

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ВИСОТИ СТІНКИ КРУГЛИХ АРОК ЗІ ЗВАРНИХ ДВОТАВРІВ

Шпинда В.З., аспірант
Київський Національний університет будівництва і архітектури,
forcaerus@gmail.com

Анотація. Представлені дослідження методики пошуку раціонального перерізу, з точки зору витрат сталі, круглих арок зі зварних двотаврів. Наведена методика пошуку мінімального за витратами сталі двотаврового перерізу для стиснуто-зігнутих елементів та отримана формула визначення раціональної висоти стінки. Проведено загальні уточнення методики компоновання та перевірки двотаврового перерізу на дію нерівномірного розподілу напружень для криволінійних елементів згідно існуючих методик. Визначені перспективи подальших досліджень, зокрема в напрямку розробки аркових елементів змінної жорсткості зі зварних двотаврів, а також досліджень напружено-деформованого стану для різних варіантів формоутворюючої кривої арки.

Ключові слова: круглі арки, раціональний переріз, зварний двотавр, висота стінки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ СТЕНКИ КРУГЛЫХ АРОК ИЗ СВАРНЫХ ДВУТАВРОВ

Шпында В.З., аспирант
Киевский Национальный университет строительства и архитектуры,
forcaerus@gmail.com

Аннотация. Представлены исследования методики поиска рационального сечения, с точки зрения затрат стали, круглых арок из сварных двутавров. Приведена методика поиска минимального по затратам стали двутаврового сечения для сжато-изгибаемых элементов и получена формула определения рациональной высоты стенки. Проведено общее уточнение методики компоновки и проверки двутаврового сечения на действие неравномерного распределения напряжений для криволинейных элементов согласно существующих методик. Определены перспективы дальнейших исследований, в частности в направлении разработки арочных элементов переменной жесткости из сварных двутавров, а также исследований напряженно-деформированного состояния для различных вариантов формообразующей кривой арки.

Ключевые слова: круглые арки, рациональное сечение, сварной двутавр, высота стенки.

DETERMINATION OF RATIONAL HEIGHT OF THE WEB OF ROUND ARCHES OF WELDED I-SECTION

Shpynda V.Z., post-graduate student
Kyiv National University of Construction and Architecture,
forcaerus@gmail.com

Abstract. Purpose. Efficient use of materials in construction sector is one of the primary problems of the modern economy. One of the ways of decrease of material expenditure in construction sector is the use of rational steel frames of buildings through the development of new

engineering solutions of efficient steel structures. A search of a rational section is the main part of the problem of developing effective steel constructions. Metal structures with welded I-sections have long proved effective. Due to the concentration of material in the height of the flange and thin web section, I-section actually duplicates the shape of normal stresses arising in the elements working in the bend. However, the distribution of normal stresses in the curved compressed-bent element has its own characteristics caused by the variety of options of formative function of the curve arch, lifting height and boundary conditions of fixing supports. Therefore, method of searching the height of a rational I-section for arch structures is the task that needs further research. *Aims and objectives.* The main aim of the research is to determine the formula for rational, in terms of steel expenditure, height of the web of I-section for compressed-bent elements and refinement of the methods of effective layout of I-section round arches. *Methods.* The object of the research is the arched design of welded I-section, described of the function of circle. The method of research is mathematical modeling of I-section arch elements for the development of rational methods finding the height of their section. *Results.* The layout of the compound I-section of arch is to establish a construction with minimum steel expenditure, which must comply with all provisions of the design standards in terms of the requirements of the first and second groups of boundary conditions. *Conclusions.* These researches make it possible to create a method of finding rational I-section for different variants of geometrical and static parameters of arch structures. Moreover, prospects for further research were determined, in particular, the development of arch elements with variable stiffness welded I-section profile and research of the stress-strain state for various variants of a formative curve of arches.

Keywords: round arches, rational I cross-section, the height of the web.

