

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичної роботи №6
«Розрахунок сил в стендах для листових конструкцій»

з дисципліни
«Складально-зварювальне оснащення»

для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка
освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» і
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання практичної роботи №6 «Розрахунок сил в стендах для листових конструкцій» з дисципліни «Складально-зварювальне оснащення» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» і «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: М.Ю. Осіпов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 14 с.

Укладачі:

Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент
Капустян О.Є., канд. техн. наук, доцент

Рецензент:

Куликовський Р.А., канд. техн. наук, доцент

Редактор:

Аверченко І.П., ст. лаб.

Відповідальний за випуск:

Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол №12 від 22.06.2021 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №10 від 23.06.2021 р.

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
2.1 Стенди для зварювання листових конструкцій.....	4
2.2 Види деформацій в листових полотнищах і розрахунок зусиль ..	5
2.2.1 Сили притиску листів при утворенні місцевих випуклин.....	5
2.2.2 Сили притиску листів при кутових деформаціях.....	8
3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ	12
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	13
5 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ	13
6 ЗМІСТ ЗВІТУ	13
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	14

1 МЕТА РОБОТИ

Ознайомитися з видами деформацій зварюваних листових конструкцій і визначення необхідних зусиль затиснення деталей для запобігання або зменшення їх деформацій.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 Стенди для зварювання листових конструкцій

Розрахунок складально-зварювальних пристроїв (стендів та кондукторів) проводиться в дві стадії: визначення необхідних сил притиску заготовок (деталей) при складанні та розрахунок конструкції складально-зварювального пристрою на міцність і жорсткість під дією цих сил.

У складально-зварювальному пристрої можуть діяти такі сили [1]:

- а) сили, які необхідні для утримання виробу в процесі зварювання та наступного охолодження;
- б) сили, що виникають при нерівномірному нагріванні, охолодженні та усадці зварних швів;
- в) сили, які необхідні для попереднього деформування виробу з метою компенсації залишкової зварювальної деформації;
- г) локальні сили для підгинання деталей при складанні з метою їх щільного притиску до сусідніх деталей та усунення місцевих зазорів.

Найбільш складним завданням є визначення сил, які виникають при зварюванні. У загальному випадку розрахунок цих сил зводиться до того, що методами теорії зварювальних деформацій або експериментально визначається форма та розміри залишкових зварювальних деформацій виробу. Після цього розрахунками визначаються сили та моменти, які необхідно прикласти до виробу, щоб запобігти утворенню цих деформацій на період зварювання.

Необхідна сила притиску визначається з урахуванням коефіцієнта запасу k_3 , який передбачає збільшення сили через те, що в

пристроях мають місце непостійність установлення та закріплення, відхилення розмірів і форми заготовок, різноманітна чистота обробки поверхонь заготовок, ударні навантаження, стабільність процесу зварювання, зношеність пристрою та ін. Рекомендується приймати наступні значення коефіцієнта запасу: для ручних притискачів $k_3 = 2$; для механізованих $k_3 = 1,5$.

В залежності від типу зварних виробів розрізняють три основних групи складально-зварювальних пристроїв:

а) стенди та кондуктори для листових конструкцій – полотнищ та оболонок;

б) стенди та кондуктори для балок;

в) стенди та кондуктори для рамних, решітчастих і корпусних конструкцій та різноманітних зварних вузлів.

В даній практичній роботі розглянемо види деформацій і необхідні зусилля для їх запобігання в стендах та кондукторах для листових конструкцій.

2.2 Види деформацій в листових полотнищах і розрахунок зусиль

Для листових полотнищ та оболонок основними видами зварювальних деформацій є місцеві випуклини – овальні або круглі, хвилястість, кутова деформація та скручування. Деформації хвилястості та скручування потребують значно менших зусиль та витрат для їх усунення аніж випуклини та кутові деформації. У зв'язку з цим в подальших розрахунках складально-зварювальних пристроїв необхідно враховувати сили, які виникають в результаті утворення місцевих випуклин та кутових деформацій.

2.2.1 Сили притиску листів при утворенні місцевих випуклин

Випуклини є результатом втрати стійкості плоскої форми рівноваги зварюваних листів від дії напружень стиску. Очевидно, для визначення сили притиску зварюваних листів необхідно згідно

відомого прогину розрахувати величину сили, яка б ліквідувала залишковий місцевий прогин полотна [1-3].

