

дало можливість виявити недоліки та переваги кожного з них. В моделі плити з плоскими скінченними елементами максимальні згинальні моменти в обох варіантах майже не відрізняються. Суттєва різниця, майже 50%, між значеннями поперечних сил, що дозволяє зменшити поперечне армування в зонах спірання колон, стін та пілонів.

Використання двовимірних скінченних елементів, дозволяє в автоматичному режимі розрахувати армування в фундаментній плиті, що в більшості випадків задовольняє умовам поставленої задачі. Але при розрахунку складних фундаментних плит, або плит відповідальних, чи небезпечних конструкцій, таких як висотні будівлі, моделювання з тривимірних скінчених елементів

є необхідним. Такий спосіб моделювання дозволяє, не тільки ефективно запроєктувати армування самої плити, а й дослідити характер розподілу напружень в її товщі, тим самим виявити слабкі та перевантажені ділянки. Ефективне проектування таких складних фундаментних плит дозволить суттєво знизити витрати на їх спорудження.

Результати розрахунку задачі створеної просторовими СЕ показали, що такий метод моделювання повністю описує роботу реальної конструкції, передачу в ній зусиль по товщині, що дозволяє ефективно розподілити всі навантаження на пальовий фундамент. Та дає можливість отримати зусилля в палях найбільш наближених до реальних.

Список використаної літератури:

1. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. - М., 1963. - с.636
2. Амбарцумян С. А. Теория анизотропных оболочек. – М., 1961. – с. 576
3. ДБН. В.2.2-24:2009 –Проектування висотних житлових і громадських будівель.

Создание трехмерных расчетных моделей фундаментных плит позволяет более точно анализировать их напряженно-деформированное состояние, исследовать эволюцию деформаций как в плоскости, так и по толщине плит; по изополям напряжений можно более эффективно проектировать армирование фундаментных плит, поэтому такой метод моделирования для сложных строительных конструкции является необходимым .

Create three-dimensional computer models of foundation slabs can more accurately analyze the stress-strain state, to investigate the evolution of deformation as in the plane and the thickness of plates, on Isopoly strains can more efficiently design reinforcement foundation slabs, as a method for modeling complex building structures is necessary .

Дата надходження в редакцію: 23.03.12 р.

Рецензент: д.т.н., професор Фомиця Л.М.

УДК 624.014

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ФЕРМ ІЗ КУТИКОВИХ ПРОФІЛІВ ЛОКАЛЬНИМИ ТЕРМІЧНИМИ ВПЛИВАМИ

І.А. Височин, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Методика підвищення стійкості стиснутих елементів ферм з кутикових профілів локальними термічними впливами.

Робота висвітлює розроблення методик розрахунку і технології виконання локальних термічних впливів для підвищення стійкості стиснених елементів ферм із звальцьованих кутикових профілів. Викладено методику розрахунку необхідної кількості теплової енергії для створення залишкових напружень. Розроблено методику і проведено експериментальні дослідження впливу залишкових напружень на стійкість стиснених елементів. Визначено величину і міру впливу залишкових напружень на стійкість стиснених елементів ферм з кутикових профілів. Розроблено практичну методику підвищення стійкості стиснених елементів ферм, виконаних з кутикових профілів, із застосуванням локальних термічних впливів.

Ключові слова: стрижень із кутиків, залишкові напруження, розподіл за перерізом, вплив на стійкість.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Для металевих конструкцій, що проектуються або перебувають в експлуатації, актуальним залишається питання підвищення ефективності ферм із кутиків. Досягти цього можна внаслідок створення такого розподілу

залишкових напружень у перерізах кутиків, який сприяв би підвищенню стійкості стиснених елементів ферм. Результати роботи можуть бути використані для проектування нових і посилення існуючих конструкцій з використанням зварювання та діагностування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Наведено огляд теоретичних і експериментальних досліджень різних аспектів залишкових напружень, що виникають у процесі зварювання і різання металу у роботах Козлов С.В. [1], Голоднов А.И. [2], Іванов А.П. [3] в яких викладені положення теорії розрахунку деформацій, розподілу і залишкових напружень. Відзначено, що, незважаючи на достатню кількість пропозицій, відсутня інженерна методика визначення залишкових напружень у кутиках після наплавлення зварних швів по крайках, придатна для наступних розрахунків на стійкість.

На підставі проведеного огляду зроблено висновки, визначені мета і завдання досліджень.

Виділення не вирішених раніше частин, загальні проблеми дослідження - стиснених елементів ферм із звальцьованих рівнополічних кутиків. Результати досліджень можуть бути поширені й на аналогічні конструкції: елементи просторових структурних систем покриттів, вертикальних зв'язків тощо.

При цьому виникають залишкові напруження, що виникають у стиснених елементах ферм із кутиків після виконання ЛТВ¹ шляхом наплавлення зварних швів, і вплив їх на стійкість.

Методи досліджень, що використані в роботі, являють собою сукупність експериментальних і теоретичних методів, спрямованих на одержання результату. Їх складовими є: добір, вивчення й аналіз літературних джерел, на підставі яких сформульовані мета і завдання роботи; обґрунтування доцільності виконання теоретичних і експериментальних досліджень залишкового стану, що виникає в елементах із кутиків після ЛТВ¹, впливів залишкових напружень на роботу конструкцій. Застосування експериментальних неруйнівних методів досліджень дозволяє одержати інформацію про розподіл залишкових напружень за змінами непрямих характеристик (зокрема, магнітних властивостей матеріалу). Одержані експериментально закономірності зміни характеристик можуть бути використані при визначенні напружено-деформованого стану і діагностики виготовлених конструкцій. Застосування руйнівних методів дозволяє визначити розподіл залишкових деформацій в елементах шляхом вимірів переміщень, спричинених звільненням елементів конструкцій із залишковим напруженим станом.

Наукову новизну одержаних результатів становлять:

- методика розрахунку необхідної кількості теплової енергії для створення в елементах оптимального з позицій підвищення стійкості розподілу залишкових напружень за мінімальних залишкових прогинів;

- методика розрахунку залишкового напруженого стану та його впливу на стійкість стиснених елементів з кутикових профілів;

- методика й експериментальні дані щодо визначення розподілу залишкових напружень після виконання ЛТВ¹ (в т.ч. і на частині довжини), можливості регулювання залишкового стану та впливу залишкового стану на стійкість стиснених елементів;

- пропозиції щодо виготовлення ефективних за витратами матеріалів конструкцій із звальцьованих кутиків, орієнтовані на існуючі технології заводів металевих конструкцій.

Щодо елементів із вальцьованих кутикових профілів завдання в такому обсязі розв'язане вперше.

