

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра технологій зварювання та будівництва

ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 131-Прикладна механіка,
освітньої програми «Технології та устаткування зварювання»

Затверджено на засіданні
кафедри зварювального виробництва
Протокол № 2 від 29.02.2024 року

Чернігів 2024

Зварювання пластмас. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 131 Прикладна механіка, освітньої програми «Технології та устаткування зварювання». /Укл.: Олексієнко С.В., Болотов М.Г., – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 16 с.

Укладачі: Олексієнко Сергій Владиславович, кандидат технічних наук, доцент;
Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: Прибисько Ірина Олександрівна, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Ганєєв Тимур Рашитович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва, Національного університету «Чернігівська політехніка»

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1 СКЛАД ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ.....	5
2 ВАРІАНТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАВДАНЬ.....	5
3 ВАРІАНТИ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ	6
3.1 Основи розрахунку зварних з'єднань на міцність	6
3.2 Методи підвищення міцності зварних з'єднань.....	9
3.3 Варіанти індивідуальних завдань.....	9
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	16

ПЕРЕДМОВА

Дисципліну “Зварювання пластмас” здобувачі вищої освіти вивчають у відповідності до навчального плану підготовки бакалаврів спеціальності 131 Прикладна механіка освітньо-професійної програми «Технології та устаткування зварювання». Відповідно до робочої навчальної програми студенти прослуховують лекційний курс, виконують лабораторні роботи та розрахунково-графічну роботу.

Метою виконання розрахунково-графічної роботи є поглиблення знань в галузі технологій та обладнання, що використовуються для зварювання і склеювання пластмас та склеювання металів, за рахунок самостійного пророблення науково-технічної літератури по цьому напрямку.

Розрахунково-графічна робота включає два завдання. Перше пов’язане з описом технології та обладнання одного з методів зварювання чи склеювання; друге – з розрахунком зварного з’єднання на міцність. У методичних вказівках разом з варіантами завдань до розрахунково-графічної роботи приведені короткі теоретичні відомості щодо розрахунку зварних з’єднань.

Розрахунково-графічна робота оформляється у вигляді пояснювальної записки відповідно до стандарту і виноситься на захист.

1 СКЛАД ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка до розрахунково-графічної роботи включає варіант індивідуального завдання та два розділи, в яких приводяться теоретичні відомості по варіанту індивідуального завдання, де потрібно дати опис устаткування, особливостей способу зварювання та розрахунок зварного з'єднання. Текст записки повинен мати графічний матеріал, тобто рисунки, схеми тощо.

В кінці пояснювальної записки наводиться перелік технічної літератури, яка була використана при виконанні робіт.

2 ВАРІАНТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

1. Зварювання пластмас нагрітим газом з використанням присадочного матеріалу
2. Зварювання пластмас нагрітим газом без використання присадочного матеріалу
3. Зварювання пластмас екстругованою присадкою
4. Зварювання пластмас розплавленим прутком
5. Ультразвукове зварювання пластмас
6. Зварювання струмами високої частоти
7. Зварювання пластмас тертям обертання
8. Зварювання пластмас вібротертям
9. Зварювання пластмас випромінюванням
10. Стикове зварювання пластмас нагрітим інструментом
11. Зварювання пластмас внаступ
12. Зварювання нагрітим клином
13. Зварювання пластмас з одночасним формуванням виробу
14. Пресове зварювання пластмас
15. Термоімпульсне зварювання пластмас
16. Стрічкове зварювання пластмас
17. Роликове зварювання пластмас
18. Зварювання пластмас нагрітим елементом, що залишається в зварному шві
19. Зварювання пластмас розчинниками
20. Зварювання різнотипних полімерів
21. Хімічне зварювання термопластів
22. Хімічне зварювання реактопластів
23. Склеювання пластмас
24. Склеювання металів
25. З'єднання приформовкою
26. Контроль якості зварних та клеєних з'єднань

27. Техніка безпеки при проведенні робіт по зварюванню та склеюванню металів та пластмас
28. Зварювання синтетичних тканин
29. Зварювання орієнтованих полімерних плівок
30. Хімічне зварювання зшитих термопластів
31. Хімічне зварювання зтверджених термопластів
32. Хімічне зварювання лінійних поліциклічних полімерів
33. Хімічне зварювання гуми
34. З'єднання листових склопластиків
35. Вплив властивостей пластмас на здатність до зварювання

