

ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ СТИСНУТИХ СТЕРЖНІВ ЗІ СПАРЕНИХ ПРОКАТНИХ КУТИКІВ ЗА РАХУНОК РЕГУЛЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ШЛЯХОМ НАГРІВАННЯ

О.І. Голоднов, О.А. Кисіль

Залишкові напруження впливають на стійкість і деформативність конструкцій. Цей вплив неоднозначний, тому актуальним залишається питання про розподіл залишкових напружень у перерізах елементів.

Необхідність проведення цих досліджень виникла в зв'язку з відсутністю в нормативній літературі рекомендацій щодо визначення залишкового напруженого стану і його врахування при розрахунках конструкцій із кутиків.

Введення. Постановка проблеми

При виготовленні в елементах зварних металевих конструкцій виникає залишковий напружений стан (ЗНС). Наведені в роботах [1–5 та ін.] дані свідчать про неоднозначний вплив ЗНС на стійкість стиснутих елементів. Це стосується елементів нового будівництва і тих, що знаходяться в експлуатації. Тому при розрахунках зварних конструкцій необхідно визначити ЗНС і оцінювати його вплив на роботу конструкцій. При негативному впливі необхідно передбачити заходи щодо регулювання ЗНС для підвищення стійкості.

Методики визначення ЗНС і його впливу на стійкість викладені в роботах [1, 2, 3 та ін.]. Розбіжність коефіцієнтів поздовжнього вигину для конструкцій двотаврового і Н-подібного перерізу без залишкових напружень (наприклад, відпалених) і з ЗНС на крайках поясів понад 49 МПа може досягати 15–17 % (за даними ДБН В.2.3-14:2006 [4]).

Нижче викладаються пропозиції щодо регулювання ЗНС в стиснутих елементах таврового (із парних кутиків) перерізу із використанням нагрівання крайок до різних температур.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Як відомо [1–5 та ін.], залишкові стискальні напруження (далі ЗСН), що виникають на крайках поясів зварних двотаврів після зварювання поясних швів, сприяють більш ранньому переходу матеріалу в пластичний стан і зниженню стійкості елементів. Виключити негативний вплив ЗСН можна різноманітними способами. Найбільш простим і доступним є регулювання ЗНС шляхом локальних термічних впливів (ЛТВ). При такому способі регулювання (наплавлення валиків по крайках або прогрівання крайок до температури не вище критичної точки A_{C3}) на крайках поясів виникають зони залишкових розтягувальних напружень (далі ЗРН), що сприяють підвищенню стійкості.

Аналіз літературних джерел дозволив встановити, що регулювання ЗНС у вищезазначених дослідженнях виконувались в основному шляхом наплавлення холодних валиків на крайках полицок двотаврів або кутиків. Такий спосіб економічний і дозволяє сконцентрувати теплові впливи на обмеженій площі перерізу. Але після наплавлення залишається валик наплавленого металу, який не завжди підвищує естетику виробу. Уникнути цієї обставини можна за рахунок прогрівання крайок полицок до заданих температур.

Мета роботи

Метою проведених досліджень було обґрунтування технології виготовлення економічних зварних конструкцій зі спарених кутиків з регульованим ЗНС шляхом прогрівання крайок до різних температур.

Основна частина

Процес виготовлення зварних металоконструкцій завжди пов'язаний з нагріванням до високих температур, що супроводжується структурними і хімічними змінами металу, які впливають як на стійкість окремих елементів, так і на несучу здатність і деформативність конструкції в цілому.

Підвищення несучої здатності і стійкості елементів металевих конструкцій досягається за рахунок зміни параметрів ЗНС. Регулювання ЗНС можливе різними способами [1, 6 та ін.].

1. Зниження величини пластичної деформації укорочення або ширини зони її розповсюдження, зменшення погонної енергії, введення попереднього підігріву, прикладання зусиль при зварюванні, термообробки зони зварного шва.