У ході виконання роботи автор здобув:

- експериментальні дані про розподіл залишкових напружень в кутикових профілях і можливість регулювання залишкового стану шляхом виконання ЛТВ¹ з метою підвищення стійкості елементів;

- експериментальні дані про вплив різних видів залишкового стану, що виникає після виконання ЛТВ¹, на стійкість і тримальну здатність стиснених елементів з кутикових профілів різної форми поперечного перерізу.

Метою роботи є розроблення методики розрахунку і технології виконання локальних термічних впливів (ЛТВ¹) для підвищення стійкості стиснених елементів ферм із звальцьованих кутикових профілів.

Формування цілей (завдання досліджень):

- обґрунтування можливості застосування ЛТВ¹ і розроблення методики розрахунку з метою підвищення стійкості стиснених елементів ферм із звальцьованих кутикових профілів;

- розроблення методики і проведення експериментальних досліджень щодо визначення різними методами залишкового напружено-деформованого (далі залишкового) стану, що виникає в кутиках після виконання ЛТВ¹;

- розроблення методики і проведення експериментальних досліджень стиснених елементів із кутиків різного поперечного перерізу (кутикового, хрестового, таврового) із залишковим станом після різноманітних видів виконання ЛТВ¹;

- формулювання пропозицій щодо технології виготовлення металевих конструкцій із кутиків з оптимальним (із позицій підвищення стійкості) залишковим станом;

- впровадження отриманих результатів при розв'язанні практичних завдань.

Виклад основного матеріалу досліджень

Розроблено методику визначення необхідної кількості теплової енергії локальних термічних впливів для одержання мінімальних залишкових деформацій. Задаючись на початковому етапі мінімальним прогином, який дорівнює 0,001 (L (де L - довжина елемента), розв'язується задача, зворотна тій, що була розв'язана М.О. Окербло-мом.

Розроблено методику визначення залишкового стану в перерізах звальцьованих кутиків після ЛТВ¹ і методику оцінювання стійкості стиснених елементів із кутиків з урахуванням впливу залишкових напружень. Методики базуються на загальних принципах і припущеннях, прийнятих за розв'язання аналогічних задач.

Ширина зони залишкових розтягувальних напружень поблизу наплавлення зварного шва:

$$d = 6,14 \cdot a; \quad (1)$$

$$a = k_f + d, \quad (2)$$

де a - зведена висота катета зварного шва, з урахуванням глибини проплавлення основного металу δ [за напівавтоматичного зварювання (2 - 4) мм, за ручного (3 - 6) мм]; k_f - катет шва.

Розподіл залишкових напружень після наплавлення зварного шва можна визначити в точному і наближеному варіантах. Точне рішення отримане під час опису розподілу залишкових напружень на ділянці (В - а - t) поліномом третього ступеня вигляду.

$$\sigma = A \cdot x^3 + B \cdot x^2 + C \cdot x + D, \quad (3)$$

де A, B, C, D - коефіцієнти полінома (шукають з граничних умов).

Граничні умови для визначення коефіцієнтів полінома:

$$\left. \begin{aligned} X = d - a; \quad \sigma = 0 \\ X = B - a - t; \quad \sigma = \sigma_x \\ \sum X = 0 \\ \sum M = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Розкриття рівнянь дозволяє одержати систему 4 лінійних рівнянь із 5 невідомими, що розв'язується шляхом послідовного уточнення вхідних параметрів.

В основу методики розрахунку на стійкість з урахуванням залишкових напружень покладено відому методику В.М. Небилова. Приймавши схему підсумовування залишкових напружень із напруженнями від зовнішнього навантаження, було розроблено алгоритм розв'язання задачі. Стійкість елементів із кутиків визначається в такій послідовності.

1. Знаходять залишковий стан в перерізі кутика після виконання ЛТВ¹. Обчислюють розміри зон залишкових розтягувальних (на крайках A_f і на обушці $A_{x,f}$) напружень; величини середніх стискальних $\bar{\sigma}_{com}$ і розтягувальних $\bar{\sigma}_{ten}$ і $\bar{\sigma}_{x,ten}$ напружень в перерізі.

2. Обчислюють величину умовної гнучкості стисненого елемента з урахуванням наявності залишкових стискальних напружень

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{(R_y - \bar{\sigma}_{com})}{E}}, \quad (5)$$

де λ - гнучкість елемента; $\bar{\sigma}_{com}$ - середні стискальні напруження в перерізі.

3. Знаходять коефіцієнт поздовжнього вигину ϕ за формулами (8) - (10) СНИП II-23-81*.

4. Визначають тримальну здатність стисненого елемента з урахуванням зон залишкових розтягувальних і стискальних напружень за формулою

$$P_u = j \cdot (R_y - \bar{\sigma}_{com}) \cdot A + \bar{\sigma}_{ten} \cdot A_f \cdot n + \bar{\sigma}_{x,ten} \cdot A_{x,f} \cdot m, \quad (6)$$

де A - загальна площа перерезу елемента з кутиків; n, m - кількість зон розтягувальних напружень відповідно на крайках полиць і на обушках кутиків (при складених перерізах).

Розроблені методики були використані під час розрахунків експериментальних зразків.

Результати експериментальних досліджень залишкових напружень у кутиках після ЛТВ¹ шляхом наплавлення зварних швів. У ході досліджень було визначено розподіл залишкових напружень після виконання ЛТВ¹, побудовані епюри залишкових деформацій і напружень у перерізах зразків - стрижнів з одиночних кутиків - і прогини (вигини) стрижнів. Дослідження здійснювалися руйнівними і неруйнівними методами.

Як експериментальні зразки, використані звальцьовані рівнополичні кутики (табл. 1). Перед проведенням експерименту були виконані випробування зразків металу з метою визначення фізико-механічних властивостей.

ЛТВ¹ здійснювалися в такій послідовності:

- виконувалось вимірювання геометричних параметрів зразків, здійснювалося розмічання для наступного наплавлення зварних швів;
- зразок поміщався на стенд, установлювалися прилади і проводилось знімання початкових показників за приладами;
- виконувалось наплавлення зварних швів на одній з крайок, після охолодження проводилось знімання проміжних результатів;
- виконувалось наплавлення зварних швів на іншій крайці полиці з записом остаточних результатів після охолодження.

У ході випробувань визначалися прогини в шести точках зразка й абсолютні переміщення в середньому перерізі. Для кожного зразка приймалася індивідуальна схема ЛТВ¹. Залишкові деформації й напруження в полицях кутиків визначалися руйнівним (із застосуванням тензорезисторів опору) і неруйнівним (електромагнітним, із застосуванням коерцитиметра КІФМ - 1) методами.