Вступ та постановка проблеми. Ефективне використання матеріалів, в такій ресурсоемній галузі як будівництво, є однією з першочергових проблем сучасної економіки. Одним із напрямків зменшення матеріалоемності будівництва є раціональне використання сталі в каркасах будівель та споруд за рахунок розроблення нових інженерних рішень ефективних сталевих конструкцій. Пошук раціонального, з точки зору витрат сталі, перерізу є основною складовою задачі розроблення ефективних сталевих конструкцій. Металеві конструкції зі зварних двотаврів давно довели свою ефективність. Завдяки зосередженню матеріалу в полицях і розвитку висоти перерізу тонкою стінкою, двотавровий переріз фактично дублює форму нормальних напружень, які виникають у елементах що працюють на згин. Але розподіл нормальних напружень в криволінійних стиснуто-зігнутих елементах має свої особливості спричинені різноманіттям варіантів функцій формоутворюючої кривої арки, висоти підйому її стріли, а також граничних умов закріплення опор. Саме тому методика пошуку висоти раціонального двотаврового перерізу для аркових конструкцій є задачею яка потребує подальших досліджень.

Аналіз останніх досліджень. На даний час існує велика кількість досліджень та робіт в напрямку пошуку оптимального двотаврового перерізу для різних видів конструкцій [1 – 3], починаючи від балок, закінчуючи стрижневими просторовими конструкціями.

Згідно досліджень наведених в [4 – 8] для елементів що працюють на згин, найбільш раціональним, з точки витрат сталі, буде переріз у якого площа стінки та полицок однакові. При цьому існує обернена залежність між висотою стінки та площею перерізу двотавра. Тобто в даному випадку необхідно враховувати фактор максимального, допустимого нормами проектування [8], значення гнучкості стінки.

З іншої сторони, в елементах поперечників каркасів арок діють зусилля згинальних моментів та поздовжніх стискаючих сил, однак вирішальним фактором впливу на величину нормальних напружень в перерізі є зусилля згинальних моментів. Тому задача пошуку раціональної висоти стінки зварних двотаврів зводиться до розвитку існуючих методик компонування раціональних перерізів згинальних елементів з врахуванням додаткових факторів, а саме впливу поздовжньої сили та нерівномірного розподілу нормальних напружень по площі перерізу.

Пропонується розглянути компоновання раціонального двотаврового перерізу на прикладі арок, дуга яких описана функцією кола.

Цілі і завдання. Основною ціллю досліджень є отримання формули для визначення раціональної, з точки зору витрат сталі, висоти стінки для двотаврових стиснуто-зігнутих елементів, та уточнення методики компоновання ефективного двотаврового перерізу круглих арок.

Об'єкти і методи дослідження. Об'єктом досліджень є суцільностінчаті аркові конструкції зі зварних двотаврів, описані функцією кола. Методом досліджень є математичне моделювання роботи двотаврових аркових елементів з метою розвитку методики пошуку раціональної висоти їх перерізу.

Результати досліджень. Компоновання складеного двотаврового перерізу арок полягає у формуванні мінімальної за витратами сталі конструкції, яка повинна відповідати усім положення норм проектування [9] та [10] з точки зору забезпечення вимог першої та другої груп граничних станів.

Для пошуку раціональної висоти перерізу застосовано методику описану в [4], а саме: пошук висоти перерізу через функцію залежності висоти стінки від загальної маси. Оскільки арка є криволінійним стиснуто-зігнутим елементом необхідно ввести коригування на вплив поздовжніх зусиль. Умова міцності стиснуто-зігнутих елементів згідно норм проектування [8]:

$$\frac{N \cdot \gamma_n}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_x \cdot \gamma_n}{I_{xn} \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_y \cdot \gamma_n}{I_{yn} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1. \quad (1)$$

Перепишемо дану нерівність з наступними припущеннями:

- вплив згинальних моментів з площини перерізу є мінімальним, та сприймається системою горизонтальних в'язей;
- зусилля згинального моменту що діє в площині сприймають полицки двотавра;
- висота перерізу двотавра (h), висота стінки та відстань між нейтральними осями полиць є однаковими, що можливо внаслідок малої товщини полиць (відносно загальної висоти двотавра) [4].