3 ВАРІАНТИ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ

3.1 Основи розрахунку зварних з'єднань на міцність

При проектуванні зварних конструкцій із пластмас виходять з двох принципів:

а) вибирають конструктивне рішення, при якому міцність зварного з'єднання буде не нижче міцності елементів, що зварюються; в цьому випадку, як правило, виходить найбільш економічне рішення;

б) виходять з того, що міцність зварного з'єднання нижче міцності елементів, що зварюються, і несучу здатність конструкції визначає зварне з'єднання.

При розрахунку зварних з'єднань на міцність враховують лише робочі напруження в швах. Напруження, які виникають внаслідок спільних деформацій основного матеріалу і шва, а також залишкові напруження в розрахунках не враховують, хоча при розробці технології виготовлення зварних конструкцій вплив їх слід мати на увазі.

В стиковому з'єднанні (рисунок 3.1) розподілення напружень по довжині шва приймається рівномірним; робоча товщина шва приймається рівною товщині елементів, що стикаються (та меншій, якщо товщини різні).

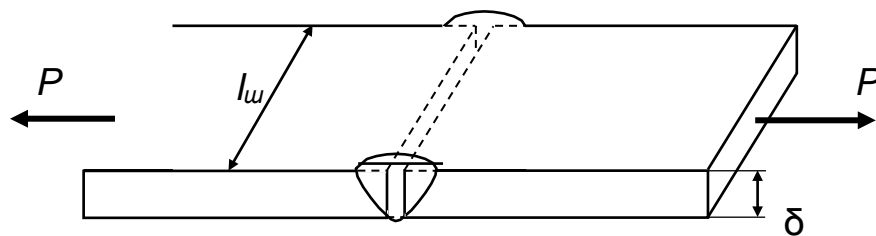


Рисунок 3.1 – Стикове з'єднання при дії розтягуючих зусиль

Розрахунок міцності зварних з'єднань здійснюється по тим же формулам опору матеріалів, що і для металевих зварних з'єднань. Так, умова міцності при розтягу прямих швів

$$\frac{P}{\delta \cdot l_{ш}} \leq [\sigma']_p, \quad (3.1)$$

де P – розрахункове (експлуатаційне) навантаження;

δ – товщина елементів;

$l_{ш}$ – довжина шва;

$[\sigma']_p$ – допустимі напруження для зварного шва при розтягу.

Допустимі напруження в зварних швах призначають в залежності від міцності матеріалу, що зварюється, в залежності від форми та виду з'єднання, виду навантаження, умов роботи з'єднання, використаного способу зварювання, температури навколишнього середовища та інших факторів.

Будь-які напруження, що виникають в зварних швах та зварних з'єднаннях, не повинні перевищувати допустимого для них напруження

$$[\sigma']_p = \frac{\sigma_p \cdot K}{n}, \quad (3.2)$$

де σ_p – границя міцності основного матеріалу при розтягу;

K – відносна міцність зварного з'єднання (коефіцієнт міцності зварного з'єднання)

$$K = \frac{\sigma'_p}{\sigma_p};$$

n – коефіцієнт запасу міцності, що залежить від виду навантаження, умов зварювання та умов експлуатації.

Класифікація умов експлуатації:

I. Навколишнє середовище – повітря; статичне навантаження при нормальній температурі та при невеликому тиску; конструкція простої форми; у випадку відмови конструкції небезпека для персоналу та обладнання відсутня.

II. Статичне навантаження при змінній температурі та середньому тиску; конструкція простої форми; у випадку відмови конструкції небезпека відсутня.

III. Змінне навантаження при змінній температурі та високому тиску; наявність середовищ, що не здійснюють хімічної дії; конструкція складної форми; у випадку відмови конструкції існує небезпека для персоналу та оточуючих конструкцій та пристроїв.

При згині елемента умова міцності має наступний вигляд:

$$\frac{M}{W} \leq [\sigma']_p, \quad (3.3)$$

де M – розрахунковий (експлуатаційний) момент;

W – момент опору перерізу шва.

