

ЧИСЛОВЕ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ОСЕСИМЕТРИЧНОЇ ЗАДАЧІ З'ЄДНАННЯ АРМАТУРНИХ СТЕРЖНІВ ОБТИСКНОЮ ВТУЛКОЮ

Сулим Г.Т.

Національний університет ім.Франка, Львів

Лучко Й.Й.

ДерждорНДІ

Кузь О.Н.

Національний університет ім.Франка, Львів

Проблема та її аналіз. Великогабаритні конструкції часто потребують укріплення чи армування за допомогою дуже довгих стержнів. Технологічно такі стержні виготовляються з окремих кусків арматури, та їхнє з'єднання є важливим виробничим завданням. Існуючий метод такого з'єднання за допомогою зварювання не є досконалим для високовуглецевої арматури, оскільки при накладанні і подальшому зварюванні втрачається частина поперечного перерізу арматури, тобто міцність з'єднання за недостатньо доброї зварюваності може бути значно заниженою.

Однією з найважливіших проблем є стикування арматури як для монолітного залізобетону, так і для довгомірних збірних залізобетонних конструкцій. Тут можна розглядати три способи з'єднання: внапуск (без зварювання), дугове зварювання або механічні з'єднання [1–19]. Треба зважити на те, що більшість великих аварій залізобетонних конструкцій у процесі їх будівництва відбулася саме через використання дугового зварювання гарячекатаної сталі класу А400 (А-III), переважно марки 35ГС при вмісті вуглецю і марганцю в ній на верхній межі за ГОСТ 5781. Тому використання з'єднання при монтажі для арматури класу А400 (А-III) термозміцнених та високовуглецевих арматурних стержнів не рекомендується.

Напуск завдовжки від 20 Ø до 40 Ø залежно від умов роботи арматури і кількості стиків в одному перерізі призводить до втрати від 3,5 до 27 % арматури при її діаметрах від 10 до 40 мм і довжині стержнів, що стикуються, 6,0 м. Ідея стикування високоміцних термомеханічно зміцнених арматурних стержнів механічним способом за допомогою обтискних втулок (обойм, гільз) виникла наприкінці 80-х років на заводах Дніпропетровська та Запоріжжя. На цих заводах назбиралось багато арматури нестандартної довжини, а її стикування за допомогою зварювання суттєво знижує міцність (до 40 %), що є дуже значними втратами. Ця проблема дуже актуальна і при армуванні довгомірних конструкцій (мостових, стояків ліній електропередач і ін.) як монолітних, так і збірних.

Різні аспекти цих досліджень описано та опубліковано у багатьох працях [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 18]. Зокрема розрахунок фізико-механічних, геометричних та силових параметрів, імовірності утворення дефектів у обоймі і арматурі на стику арматури і обойми розглянуто у працях [1, 2, 6], а дослідження арматурного прокату із серпоподібним профілем на витривалість та втомну міцність з'єднань арматурних стержнів діаметром 10, 12, 14, 16 мм та класів високоміцної арматури А_T-IV, А_T-V, А_T-VI, А_T-VII, А500С і А600С обтискною втулкою наведено у працях [2, 9, 13, 14]. На даний час розроблено методичні рекомендації зі з'єднання

арматурних стержнів обтискними втулками [16] та технічні умови з'єднання арматурних стержнів обтискними втулками [17] та стандарт організації України (СОУ) [19].

У даній роботі за допомогою числового моделювання обґрунтовується технологія іншого способу механічного з'єднання арматури за допомогою накладання на стержні пружної циліндричної обтискної втулки.

Формулювання задачі та її розв'язок. Нижче наведемо основні дані з'єднання арматурних стержнів обтискною втулкою, які покладено в основу цього методу з'єднання. На рис. 1 представлено розрахункову схему з'єднання.

Розглядається задача теорії пружності про обтискання за допомогою навантаження P співосних абсолютно жорстких циліндричних стержнів, що дотикаються торцем і охоплені пружною циліндричною втулкою, що займає тривимірну область V , обмежену поверхнею Σ (рис. 2). З математичного погляду вона полягає у розв'язуванні рівнянь рівноваги у втулці

$$(C_{ijkl}u_{k,l})_{,j} + X_i = 0. \quad (1)$$

при використанні мішаних крайових умов на її поверхні $\sum(\Sigma_u \cup \Sigma_\sigma = \Sigma)$:

$$u_i \Big|_{\Sigma_u} = u_i^0, \quad C_{ijkl}u_{k,l}n_j \Big|_{\Sigma_\sigma} = S_i^0. \quad (2)$$

Тут C_{ijkl} – компоненти тензора модулів пружності; u_i , X_i , S_i^0 , n_j – компоненти векторів переміщень, об'ємних та поверхневих сил, а також зовнішньої нормалі до поверхні Σ_σ відповідно; $u_{i,j} \equiv \partial u_i / \partial x_j$. За повторюваними індексами відбувається підсумовування від одиниці до трьох.

