

З'ЄДНАННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ АРМАТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ МУФТ, ЩО ОБЖИМАЮТЬСЯ ВИБУХОМ

А.Г. Бризгалін, П.С. Шльонський, С.Д. Венцев, Є.Д. Пекар

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

З'єднання будівельної арматури є трудомістким відповідальним процесом. Дугові способи зварювання мало придатні у випадках використання термозміцненої будівельної арматури, або такої, що має захисний шар. Показано, що використання сталевих муфт, які обтискаються вибухом, дозволяє отримувати міцні та надійні з'єднання будівельної арматури різного призначення. Параметри муфти розраховуються за умови рівномірності зі сталлю арматури. Випробування на розрив виявили більш велику міцність муфтового з'єднання порівняно з міцністю арматури, за якою відбувався розрив, випробування на циклічну довговічність показали, що опір втомі муфтових з'єднань вищий ніж той, що вимагається нормативною документацією. Існує досвід використання вибухових речовин на великих будовах та працюючих промислових об'єктах. Бібліогр. 7, табл. 2, рис. 5.

Ключові слова: будівельна арматура, з'єднання арматури, муфта, опір втомі, міцність, обтискання вибухом

Вступ. Існуючі на сьогоднішній день способи з'єднання арматури при будівництві об'єктів із залізобетону [1, 2] мають ряд недоліків. Електродугове, ванне та контактне зварювання вимагають використання спеціального обладнання та потужних джерел живлення, що ускладнює проведення робіт у монтажних умовах; нагрівання до температури плавлення в місці з'єднання призводить до розміщення основного металу термозміцненої будівельної арматури (ТБА); вигорання елементів корозійностійкого захисного шару (якщо такий нанесений на арматуру). Обв'язка арматури сталевим дротом призводить до осового зміщення елементів арматури, що з'єднуються, не завжди забезпечує рівномірність з'єднання і основного металу, являє собою досить трудомісткий процес, особливо при з'єднанні арматури великого розміру. З'єднання арматури за допомогою муфт, які обтискаються гідравлічними пресами, вимагає використання дорогого імпортного обладнання, є трудомістким процесом з низькою продуктивністю.

Розробка високопродуктивних, економічних та ергономічних способів з'єднання ТБА, що забезпечують міцнісні властивості з'єднань на рівні основного металу, є на сьогодні актуальним завданням.

Одним з таких способів може бути з'єднання арматури муфтами, що обтискаються вибухом. Перевагами вибухового способу є відсутність розміщення основного металу та необхідності у використанні спеціального обладнання, незалежність від джерел енергопостачання, висока продуктивність.

Під дією тиску від вибуху муфта пластично обтискається і утворює з арматурою механічне з'єднання завдяки зачепленню металу муфти з попе-

речними виступами арматури. Міцність з'єднання при навантаженні, що розтягує, буде визначатися міцністю металу муфти і міцністю поперечних виступів арматури, що працюють на зминання. Розрахунок за цими показниками з урахуванням забезпечення рівномірності з'єднання та металу арматури дозволить визначити товщину та довжину муфти. Розрахунок на зріз поперечних виступів дає наперед меншу довжину муфти, ніж розрахунок на зминання. Усі необхідні дані для розрахунку наведено у ДСТУ 3760 [3].

Принципова схема з'єднання арматури муфтою, що обтискається вибухом, показана на рис. 1. Зовнішній вигляд з'єднання до та після вибуху показаний на рис. 2.

В якості вибухової речовини використовувався шнур, що детонує, марки ДШЕ-12 з погонною вагою ТЕН 12 г/м, зовнішній діаметр 6 мм, виготовляється промислово [4].