У ході проведених досліджень було визначено залишковий напружено-деформований стан перерізів кутиків. На крайках і в районі обушка формуються зони залишкових розтягувальних напружень, а в середній частині полиць - стискальні. Куттик за такого виду попереднього напруження набуває залишкового вигину. Наплавляти зварний шов доцільно від центру до країв. У цьому випадку загальна деформативність кутиків після виконання ЛТВ¹ менша, ніж за наплавлення шва від країв до центру.

Таблиця 1

Експериментальні зразки

| № з/п, марка | Переріз | Загальна довжина L, мм | Кіл. шт. | Порядок наплавлення зварних швів | Довжина зварного шва, мм | Катет шва k _f , мм | Зварювання електричною дугою | Прим. |
|---------------------------------------|-----------|------------------------|----------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------|
| Експериментальні кутики першої групи | | | | | | | | |
| 1 | L 100×10 | 1260 | 1 | від центру до країв | 114 | 4 | Ручне | |
| 2 | L 100×10 | 1260 | 1 | від країв до центру | 114 | 4 | | |
| Експериментальні кутики другої групи | | | | | | | | |
| 1 | L 80 × 8 | 1250 | 1 | від центру до країв | 600 | 4 | Напівавтоматичне | |
| 2 | L 80 × 8 | 1230 | 1 | від країв до центру | 600 | 4 | | |
| 3 | L 125×10 | 1400 | 1 | від центру до країв | 700 | 4 | | |
| 4 | L 125×10 | 1410 | 1 | від країв до центру | 700 | 4 | | |
| 5 | L 100(10) | 1230 | 1 | від центру до країв | 600 | 4 | | |
| 6 | L 100(10) | 1250 | 1 | від країв до центру | 600 | 4 | | |
| Експериментальні кутики третьої групи | | | | | | | | |
| ПОСТ | L 75(6) | 3000 | 1 | - | - | - | Напівавтоматичне | |
| У - 1 | | 3000 | 1 | на крайках | 1500 | 4 | | |
| У - 2 | | 3000 | 1 | на крайках | 1500 | 4 | | |
| У - 3 | | 3000 | 1 | на крайках | 1500 | 4 | | |
| ОБ - 1 | | 3000 | 1 | на обушку | 1500 | 4 | | |
| ОБ - 2 | | 3000 | 1 | на обушку | 1500 | 4 | | |
| ОБ - 3 | | 3000 | 1 | на обушку | 1500 | | | |

Викладено методику експериментального визначення стійкості стиснених елементів із звальцьованих кутиків із різними видами залишкових станів. Відповідно до окреслених завдань передбачалося:

- виготовлення експериментальних зразків (далі зразків) - елементів з одиночних кутиків, таврового (із двох спарених кутиків) і хрестового перерізу з залишковим станом, що виникає після виконання ЛТВ¹, і контрольних зразків, виготовлених із кутиків у стані постачання;
- проведення порівняльних випробувань виготовлених зразків за однакових значень ексцен-

триситета вертикального навантаження в межах серії зразків;

- зіставлення результатів випробувань зразків із залишковим станом і контрольних зразків;
- дослідження можливості підвищення стійкості і тримальної здатності стиснених елементів внаслідок наплавлення зварних швів, у т.ч. і на частині довжини;
- використання одержаного експериментального матеріалу для формулювання рекомендацій щодо розрахунку стиснених елементів із кутиків.

Для розв'язання окреслених завдань були виготовлені декілька серій зразків (табл. 2).

Таблиця 2

Обсяг основного експерименту

| Серія зразків | Переріз | Кількість | Площа, см ² | Довжина, мм | Гнучкість, λ |
|---------------|---|-----------|------------------------|--------------|--------------|
| У, ОБ | Стрижні з одиночних кутиків L 75×6 | 7 | 8,75 | 1500 (1550*) | 105 |
| У90, ОБ90 | Стрижні з одиночних кутиків L 75×6 | 7 | 8,75 | 900 (950*) | 64 |
| ОД | Стрижні з одиночних кутиків L 63×6 | 4 | 7,28 | 1050 (1310*) | 106 |
| СУ - 1 | Стрижні зі спарених кутиків таврового перерізу (2 L 50×5) | 4 | 4,8×2=9,6 | 1200 (1250*) | 82 |
| СУ - 2 | Стрижні зі спарених кутиків таврового перерізу (2 L 63×6) | 4 | 7,3×2=14,6 | 1200 (1250*) | 65 |
| СУ - 3 | Стрижні зі спарених кутиків таврового перерізу (2 L 50×5) | 4 | 4,8×2=9,6 | 1500 (1550*) | 101 |
| СУ - 4 | Стрижні зі спарених кутиків таврового перерізу (2 L 63×6) | 4 | 7,3×2=14,6 | 1500 (1550*) | 80 |
| КР | Стрижні хрестового перерізу (2 L 63×6) | 3 | 7,3×2=14,6 | 2100 (2140*) | 88 |

Примітка. У табл. 2 довжина стрижня, позначена * - відстань між осями опорних пристосувань. Гнучкість зразків визначалася з урахуванням наявності опорних пристосувань.

Наведено дані про практичне застосування одержаних результатів досліджень. Аналітичні визначення ширини зони розтягувальних напружень поблизу наплавлення зварних швів були виконані в кутиках, наведених у табл. 1. Результати визначення залишкового стану в полицях кутиків порівняно з результатами експериментальних досліджень.

Перерозподіл залишкових напружень після

виконання ЛТВ¹ шляхом наплавлення зварних швів на крайках полиць спричинює вигин (прогин) кутика за довжиною. Для визначення вигину (прогину) експериментальних зразків було використано розроблену методику розрахунку. За цією методикою розрахунку були визначені розміри залишкових напружень в кутиках. Одержані результати (з округлюванням до цілих) подані в таблиці 3.

Залишковий напружено-деформований стан кутиків після ЛТВ¹

| Кутики | Розрахунковий опір, R _y , МПа | Напруження, розтягування на крайках σ _{res} , МПа | Напруження стискання, σ _{com} , МПа | Напруження, розтягування на обшукі, σ _x , Мпа | Довжина кутиків L, мм |
|----------|--|--|--|--|-----------------------|
| └ 75Ч6 | 287,0 | 130,0 | 157,0 | 117,0 | 3000 |
| └ 80Ч8 | 331,0 | 147,0 | 184,0 | 136,0 | 1256 |
| └ 100Ч10 | 316,0 | 181,0 | 135,0 | 78,0 | 1250 |
| └ 125Ч10 | 272,0 | 160,0 | 112,0 | 67,0 | 1400 |

За розробленою методикою розрахунку були визначені розміри критичних навантажень, за яких відбувалася втрата стійкості експериментальних зразків, попередньо напружених ЛТВ¹.

