УДК 624.072.002.2

doi:10.31650/2707-3068-2019-23-24-32

ВИРІВНЮВАННЯ СТИСЛИХ СТАЛЕВИХ ДВОТАВРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІСЛЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ РІЗНИМИ СПОСОБАМИ**Голоднов О.І.**, д.т.н., проф.,ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», м. Київ, Україна,
golodnow@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9722-9164**Іванов Б.В.**, інженерТОВ «МегаСП», м. Київ, Україна
ivanov@megabp.com; ORCID: 0000-0002-9203-2987

Анотація. Викладена методика досліджень несучої здатності сталевих двотаврових елементів після первинного навантаження, розвантаження, подальшого вирівнювання і вторинного навантаження. Після випробувань на первинний стиск експериментальні зразки були вирівняні під пресом або шляхом наплавлення холостих валиків по опуклих кромках.

Наведено результати експериментального визначення несучої здатності зразків після розвантаження і вирівнювання. Результати випробувань показали, що несуча здатність для більшості зразків після вирівнювання виявилася не нижчою, ніж несуча здатність зразків, що була отримана при початкових випробуваннях.

Наведено результати практичного застосування результатів проведених досліджень при визначенні технічного стану сталевих колон.

Ключові слова: стислі сталеві елементи, розвантаження, вирівнювання, несуча здатність.

Введення. Постановка проблеми. В процесі навантаження і подальшого розвантаження, особливо після переходу матеріалу в пластичний стан, в конструкціях виникає залишковий напружений стан (ЗНС), який супроводжується залишковим вигином. Очевидно, що подальша надійна експлуатація конструкцій при навантаженні можлива після виключення залишкового вигину шляхом вирівнювання.

Способів вирівнювання, включаючи підсилення шляхом нарощування перерізу, існує багато, проте не всі способи можна застосувати до реальних конструкцій. Зокрема, не завжди вдається збільшити переріз внаслідок обмеженості або наявності устаткування поряд з конструкцією. До того ж, приварювання елементів підсилення сприяє зміні ЗНС, що може істотно відбитися на несучій здатності конструкцій. Цю обставину важливо враховувати при проектуванні підсилення конструкцій [1, 2].

Методику та програму експериментальних досліджень розроблено для отримання даних про характер розподілу залишкових напружень (ЗН) в перерізах зварних конструкцій після навантаження і розвантаження, залишкових вигинів, обґрунтування можливості вирівнювання конструкцій шляхом наплавлення зварних швів і оцінки впливу наслідків такого вирівнювання на несучу здатність сталевих елементів. Результати експериментальних досліджень дозволили обґрунтувати можливість вирівнювання експлуатованих конструкцій, які отримали пошкодження.

Результати досліджень застосовано при обґрунтуванні можливості подальшої експлуатації сталевих двотаврових колон, які отримали пошкодження під час експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Робота конструкцій після підсилення надзвичайно складна і залежить від багатьох чинників як конструктивного, так і технологічного характеру. В першу чергу чинниками впливу на несучу здатність для сталевих конструкцій можуть бути ЗН, які виникають при виготовленні. Тому при розробці методів розрахунку таких конструкцій подібні обставини обумовлюють необхідність відмови від врахування другорядних чинників і внесення передумов, які спрощують розрахунок [1, 2].

Вибір схеми підсилення сталевих стержневих конструкцій можна вважати багатоваріантним завданням. Враховуючи сучасний рівень розвитку методів розрахунку та проектування конструкцій, а також різноманіття можливих схем і прийомів підсилення, розробка загального підходу до завдань оптимізації представляється справою майбутнього. Рішення завдань оптимізації ускладнюється ще й тим, що основним критерієм оптимальності підсилення часто є не економія матеріалу або зниження вартості комплексу робіт із підсилення, а забезпечення найбільшої його технологічності. При цьому під технологічністю розуміється не зручність проведення робіт, а можливість їх здійснення без зупинки виробництва в мінімальні терміни з метою зниження виробничих втрат [1].