2. Збільшення пластичних деформацій подовження в процесі охолодження зварного шва або після зварювання шляхом прокатки, проковки, розтягування, вібрації тощо.

3. Компенсація деформацій шляхом створення попередніх деформацій (попереднього напруження), які зворотні зварювальним.

В наш час існують три принципово різних способи створення попереднього напруження:

- спосіб створення попереднього напруження з використанням додаткових елементів типу зтяжок;
- спосіб, що передбачає попередню деформацію окремих елементів перед виготовленням з наступним виконанням зварювання;
- спосіб попереднього напруження ЛТВ, що являє собою розігрів окремих ділянок готових металоконструкцій до температури, як правило не вище 950°C, з наступним інтенсивним охолодженням або в наплавленні зварних швів.

Використання перших двох способів виконання попереднього напруження дозволяє зменшити металоємність виробів при однаковій несучій здатності, але відомі недоліки (підвищена трудомісткість, необхідність в спеціальних анкерних пристроях і зтяжках з високоміцної сталі, створення спеціального обладнання для попереднього деформування елементів і т.п.) зменшують їх загальну ефективність.

Спосіб попереднього напруження з використанням ЛТВ, на відміну від перших двох, дозволяє створювати зони ЗРН в елементах, які підлягають подальшому стиску, за рахунок нерівномірного температурного впливу. Така обставина сприяє підвищенню стійкості елементів. При цьому конструкції виготовляють традиційним способом, а попереднє напруження готової конструкції виконується шляхом наплавлення холостих валиків по кромках полиць [1, 2 та ін.] або прогрівання до відповідних температур за допомогою нагрівачів. Останній спосіб був апробований на двотаврових елементах [1, 2 та ін.]. Для стиснутих елементів зі спарених кутиків такий спосіб регулювання практично не досліджений – регулювання ЗНС виконувалось шляхом наплавлення холостих валиків, що дозволило отримати збільшення критичних сил для стиснутих елементів майже на 15–30 % [5, 7, 8 та ін.]. Слід відмітити, що регулювання ЗНС для елементів з кутиків актуальне, оскільки при виготовленні конструкцій після приварювання з'єднувальних пластин на крайках кутиків виникають зони ЗСН, що негативно впливають на загальну стійкість конструкції.

Аналіз виконаних експериментальних досліджень на елементах несиметричного перерізу з використанням попереднього напруження ЛТВ підтвердив наявність складного ЗНС в кутиках в стані постачання і після наплавлення холостих валиків [5, 7, 8 та ін.]. Було встановлено, що ступінь впливу ЗНС на стійкість суттєва (для перерізів одного профілю та гнучкості в залежності від виду ЗНС несуча здатність відрізнялась майже на 30%).

На основі аналізу результатів виконаних експериментів були встановлені закономірності формування ЗНС в сталевих прокатних кутиках після регулювання шляхом ЛТВ [5, 7, 8 та ін.]. Це дозволило розробити інженерну методику оцінки несучої здатності стержнів з кутикового профілю з врахуванням наявності ЗНС після регулювання шляхом наплавлення зварних швів. Методика «точного» визначення впливу ЗНС на стійкість до цього часу не розроблена. Розроблення цієї методики дозволить окреслити коло задач, при вирішенні яких вплив ЗНС необхідно враховувати.

Вищевикладене визначило постановку таких задач досліджень.

1. Провести дослідження ЗНС, який виникає в елементах із парних кутиків, при виготовленні (після приварювання з'єднувальних пластин).
2. Провести дослідження ЗНС, який виникає в елементах із парних кутиків, після регулювання шляхом прогрівання крайок полиць до різних температур (в зоні приварювання з'єднувальних пластин).
3. Провести випробування стержнів зі спарених кутиків різної гнучкості, що мають однаковий ЗНС, на стиск.
4. Провести порівняльні випробування стержнів в стані постачання (після виготовлення) і після регулювання шляхом прогрівання крайок до різних температур.
5. Після випробувань першого етапу для стержнів в стані постачання виконати підсилення шляхом

ЛТВ. Після цього провести додаткові випробування стержнів.