Як зазначалося вище, найбільші складнощі виникають при з'єднанні арматурних елементів великого діаметра. Тому для оцінки можливостей способу обтиснення вибухом в дослідженнях використовувалася арматура марки А600 ДСТУ

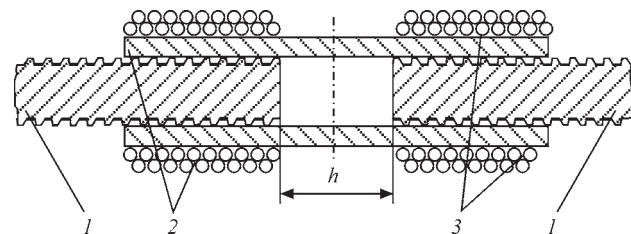


Рис. 1. Принципова схема з'єднання арматури муфтою, що обтискається вибухом: 1 – кінці арматури, що з'єднуються; 2 – муфта; 3 – заряд з детонуючого шнура, навитий на муфту; h – регульований зазор між кінцями арматури

Бризгалін А.Г. – <https://orcid.org/0000-0001-5886-3069>, Шльонський П.С. – <https://orcid.org/0000-0002-3566-1752>,

Пекар Є.Д. – <https://orcid.org/0000-0001-5025-4445>

© А.Г. Бризгалін, П.С. Шльонський, С.Д. Венцев, Є.Д. Пекар, 2022

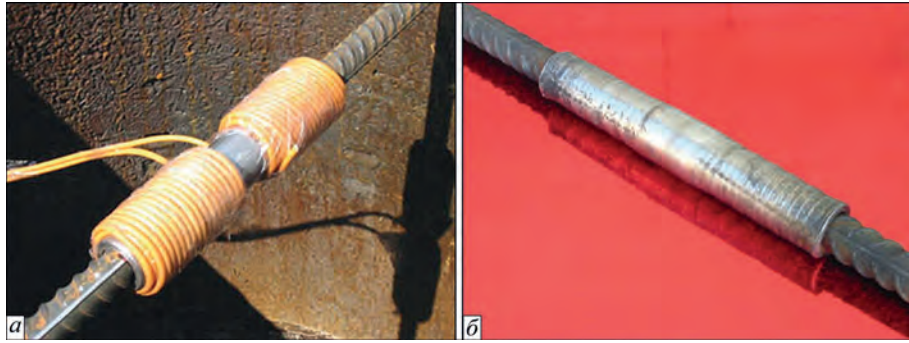


Рис. 2. Муфтове з'єднання арматури, підготовлене до обтиснення вибухом (а) та муфтове з'єднання після вибуху (б)

3760-98 [3], номінальний діаметр стрижня 25 мм, $\sigma_T = 600$ МПа, площа поперечного перерізу основного стрижня 491 мм², максимальний діаметр 28 мм, площа поперечного виступу біля основи 96 мм², середня погонна кількість поперечних виступів (з урахуванням дефектів виготовлення арматури у вигляді відсутності виступів) 114 шт./м.

Муфти (трубки) виготовлялися зі сталі 06Г2Б, $\sigma_T = 440$ МПа, зовнішній діаметр 44 мм, товщина стінки 6 мм, довжина 235 та 255 мм. Площа поперечного перерізу муфти вибиралася таким чином, щоб її міцність на розтягування була дещо більшою за міцність арматури, зусилля, при якому досягається межа плинності 315 та 300 кН, відповідно.

Виготовлено три зразки з'єднань арматури, обтискання муфт яких здійснювалося зарядами, що складаються з одного, двох та трьох шарів ДШЕ-12.

Одного шару виявилось недостатньо для надійного обтиснення муфти. Два та три шари утворили щільне з'єднання муфти з арматурою.

Додатково по два зразки було виготовлено з обтисканням муфти двома шарами шнура, що детонує, із зазором між кінцями арматури 20 та 40 мм, відповідно довжина муфти – 235 та 255 мм, довжини ділянок, які обтиснуті, зберігалися постійними.

При випробуваннях зразків на розтягнення руйнування відбувалося завжди по основному металу арматури (рис. 3).