Підсилення наросуванням перерізу доцільно проводити для відносно рівних елементів. Забезпечення щільного прилягання елемента підсилення до конструкції яку підсилюють, з подальшим зварюванням дозволяє забезпечити надалі надійну роботу складеного перерізу і, навпаки, приварювання елемента підсилення до зігнутої конструкції може звести нанівець весь очікуваний ефект.

Через все вищевикладене передбачається, що йдеться про розрахунок і застосування підсилення конструкції за цілком певною схемою із заздалегідь заданими параметрами і при відомих впливах на неї. Зокрема, наявність ЗНС, який обумовлено зварюванням та іншими видами локальних термічних впливів (наприклад, при вирівнюванні зварюванням) сприятиме збільшенню або зменшенню несучої здатності, а значить і збільшенню або зменшенню терміну служби (ресурсу) конструкції. Підтвердженням правомірності прийнятої схеми підсилення або вирівнювання конструкцій можуть бути тільки результати експериментальних досліджень.

Мета. Метою проведених досліджень було експериментальне визначення несучої здатності сталевих конструкцій після навантаження, розвантаження, вирівнювання під пресом або шляхом наплавлення холостих валиків на опуклих кромках і подальшого навантаження.

Матеріали та методика дослідження. Методика дослідження – експериментальна. В ході проведення досліджень розроблено методику, виготовлено оснащення, підготовлено експериментальні зразки і прилади, виконано дослідження експериментальних зразків за розробленою методикою, отримано і оброблено отримані результати експериментальних досліджень.

Як зразки для експериментального вивчення несучої здатності сталевих елементів після навантаження, розвантаження, вирівнювання шляхом наплавлення холостих валиків і подальшого навантаження були прийняті експериментальні зразки, які були випробувані на стійкість [2, 3]. Вони були виготовлені шляхом розпилювання прокатних двотаврів №12 за ГОСТ 8239-89 на мірні довжини: 800, 1200 і 1400 мм.

Всього було виготовлено 3 серії по 4 зразки в кожній [2]. В межах серії кожен зразок мав різну довжину наплавленого шва в центральній частині, а саме 0,2, 0,4 і 0,6 довжин елемента. Окрім цього, в першій і третій серіях були використані зразки без наплавлених валиків, тобто без регулювання ЗНС (контрольні зразки). Зразки завдовжки 800 мм і 1200 мм було виготовлено з однієї партії металу. Зразки завдовжки 1400 мм було виготовлено з двох партій металу: в зразках першої партії довжина наплавленого валика була 0,2 і 0,4 довжин елемента, а в зразках другої партії - 0,6 довжини елемента і без наплавлення. Два зразки з металу першої партії завдовжки 600 мм було призначено для визначення ЗНС в перерізах до і після наплавлення валиків на частини довжини [3]. Регулювання ЗНС було виконано в середній частині довжини елементів шляхом наплавлення валиків по кромках поясів. Наплавлення валиків виконане напівавтоматом в середовищі вуглекислого газу. Для цього було використано зварювальний дріт діаметром 0,8 мм, сила струму 90А, вид струму - постійний. Відхилення по довжині елементів не перевищували ± 5 мм.

Для виконання поставлених задач при випробуваннях зразків двотаврового перерізу на стійкість в площині меншої жорсткості було запроєктовано і виготовлено відповідне оснащення і знімні опорні пристосування, за допомогою яких виявилось можливим виконати

центрування елементу або створити заданий ексцентриситет. Випробування проводилися з ексцентриситетом 10 мм. Такий ексцентриситет прийнятий з метою контролю напрямку вигину при додатку навантаження. Лінійні переміщення зразків визначалися індикаторами годинного типу ІЧ-10 в двох горизонтальних напрямках у верхньому і нижньому закріпленні. У центрі для визначення переміщень було встановлено три прогиноміри ПАО-6, в т.ч. один - для виміру переміщень в площині меншої жорсткості, і два – в площині більшої жорсткості по двох сторонах елементу. Показання тензорезисторів опору знімалися за допомогою системи СПТ-3.