Розрахунок кільцевих швів труб від внутрішнього тиску здійснюється по формулі

$$\frac{Pr}{2\delta} \leq [\sigma']_p, \quad (3.4)$$

де P – внутрішній тиск;

r – внутрішній радіус труби;

δ – товщина стінки труби.

Умова міцності при розтягу напусткового з'єднання (рисунок 3.2) має наступний вигляд:

$$\frac{P}{0,7k \sum l_{ш}} \leq [\tau']_{зр}, \quad (3.5)$$

де P – розрахункове (експлуатаційне) навантаження;

k – катет кутового шва;

$\sum l_{ш}$ – сумарна довжина кутових швів;

$[\tau']_{зр}$ – допустиме напруження на зріз для зварного шва.

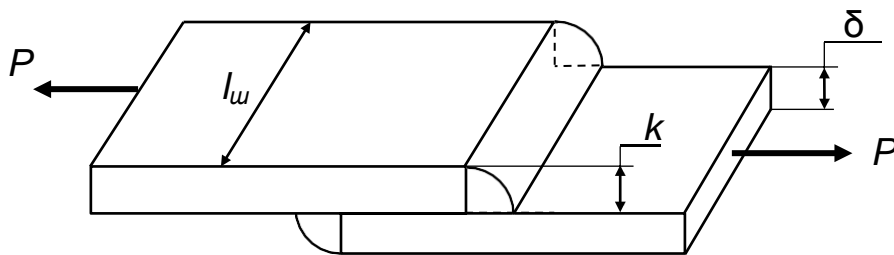


Рисунок 3.2 – Напусткове з'єднання при дії розтягуючих зусиль

Для кутових швів формула (3.2) набуває вигляду

$$[\tau']_{зр} = \frac{0,6\sigma_p \cdot K}{n}. \quad (3.6)$$

Формула (3.5) придатна для розрахунку лобових, флангових, косих та

КОМБІНОВАНИХ ШВІВ.

3.2 Методи підвищення міцності зварних з'єднань

Підвищення міцності зварних з'єднань із пластмас може бути забезпечене шляхом конструктивних рішень, спеціальних прийомів зварювання, використання обробки після зварювання.

Змінюючи конструкцію з'єднання можна змінити і його міцність. У випадку зварювання з присадками (нагрітим газом, розплавом) підвищення міцності зварного з'єднання можна досягти, змінюючи кут розробки кромки. При контактному тепловому зварюванні, зварюванні тертям та випромінюванням міцність можна підвищити, якщо змінити перпендикулярний скіс кромки кососиметричним (зварювання “на вус” або в “шип”). Працездатність зварного з'єднання може бути також підвищена в результаті зміни кута нахилу шва по відношенню до дії розтягуючого зусилля з розміщенням швів, наприклад, під кутом 45° в розтягнутих елементах конструкції.

3.3 Варіанти індивідуальних завдань

1. Спроекувати стикове з'єднання та призначити спосіб зварювання двох листів з поліпропілену при дії розтягуючого зусилля величиною 5000 Н . Ширина поперечного перерізу листа 200 мм . Умова експлуатації – III.
2. Спроекувати стикове з'єднання двох листів з розмірами поперечного перерізу $100 \times 5\text{ мм}$ з поліетилену високого тиску при дії розтягуючого зусилля величиною 10000 Н . З'єднання виконане зварюванням нагрітим газом з присадкою. Умова експлуатації – II.
3. Дві пластини з розмірами поперечного перерізу $4 \times 100\text{ мм}$ з пластикату з'єднані в стик зварюванням розплавленим прутком. Визначити максимальну величину згинаючого моменту, діючого в площині листів, який можна прикласти до зварного з'єднання. Умова експлуатації – II.
4. Спроекувати стикове з'єднання та призначити спосіб зварювання двох листів товщиною 5 мм з вінілпласту, яке випробовує згинаючий момент, діючий відносно повздовжньої осі шва, рівний $40\text{ Н}\cdot\text{м}$. Умова експлуатації – I.
5. Визначити допустимі умови експлуатації стикового з'єднання двох листів з поліетилену низького тиску розмірами $200 \times 500 \times 10\text{ мм}$, виконаного стиковим зварюванням нагрітим інструментом по короткій кромці, при дії згинаючого моменту відносно повздовжньої осі шва величиною $50\text{ Н}\cdot\text{м}$.
6. Визначити розмірні параметри стикового з'єднання з однією накладкою при зварюванні двох листів з шириною поперечного перерізу 100 мм з

