

Проведена систематизація зсувних процесів охоплює більшість відомих класифікацій. Вона дозволяє визначити особливості зсувних процесів, які розвиваються чи можуть виникнути на схилі. Використання такої класифікації в подальшому значно полегшить проведення робіт по запобіганню появи нових чи стабілізації розвитку існуючих зсувних процесів.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Комплексна програма протизсувних заходів на 2005–2014 роки: Постанова Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004р. № 1256 –К., 2004.
2. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 312 с.
3. Великодний Ю.Й. Захист територій від зсувів. Навчальний посібник. – Полтава: «ТОВ Поліграфічний центр «Скайтек», 2006. – 116 с.
4. М.Л.Зоценко, Ю.Й.Великодний, С.В.Біда. Зсувонебезпечні території м. Полтави. // Бетон и железобетон в Украине. - № 1. 2001. – С.14-18.
5. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). Учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.
6. Гинзбург Л.К. Противооползневые сооружения: Монография. – Днепропетровск: ЧП «Лира ЛТД», 2007. – 188 с.
7. ДБН В.1.1-3-97. Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. Київ, 1998.
8. Біда С.В., Великодний Ю.Й., Ягольник А.М. Класифікація улоговин Полтавського лесового плато // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наук. праць. Випуск 18. – Рівне, 2009. – с 548-553.

УДК 624.014

ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В СТАЛЕВИХ ХОЛОДНО-ГНУТИХ ШВЕЛЕРАХ

*д.т.н. Білик С.І., к.т.н. Білик А.С.,
інж. Усенко М.В., інж. Куземко В.В., інж. Нужний В.В.*

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Врахування залишкових напружень в прокатних і холодно-гнутих швелерах важлива науково-технічна проблема [1-3]. Актуальність вирішення задач з виявленням впливу залишкових напружень на несучу спроможність елементів конструкцій в обумовлена необхідністю встановлення ресурсу конструкцій при довготривалій експлуатації, а також їх впливом на розвиток пластичних деформацій при розрахунку на стійкість [3,4,5].

В ряді [2,6] важливих дослідженнях виявленні суттєвий вплив залишкових напружень від прокатування в симетричних двотаврових

прокатних балках. Але дослідження з розподілу залишкових напружень в прокатних і холодно-гнутих моносиметричних профілях швелерного типу потребують додаткової уваги.

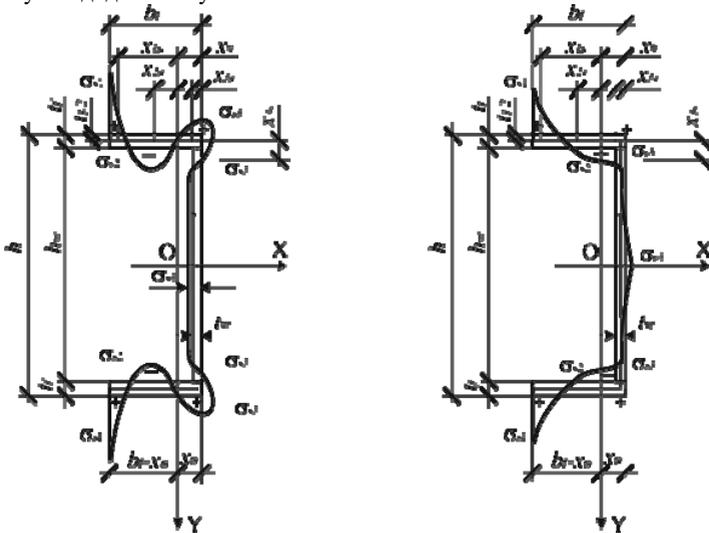


Рис. 1. Складний з варіанти розподілу залишкових напружень в гнутих швелерах.

Для врахування впливу залишкових напружень на міцність і стійкість холодно гнутих швелерів необхідно розробити і прийняти уніфіковані діаграми розподілу по перерізу елемента залишкових напружень. Складність задачі обумовлена тим, що епюра залишкових напружень у гнучому тонкостінному стержні буде залежати від його геометричних розмірів, і відповідно буде змінюватись для кожного профілю в якому змінилась ширина полиці, або висота стінки. Таким чином, важливим є розробка теоретичного підходу щодо загальних можливих форм епюри розподілу залишкових напружень в профілях несиметричного перерізу, і визначення відношення між максимальними розтягуючими і стискаючими нормальними напруженнями в перерізі.

Такий складний розподіл пов'язан з моно симетричністю профілю, і для урівноваження внутрішніх зусиль до різних профілів при виготовленні слід прикладати різні зусилля для формування перерізу. На рис.1 показано розподіл напружень в гнучому швелері, при якому розтягнута полиця, а стінка стиснута. Такий варіант найбільш впливає на стійкість стрижня. В інших варіантах більш складний розподіл в стінці швелера, але крайка полиці теж розтягнута. В обох представлених варіантах залишкових напружень значення напружень в стінці профілю по нейтральній осі OX незначні.