Проведення випробувань кожного зразка виконувалося в такій послідовності [2]:

- зразок встановлювався в початкове положення;
- за допомогою індикаторів ІЧ-10 виставлявся ексцентриситет додатка навантаження;
- виконувалося знімання початкових показань по приладах ПАО-6 і СПТ-3 без навантаження;
- зразок завантажувався початковим навантаженням для перевірки працездатності приладів і якості центрування;
- після перевірки працездатності приладів і якості центрування виконувалося поетапне навантаження з витримкою на кожному етапі. Для зразків серії Д-3 ($\lambda = 111$) навантаження виконувалося етапами по 800 кг до навантаження 8 т і далі етапами по 400 кг до втрати стійкості. Для зразків серій Д-1 ($\lambda = 67$) і Д-2 ($\lambda = 96$) навантаження виконувалося таким чином: перший етап 5 т, потім етапами по 2 т до навантаження 13 і 11 т (відповідно для зразків Д-1 і Д-2). Після досягнення величин 13 і 11 тонн етапне навантаження знижувалося і складало 1 тонну до втрати здатності, що несла;
- на кожному етапі вантаження знімалися свідчення по приладах;
- для контролю ходу експерименту за показниками ПАО-6 і шкали пресу будувався графік залежності «навантаження-прогин», а також будувалися епюри напружень в перерізах за даними СПТ-3 (переклад показань приладу в напруження було виконано за допомогою коефіцієнта тензочутливості, величину якого було визначено за результатами тарування на балці рівного опору);
- експеримент тривав до втрати зразком несучої здатності (як критерій вичерпання несучої здатності було прийнято зростання прогинів без збільшення навантаження);
- після закінчення експерименту для усіх зразків було виконано порівняння результатів для кожної серії і по усіх серіях в цілому.

Після проведених випробувань на стиск зразки були оглянуті й обміряні з метою визначення залишкових вигинів (рис. 1). Були відібрані зразки для випробувань на визначення ЗНС (найбільш деформовані зразки в кожній серії у кількості 1 шт.) руйнівним методом. Інші зразки були вирівняні шляхом наплавлення холостих валиків по розтягнутих кромках або за допомогою пресу (таблиця 1 [4]). Довжина зварного шва була визначена за методикою, викладеною в роботі [1]. Результати випробувань приведені в роботі [4].

Вирівнювання зразків було виконано шляхом наплавлення холостих валиків на опуклих кромках. Для кожного зразка було прийнято індивідуальну схему наплавлення валиків. Наплавлення валиків було виконане зворотньо-ступінчастим швом ділянками завдовжки не більше 150 мм. Для цього було використано зварювальний дріт діаметром 0,8 мм, сила струму 90А, вид струму – постійний, по аналогії з раніше виконаним наплавленням при виготовленні зразків.

Після вирівнювання частину зразків (по одному з кожної серії) було відібрано для випробувань на визначення ЗНС за методикою, яку викладено в роботах [3, 4]. Інші зразки було вирівняно і випробувано на стійкість за методикою, яку було розроблено для досліджень зразків на стиск [3, 5]. Випробування проводилися з використанням тих же пристосувань і з тими ж ексцентриситетами, які були використані при первинних випробуваннях, тобто схема деформації зразка відповідала тій, яку наведено в роботі [2].

Результати досліджень. Результати випробувань приведені в таблиці 1 [5].