- поліпропілену, виконаного зварюванням нагрітим газом з присадкою, при дії розтягуючого зусилля величиною 8000 *H*. Умова експлуатації – III.
7. Спроекувати напусткове з'єднання та призначити спосіб зварювання двох листів з шириною поперечних перерізів 100 *мм* та 50 *мм* з поліетилену високого тиску при дії розтягуючого зусилля величиною 5000 *H*. Умова експлуатації – III.
 8. Спроекувати напусткове з'єднання листа з поперечним перерізом 80×5 *мм* з поліетилену високого тиску до масивного тіла при дії максимального розтягуючого зусилля. Спосіб зварювання – розплавленим прутком. Умова експлуатації – II.
 9. Величина напуску в напустковому з'єднанні пластини товщиною 4 *мм* з масивним тілом, які виготовлені з вініпласту, складає 70 *мм*. З'єднання виконане зварюванням нагрітим газом з присадкою двома фланговими кутовими швами катетом 3 *мм*. Визначити ширину пластини та максимальне зусилля, яке може витримати з'єднання при прикладенні його по нормалі до поперечного перерізу листа. Умова експлуатації – III.
 10. Визначити основні експлуатаційні показники напусткового з'єднання двох листів з поліетилену низького тиску з розмірами поперечного перерізу 100×10 *мм*, виконане двома лобовими швами катетом 8 *мм* зварюванням розплавленим прутком, при прикладенні навантаження по нормалі до поперечного перерізу листа.
 11. Визначити, який максимальний крутний момент в площині листів може витримати напусткове з'єднання двох листів з розмірами поперечного перерізу 200×5 *мм* та 170×6 *мм* з величиною напуску 100 *мм*. Зварюванням виконане розплавленим прутком двомалобовими та двома фланговими кутовими швами катетами 4 *мм*. Матеріал – поліетилен низького тиску. Умова експлуатації – II.
 12. Визначити розмірні параметри зварного з'єднання, зображеного на рисунку 3.3, при дії максимально допустимого навантаження. Розміри: $\delta_1 = 3$ *мм*; $\delta_2 = 6$ *мм*; $a = 100$ *мм*; $b = 240$ *мм*; $c = 140$ *мм*; $r = 80$ *мм*. Матеріал – поліпропілен. Спосіб зварювання – нагрітим газом з присадкою. Умова експлуатації – I.
 13. Для з'єднання, зображеного на рисунку 3.3, при дії навантаження 12000 *H* призначити спосіб зварювання, який забезпечує мінімальні витрати зварювальних матеріалів, та визначити розмірні параметри, якщо $c = 100$ *мм*, $\delta_1 = 3$ *мм*; $a = 50$ *мм*; $b = 150$ *мм*; $r = 40$ *мм*. Матеріал – пластикат. Умова експлуатації – II.

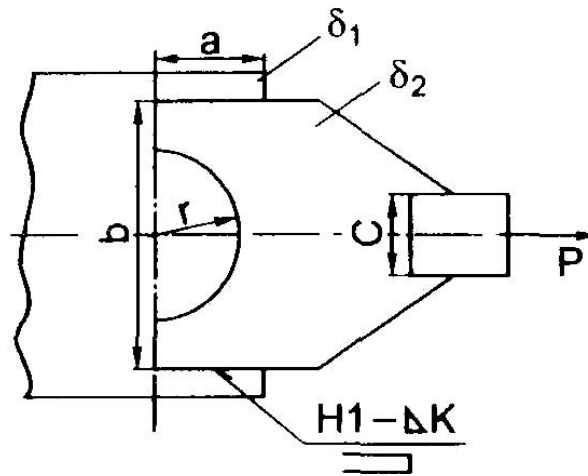


Рисунок 3.3 – Напусткове з'єднання

14. Лист вініпласту товщиною 10 мм зварений з плитою товщиною 8 мм кутовими швами катетом 4 мм зварюванням нагрітим газом з присадкою (рисунок 3.4). Зусилля, яке діє на з'єднання, рівне 24000 Н. Визначити розмірні параметри напусткового з'єднання. Умова експлуатації – II.