З метою вивчення ЗНС в стані постачання і після регулювання ЛТВ передбачається проведення випробувань декількох серій спеціально сконструйованих зразків з різними параметрами температурних впливів, що дозволить визначити оптимальну (в нашому випадку найменшу) температуру розігрівання.

В ході проведення експериментальних досліджень стиснутих елементів різної гнучкості планується отримати додатковий експериментальний матеріал стосовно впливу ЗНС на стійкість і доцільність такого виду регулювання.

На останньому етапі досліджень планується проведення випробувань вже випробуваних стержнів в стані постачання (без регулювання ЗНС), підсиленних шляхом прогріву кромки полиць кутиків. Це дозволить зробити висновки про доцільність такого способу підсилення експлуатованих конструкцій.

Випробування всіх зразків будуть виконані при однакових схемах прикладання зовнішнього навантаження за рахунок використання однакових опорних пристосувань.

Висновки

- При виготовленні зварних металоконструкцій неминує виникати поля залишкових напружень в місцях наплавлення зварних швів.
- Наявність ЗНС впливає на роботу стиснутих стержнів з кутиків. Вони сприяють зниженню величин критичних сил в порівнянні з елементами без залишкових напружень та сприяють більш ранньому переходу матеріалу в пластичний стан.
- В літературі недостатньо інформації про експериментальні дослідження стиснутих стержнів зі спарених кутиків при створенні попереднього напруження ЛТВ шляхом прогрівання крайок полиць до різних температур. Ця обставина визначила розробку програми проведення експериментальних досліджень, в результаті виконання якої можливе експериментальне обґрунтування запропонованої методики розрахунку стиснутих стержнів зі спарених кутиків.

Список літератури

1. Голоднов А.И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках: [монографія] / А.И. Голоднов. – К.: Изд-во «Сталь», 2008. – 150 с.
2. О необходимости учета остаточных напряжений при проектировании металлических конструкций : сб. докл. VIII Укр. науч.-техн. конф. [“Метал. конструкции: взгляд в прошлое и будущее”] Ч. 1 / А.И. Голоднов. – К.: Изд-во «Сталь», 2004. – С. 314–323.
3. Остаточное напряженное состояние и его влияние на устойчивость сварных двутавровых колонн : зб. наук. праць. в 2-х томах: Т. 1. [“Дороги і мости”] / А.И. Голоднов. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7. – С. 110–118.
4. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006 / Мінбуд України. – К.: Мінбуд України, 2006. – 359 с.
5. Экспериментальные исследования сжатых элементов из уголков после наплавки сварных швов конструкций : сб. докл. VIII Укр. науч.-техн. конф. [“Метал. констр.: взгляд в прошлое и будущее”] Ч. 1 / С.В. Козлов, А.П. Иванов, А.И. Голоднов. – К.: Изд-во «Сталь», 2004. – С. 554–560.
6. Сагалевиц В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений / В.М. Сагалевиц. – М.: Машиностроение, 1974. – 248 с.
7. Голоднов А.И. Определение величин остаточных напряжений в сечениях уголков после термических воздействий на кромках / А.И. Голоднов, С.В. Козлов // Соврем. проблемы стр-ва. – Т. 2. – 2002. – С. 71–76.
8. Голоднов О.І. Виготовлення ефективних за витратами металу сталевих конструкцій з регульованим залишковим напруженим станом / О.І. Голоднов, С.В. Козлов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Ч. 2. – 2008. – С. 110–116.

Голоднов Олександр Іванович – д.т.н., с.н.с., вчений секретар ВАТ “УкрНДІпроектсталь-конструкція ім. В.М. Шимановського”.

Кисіль Олександр Анатолійович – аспірант, асистент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький технічний національний університет.