Круглу випуклину зварених листів можна розглядати як зігнуту пластину з жорстко закріпленим контуром (рис. 2.1). Вирішуємо зворотну задачу.

При згинанні такої пластини рівномірно розподіленим навантаженням величина прогину f в центрі пластини буде:

$$f = \frac{qr^2}{64C}, \quad (2.1)$$

де $C = \frac{E\delta^2}{12(1-\mu^2)}$ – циліндрична жорсткість пластини, Нм;

E – модуль пружності, МПа;

δ – товщина пластини, м;

μ – коефіцієнт Пуассона (для сталі $\mu = 0,3$);

r – радіус пластини, м;

$q = \frac{P}{r^2}$ – рівномірно розподілене навантаження, Н/м²;

P – пошукувана зосереджена сила притискача, Н.

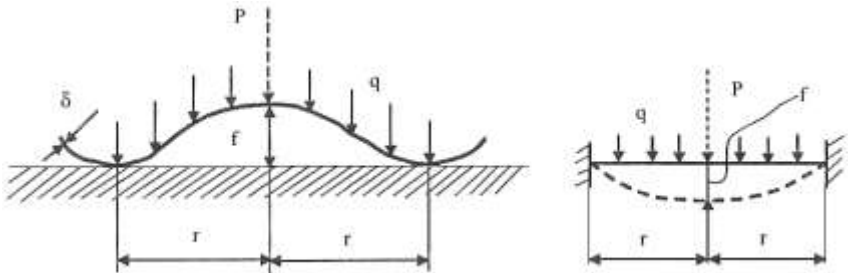


Рисунок 2.1 – Схема розрахунку сил притиску при утворенні випуклини [2]

Підставивши ці значення в формулу (2.1), після перетворень одержимо:

$$f = \frac{Pr^2}{18E\delta^3}, \quad (2.2)$$

звідки

$$P = \frac{18fE\delta^3}{r^2}. \quad (2.3)$$

Оскільки наведені формули дійсні лише в межах пружності, то необхідно зробити перевірку величини напружень, які не повинні виходити за межу пружності при згинанні пластини під дією рівномірно розподіленого навантаження.

Найбільші напруження в центрі пластини:

$$\sigma = \frac{3qr^2}{8\delta^2} (1 + \mu),$$

або, після підстановки $q = \frac{P}{\pi r^2}$ та $\mu = 0,3$, одержимо:

$$\sigma = \frac{0,15P}{\delta^2}. \quad (2.4)$$

Підставивши в формулу (2.4) значення зосередженої сили з формули (2.3), отримаємо формулу для визначення напружень:

$$\sigma = \frac{2,8fE\delta}{r^2}. \quad (2.5)$$

За цією формулою можна виконувати перевірку напружень в пластині без попереднього визначення рівномірно розподіленої сили, тобто по розмірам випуклини f та r . Якщо перевірка покаже, що напруження σ перевищує межу текучості матеріалу σ_T , то пошукувану силу притискачів потрібно обмежити величиною $P_{\text{доп}}$, яку можна визначити з формули (2.4), підставивши замість σ значення межу текучості матеріалу σ_T :

$$P_{\text{доп}} = \frac{\sigma_T \delta^2}{0,15}. \quad (2.6)$$

Таке обмеження сили на притискачах необхідно в тих випадках, коли надмірно жорсткий притиск листів може викликати тріщини в зварних швах або в зоні термічного впливу.

У реальних пристроях сили притиску прикладаються двома паралельними лініями розташованими близько до діаметра випуклини вздовж зварюваних кромок.

Розрахункове навантаження на одиницю довжини кожної кромки (Н/м) буде:

$$p = \frac{P}{4r} = 4,5fE \left(\frac{\delta}{r} \right)^3. \quad (2.7)$$

Якщо $\sigma > \sigma_T$ і розрахунки проводяться, виходячи з допустимого навантаження $P_{\text{доп}}$, то допустима сила на одиницю довжини кромки не повинна перевищувати значень $P_{\text{доп}}$, тобто:

$$p_{\text{доп}} = \frac{P_{\text{доп}}}{4r} = \frac{\sigma_T \delta^2}{0,6r}. \quad (2.8)$$

Розрахункова питома сила Q на обидві кромки зварюваного полотна:

$$Q = 2p \quad \text{або} \quad Q = 2p_{\text{доп}}.$$

У стендах ІЕЗ ім. Є.О. Патона, призначених для складання та зварювання листових полотен, фактично приймається $Q = 40 \text{ кН/м}$.