Враховуючи вище наведені дані запропонована уніфікована діаграма розподілу залишкових напружень в гнутих швелерах (рис.2).

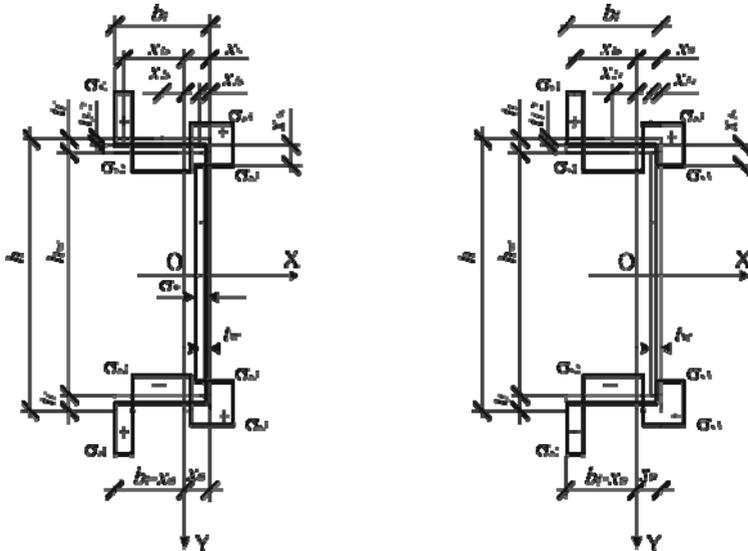


Рис. 2. Уніфікована епора розподілу залишкових напружень в гнутих швелерах.

Для визначення характеру розподілу залишкових напружень в швелері необхідно врахувати, що при умові відсутності викривлення профілю, залишкові напруження повинні бути урівноважені, як за нормальними напруженнями так і за згинальними моментами.

У відповідності із прийнятою уніфікованою епора розподілу залишкових напружень в гнутих швелерах та умовою урівноваження всіх внутрішніх зусиль та згинальних моментів складені рівняння рівноваги.

$$\sigma_{s1}A_{f1} - \sigma_{s2}A_{f2} + 2\sigma_{s3}A_{f3} - \sigma_{s4}A_{f4} = 0. \quad (1)$$

$$2\sigma_{s1}A_{f1}x_{1s} - 2\sigma_{s2}A_{f2}x_{2s} - 2\sigma_{s3}A_{f3}(x_0 - x_{3s}) + \sigma_{s4}A_{f4}x_0 - 2\sigma_{s3}A_{f3}x_0 = 0. \quad (2)$$

$$\sigma_{s3}A_{f3} \frac{(h - h_3)}{2} - \sigma_{s4} \left(\frac{h}{2} - h_3 \right) \left(\frac{h - 2h_3}{4} \right) t_w = 0. \quad (3)$$

$$A_{f1} + A_{f2} + A_{f3} = b_f t_f. \quad (4)$$

$$2A_{f3} + A_{f4} = h_w t_w. \quad (5)$$

Перше рівняння рівноваги (1) – це рівняння рівноваги внутрішніх залишкових зусиль. Друге рівняння рівноваги – це рівняння рівноваги внутрішніх згинальних моментів від залишкових зусиль відносно осі ОУ. Третє рівняння – це рівняння рівноваги внутрішніх згинальних моментів від залишкових зусиль відносно осі ОХ. Четверте і п'яте рівняння рівноваги – це умова єдності площі перерізу полиці. В рівняннях позначені (рис.) через

$\sigma_{s1}; A_{f1}$ – залишкові напруження від зусиль, які розтягують полицю з боку вільного кінця полиці і відповідна площа полиці, $\sigma_{s2}; A_{f2}$ – залишкові напруження від зусиль, які стискають полицю і відповідна площа полиці, $\sigma_{s3}; A_{f3}$ – симетричні залишкові напруження від зусиль, які розтягують полицю і відповідна площа полиці. В подальших дослідженнях прийнято, що в стінці швелера залишкові напруження незначні і постійні по висоті стінки σ_{s4} (не розглянуті швелера з високою стінкою). З рівнянь рівноваги (1,2,3) згинальних моментів від залишкових зусиль впливає відношення між розтягуючими і стискаючими напруженнями $\sigma_{s2}; \sigma_{s1}$.