У результаті співставлення експериментальних даних і результатів розрахунків за розробленою методикою встановлено задовільний їхній збіг. Залишкові розтягувальні напруження в зоні зварних швів підвищують стійкість стрижнів незалежно від жорсткості. Ефективність такого підвищення зростає за віддалення зон залишкових розтягувальних напружень від нейтральної осі перерізу стрижня і збільшення розмірів цих зон.

Методика розроблена для розрахунку стиснених елементів ферм із кутиків складеного таврового перерізу. Гнучкість таких елементів повинна перебувати в межах $80 < \lambda < 110$, оскільки в такому діапазоні спостерігається

найбільший ефект підвищення стійкості. Наплавлення зварних швів рекомендується виконувати в послідовності.

Зварні шви наплавляються з урахуванням розрахованих параметрів режиму зварювання. Всі шви наплавляються від середини елемента до його країв. Подана схема наплавлення зварних швів для кутиків таврового перерізу є оптимальною.

За результатами практичного впровадження було виконано розрахунок ефекту використання ЛТВ¹. Встановлено, що ефект від зменшення ваги конструкції майже в 4 рази перевищує витрати на наплавлення зварних швів.

Приклад розрахунку та конструювання ферми.

Збір навантажень, що діють на ферму і прогони.

При розрахунку посилаємося на ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

| Номер п/р | Найменування навантаження | Нормативна, кН/м ² | Коефіцієнт γ _i | Розрахункова, кН/м ² |
|-----------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1 | «Сендвіч» панелі | 0.8 | 1.3 | 1.04 |
| 2 | Прогін | 0.08 | 1.05 | 0.084 |
| | Разом | 0.88 | | 1.124 |

Снігове навантаження:

Снігове навантаження приймаємо рівномірно розподіленим по довжині прогону. Нормативне значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття слід визначати:

Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) обчислюється за формулою

$$S_m = g_{fm} S_0 C, \quad (7)$$

де g_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, що визначається згідно з ДБН В.1.2-2:2006 п.8.11; $g_{fm} = 1.14$

S_0 – характеристичне значення снігового навантаження (в Па), що визначається згідно з ДБН В.1.2-2:2006 п.8.5; $S_0 = 1640$ Па

C – коефіцієнт, що визначається за вказівками ДБН В.1.2-2:2006 п.8.6.

Коефіцієнт C визначається за формулою

$$C = m C_e C_{alt} \quad (8)$$

де m – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлю, який визначається за ДБН В.1.2-2:2006 п.8.7, п.8.8; $m = 1$

C_e – коефіцієнт, що враховує режим експлуатації покрівлі і визначається за ДБН В.1.2-2:2006 п.8.9; $C_e = 0.8$

C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти, що визначається за ДБН В.1.2-2:2006 п.8.10. $C_{alt} = 1$

Експлуатаційне розрахункове значення обчислюється за формулою

$$S_e = g_{fe} S_0 C, \quad (9)$$

де g_{fe} – коефіцієнт надійності за експлуатаційним значенням снігового навантаження, що визначається згідно з ДБН В.1.2-2:2006 п.8.12;

$g_{fe} = 0.62$

S_0, C – те саме, що і в формулі (8).

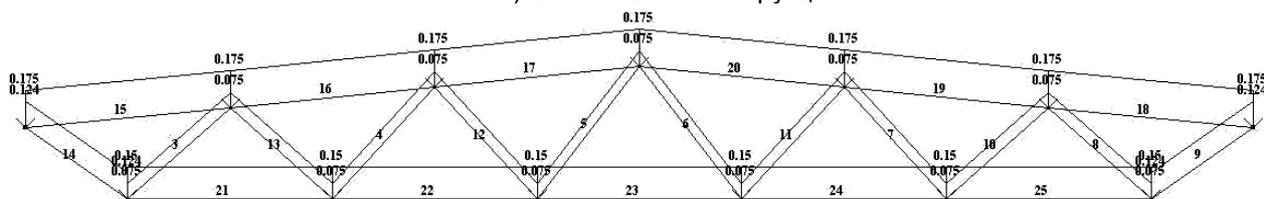
$C = 1 \cdot 0.8 \cdot 1 = 0.8$

$S_m = 1.14 \cdot 1640 \cdot 0.8 = 1496$ Па

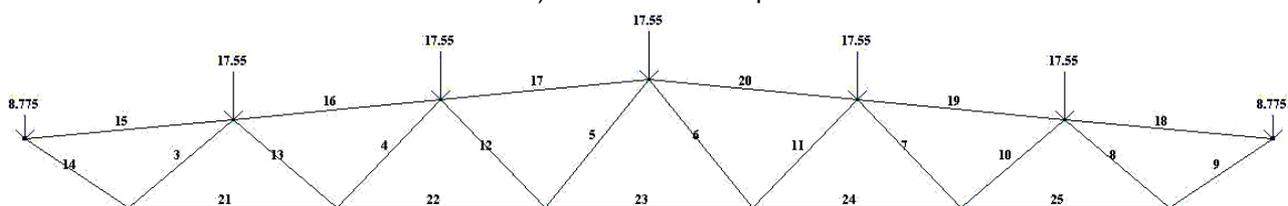
$S_e = 0.62 \cdot 1640 \cdot 0.8 = 813$ Па

Складання розрахункових схем навантажень

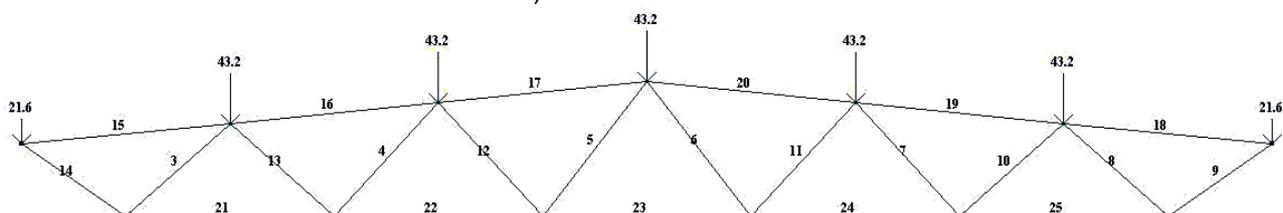
1) Власна вага конструкції



2) Власна вага покриття



3) Снігове навантаження



Розрахунок прогону

Прогони сприймають снігове навантаження, вага покриття та його конструкції. Матеріал прогонів – сталь С245 з наступними характеристиками:

$$R_y = 240 \text{ МПа}$$

$$R_s = 0.58 R_y = 0.58 \cdot 240 = 139.2 \text{ МПа}$$

$$E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Розрахункова рівномірно розподілене навантаження на прогін

$$q_p = (p_n + q_n) \cdot 3 = (0.975 + 3.36) \cdot 3 = 13 \text{ кН / м}, \text{ де}$$