Рис. 1. Загальний вигляд зразків після первинних випробувань на стиск:

а) - зразки серії Д-1;

б) - зразки серії Д-2;

в) - зразки серії Д-3

Таблиця 1 - Зіставлення величин несучої здатності

Серія і номер зразка	R_y^f , МПа	H , см	λ	Несуча здатність, кН	
				$P_{u, 1}$	$P_{u, 2}$
1	2	3	4	5	6
Д-1.1/1 ДП (п)	290	92,5	67	163	178
Д-1.3/3 ДП (п)	292	92,5	67	178	198
Д-1.4/4 ДП (з)	290	92,5	67	154	158
Д-2.2/6 ДП (п)	290	132,5	96	135	160
Д-2.3/7 ДП (з)	290	132,5	96	145	140
Д-3.2/9 ДП (з)	280	152,5	111	121	144
Д-3.3/10 ДП (п)	363	152,5	111	135	147
Д-3.4/11 ДП (з)	369	152,5	111	127	120

Примітки.

1. В позначеннях несучої здатності (стовпці 5, 6) $P_{u, 1}$, $P_{u, 2}$ індекс 1 відповідає несучій здатності для зразків при первинному завантаженні, індекс 2 – несучій здатності зразків після вирівнювання.

2. В позначеннях (п) – вирівнювання за допомогою преса; (з) – вирівнювання за допомогою наплавлення холостих валиків

З приведених матеріалів видно, що несуча здатність для більшості зразків після вирівнювання виявилася не нижчою, ніж несуча здатність зразків, яку отримано при початкових випробуваннях. Причому зразки, вирівнювання яких робилося під пресом, як і очікувалося, показали більшу несучу здатність, ніж зразки, які вирівнювалися шляхом наплавлення холостих валиків.

Результати проведених досліджень певною мірою були використані при обґрунтуванні можливості подальшої експлуатації сталевих колон секції F в осях 72-74/А-Б складського

комплексу «Логістичний парк» ТОВ «Термінал Бровари» за адресою Об'їзна дорога, 62 в м. Бровари Київської обл. Будівля являє собою прямокутну в плані одноповерхову споруду з металевим каркасом, яка складається з окремих секцій. Загальний розмір секції F, в якій розташовано колони, що отримали пошкодження за час експлуатації, в осях 65-77/А-Л становить 72-102 м. Фрагмент плану будівлі наведено на рис. 2.

Рис. 2. Фрагмент плану будівлі (секції F)

Несучі колони розміщено по цифровим осям 65, 69, 73, 77 і літерним осям. Несучі балки покриття розміщено по літерним осям. Просторова жорсткість конструкцій будівлі забезпечується сумісною роботою сталевих колон, конструкцій покриття (балок, прогонів, в'язів), вертикальних в'язів між колонами в осях Д-Е, а також конструкцій вбудованого об'єму в осях 74-76/А-Б.

Складування матеріалів виконується на підлозі. Переміщення матеріалів в межах складського об'єму виконується транспортними засобами, які переміщуються по підлозі. Підвісний транспорт в будівлі відсутній.

Обстеження конструкцій було виконано після звільнення орендарями приміщень, які розташовано в секції F. Необхідність у проведенні робіт викликана тією обставиною, що в процесі експлуатації при переміщенні грузу транспортом, що переміщується по підлозі, виникли пошкодження колон у вигляді погнутості полиць або вм'ятин в полицях (таблиця В.1 [6], група 6, номер в середині групи 2).

Перерізи колон являють собою зварний двотавр (полиці: сталевий лист 420x10 мм; стінка: сталевий лист 390x10 мм). Згідно таблиці В.1 [6] (група 6, номер в середині групи 2) для конструкції, технічний стан якої є роботоспроможним, величина погнутості (вм'ятини) стиснутої полиці не повинна перевищувати $f \leq 0,6 \cdot t = 0,6$ см (6 мм). Для колони K1 величина погнутості приблизно становила 10 мм, для колони K2 величина вм'ятини – 13 мм, для колони K3 – 10 мм.

Схему розміщення обстежуваних колон K1, K2, K3 наведено на рис. 2. Вигляд пошкоджень в опорних частинах конструкцій наведено на рис. 3.