Третє рівняння переходить у ідношення між залишковими напруженнями в полиці.

$$\sigma_{s4} = \sigma_{s3} \frac{4h_3(h - h_3)}{(h - 2h_3)^2} \quad (6)$$

Тоді перше рівняння переходить до відношення залишкових напружень в полиці.

$$2\sigma_{s3}A_{f3} = \frac{-\sigma_{s1}A_{f1} + \sigma_{s2}A_{f2}}{\left[1 - \frac{4h_3(h - h_3)A_{f4}}{2(h - 2h_3)^2A_{f3}}\right]} \quad (7)$$

Підстановка отриманої рекурентної формули (7) у рівняння рівноваги (2) дає відношення напружень на краю полиці в залежності від по згину профілю σ_{s2} .

$$2\sigma_{s1}A_{f1}x_{s1} - 2\sigma_{s2}A_{f2}x_{s2} - 2(-\sigma_{s1}A_{f1} + \sigma_{s2}A_{f2}) \frac{[(2x_0 - x_{s3})(h - 2h_3)^2A_{f3} - 2h_3(h - h_3)A_{f4}x_0]}{2[(h - 2h_3)^2A_{f3} - 2h_3(h - h_3)A_{f4}]} = 0$$

$$k_{fw} = \frac{\left[\left(2 - \frac{x_{3s}}{x_0} \right) - \frac{2h_3}{h} \frac{k_{f4}}{k_{f3}} \frac{h}{b_f} \frac{(1 - h_3/h)}{(1 - 2h_3/h)^2} \right]}{2 \left[1 - \frac{2h_3}{h} \frac{k_{f4}}{k_{f3}} \frac{h}{b_f} \frac{(1 - h_3/h)}{(1 - 2h_3/h)^2} \right]} \quad (8)$$

$$\sigma_{s1}A_{f1}x_{1s} - \sigma_{s2}A_{f2}x_{2s} - (-\sigma_{s1}A_{f1} + \sigma_{s2}A_{f2})k_{fw}x_0 = 0$$

$$\sigma_{s2} = \sigma_{s1} \frac{A_{f1}(x_{1s} + k_{fv}x_0)}{A_{f2}(x_{2s} + k_{fv}x_0)}. \quad (9)$$

Заміна у формулу (7) через (9) приводить до відношення між напруженнями σ_{s1} і σ_{s3} при відомих величинах площ розподілу стискаючих і розтягуючи залишкових напружень в стінці і в полиці.

$$\frac{\sigma_{s3}}{\sigma_{s1}} = \frac{A_{f1}}{2A_{f3}} \frac{-x_{2s} + x_{1s}}{(x_{2s} + k_{fv}x_0) \left[1 - \frac{4h_3(h - h_3)}{2(h - 2h_3)^2} \frac{A_{f4}}{A_{f3}} \right]}. \quad (10)$$

Для переходу в формулах (7,9) і (10) до відносних величин введені коефіцієнти пропорціональності розмірів площ, в яких діють стискаючі і розтягуючи зусилля ($k_{f1} = A_{f1}/A_f$, $k_{f2} = A_{f2}/A_f$, $k_{f3} = A_{f3}/A_f$ по відношенню до розмірів полиці (площі полиці $A_f = b_f t_f$).

$$A_{f1} = k_{f1} b_f t_f; A_{f3} = k_{f3} b_f t_f. \quad (11)$$

Відповідно $A_{f2} = b_f t_f - A_{f1} - A_{f3}$;

$$A_{f2} = b_f t_f - k_{f1} b_f t_f - k_{f3} b_f t_f.$$

Приведення стиснутої частини полиці до ширини полиці дає:

$$A_{f2} = b_f t_f (1 - k_{f1} - k_{f3}), k_{f2} = (1 - k_{f1} - k_{f3}), A_{f2} = k_{f2} b_f t_f. \quad (12)$$

Для подальших досліджень також введені відношення відстані від зовнішньої грані стінки до центру ваги перерізу швелера, яке приймається за сортаментом:

$$x_0 = k_{f0} b_f. \quad (13)$$

Отримані відношення приводять до визначення координат центрів стиснутих і розтягнутих зон.

$$\frac{x_{1s}}{b_f} = 1 - k_{f0} - \frac{k_{f1}}{2}. \quad (14.a)$$

$$\frac{x_{s2}}{b_f} = 1 - k_{f1} - \frac{k_{f2}}{2} - k_{f0}. \quad (14.б)$$

$$x_{s3} = x_0 - \frac{k_{f3} b_f}{2} = b_f \left(k_{f0} - \frac{k_{f3}}{2} \right). \quad (14.в)$$

Об'єднання відношень між залишковими напруженнями (7,9,10) і отриманими рекурентними формулами геометричних розмірів зон дії