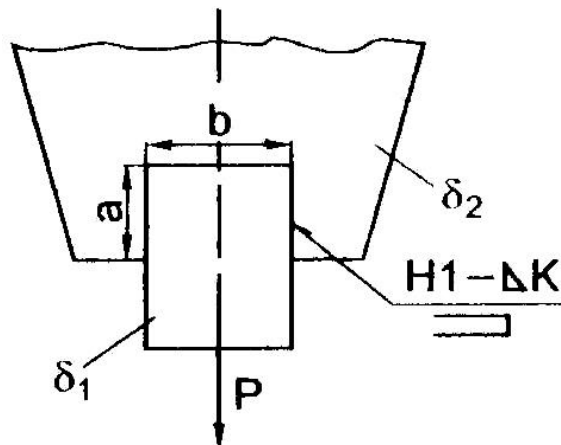


Рисунок 3.4 – Напусткове з'єднання

15. Визначити розмірні параметри зварного з'єднання з поліетилену низького тиску (рисунок 3.4), яке виконане зварюванням розплавленим прутком, при дії навантаження величиною 15000 Н. Розміри: $\delta_1 = 5$ мм; $\delta_2 = 4$ мм; $a = b$. Умова експлуатації – III.
16. Пластина з вініпласту товщиною 10 мм зварена з масивною плитою кутовими швами зварюванням нагрітим газом з присадкою (рисунок 3.5). Зусилля, яке діє на з'єднання, рівне 20000 Н. Визначити розмірні параметри напусткового з'єднання. Умова експлуатації – II.
17. Визначити максимальне зусилля, яке можна прикласти до з'єднання листа товщиною 8 мм з масивною плитою (рисунок 3.5), виготовлених з поліетилену високого тиску, та визначити розмірні параметри

з'єднання, якщо зварювання виконується розплавленим прутком.
Розміри: $b = 100$ мм. Умова експлуатації – I.

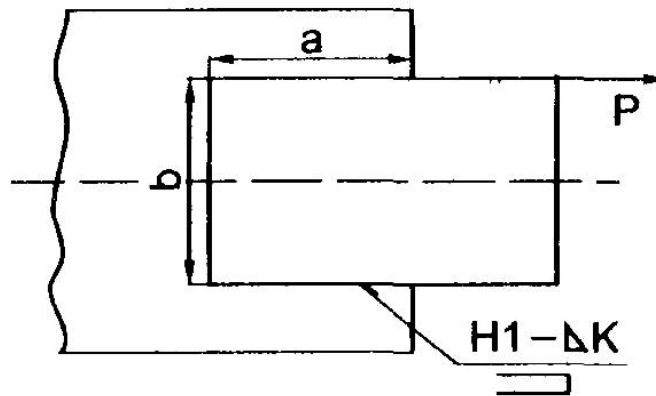


Рисунок 3.5 – Напусткове з'єднання

18. Зварювання зварного з'єднання, зображеного на рисунку 3.6, виконується нагрітим газом з присадкою двома кутовими швами. Товщина листа 10 мм. Визначити максимальну силу, яку можна прикласти до зварного з'єднання, та параметри зварних швів. Матеріал – пластикат. Умова експлуатації – II.

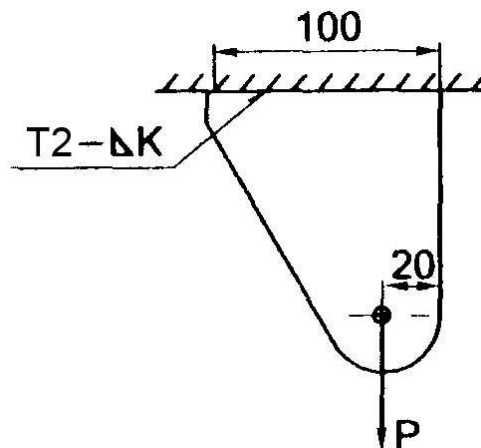


Рисунок 3.6 – Таврове з'єднання

19. Провести розрахунок розмірних параметрів зварного з'єднання, зображеного на рисунку 3.6, якщо зусилля, що діє на з'єднання, рівне 8000 Н. Матеріал – поліетилен високого тиску. Спосіб зварювання – розплавленим прутком. Умова експлуатації – II.
20. Кронштейн з поліетилену низького тиску приварений до опори зварюванням нагрітим газом з присадкою двома кутовими швами (рисунок 3.7). Визначити параметри зварного з'єднання, якщо величина навантаження складає 18000 Н. Розміри: $a = 300$ мм; $b = 200$ мм. Умова експлуатації – II.