Напружений стан металу муфти у зоні стику багато в чому визначається зазором між кінцями арматури. У зразках з нульовим зазором при розтя-

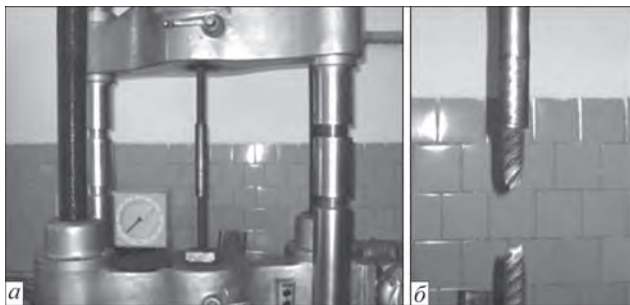


Рис. 3. Випробування з'єднання арматури на розрив: а – зразок перед випробуванням у руйнівальній машині; б – зразок після випробування

гуванні, яке створює осьові напруження близькі до межі плинності, у поперечному перерізі муфти, що проходить через стик кінців арматури, буде створено об'ємний напружений стан. Зусилля розриву в цьому випадку має збільшитись, а руйнування стінки муфти повинно мати крихкий характер. Зі збільшенням зазору головні напруги в кільцевому напрямку і по товщині зменшуватимуться, напружений стан буде наближатися до лінійного, загальна міцність металу муфти на розрив повинна зменшитися, характер руйнування буде більш в'язким.

Для перевірки впливу зазору на міцність з'єднання та характер руйнування було проведено серію експериментів на зразках з арматури з $d_H = 28$ мм класу А400С зі сталі 25Г2С. Метал муфт – сталь 20. Внутрішній діаметр муфт 32 мм, розрахунковий зовнішній діаметр муфт 43,5 мм. З метою руйнування з'єднання по металу муфти зовнішній діаметр прийнятий рівним 43 мм, товщина стінки муфт становила 5,5 мм.

Обтискання муфт здійснювалося за допомогою ДШЕ-12, що навивається на муфти у два шари. Зразки з зазором між кінцями арматури всередині муфти обтискалися лише з тієї частини муфти, яка була над арматурою. Результати випробувань наведено у табл. 1.

На рис. 4 наведено вигляд перерізу муфт після руйнування зразків з різним зазором. Слід зазначити, що руйнування зразків відбувалося при напруженнях, близьких до межі міцності арматури.

Додатково дві серії випробувань на міцність (по 2 зразки) було проведено на зразках, виго-

Таблиця 1. Результати випробувань з'єднань арматури з різною величиною зазору між її кінцями

Номер з'єднання	Величина зазору, мм	Середнє зусилля розриву, кг	Місце розриву
1	0	32000	По муфті
2	0	36500	По основному металу
3	0	35500	–»–
4	20	31000	По муфті
5	20	27750	–»–
6	20	29000	–»–
7	40	31500	–»–
8	40	33000	–»–
9	40	32750	–»–



Рис. 4. Характер зламу зразків при випробуванні на розтягування: *a* – зразок з нульовим зазором; *b* – зразок з зазором 20 мм; *c* – зразок з зазором 40 мм

Таблиця 2. Результати втомних випробувань муфтових з'єднань

Номер зразка	Навантаження, тс		Напруження, МПа		Число циклів <i>N</i>
	max	min	max	min	
1	25,1	10,1	306,16	122,50	287840
2	25,0	10,0	304,94	122,0	323390
3	19,0	7,6	231,76	97,70	837680
4	28,0	11,2	341,50	136,60	289150
5	22,0	8,8	268,35	107,30	529030
6	13,1	5,3	160,0	64,0	2290430 не зруйновано

товлених з арматури класу А500С з $d_n = 32$ мм. Муфти виготовлялися з низьковуглецевої сталі з $\sigma_T = 270$ МПа та з $\sigma_T = 400$ МПа, товщина стінки становила 10,5 та 8 мм відповідно. У всіх випадках руйнування відбувалося по основному металу арматури.

Мости та подібні до них залізобетонні конструкції зазнають змінних навантажень від транспорту, що ними рухається.

У ДБН В.2.3-14 [5] наведено формули розрахунку арматури на межу витривалості при випробуваннях на розтяг. ДСТУ 3760 [3] регламентує проведення циклічних випробувань таким чином: «Арматурний прокат класів А400, А 500, А600, А600С, А600К, А800, А800К і А1000 повинен витримувати без руйнування 2 млн циклів навантажень при максимальному напруженні, що становить 60 % від нормованої межі плинності при розтягу. При цьому розмах напружень повинен становити 180 Н/мм^2 ».