залишкових зусиль (12...14) приводить до такої системи рівнянь при врахуванні (8).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{s2}}{\sigma_{s1}} = \frac{k_{f1} \left(1 - k_{f0} - \frac{k_{f1}}{2} + k_{fw} k_{f0} \right)}{k_{f2} \left(1 - k_{f1} - \frac{k_{f2}}{2} - k_{f0} + k_{fw} k_{f0} \right)}; \\ \frac{\sigma_{s3}}{\sigma_{s1}} = \frac{k_{f1} \left(-\frac{k_{f2}}{2} - 2k_{f0} - \frac{3k_{f1}}{2} \right)}{2k_{f3} \left(1 - k_{f1} - \frac{k_{f2}}{2} - k_{f0} + k_{fw} k_{f0} \right)} \left[1 - \frac{2h_3(1-h_3/h) k_{f4} h}{h(1-2h_3/h)^2 k_{f3} b_f} \right]; \\ \frac{\sigma_{s4}}{\sigma_{s3}} = \frac{4h_3(1-h_3/h)}{h(1-2h_3/h)^2}; \end{array} \right. \quad (15)$$

Проведені числові дослідження відношень (15) залишкових напружень за уніфікованою спорою залишкових напружень (рис 2).

Результати досліджень за (15) показали, що розтягуючі зусилля завжди будуть мати більші значення за стискаючі зусилля при $k_{f1} < k_{f0}$, а при

значенні $k_{f1} = k_{f0}$, за прийнятими умовами фактично напруження стискаючі і розтягуючі вирівнюються. З іншого боку розтягуючі зусилля в місця згину профілю (обушок) достатньо високі і по значенню в залежності від геометричних розмірів профілю можуть перевищувати розтягуючі зусилля на крайці пера полиці. Результати статті відкрили можливість проаналізувати експериментальні дослідження залишкових напружень в холодногнутих швелерах, а також оцінити їх вплив на напружено-деформований стан.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавриненко Л.І., Белов І.Д., Володимирський В.О., Металеві конструкції. Загальний курс. – К.:Видавництво «Сталь»,2010.-869 с.
2. Голоднов А.И. К вопросу учета остаточных напряжений в сечениях сжатых двутавровых стержнем при их расчетах. // Автоматическая сварка. – 2001, № 5. – С. 8-10.
3. Білик С.І., Усенко М.В., Про стійкість центрально-стиснутого гнутого швеллера з урахуванням розвитку пластичних деформацій. //

- Зб. наук. пр. Вип. 21. – Рівне. МОН України, НУВГП, 2011. – С. 136–143.
4. Білик С.І. Білик А.С., Усенко М.В., Апроксимація діаграми розтягу сталі степеневою функцією. // Современные строительные конструкции из металла и древесины// Сборник научных трудов №15, часть3.-Одеса. МОН України, ОДАБУ,2011.-С.3-9.
 5. Wei-Wen Yu, Ph.D., P.E. Cold-formed steel design. by John Wiley & Sons, Inc. New York, 2000-750 p.
 6. Голоднов А.И., Полишко С.Н. Экспериментальные исследования внецентренно-сжатых сварных двутавровых образцов-колонн. // Вісник Придніпр. держ. академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2004, № 1. – С. 43-50.

УДК 669.017.16:639.2:620.18

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 110Г13

*Д. т. н., проф. В.И. Большаков, д. ф-м. н., проф. Г.М. Воробьев,
к. ф-м. н., доц. Л.С. Кривуша, асс. Н.А. Ротт
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

Постановка проблемы в общем виде. В литературе имеется достаточно много информации о положительном влиянии механической вибрации на свойства металлических отливок [1–8]. Особенно это относится к отливкам из легких сплавов на основе алюминия. Причем положительное влияние вибрации отмечается как на алюминиевых сплавах, так и на достаточно чистом алюминии. При такой обработке наблюдается уменьшение газонасыщенности, измельчение зерна, снижение пористости и связанное с этим повышение механических свойств [1–8]. Имеются данные об усилении измельчения зерна при непосредственном подведении механической вибрации к жидкому металлу, залитому в литейную форму, в течение всего периода кристаллизации. Однако, в промышленности эти методы пока не получили широкого применения.

Анализ последних исследований. Отливки из стали 110Г13 находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Из них изготавливают зубья и ковши экскаваторов, щеки и конуса камнедробилок и рудодробилок, ножи толкающих устройств бульдозеров и т. д. Согласно литературным данным измельчение зерна в отливках из стали 110Г13 одновременно повышает и прочностные и пластические свойства этого материала. В работе [9] для вибрационного улучшения качества металлических отливок предложено использовать малогабаритные вибраторы, в то время как общепринятым считается целесообразность наращивания мощности вибрации для усиления эффекта обламывания