Нормативна рівномірно розподілене навантаження на прогін

$$q_n = (p_n + q_n) \cdot 3 = (0.833 + 2.4) \cdot 3 = 9.699 \text{ кН / м}$$

Згинальний момент і потрібний момент опору будуть рівні

$$M_{\max} = q l^2 / 8 = 13 \cdot 6^2 / 8 = 58.5 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$W_{\text{red}} = M_{\max} / c_1 R_y \gamma_c = 58.5 \cdot 10^2 / 1 \cdot 24 = 243.75 \text{ см}^3$$

Призначаємо по сортаменту прокатний № 24 швелер по ГОСТ 8240-93

$$A = 30.6 \text{ см}^2$$

$$W_x = 242 \text{ см}^3$$

$$I_x = 2900 \text{ см}^4$$

$$i = 9.73 \text{ см}$$

Перевіряємо прогін на прогін

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0.09699 \cdot 600^3}{2.06 \cdot 10^4 \cdot 2900} = \frac{1}{219} \leq \frac{1}{200}$$

Де жорсткість прогону забезпечена.

Розрахунок ферми

З метою уніфікації приймаємо перетин поясів однаковим на всьому прольоті. На ці зусилля і підібрані перетини елементів. Перетини розтягнутих елементів підбираємо так, щоб виникаючі від зовнішніх впливів напруги не перевершували розрахункового опору матеріалу, а перерізу стиснутих елементів - з того умови, щоб діючі напруги не перевищували критичних напружень. Перевірку виробляємо в двох площинах.

Розтягнуті елементи:

$$A_{mp} = \frac{N}{R_y} \rightarrow \text{профіль} \rightarrow A_{\text{факт}} \rightarrow s = \frac{N}{A_{\text{факт}}} \leq R_y$$

Стиснені елементи:

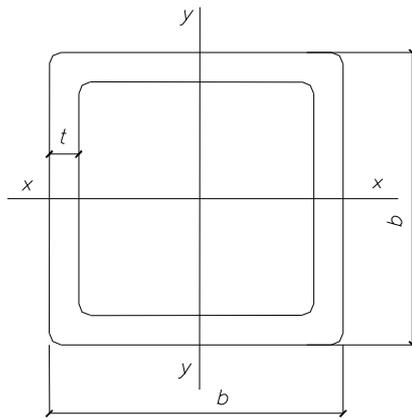
На першому етапі орієнтовно задаємо коефіцієнт поздовжнього вигину $j_0 = 0.7 - 0.8$, визначаємо необхідну площу поперечного перерізу, з сортаменту підбираємо відповідний профіль, для нього знаходимо радіуси інерції щодо обох осей і обчислюємо відповідні гнучкості. Далі по максимальній гнучкості визначаємо фактичне значення коефіцієнта поздовжнього згину і виконуємо перевірку.

$$A_{mp} = \frac{N}{j_0 R_y} \rightarrow \text{профіль} \rightarrow A_{\text{факт}}, i \rightarrow I_x, I_y \rightarrow j_{\min} \rightarrow s = \frac{N}{j_{\min} A_{\text{факт}}} \leq R_y$$

В нижньому поясі

$$N_{\max} = 45.4 \text{ т (елементи 21-25)}$$

$A_{\text{тр}} = N / R_y = 45400 / 2400 = 18.92 \text{ см}^2$. Прийнятий профіль 100x100x5, у якого $A = 19 \text{ см}^2$



Поперечне січення ГСП.

У верхньому поясі (елементи 15-20)

$$N_{\max} = -44.4m$$

$$A_{\text{тр}} = N/0.7R = 44400/0.7 \cdot 2400 = 26.4 \text{ см}^2$$

Прийmemo профіль 140x140x5, у якого $A = 27 \text{ см}^2$, $i = 5.51 \text{ см}$

Гнучкість

$$I = \frac{l}{i} = \frac{300}{5.51} = 54.5$$

Коефіцієнт поздовжнього вигину $j = 0.831$

Напруження

$$s = \frac{44400}{0.831 \cdot 27} = 1978.87 \text{ кг/см}^2 > R_y = 2400 \text{ кг/см}^2$$

Умова міцності виконується

Оскільки стрижні мають симетричне розтин, перевірка виконуємо тільки водній площині.

В розкосі опорного (9,14 елементи)

$$N_{\max} = +23.8m \quad A_{\text{тр}} = N/0.7R = 23800/0.7 \cdot 2400 = 14.2 \text{ см}^2$$

Прийmemo профіль 100x100x4, у якого $A = 15.36 \text{ см}^2$, $i = 3.92 \text{ см}$

Гнучкість

$$I = \frac{l}{i} = \frac{182}{3.92} = 46.4$$

Коефіцієнт поздовжнього вигину $j = 0.868$

Напруження

$$s = \frac{23800}{0.868 \cdot 15.36} = 1785 \text{ кг/см}^2 > R_y = 2400 \text{ кг/см}^2$$

Умова міцності виконується

В розкосі приопорних (елементи 3,8)

$$N_{\max} = -20.3m \quad A_{\text{тр}} = N/0.7R = 20300/0.7 \cdot 2400 = 12.1 \text{ см}^2$$

Прийmemo профіль 100x100x4, у якого $A = 15.36 \text{ см}^2$, $i = 3.92 \text{ см}$

Гнучкість

$$I = \frac{l}{i} = \frac{201}{3.92} = 51.3$$

Коефіцієнт поздовжнього вигину $j = 0.846$

Напруження

$$s = \frac{20300}{0.846 \cdot 15.36} = 1562.2 \text{ кг/см}^2 > R_y = 2400 \text{ кг/см}^2$$

Умова міцності виконується

В розкосі приопорних (елементи 13,10)

$$N_{\max} = +7.9m \quad A_{\text{тр}} = N/R_y = 7900/2400 = 3.3 \text{ см}^2$$

Прийнятий профіль 80x80x4, у якого

$$A = 12.16 \text{ см}^2$$

В розкосі приопорних (елементи 4,7)

$$N_{\max} = -7.1m \quad A_{\text{тр}} = N/0.7R = 7100/0.7 \cdot 2400 = 4.22 \text{ см}^2$$

