина плити в мм	> 0,3	Товщина плити в м x 1,5
PEHML1000	0,5		< 5		> 1,0	

Температура грійного елемента становить 190–200 °С

Орієнтовні дані для зварювання встик з використанням грійного елемента для труб з РЕ-ND

Товщина плит, мм	Вирівнювання за $p \approx 0,15 \text{ Н/мм}^2$ Висота валика у грійного елемента перед початком нагрівання Висота валика, мм	Підігрівання $p \approx 0,01 (0,1 \text{ кгс/см}^2)$ Час, с	Перехід макс. час, с	Закладення швів $p \approx 0,15 \text{ Н/мм}^2 (1,5 \text{ кгс/см}^2)$	
				Час для повного зростання тиску, с	Час охолодження під тиском під час заповнення шва, мін. значення, хв
До 4,5	0,5	45	5	5	6
4,5–7	1,0	45–70	5–6	5–6	6–10
7–12	1,5	70–120	6–8	6–8	10–16
12–19	2,0	120–190	8–10	8–11	16–24
19–26	2,5	190–260	10–12	11–14	24–32
26–37	3,0	260–370	12–16	14–19	32–45
37–50	3,5	370–500	16–20	19–25	45–60
50–70	4,0	500–700	20–25	25–35	60–80

Орієнтовні дані для зварювання встик з використанням грійного елемента для труб з РР

Товщина плит, мм	Вирівнювання за $p < 0,1$ Н/мм <sup>2</sup> Висота валика у грійного елемента перед початком нагрівання Висота валика, мм	Підігрівання $p \leq 0,01$ Н/мм <sup>2</sup> Час, с	Перехід макс. час, с	Закладення швів $p \approx 0,10$ Н/мм <sup>2</sup> (1,0 кгс/см <sup>2</sup> )	
				Час для повного зростання тиску, с	Час охолодження під тиском під час заповнення шва, мін. значення, хв
До 4,5	0,5	135	5	5	6
4,5–7	0,5	135–175	5–6	5–6	6–12
7–12	1,0	175–245	6–8	6–8	12–20
12–19	1,0	245–330	8–10	8–11	20–30
19–26	1,5	330–400	10–12	11–14	30–40
26–37	2,0	400–485	12–16	14–19	40–55
37–50	2,0	485–560	16–20	19–25	55–70

Температура грійного елемента становить 210 +/-10 °С

Орієнтовні дані для зварювання встик з використанням гріє елемента для труб з PVDF

Товщина плит, мм	Вирівнювання за $p < 0,10 \text{ Н/мм}^2$ ( $0,1 \text{ кгс/см}^2$ ) Висота валика у грійного елемента перед початком нагрівання Висота валика, мм	Підігрівання $p \leq 0,02 \text{ Н/мм}^2$ Час = 10 x товщину стінки, с	Перехід макс. час, с	Закладення швів $p \approx 0,10 \text{ Н/мм}^2$ ( $0,1 \text{ кгс/см}^2$ )	
				Час для повного зростання тиску 0,4 x товщину стінки + 2,5 с, с	Час охолодження під тиском під час заповнення шва, мін. значення, 1,2 x товщину стінки + 2 хв 0,4 x товщину стінки + 2,5 с, мін. значення, хв
1,9–3,5	0,5	59–75	3	3–4	5–6
4,5–5,5	0,5	75–95	3	4–5	6–8,5
5,5–10	0,5–1,0	95–140	4	5–7	8,5–14
10–15	1,0–1,3	140–190	4	7–9	14–20
15–20	1,3–1,7	190–240	5	9–11	20–26
20–25	1,7–2,0	240–290	5	11–13	26–32

Температура грійного елемента становить  $240 \pm 8 \text{ }^\circ\text{C}$

**Зварювання з використанням муфт з грійним елементом**

Орієнтовні дані для зварювання встик з використанням грійного елемента для труб з PE-HD і PP

Діаметр труби, мм	Підігрівання Час		Перехід макс. допустимий час переходу, с	Охолодження <sup>3</sup> Мінімальний час	
	Труба PN10, с	Труба PN6, с		У затиснутому стані	Загальний Час, с
16	5		4	6	2
20	5		4	6	2
25	7	<sup>1</sup>	4	10	2
32	8	<sup>1</sup>	6	10	4
40	12	<sup>1</sup>	6	20	4
50	18	<sup>1</sup>	6	20	4
63	24	12 <sup>2</sup>	8	30	6
75	30	15	8	30	6
90	40	22	8	40	6
110	50	30	10	50	8
125	60	35	10	60	8

<sup>1</sup> — через малу товщину стінок не рекомендовано

<sup>2</sup> — стосується PP; для PE-HD — не рекомендовано

<sup>3</sup> — під час ручного зварювання з'єднані зварювані частини повинні бути зафіксовані протягом зазначеного часу (колонка «Загальний час»), зварне з'єднання можна навантажувати лише після повного охолодження.

Орієнтовні дані для муфтового зварювання з використанням грійного елемента для труб з PVDF

Діаметр труби, мм	Час нагрівання, с	Перехід макс. допустимий час переходу, с	Охолодження <sup>3</sup> Мінімальний час	
			У затиснутому стані	Загальний час, с
16	4	4	6	2
20	6	4	6	2
25	8	4	10	2
32	10	6	10	4
40	12	6	20	4
50	18	6	20	4
63	20	8	30	6
75	22	8	30	6
90	25	8	40	6
110	30	10	50	8

<sup>3</sup> — під час ручного зварювання з'єднані зварювані частини повинні бути зафіксовані протягом зазначеного часу (колонка «зафіксовано»), зварне з'єднання можна навантажувати лише після повного охолодження