Умова міцності набуває вигляду:

$$\frac{N \cdot \gamma_n}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{2 \cdot M_x \cdot \gamma_n}{(A_n \cdot h - t_w \cdot h^2) \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1. \quad (2)$$

Далі проведено вираження з даної формули площі перерізу (A_n):

$$A_n = \frac{(4 \cdot M_x^2 + 4 \cdot M_x \cdot N \cdot h + 4 \cdot M_x \cdot R_y \cdot h^2 \cdot t_w + N_x^2 \cdot h^2 -}{2 \cdot R_y \cdot h} \quad (3)$$

$$\frac{-2 \cdot N_x \cdot R_y \cdot h^3 \cdot t_w + R_y^2 \cdot h^4 \cdot t_w^2)^{\frac{1}{2}}}{2 \cdot R_y \cdot h} + \frac{h \cdot t_w}{2} + \frac{M_x}{R_y} + \frac{N_x \cdot h}{2 \cdot R_y}$$

Після цього знайдемо першу похідну по висоті від функції загальної площі перерізу з наступним прирівнюванням її до нуля:

$$\frac{dA_n}{dh} = 0. \quad (4)$$

З умови (4) знайдемо величину (h):

$$h = \frac{N + \sqrt{N^2 + 32 \cdot M_x \cdot R_y \cdot t_w}}{4 \cdot R_y \cdot t_w}. \quad (5)$$

Товщину стінки (t_w) приймають згідно вимог [9] залежно від гнучкості стінки. Для визначення гнучкості стінки у першому наближенні, висота перерізу може бути прийнята в межах (1/50...1/80) від довжини прольоту арки [11]. Значення товщини та ширини полицки також визначаються згідно вимог [1].

Отримана формула (5) є загальною формулою для визначення раціональної, з точки зору витрат сталі, висоти стінки двотаврового перерізу для стиснуто-зігнутих елементів у яких вплив згинальних моментів переважає над поздовжнім зусиллям стиску.

Однак при розрахунку криволінійних елементів слід враховувати факт нерівномірного розподілу напружень по площі перерізу, через зміщення нейтральної лінії відносно центру ваги двотаврового перерізу. Після визначення усіх геометричних параметрів перерізу в першому наближенні, згідно наведеної вище методики, необхідно провести додаткові уточнення по визначенню максимальних напружень в полицках двотаврового перерізу арки за загальною методикою [12]. На рис. 1 наведено схему перерозподілу нормальних напружень у круглих арках згідно згаданої вище роботи.

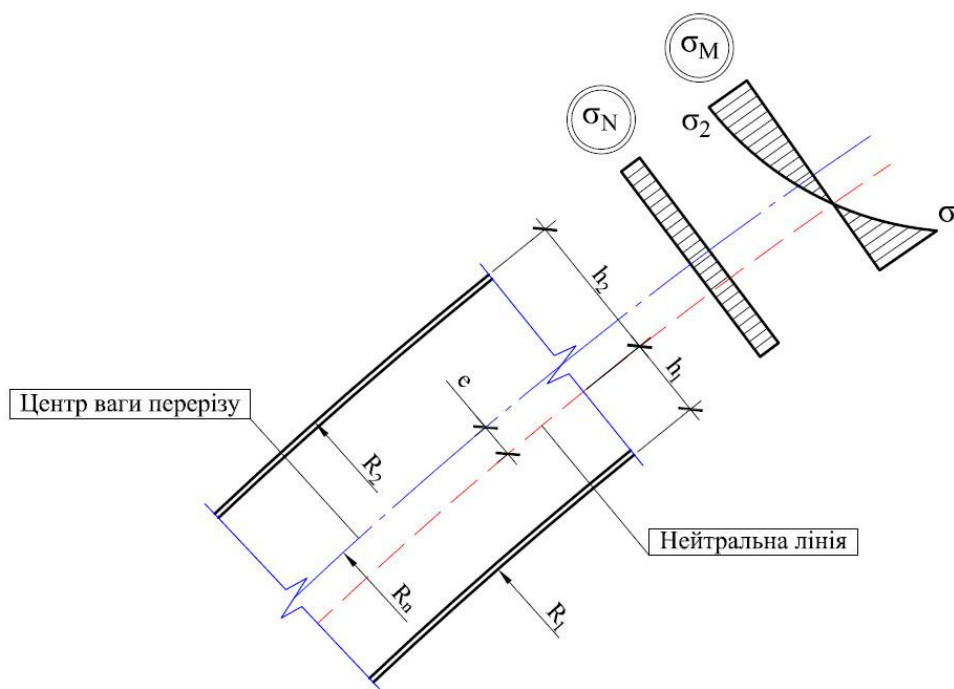


Рис. 1. Визначення максимальних напружень в двотавровому перерізі конструкцій з круглих арок

Уточнення методики шляхом врахування особливостей розподілу нормальних напружень від дії згинального моменту, через зміщення нейтральної осі в криволінійних елементах, проводиться за формулами які наведені у роботі [12]:

$$\sigma_n = \frac{M_x \cdot h_n}{A_n \cdot e \cdot R_k} \quad (6)$$

В даній формулі визначаються максимальні напруження з врахуванням зміщення нейтральної лінії відносно центра ваги двотаврового перерізу шляхом визначення ексцентриситету (e).