2.2.2 Сили притиску листів при кутових деформаціях

Розглянемо сили, які виникають у затискному пристрої в процесі утворення кутових деформацій при зварюванні (рис. 2.2).

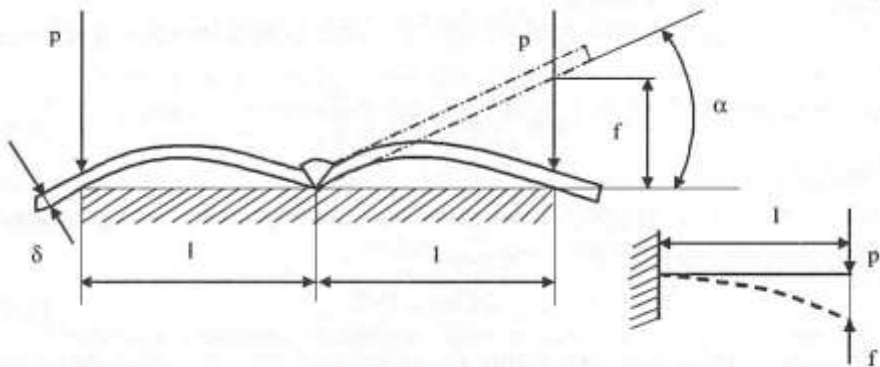


Рисунок 2.2 – Схема визначення сили притиску заготовок при кутових деформаціях [2]

Це питання краще розглянути для двох випадків: коли товщина зварюваних листів менше 5 мм та коли вона більше 5 мм, оскільки при досить великій товщині нерівномірний розподіл теплоти по товщині призводить до утворення великих кутових деформацій [1].

Стикове зварювання листів завтовшки $\delta > 5$ мм. У цьому випадку в зварному шві виникає згинальний момент від погонної сили p , що створюється притискним пристроєм:

$$M = pl.$$

При малій відстані від осі зварного шва до лінії дії притискачів та при достатньо жорсткому закріпленні зварюваних кромок у металі зварного шва можуть виникнути напруження більші межі текучості з небезпекою утворення тріщин. У зв'язку з цим необхідно обмежувати сили на притискачах з такою умовою, щоб напруження в зварному шві не перевищували межі текучості металу. Вирішити таку задачу можна за рахунок податливості притискачів при досягненні граничного значення навантаження $P_{\text{доп}}$, яке спричиняє напруження в металі $\sigma_{\text{доп}}$. Податливість притискачів може забезпечуватися регулюванням тиску в силових циліндрах або за рахунок постановки обмежувачів сили (пружинних, пневматичних та ін.).

Відповідно до поставленої умови, максимально допустимий згинальний момент на один погонний метр довжини зварного шва:

$$M_{\text{доп}} = \sigma_{\text{доп}} W. \quad (2.9)$$

Для одиниці довжини кромки листового полотна момент опору $W = \frac{\delta^2}{6}$, а згинальний момент $M_{\text{доп}} = p_{\text{доп}} l$. Підставивши ці значення в формулу (2.9), одержимо:

$$p_{\text{доп}} l = \frac{\sigma_{\text{доп}} \delta^2}{6},$$

звідки допустиме питоме навантаження (Н/м) на кромку:

$$p_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{доп}} \delta^2}{6l}, \quad (2.10)$$

де δ – товщина листа, м;

$l = (5...10) \delta$ – відстань від осі зварного шва до лінії дії притискачів, м;

$\sigma_{\text{доп}} = \sigma_{\text{т}}$ – допустимі напруження в металі шва, при яких не виникає руйнування, МПа.

Допустиме питоме навантаження (Н/м) на обидві кромки зварюваних листів:

$$Q = 2p_{\text{доп}}.$$

Зробимо перевірку збереження прилягання листів до стенду по лінії дії притискачів, яке можна характеризувати величиною зазору.

Величина можливого зазору Δ , що може утворитись при зварюванні:

$$\Delta = f - f_0, \quad (2.11)$$

де f – максимально можливий зазор після зварювання листів без притиску (залишкова деформація), м;

f_0 – розрахунковий прогин від дії сили p , м.

Якщо $f_0 > f$, то зазору не буде, а якщо $f_0 < f$, то утворюється зазор між листом та стендом. Значення прогинів можна розрахувати за формулами:

$$f = l \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (2.12)$$

$$f_0 = \frac{pl^3}{3EI} = \frac{4pl^3}{E\delta^3}, \quad (2.13)$$

де α – кутова залишкова деформація, рад;

$I = \frac{\delta^3}{12}$ – момент інерції для одиниці довжини кромки.