Прийнятий профіль 80x80x4, у якого $A = 12.16 \text{ см}^2$, $i = 3.10 \text{ см}$

Гнучкість

$$I = \frac{l}{i} = \frac{222}{3.1} = 71.6$$

Коефіцієнт поздовжнього вигину $j = 0.743$

Напруження

$$s = \frac{7100}{0.743 \cdot 12.16} = 785.8 \text{ кг/см}^2 > R_y = 2400 \text{ кг/см}^2$$

Умова міцності виконується

В розкосі приопорних (елементи 12,11)

$$N_{\max} = -1.7m \quad A_{\text{тр}} = N/0.7R = 1700/0.7 \cdot 2400 = 1.02 \text{ см}^2$$

Прийнятий профіль 80x80x4, у якого $A = 12.16 \text{ см}^2$, $i = 3.10 \text{ см}$

Гнучкість

$$I = \frac{l}{i} = \frac{222}{3.1} = 71.6$$

Коефіцієнт поздовжнього вигину $j = 0.743$

Напруження

$$s = \frac{1700}{0.743 \cdot 12.16} = 188.2 \text{ кг/см}^2 > R_y = 2400 \text{ кг/см}^2$$

Умова міцності виконується

В розкосі приопорних (елементи 5,6)

$$N_{\max} = +1.7m \quad A_{\text{тр}} = N/R_y = 1700/2400 = 1 \text{ см}^2$$

Прийнятий профіль 80x80x4, у якого $A = 12.16 \text{ см}^2$

Розрахунок, конструювання проміжних вузлів верхнього поясу

Проміжний вузол верхнього поясу без стику поясів, в якому сходяться два розкоси, конструюється з безпосереднім примиканням стрижнів решітки до поясу при напівризниця ширини поясів і розкосів з площини ферми не перевищує 20мм. Зварні шви накладаються по всьому периметру косою зрізу труби розкосу і можуть бути кутовими і стиковими. Міцність зварних швів для прикріплення кожного розкосу перевіряється за формулою:

$$s_{\text{ш}} = N_{\text{pi}} / b_{\text{ш}} \sum l_{\text{ш}} \leq R^{\text{св}}$$

де N_{pi} - розрахункове зусиллі в даному роз-

косі

$b_{\text{ш}}$ - розрахункова ширина шву

$R^{\text{св}}$ - розрахунковий опір стикового шва стиску або розтягу

Вузол 11

Стиснутий розкіс (3), по ліву сторону від вузла 100x100x4, $N_{\max} = -20.3m$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 20300 / 0.4 \cdot 38.3 = 1325.4 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 2100 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Несуча здатність пояса на продавлювання від дії стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = \frac{1 \cdot 2400 \cdot 1.5^2(14.14+3+\sqrt{2 \cdot 14 \cdot 2})}{(0.4+1.8 \cdot 0.2) \cdot 2 \cdot 0.707} = 123710 \text{ кг} \geq N_{pi} = 20300 \text{ кг}$$

Перевірка несучої здатності ділянки стінки пояса в площині ферми в місці примикання стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{2mkRd h_{pi}}{\sin^2 a} = \frac{2 \cdot 2400 \cdot 1.5 \cdot 10}{0.707^2} = 72000 \text{ кг} \geq N_{pi} = 20300 \text{ кг}$$

Розтягнутий розкіс (13) по праву сторону від вузла 80x80x4,

$$N_{\max} = +7.9 \text{ м}$$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 7900 / 0.4 \cdot 22.6 = 873.8 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 2100 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Несуча здатність пояса на виривання від дії розтягнутого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+\sqrt{8bE})}{E \sin a} = 1.5 \cdot \frac{1 \cdot 2400 \cdot 1.5^2(11.3+\sqrt{8 \cdot 14 \cdot 3})}{3 \cdot 0.707} = 75435 \text{ кг} \geq N_{pi} = 7900 \text{ кг}$$

Вузол 10

Стиснутий розкіс (4) по ліву сторону від вузла 80x80x4, $N_{\max} = -7.1 \text{ м}$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 7100 / 0.4 \cdot 22.6 = 785.3 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 2100 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Несуча здатність пояса на продавлювання від дії стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = \frac{1 \cdot 2400 \cdot 1.5^2(11.3+3+\sqrt{2 \cdot 14 \cdot 3})}{(0.4+1.8 \cdot 0.265) \cdot 3 \cdot 0.707} = 68120 \text{ кг} \geq N_{pi} = 7100 \text{ кг}$$

Перевірка несучої здатності ділянки стінки пояса в площині ферми в місці примикання стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{2mkRd h_{pi}}{\sin^2 a} = 0.8 \cdot \frac{2 \cdot 2400 \cdot 1.5 \cdot 8}{0.707^2} = 92184 \text{ кг} \geq N_{pi} = 7100 \text{ кг}$$

Розтягнутий розкіс (12) по праву сторону від вузла 80x80x4, $N_{\max} = +7.9 \text{ м}$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 1700 / 0.4 \cdot 22.6 = 188 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 2100 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Несуча здатність пояса на виривання від дії розтягнутого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+\sqrt{8bE})}{E \sin a} = 1.5 \cdot \frac{1 \cdot 2400 \cdot 1.5^2(11.3+\sqrt{8 \cdot 14 \cdot 3})}{3 \cdot 0.707} = 75435 \text{ кг} \geq N_{pi} = 1700 \text{ кг}$$

Вузол 7

Розтягнутий розкіс (14) по праву сторону від вузла 80x80x4, $N_{\max} = +23.8 \text{ м}$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 23800 / 0.4 \cdot 38.3 = 1553.4 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 2100 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Несуча здатність пояса на виривання від дії розтягнутого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = \frac{1 \cdot 2400 \cdot 1.5^2(14.14+3+\sqrt{2 \cdot 14 \cdot 2})}{(0.4+1.8 \cdot 0.2) \cdot 2 \cdot 0.707} = 35261 \text{ кг} \geq N_{pi} = 23800 \text{ кг}$$

Проміжні вузли нижнього пояса

Вузол 2

Стиснутий розкіс (4) по праву сторону від вузла 80x80x4, $N_{\max} = -7.1 \text{ м}$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 7100 / 0.4 \cdot 22.6 = 785.3 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 2100 \text{ кг} / \text{см}^2$$

Несуча здатність пояса на продавлювання від дії стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = \frac{1 \cdot 2400 \cdot 0.5^2(11.3+1+\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1})}{(0.4+1.8 \cdot 0.09) \cdot 1 \cdot 0.707} = 25324 \text{ кг} \geq N_{pi} = 7100 \text{ кг}$$