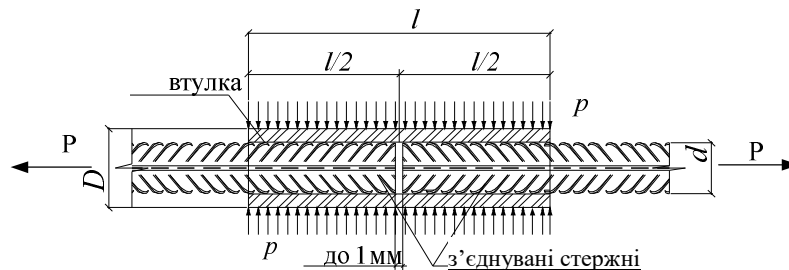


Рисунок 1 – Розрахункова схема з'єднання арматурних стержнів обтискною втулкою

У випадку ізотропного тіла компоненти тензора модулів пружності матимуть вигляд

$$C_{ijkl} = \alpha \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}),$$

де α, μ – параметри Ляме; δ_{ij} – компоненти одиничного тензора.

Для числового розв'язування задачі (1), (2) зручно використовувати її варіаційну постановку [20], яка полягає у мінімізації лагранжіана

$$L = \int_V W dV - \int_V X_i u_i dV - \int_{\Sigma_\sigma} S_i^0 u_i d\Sigma, \quad (3)$$

де $W = \frac{1}{2} C_{ijkl} u_{i,j} u_{k,l}$ – питома енергія пружної деформації.

Далі в (3) перейдемо до циліндричних координат z, r, φ :

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi, \quad z = z.$$

Враховуючі симетричність області V і зовнішніх сил \vec{X}, \vec{S}^0 відносно осі Oz , достатньо обмежитися аналізом відповідної прямокутної області (рис.2), в якій лагранжіан (3) набуде вигляду

$$L_0 = \int_{V_0} r W(\vec{v}) dV + \int_{V_0} r X_i v_i dV - \int_{\Sigma_0} r S_i^0 v_i d\Sigma; \quad W(\vec{v}) = \frac{1}{2} \tilde{C}^{ijkl} \nabla_j v_i \nabla_l v_k, \quad (4)$$

де V_0 – двовимірна область (Σ_0 – одновимірна її межа), отримана перерізом області V площиною, яка проходить через вісь Oz (рис.12). Тут $\vec{v}(v_1, v_2)$, $v_1 \equiv u_z(z, r)$, $v_2 \equiv u_r(z, r)$, $u_\varphi \equiv 0$; \tilde{C}^{ijkl} – компоненти тензора C в циліндричній системі координат; $\nabla_j v_i$ – коваріантні похідні компонентів вектора переміщень v_i за відповідною координатою.

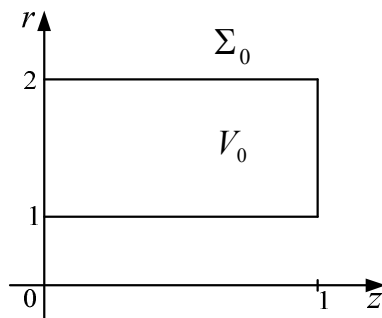


Рисунок 2 – Верхня половина області V_0

Застосовуючи детально описану в [21] процедуру варіаційно-різницевого методу для осесиметричних задач для кожного типу крайових умов на Σ_0 , отримаємо різницеву схему $A^h \vec{u}^h + \vec{F}^h = 0$, яка є системою лінійних алгебричних рівнянь. Цю систему розв'язуємо ітераційним методом [22].

Описаний метод реалізовано у вигляді пакету програм, які дають можливість враховувати різні крайові умови, параметри області та середовища.

Використовуючи наведений вище метод, розв'язано осесиметричну пружну задачу про механічний контакт арматури з обтискною втулкою. Всі розрахунки проводились у безрозмірних величинах. З огляду на це вважалося, що товщина втулки $d=1$, її модуль

пружності $E = 1$, а коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$. З огляду на ребристу поверхню арматури, контакт між втулкою та арматурою був неповним. Оскільки стержні арматури припускались абсолютно жорсткими, то при контакті ребер арматури (рис.3) із втулкою були відсутні радіальні переміщення u_r . Довжини ребер арматури дорівнювали відстані між ними.