Стикове зварювання листів завтовшки $\delta < 5$ мм. При порівняно малих кутових деформаціях та незначних товщин листів можливий метод розрахунку, розроблений на основі залежності реактивної сили p від величини кутової деформації α . Але цей метод може

застосовуватися лише в тих випадках, коли $p < p_{\text{доп}}$, а напруження в шві не перевищують межі текучості матеріалу σ_T .

Деформацію листа в затискному пристрої (рис. 2.2) можна розглядати як згинання консольної балки, що навантажена силою p . Якщо граничною умовою вважати дотик листа під силою p до стенда, тобто відсутність зазору Δ , то умова прилягання листів до стенда може бути виражена рівністю $f = f_0$.

Підставляючи в цю рівність значення f та f_0 з формул (2.12) та (2.13), одержимо:

$$l \cdot tg\alpha = \frac{4pl^3}{E\delta^3},$$

звідки пошукувана питома сила притиску, що діє на кромку, Н/м:

$$p = \frac{\delta^3 tg\alpha E}{4l^2}. \quad (2.14)$$

Ця сила не повинна перевищувати $p_{\text{доп}}$, а відповідні напруження від згинання не повинні перевищувати межю текучості матеріалу σ_T , тобто:

$$\sigma = \frac{6pl}{\delta^2} \leq \sigma_T.$$

Наведені розрахунки свідчать, що існує певне критичне значення кутової деформації, в залежності від якої потрібно вибирати той чи інший варіант розрахунку необхідних сил притиску листів. Критичним значенням кутової деформації $\alpha_{\text{кр}}$ буде таке значення, при котрому: згинальні напруження в шві від дії притискачів досягають гранично допустимих значень $\sigma = \sigma_{\text{доп}}$; на лінії притискачів відсутній зазор між листами та стендом $f - f_0 = 0$.

Підставляючи в останню рівність значення f та f_0 з формул (2.12) та (2.13), одержимо:

$$l \cdot tg\alpha_{\text{кр}} - \frac{4pl^3}{E\delta^3} = 0.$$

Звідки

$$tg\alpha_{кр} = \frac{4p_{доп}l^2}{E\delta^3}. \quad (2.15)$$

Підставивши сюди значення $p_{доп}$ з формули (2.10), одержимо пошукувану критичну величину кутової деформації:

$$tg\alpha_{кр} = \frac{2l\sigma_{доп}}{3E\delta}. \quad (2.16)$$

Якщо $\alpha > \alpha_{кр}$, то сили притиску розраховують за першим варіантом (2.10):

$$p_{доп} = \frac{\sigma_{доп}\delta^2}{6l}.$$

Якщо $\alpha < \alpha_{кр}$, то розрахунки ведуть за другим варіантом (2.14), тобто:

$$p = \frac{\delta^3 tg\alpha E}{4l^2}.$$

3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

Перед тим, як приступати до виконання практичної роботи студент зобов'язаний вивчити дані методичні вказівки, ознайомитися з конструкціями та методикою розрахунку сил в складально-зварювальних стендах і кондукторах [1 (§9); 2 (§4.1)], вивчити інструкцію по техніці безпеки, відповісти на контрольні запитання викладача та отримати у нього дозвіл на виконання роботи.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Які сили можуть діяти у складально-зварювальних пристроях?
2. Які деформації можуть виникати в зварювальних листових конструкціях?
3. В чому полягає суть методики розрахунку сил притиску при утворенні випуклини?
4. В чому полягає суть методики розрахунку сил притиску при кутових деформаціях?

5 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

1. Ознайомитися з принципами розрахунку сил притиску в стендах для листових конструкцій.
2. Одержавши вихідні дані у викладача, зробити розрахунок сил притиску листів.
3. Оформити звіт.

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Силкові розрахунки з ілюстраціями.
3. Висновки про виконану роботу.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Севбо П.И. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / П.И. Севбо. – К.: Наук. думка, 1978. – 400 с.
2. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-е видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник / А.С. Карпенко. – К.: Арістей, 2006. – 272 с.
3. Вайнберг Д.В. Расчет пластин / Д.В. Вайнберг, Е.Д. Вайнберг. – К.: Будівельник, 1970. – 436 с.