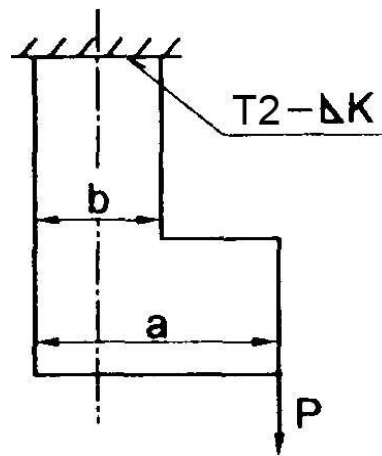


Рисунок 3.7 – Таврове з'єднання

21. Для з'єднання, зображеного на рисунку 3.7, визначити максимальне навантаження, якщо кутові шви катетом 5 мм виконані зварюванням розплавом. Матеріал – пластикат. Розміри: $a = 200$ мм; $b = 100$ мм. Умова експлуатації – I.
22. Спроекувати з'єднання провущини з плитою, яке виконується зварюванням нагрітим газом з присадкою двома кутовими швами (рисунок 3.8). Матеріал – вініпласт. Розміри: $a = 300$ мм; $b = 100$ мм; $\alpha = 40^\circ$. Зусилля, яке діє на з'єднання, рівне 12000 Н. Умова експлуатації – II.

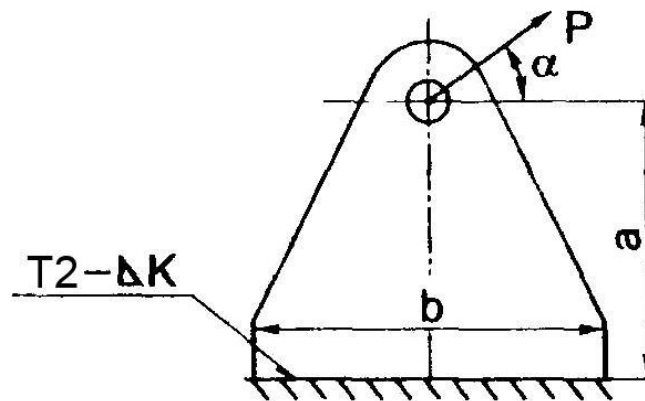


Рисунок 3.8 – Таврове з'єднання

23. Спроекувати з'єднання, зображене на рисунку 3.8, при дії навантаження 10000 Н. Призначити спосіб зварювання, який забезпечує мінімальні витрати зварювальних матеріалів. Розміри: $a = 200$ мм; $b = 80$ мм; $\alpha = 20^\circ$. Матеріал – поліетилен високого тиску. Умова експлуатації – II.
24. Брус з поліетилену високого тиску зварений з вертикальною плитою зварюванням розплавленим прутком (рисунок 3.9). Визначити параметри зварного з'єднання, якщо величина навантаження складає 15000 Н. Розміри: $a = 50$ мм; $l = 500$ мм. Умова експлуатації – III.