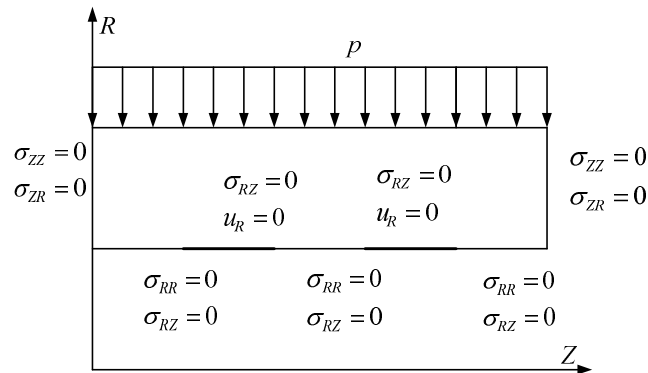
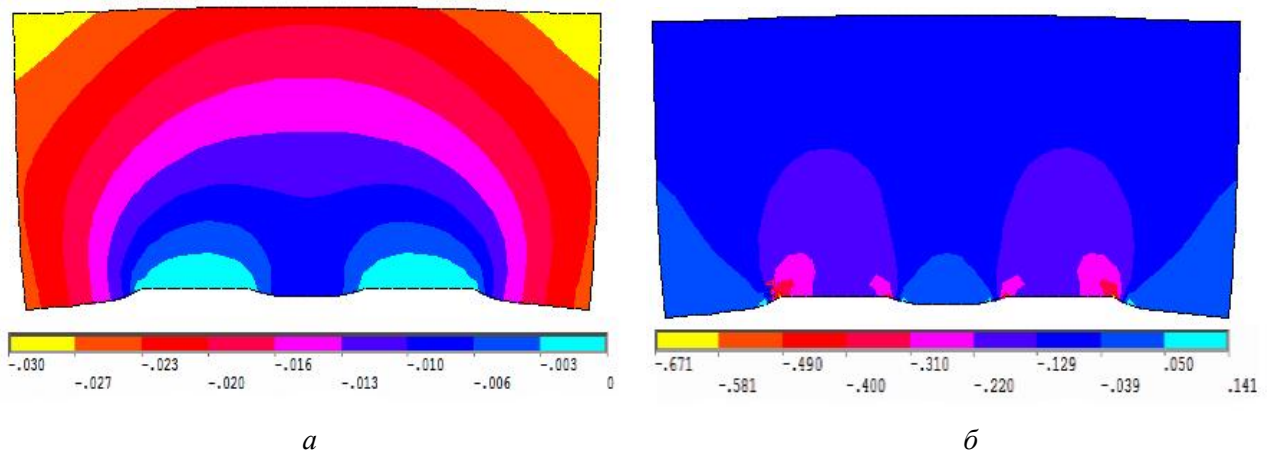


Рисунок 3 – Пружна обтискна втулка з вказаними крайовими умовами

Отримані значення радіальних переміщень u_r/d і напружень σ_{rr}/E при відповідному значенні стискувального навантаження P зображені на рис.4. На цьому рисунку також показано, як буде змінюватись внутрішня поверхня втулки.

Числовий аналіз засвідчив, що найбільші за абсолютною величиною нормальні радіальні напруження σ_{rr}/E виникають на краях ребер арматури. Радіальні переміщення u_r/d , навпаки, найбільші на краях пружної муфти.



а – переміщень u_r/d при заданому навантаженні $p = 1$;
б – напружень σ_{rr}/E при тому ж навантаженні.

Рисунок 4 – Діаграми

Висновки

Отже, числовий аналіз показав, що найбільші за абсолютною величиною нормальні радіальні напруження σ_{rr}/E виникають на краях ребер арматури. Радіальні переміщення u_r/d , навпаки, найбільші на краях пружної муфти.

Дана робота є лише першою частиною циклу праць, присвячених методу з'єднання металевих арматурних стрижнів за допомогою обтискової втулки. Предметом подальших досліджень є аналіз поведінки класичної втулки та пружних (а не абсолютно жорстких) стержнів під дією стискувальної або розтягувальної сили на торцях арматури.