Рис. 3. Загальний вигляд опорної частини колон К1, К2, К3 (рис. 2):

а) вигляд опорної частини колони К1;

б) вигляд опорної частини колони К2;

в) вигляд опорної частини колони К3

Було виконано розрахунки колон. Результати розрахунків дозволили встановити, що колони К1, К2, К3, в нижній частині яких є погнутості та вм'ятини в полицях, мають суттєвий запас міцності.

Згідно п. 6.5.10 [6] пошкодження колон відносяться до категорії Б_д, тобто це такі пошкодження, які не становлять в момент виявлення безпосередньої небезпеки для конструкцій, але в подальшому можуть викликати пошкодження інших елементів (вузлів, з'єднань) і при розвитку перейти до категорії А_д, тобто при подальшій експлуатації можливі, на додаток до існуючих, аналогічні пошкодження внаслідок ударів транспортом, що пересувається підлогою. До категорії А_д належать пошкодження особливо відповідальних елементів і з'єднань, які становлять безпосередню небезпеку для руйнування (пункт 2.9 [3]).

Технічний стан обстежуваних колон можна вважати непридатним до нормальної експлуатації, враховуючи, що за результатами розрахунку колони мають суттєвий запас міцності, але мають пошкодження, величини яких дещо перевищують нормативні обмеження (п. 5.3 [6]).

На підставі оцінки технічного стану та з метою недопущення появи аналогічних пошкоджень і переходу наявних пошкоджень до категорії А_д (п. 6.5.10 [6]) рекомендується виконати наступне:

- виправити полиці двотаврового перерізу колон в місцях порушень за допомогою гідравлічних домкратів або аналогічних систем;

- з метою унеможливлення появи при подальшій експлуатації аналогічних пошкоджень цих та інших колон виконати заходи щодо захисту нижньої частини всіх колон будівлі додатковими елементами, наприклад, шляхом замурування важким бетоном класу за міцністю не нижче за С20/25 простору між полицями двотаврів в нижній частині колон (на висоту до 0,5 м, де можлива поява таких пошкоджень) або встановленням додаткових демпфуючих елементів.

Слід очікувати, що несуча здатність сталевих колон після вирівнювання не зміниться, враховуючи результати експериментальних досліджень. За розробленими рекомендаціями було виконано вирівнювання полиць колон за допомогою гідравлічних домкратів.

Висновки. В ході проведених випробувань зроблено такі висновки.

1. Розроблено методику досліджень несучої здатності сталевих двотаврових елементів після навантаження, розвантаження, подальшого вирівнювання і вторинного навантаження. В якості експериментальних використано зразки з різними видами регулювання залишкового

напруженого стану, які були випробувані на первинний стиск. Після випробувань експериментальні зразки було вирівняно під пресом або шляхом наплавлення холостих валиків по опуклих кромках. Такі способи вирівнювання дозволили отримати зразки для вторинних випробувань на стиск з незначними вигинами.

2. Приведені результати експериментального визначення несучої здатності зразків після розвантаження і вирівнювання. Результати випробувань показали, що несуча здатність для більшості зразків після вирівнювання виявилася не нижчою, ніж несуча здатність при початкових випробуваннях. Причому зразки, вирівнювання яких робилося під пресом, як і очікувалося, показали більшу несучу здатність ніж зразки, які вирівнювалися шляхом наплавлення холостих валиків.

3. Певною мірою результати експериментальних досліджень були використані при обґрунтуванні можливості подальшої експлуатації сталевих колон секції F в осях 72-74/А-Б складського комплексу «Логістичний парк» ТОВ «Термінал Бровари» за адресою Об'їзна дорога, 62 в м. Бровари Київської обл. Колони мали в нижній частині яких є погнутості та вм'ятини в полицях. За результатами проведених досліджень було рекомендовано виконати виправлення полиць колон. Слід очікувати, що несуча здатність сталевих колон після вирівнювання не зміниться, враховуючи результати експериментальних досліджень.