Після цього необхідно провести перевірку та уточнення площі полицок двотаврового перерізу арки по максимальному напруженню що виникає в перерізі (від дії згинальних моментів та поздовжньої сили). Геометричні параметри полиці мають прямо пропорційну залежність від відношення максимальних напружень до розрахункового опору сталі. При

сталому значенні товщини (t_f) формула для уточнення значення ширини полиці (b_f) буде мати наступний вигляд:

$$b_f = \frac{\sigma_{\max}}{R_y} \cdot \frac{A_f}{t_f}. \quad (7)$$

Висновки. Наведені вище дослідження дають можливість створити методику пошуку раціонального двотаврового перерізу для різних варіантів геометричних та фізико-механічних параметрів аркових конструкцій. Застосований підхід дозволяє отримати найбільш економічний, з точки зору витрат сталі, переріз аркових конструкцій, із раціональним розподілом матеріалу по його площі. Це відкриває перспективи в напрямку розробки аркових елементів змінної жорсткості зі зварних двотаврів, а також можливості подальших досліджень напружено-деформованого стану для різних варіантів формуючої кривої арки.

Література

1. Білик С.І. Оптимальні сталеві двотаврові балки зі змінною висотою стінки / С.І. Білик // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне, НУВГП, 2008. – Вип. 17. – С. 73–78.
2. Білик С.І. Формоутворення рам і арок з елементами змінного перерізу каркасів будівель універсального призначення / С.І. Білик // Науково–практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій / Зб. наук. статей / МНС України / КНУБА. – К., 2002. – Вип. 5. – С. 159–164.
3. Билык С. Исследование напряженно-деформированного состояния балок с переменной высотой стенке конструкций на примере пешеходного моста / С. Билык, В. Шпында // Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы» – Вильнюс, 2014. – № 17. – С. 153- 157.
4. Нілов О.О. Металеві конструкції. Загальний курс / О.О. Нілов, В.О. Пермяков, О.В. Шимановський, С.І. Білик, Л.І. Лавриненко, І.Д. Белов, В.О. Володимирський. – К.: видавництво «Сталь», 2010. – 869 с.
5. Пермяков В.А. Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций / В.А. Пермяков., А.В. Перельмутер, В.В. Юрченко. – К. : издательство «Сталь», 2008. – 538с.
6. Ватуля Г.Л. Вплив параметрів проектування на оптимальні конструкції тришарнірних арок / Г.Л. Ватуля, Є.Ф. Орел, С.В. Левчук, І.М. Андрущенко // Залізничні споруди та колійне господарство: Збірник наукових праць. – УкрДАТЗ, 2013. – Вип. 141. – С. 191-196.
7. Bogza V. Practical method of search of optimum form of arches of the facilitated construction / V. Bogza, S. Bogdanov. – Motrol, 2008. – 10В. – Р. 246-255.
8. Глітін О.Б. Оптимізація поперечної рами з елементами змінної жорсткості / О.Б. Глітін, В.О. Пермяков // Вісник: Будівельні конструкції, будівлі та споруди / Донбаська державна академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2003. – Вип. 2 (39). – Т. 2. – С. 159–164.
9. Державні будівельні норми. Сталеві конструкції. Норми проектування: ДБН В.2.6-198:2014 / Мінрегіон України. – Київ, 2014 – 199 с.
10. Національний стандарт України. Прогини і переміщення. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Вимоги проектування: ДСТУ Б.В.1.2–3:2006: 2006 / Мінрегіон України. – Київ, 2006. – 13 с.
11. Кузнецов В.В. Металлические конструкции. В 3т. Т.2. Стальные конструкции зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) / В.В. Кузнецов. – М.: издательство АСВ, 1998. – С. 259.
12. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квітка, В.Г. Попков, Е.С. Уманський – К.: видавництво «Вища школа», 1986. – С.457 - 468.