Література

1. Звіт № держ. реєстр. 0197V003094 по темі: Розробка методів довготривалої міцності, корозійної стійкості пресованих з'єднань арматурних стержнів у залізобетонних конструкціях. Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ, 1996. – 145 с.
2. Лучко Й.Й. Методи оцінки несучої здатності і підвищення тріщиностійкості залізобетонних елементів конструкцій. – Львів: Слово і комерція, 1997. – 435 с.
3. Лучко Й.Й., Іваницький Я.Л., Кудигін М.Д., Беклемішев Ю.М. Методологічні аспекти з'єднання арматури обтиснутою втулкою.// II Міжнародний симпозіум «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій» – Львів, 1996. – Вип. 2. – С.347-349.
4. Лучко Й.Й. Міцність, тріщиностійкість та деформативність балок, армованих з'єднаною арматурою. /Зб. наук. пр. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Львів: Каменяр, 2000. – Вип. 4. – С. 371-378.
5. Лучко Й.Й. Міцність, тріщиностійкість та деформативність залізобетонних плит, армованих з'єднаною арматурою/Зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. Львів: Каменяр, 2001, – Вип.3. – С. 148-153.
6. Лучко Й.Й. Розрахунок фізико-механічних, геометричних та силових параметрів пластичного деформування товстостінних трубчатих з'єднань арматурних стержнів./ Зб.наук.пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій – Львів, Каменяр, 2002. – Вип. 4. – С. 112-122.
7. Лучко Й.Й., Іваницький Я.Л., Гвоздюк М.М. Оцінка працездатності втулкового з'єднання арматурних стержнів. // Зб. наукових праць Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. Львів: Каменяр, 2003. – Вип.5. – С. 137-142.
8. Ігнатишин М.І., Гвоздюк М.М. Сучасний стан проблеми з'єднання арматури періодичного профілю у залізобетонних конструкціях. / Зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. Львів: Каменяр, 2004. – Вип. 6. – С. 42 – 47.
9. Лучко Й.Й., Мельник І.В., Штаюра С.Т.. Дослідження арматурного прокату із серповидним профілем. / Зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. Львів: Каменяр, 2004. – Вип. 6. – С. 82-86.
10. Деклараційний патент на винахід. України № 63168А (УЩЧСБ/03) /Лучко Й.Й., Іваницький Я.Л., Штаюра С.Т., Ігнатишин М.І. «Спосіб з'єднання арматурних стержнів періодичного профілю та пристрій для його реалізації». Бюлетень № 1 від 15.01.2004.

11. Лучко Й.Й., Гембара В.В., Іваницький Я.Л. і ін. Методичні рекомендації з проектування та технології виготовлення залізобетонних конструкцій армованих стержнями, що з'єднані обтиснутими втулками. Львів: ФМУ ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2004. – 27 с.
12. Деклараційний патент на винахід України. № 10126 / Іваницький Я.Л., Гвоздюк М.М., Варський В.В., Лучко Й.Й. «Спосіб механічного з'єднання арматури.» Бюлетень № 11, від 15.11.2005 р.
13. Коваль П.М., Бабяк І.П. Дослідження витривалості зразків арматури класу А500С. / Зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. Львів: Каменярь, 2005. – Вип. 7. – С. 57-62.
14. Іваницький Я.Л., Варський В.В., Лучко Й.Й., Гвоздюк М.М., Вергун У.А. Втомна міцність з'єднань арматурних стержнів./ Зб. наук. пр. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Львів: Каменярь, 2005. – Вип. 6. – С. 334-338.
15. Іваницький Я.Л., Лучко Й.Й., Гвоздюк М.М., Вергун У.А. Спосіб з'єднання арматурних стержнів обтиснутих втулкою./ Зб. наук. пр. ст. Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин, 2006. – С. 435-439.
16. МР В.2.3-218-03534506-510:2006. Методичні рекомендації «З'єднання арматурних стержнів обтискними втулками». Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2006. – 18с.
17. ТУ У В.26.6-00018112-257:2006. З'єднання стержнів арматурних обтискними втулками.: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2006. –15с.
18. СОУ 45.2 – 10018112 – 016: 2007. З'єднання арматурних стержнів обтискними втулками / Лучко Й.Й., Пенцак А.Я., Стабравський О.О. Львів: ЛРНТУ Держдор НДІ, 2007. – 14 с.
19. Mechanical connection of reinforcing bars // ACI Structural Journal, V. 88, – № 2. – 1991.
20. Победря Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности. Москва: Изд-во Моск. ун-та. –1981.
21. Шешенин С.В., Кузь И.С. Применение вариационно-разностного метода к осесимметричным задачам теории упругости // Упругость и неупругость: Москва. – 1987. – С. 39-44.
22. Шешенин С.В., Кузь И.С. О прикладных интерационных методах // Вычислительная механика деформируемого твердого тела: Москва. – 1990. –Вип. 1. – С.63-75.