Література

1. Голоднов, А. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках, Киев: Сталь, 2008. 150 с.

2. Скребцов С. Результаты экспериментальных исследований устойчивости элементов из прокатных двутавров после регулирования остаточного напряженного состояния на части длины / С. Скребцов, А. Иванов, А. Голоднов. // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – 2010. – №56. – С. 494–499.

3. Голоднов А. Определение остаточных напряжений в стальных конструкциях после разгрузки и выравнивания / А. Голоднов, С. Скребцов, Б. Иванов. // Современные строительные конструкции из металла и древесины. – 2013. – №17. – С. 95–102.

4. Голоднов А. И. Остаточные напряжения в стальных двутавровых элементах после разгрузки и выравнивания / А. И. Голоднов, Б. В. Иванов // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. - 2016. - Вип. 17. - С. 95-102.

5. Голоднов А. И. Несущая способность стальных двутавровых элементов после разгрузки и выравнивания / А. И. Голоднов, Б. В. Иванов. // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – 2016. – №19. – С. 32–42.

6. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються: ДСТУ Б В.2.6-210: 2016. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіон України, 2016. – 53 с. – (Національний стандарт України).

References

[1] A. Golodnov, Regulirovanie ostatochny'kh napryazhenij v svarny'kh dvutavrov'y'kh kolonnakh i balkakh, Kiev, Stal, 2008.

[2] S. Skrebczov A. Ivanov, A. Golodnov, Rezul'taty' e'ksperimental'ny'kh issledovanij ustojchivosti e'lementov iz prokatny'kh dvutavrov posle regulirovaniya ostatochnogo napryazhennogo sostoyaniya na chasti dliny', Zbi'rnik naukovikh prac' Ukrayins'kogo i'nstitutu stalevikh konstrukci'j i'meni' V.M. Shimanovs'kogo, vol. 56, pp. 494–499, 2010.

[3] A. Golodnov, S. Skrebczov, B. Ivanov, Opredelenie ostatochny'kh napryazhenij v stal'ny'kh konstrukciyakh posle razgruzki i vy'ravnivaniya, Sovremenny'e stroitel'ny'e konstrukcii iz metalla i drevesiny', vol. 17. pp. 95–102, 2013.

[4] A. I. Golodnov, B. V. Ivanov, Ostatochny'e napryazheniya v stal'ny'kh dvutavrovyy'kh elementakh posle razgruzki i vy'ravnivaniya, Zbi'rnik naukovikh prac' Ukrayins'kogo i'nstitutu stalevikh konstrukci'j i'meni V. M. Shimanovs'kogo, Vol. 17, pp. 95-102, 2016.

[5] A. I. Golodnov, B. V. Ivanov, Nesushhaya sposobnost' stal'ny'kh dvutavrovyy'kh elementov posle razgruzki i vy'ravnivaniya, Zbi'rnik naukovikh prac' Ukrayins'kogo i'nstitutu stalevikh konstrukci'j i'meni V.M. Shimanovs'kogo, vol. 19, pp. 32–42, 2016.

[6] Oczinka tekhnichnogo stanu stalevikh budi'vel'nikh konstrukci'j, shho ekspluatuyut'sya: DSTU B V.2.6-210: 2016, K. : Mi'nregi'on Ukrayini, 2016.

ВЫРАВНИВАНИЕ СЖАТЫХ СТАЛЬНЫХ ДВУТАВРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОСЛЕ РАЗГРУЗКИ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Голоднов А.И., д.т.н., проф.,

ООО «Укринсталькон им. В.М. Шимановского», г. Киев, Украина,
golodnow@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9722-9164

Иванов Б.В., инженер

ООО «МегаСП», г. Киев, Украина.
ivanov@megabp.com; ORCID: 0000-0002-9203-2987

Аннотация. Выбор схемы усиления стальных стержневых конструкций считается многовариантным заданием. Современный уровень развития методов расчета и проектирования конструкций, многообразие возможных схем и приемов усиления позволяют разработать общий подход к задачам оптимизации усиления стальных конструкций.