Перевірка несучої здатності ділянки стінки пояса в площині ферми в місці примикання стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{2mkRd h_{pi}}{\sin^2 a} = \frac{2 \cdot 2400 \cdot 0.5 \cdot 8}{0.707^2} = 38400 \text{кз} \geq N_{pi} = 7100 \text{кз}$$

Розтягнутий розкіс (13) по ліву сторону від вузла 80x80x4, $N_{\max} = +7.9m$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 7900 / 0.4 \cdot 22.6 = 873.8 \text{кз/см}^2 \leq 2100 \text{кз/см}^2$$

Несуча здатність пояса на виривання від дії розтягнутого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = 1.5 \cdot \frac{1 \cdot 2400 \cdot 0.5^2(11.3+1+\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1})}{(0.4+1.8 \cdot 0.09) \cdot 1 \cdot 0.707} = 37998.5 \text{кз} \geq N_{pi} = 7900 \text{кз}$$

Вузол 3

Стиснутий розкіс (12) по ліву сторону від вузла 80x80x4, $N_{\max} = -1.7m$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 1700 / 0.4 \cdot 22.6 = 188 \text{кз/см}^2 \leq 2100 \text{кз/см}^2$$

Несуча здатність пояса на продавлювання від дії стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = \frac{1 \cdot 2400 \cdot 0.5^2(11.3+1+\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1})}{(0.4+1.8 \cdot 0.09) \cdot 1 \cdot 0.707} = 25324 \text{кз} \geq N_{pi} = 1700 \text{кз}$$

Перевірка несучої здатності ділянки стінки пояса в площині ферми в місці примикання стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{2mkRd h_{pi}}{\sin^2 a} = \frac{2 \cdot 2400 \cdot 0.5 \cdot 8}{0.707^2} = 38400 \text{кз} \geq N_{pi} = 1700 \text{кз}$$

Розтягнутий розкіс (5), по праву сторону від вузла 80x80x4, $N_{\max} = +1.7m$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 1700 / 0.4 \cdot 22.6 = 188 \text{кз/см}^2 \leq 2100 \text{кз/см}^2$$

Несуча здатність пояса на виривання від дії розтягнутого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = 1.5 \cdot \frac{1 \cdot 2400 \cdot 0.5^2(11.3+1+\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1})}{(0.4+1.8 \cdot 0.09) \cdot 1 \cdot 0.707} = 37998.5 \text{кз} \geq N_{pi} = 1700 \text{кз}$$

Вузол 1

Стиснутий розкіс (3), по праву сторону від вузла 100x100x4, $N_{\max} = -20.3m$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 20300 / 0.4 \cdot 38.3 = 1325.8 \text{кз/см}^2 \leq 2100 \text{кз/см}^2$$

Несуча здатність пояса на продавлювання від дії стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = \frac{1 \cdot 2400 \cdot 0.5^2(14.14+1+\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1})}{(0.4+1.8 \cdot 0.07) \cdot 1 \cdot 0.707} = 32068 \text{кз} \geq N_{pi} = 20300 \text{кз}$$

Перевірка несучої здатності ділянки стінки пояса в площині ферми в місці примикання стисненого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{2mkRd h_{pi}}{\sin^2 a} = \frac{2 \cdot 2400 \cdot 0.5 \cdot 10}{0.707^2} = 48014 \text{кз} \geq N_{pi} = 20300 \text{кз}$$

Розтягнутий розкіс (14) по ліву сторону від вузла 100x100x4, $N_{\max} = +23.8m$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 23800 / 0.4 \cdot 38.3 = 1553.4 \text{кз/см}^2 \leq 2100 \text{кз/см}^2$$

Несуча здатність пояса на виривання від дії розтягнутого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E \sin a} = 1.5 \cdot \frac{1 \cdot 2400 \cdot 0.5^2(14.14+1+\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1})}{(0.4+1.8 \cdot 0.07) \cdot 1 \cdot 0.707} = 47461.8 \text{кз} \geq N_{pi} = 23800 \text{кз}$$

Вузол 9 (укрупнювальний вузол)

Розтягнуті розкоси (5,6) по ліву і праву сторони від вузла 80x80x4, $N_{\max} = +1.7m$

$$s_{uu} = N_{pi} / b_{uu} \sum l_{uu} \leq R^{ce}$$

$$s_{uu} = 1700 / 0.4 \cdot 22.6 = 188 \text{кз/см}^2 \leq 2100 \text{кз/см}^2$$

Несуча здатність пояса на виривання від дії розтягнутого розкосу

$$N_{pi} \leq \frac{mRd^2(d+c+\sqrt{2bE})}{(0.4+1.8c/d)E\sin a} = 1.5 \cdot \frac{1 \cdot 2400 \cdot 1.5^2(11.3+1+\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1})}{(0.4+1.8 \cdot 0.09) \cdot 1 \cdot 0.707} = 37998.5 \text{ кз} \geq N_{pi} = 1700 \text{ кз}$$

Верхній пояс стиснутий

Конструктивно приймаємо 4 болта з кожного боку М20 класу міцності 5,6.

Нижній пояс розтягнутий

Виберемо високоміцні болти М20 зі сталі 40Х «Селект», $R_y = 11 \text{ т/см}^2$

Несуча здатність одного болта

$$N_6 = A_{bn} R_{bun} = 1.57 \cdot 11 = 16 \text{ т}$$

В укрупнювального вузлі нижнього розтягнутого пояса необхідну кількість болтів визначаємо за формулою

$$n_d = \frac{N_i}{N_d} = \frac{45.4}{16} = 2.8$$

де N_i - зусилля розтягування в нижньому поясі в місці укрупнювального стику

m_k - коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання

F_{nm} - площа поперечного болта

R_p - розрахунковий опір болта розтяганню

Конструктивно приймаємо 8 болтів.