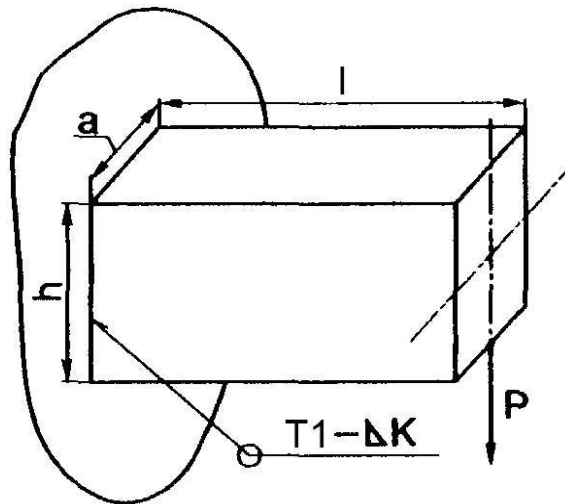


Рисунок 3.9 – Таврове з'єднання

25. Визначити максимальне зусилля, яке можна прикласти до консольного з'єднання (рисунок 3.9), виконаного з поліетилену низького тиску зварюванням нагрітим газом з присадкою. Визначити параметри зварного з'єднання, якщо $a = 40 \text{ мм}$, $h = 100 \text{ мм}$, $l = 400 \text{ мм}$. Умова експлуатації – III.
26. Призначити конструктивне оформлення зварного з'єднання труб з полівінілхлориду діаметром 40 мм із зовнішньою втулкою, виконаного зварюванням нагрітим інструментом. Робочий тиск в трубопроводі – до $0,6 \text{ МПа}$, осьове зусилля – 1000 Н . Умова експлуатації – I.
27. В тавровому з'єднанні до вертикальної стінки з поліпропілену прикладається навантаження розтягу, яке рівне 14000 Н . Визначити параметри зварного з'єднання з двома кутовими швами при товщині вертикальної стінки 8 мм та використанні зварювання нагрітим газом з присадкою. Умова експлуатації – II.
28. Призначити технологію зварювання плівкових матеріалів з поліетилену низького тиску в напустку, яка забезпечує найбільшу відносну міцність зварного з'єднання. Визначити параметри зварного з'єднання, якщо навантаження рівне 1000 Н , товщина плівки 500 мкм . Умова навантаження – III.
29. Визначити товщину стінок труб з поліетилену високого тиску діаметром 63 мм , які з'єднуються між собою зварюванням тертям, при умові, що експлуатація з'єднання здійснюється при тиску до $0,4 \text{ МПа}$. Умова експлуатації – II.
30. Заглушка, яка приварюється на отвір в ємності в напустку, має форму круга і випробовує тиск газу $0,2 \text{ МПа}$. Призначити спосіб зварювання та відповідно до нього визначити відповідні параметри зварного з'єднання. Діаметр отвору 100 мм . Матеріал – вініпласт. Умова експлуатації – I.

31. Визначити основні експлуатаційні характеристики з'єднання двох труб середньо-легкого типу з поліетилену високого тиску зовнішнім діаметром 125 мм, виконаного стиковим зварюванням нагрітим інструментом.
32. Спроекувати конструкцію сполучення труби легкого типу діаметром 400 мм з поліетилену низького тиску із заглушкою, що дозволить витримати гідростатичний тиск стовпа води висотою 2000 мм, при використанні зварювання нагрітим газом з присадкою. Умова експлуатації – II.
33. Спроекувати конструкцію сполучення труби діаметром 355 мм середньо-легкого типу з поліетилену низького тиску із заглушкою з відбортовкою, що дозволить витримати гідростатичний тиск стовпа води висотою 3000 мм та призначити технологію зварювання. Умова експлуатації – II.
34. Визначити основні експлуатаційні показники консольного з'єднання труби діаметром 140 мм легкого типу з поліетилену низького тиску довжиною 500 мм, виконаного стиковим зварюванням нагрітим інструментом, при дії статичного навантаження у напрямку вертикальної осі площини з'єднання на торці труби.
35. Визначити основні експлуатаційні показники з'єднання в виточку, виконаного зварюванням нагрітим інструментом, при різних умовах експлуатації та дії на вертикальну стінку розтягуючих зусиль. Розміри поперечного перерізу вертикальної стінки 200×4 мм. Матеріал – поліпропілен.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Яковлев А.Д., Здор В.Ф., Каплан В.І. Порошкові полімерні матеріали і покриття на їх основі. Л.: Хімія, 1979. - 254 с.
2. Klein R. Laser Welding of Plastics: Materials, Processes and Industrial Applications Wiley-VCH, 2011. - 256 p.
3. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с.
4. Зворикін К. О., Зворикін Л. О. Зварювання пластмас : навч. посіб. Київ : Вид-во «КММ», 2013. 184 с.
5. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія. Київ : ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. 265 с.
6. Вознюк В. Т., Мікульонок І. О. Інтенсифікація процесу виготовлення екструдованих полімерних труб : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 142 с.