Все это предусматривает расчет и проектирование усиления конструкций по определенной схеме с наперед заданными параметрами и при известных воздействиях. Подтверждением правомерности принятой схемы усиления или выравнивания конструкций могут быть только результаты экспериментальных исследований.

Изложена методика исследований несущей способности стальных двутавровых элементов после первичного нагружения, разгрузки, последующего выравнивания и вторичного нагружения. В качестве экспериментальных использованы образцы с различными видами регулирования остаточного напряженного состояния. После испытаний на первичное сжатие экспериментальные образцы были выровнены под прессом или путем наплавки холостых валиков по выпуклым кромкам.

Приведены результаты экспериментального определения несущей способности образцов после разгрузки и выравнивания. Результаты испытаний показали, что несущая способность для большинства образцов после выравнивания оказалась не ниже, чем несущая способность образцов, полученная при первичных испытаниях.

Результаты исследований использованы при обосновании возможности дальнейшей эксплуатации колонн складского здания. Необходимость в проведении работ вызвана тем обстоятельством, что в процессе эксплуатации при перемещении грузов транспортом по полу возникли повреждения отдельных колонн в виде погнутостей полок или вмятин в полках. Для трех колонн величины погнутостей превышали предельно допустимые величины.

По результатам расчетов установлено, что наиболее нагруженная колонна, в нижней части которой есть вмятина в полке, имеет существенный запас прочности.

Были разработаны рекомендации по обеспечению длительной и безопасной эксплуатации колонн. Для этой цели предложено выполнить выравнивание полок с помощью гидравлических домкратов. Усиление конструкций было выполнено в натуре.

Ключевые слова: сжатые элементы, первичное нагружение, разгрузка, выравнивание, вторичное нагружение, несущая способность.

FLATTENING OF COMPRESSION STEEL DOUBLE-T MEMBERS AFTER UNLOADING BY VARIOUS MEANS

Holodnov O., Doctor of Technical Sciences, prof.,
LLC “V. Shimanovsky Ukrainian Institute of Steel Construction”, Kyiv, Ukraine,
golodnow@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9722-9164

Ivanov B., engineer
MegaBP LLC, Kyiv, Ukraine.
ivanov@megabp.com; ORCID: 0000-0002-9203-2987

Abstract. Choice of arrangement for steel bar system reinforcing is considered a multivariate task. The current development level of methods for calculating and designing structures, the variety of possible arrangements and reinforcement methods allow to develop a general approach to problems concerning reinforcement optimizing of steel structures.

All this envisages calculation and design of structural reinforcement according to a certain arrangement with predetermined parameters and under known influences. Only experimental results are able to confirm validity of the adopted arrangement for strengthening or flattening of structures.

The methods for research of steel double-T members bearing resistance after primary loading, unloading, subsequent flattening and secondary loading are described. Samples of various types of residual stress state control were used as experimental ones. After primary compression testing, the experimental samples were flattened by press or by means of idler spindle beading along bulging edges.

The results of experimental determination of samples bearing resistance after unloading and flattening are presented. The test results displayed that the bearing resistance of the most samples after flattening was no lower than the samples bearing capacity obtained during initial tests.

The research results were used to justify possible further operation of the warehouse building columns. The need for work is caused by the fact that during operation, when moving goods on the floor, damage occurred to individual columns in form of bent flanges or dents in the flanges. For three columns, the curvature exceeded the maximum permissible values.

It was found according to the calculation results, that the most loaded column, with a dent in the flange in its lower part, had a significant margin of safety.

Guidance for ensuring the long and safe operating life of columns is developed. For this purpose, it was proposed to flatten the flanges by means of hydraulic jacks. Reinforcement of structures was executed on location.

Key words: compression members, primary loading, unloading, flattening, secondary loading, bearing resistance