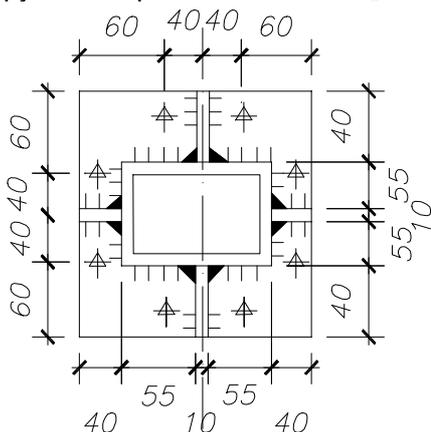


Схема монтажної вузла нижнього пояса

Конструювання і розрахунок опорного вузла

Опорний фланець приймаємо товщиною $t_f = 20 \text{ мм}$ і шириною 270 мм. Діаметр болтів прикріплення ферми до колони приймається конструктивно 20 мм. Перевіряємо напруження змінання торця фланця від опорної реакції:

$$s = \frac{1,2 \cdot R_A}{A_p} = \frac{1,2 \cdot 196}{0,02 \cdot 0,27} = 43,55 \text{ МПа} < R_p = 360 \text{ МПа}$$

Прикріплення пояса до опорного фланця: $k_f = 4 \text{ мм}$

$$s_{ш} = N_{pi} / b_{ш} \sum l_{ш} \leq R^{ce}$$

$$s_{ш} = 19600 / 0,4 \cdot 56 = 875 \text{ кз/см}^2 \leq 2100 \text{ кз/см}^2$$

Визначаємо висоту опорного столика з умови міцності зварного шва на зріз:

$$l_w = \frac{2 \cdot R_A}{3 \cdot b_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot g_{wf} \cdot g_c} + 1 \text{ см} = \frac{2 \cdot 238}{3 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 18} + 1 = 20 \text{ см}$$

Приймаємо висоту столика 20 см, товщину 4 см.

Висновки:

1. Розроблена методика і проведені експериментальні дослідження залишкового стану, що виникає в кутиках після виконання ЛТВ¹ шляхом наплавлення зварних швів. Одержані дані підтвердили припущення про виникнення в кутиках після наплавлення зварних швів оптимального, з позиції підвищення стійкості стиснених елементів, розподілу залишкових напружень. Дослідження залишкового стану виконувалися руйнівним і неруйнівним методами. Зроблено висновок про доцільність продовження таких досліджень, особливо для об'єктів, що перебувають в експлуатації (проведення технічної діагностики стану конструкцій).

2. Розроблена методика визначення необхідної кількості теплової енергії, що вводиться в елемент після виконання ЛТВ¹, з урахуванням залишкових деформацій. Методика (на відміну від відомої, розробленої М.О. Окербломом для двотаврових елементів) дозволяє за заданої величини відносного прогину визначити параметри технологічного процесу зварювання, тобто підібрати діаметр електрода, напругу і силу струму. Порівняння результатів аналітичного визначення вигинів після ЛТВ¹ із даними, одержаними експериментальним шляхом, свідчать про досить високу збіжність результатів, тобто зразки після наплавлення швів практично не мали вигину.

3. Розроблена методика і проведені експериментальні дослідження щодо оцінювання залишкових напружень, що виникають у кутках після виконання ЛТВ¹, на стійкість стиснених елементів. Одержані в ході проведення експериментальних досліджень дані підтвердили можливість підвищення стійкості стиснених елементів з кутків тільки внаслідок оптимального розподілу залишкових напружень. Підвищення стійкості спостерігалось для елементів таврового і хрестового профілів, а також елементів з одиночних кутків у діапазоні гнучкостей $I = 80 - 110$. Підвищення стійкості елементів складеного перерізу внаслідок оптимального розподілу залишкових напружень становить (10 - 35) %, а для елементів із одиночних кутків – до 60%.

У ході експериментальних досліджень встановлено негативні впливи стискальних напружень, що виникають у полицях кутків у місцях приварювання сполучних пластин, і викладено пропозиції щодо усунення такого виду залишкового стану (рекомендується наплавляти шви на крайках полиць на довжині, яка дорівнює 3 b, де b - ширина сполучної пластини).

4. Розроблена методика аналітичного визначення залишкового стану, що виникає в кутках після попереднього напруження ЛТВ¹. Методика базується на гіпотезах і припущеннях, зазвичай використовуваних за розв'язання аналогічних задач. Порівняння результатів визначення залишкового стану після ЛТВ¹ із даними розрахунків свідчить про їх досить близький збіг.

5. Розроблена методика оцінювання впливу залишкового стану на стійкість елементів з

куткових профілів. Порівняння результатів аналітичного визначення величин тримальної здатності (P_t) і експериментальних даних (P_m) свідчать про високий збіг результатів (середня величина відношення $\bar{k} = \frac{P_t}{P_m} = 0,99$, а середньоквадратичне відхилення - $S = 0,068$).

Список використаної літератури:

1. Козлов С.В. Деформативность стержней из одиночных прокатных уголков при локальных термических воздействиях на кромках // Будівельні конструкції Міжвідомчий науково-технічний збірник / НДІБК. - Київ: НДІБК, 2002.-Вип. 57.- С. 92-96.

2. Голоднов А.И., Козлов С.В. Определение величин остаточных напряжений в сечениях уголков после термических воздействий на кромках // Современные проблемы строительства: Ежегодный научно-технический сборник / Донецкий ПромстройНИИпроект. - Донецк: ООО "Лебедь", 2002. –Т. 2.- С. 71 –76 (автору належить експериментальне визначення залишкових напружень).

3. Иванов А.П., Голоднов А.И. Распределение остаточных напряжений в сечениях прокатных уголков при предварительном напряжении локальными термическими воздействиями на кромках // Вісник Придніпровської державної академії будівництва і архітектури. - Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2003. - №10-11. – С. 37-41 (автору належить виконання розрахунків і співставлення з результатами експериментів).

Работа освещает разработки методик расчета и технологии выполнения локальных термических воздействий для повышения устойчивости сжатых элементов ферм из свальцованных угловых профилей. Изложена методика расчета необходимого количества тепловой энергии для создания остаточных напряжений. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования влияния остаточных напряжений на устойчивость сжатых элементов. Определена величина и степень влияния остаточных напряжений на устойчивость сжатых элементов ферм из угловых профилей. Разработан практическую методику повышения устойчивости сжатых элементов ферм, выполненных из угловых профилей, с применением локальных термических воздействий.

Ключевые слова: стержень из углов, остаточные напряжения, распределение по сечению, влияние на устойчивость.

The work is dedicated to the development of design procedures and performance technology of local thermal influences for increase of stability of frame compressed elements of rolled angle bar of structures. The technique for account of necessary quantity of a thermal energy for creation of residual stress is given. The technique is developed and the experimental researches of influence of residual stress on stability of the compressed elements are carried out. The size and degree of influence of residual stress on stability of the compressed elements of frames of angle bar of structures are determined. The practical technique for increase of stability of the compressed elements of frames executed of angle bar of structures with application of local thermal influences is developed.

Key words: element of angle bar, residual stress, distribution on section, influence on stability.

Дата надходження в редакцію: 28.03.12 р.

Рецензент: д.т.н., професор Фомиця Л.М..