Втомні випробування виконували в лабораторних умовах ІЕЗ ім. Є.О. Патона при м'якому ре-

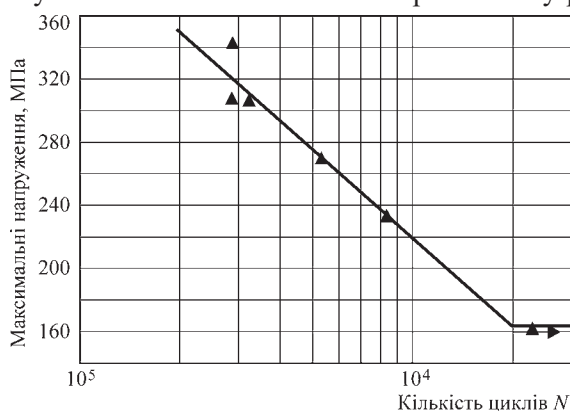


Рис. 5. Графік опору втомі муфтових з'єднань

жимі осьового гармонійного розтягування в багатоциклічній області довговічності з частотою 5 Гц і коефіцієнтом асиметрії циклу $\rho = 0,4$. Дослідження проводили на арматурі класу А500 (А IV) діаметром 32 мм загальною довжиною 800 мм, $\sigma_T = 500$ МПа, $\sigma_{\max} = 300$ МПа, $\sigma_{\min} = 120$ МПа.

Критерієм завершення випробувань був повний злам зразка. Зразки зруйнувалися всередині муфти на відстані 10...35 мм від її краю. Результати досліджень представлені у табл. 2, а також у графічному вигляді на рис. 5.

Результати експериментальних досліджень дозволяють визначити опір втомі муфтових з'єднань арматури класу А500С діаметром 32 мм при асиметричному циклі осьового розтягування $\rho = 0,4$ у всій багатоциклічній області змінного навантаження. Межа витривалості таких з'єднань на базі $2 \cdot 10^6$ циклів становить 165 МПа.

У ДБН В.2.3-14 [5] величина коефіцієнта, що характеризує працездатність з'єднання арматури класу А500 (А IV) при циклічних випробуваннях з коефіцієнтом асиметрії 0,4, приймається рівною 0,75. Величина коефіцієнта, яка отримана експериментально, дорівнює 0,87, що вище нормативного і цілком задовольняє вимогам ДБН В.2.3-14. Такі з'єднання ні по міцності, ні по опорі втомі не поступаються з'єднанням, які отримуються іншими широко застосовуваними в промисловості способами.

Необхідно зазначити, що для обтиснення муфт вибухом використовуються заряди малої потужності, одночасно може бути ініційовано до 10 зарядів, безпечна відстань від вибуху до місця розташування людини за дією ударної хвилі – 30 м [6], протягом робочої зміни бригада з 7 осіб може виготовити 50...100 стиків. Досвід використання обробки

вибухом на працюючих підприємствах [7] свідчить про можливість промислового застосування цього способу на великих будівельних об'єктах.

Висновки

1. Використання сталевих муфт, що обтискаються вибухом, дозволяє отримувати з'єднання ТБА, що відповідають будівельним нормам України, які за міцністю та циклічною довговічністю не поступаються тим, які отримані традиційними способами.

2. Застосування способу обтискання муфт вибухом можливе на працюючих підприємствах і великих будівельних об'єктах.

3. Спосіб, який запропоновано у цій роботі, має більшу продуктивність у порівнянні з традиційними способами.

Список літератури

1. ДСТУ Б В.2.6-168:2011 *Арматурні та закладні виробі зварні, з'єднання зварні арматури та закладних виробів залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови.*
2. ДСТУ Б В.2.6-169:2011 *З'єднання зварні арматури та закладних виробів залізобетонних конструкцій. Типи, конструкції та розміри.*
3. ДСТУ 3760:2019 *Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови.*

4. Петушков В.Г. (2005) *Применение взрыва в сварочной технике.* Київ, Наукова думка.
5. ДБН В.2.3-14:2006 *Мости та труби. Правила проектування.*
6. (2013) *Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення.* Київ, Друкарня ДП «Редакція журналу «Охорона праці».
7. Лобанов Л.М., Брызгалін А.Г., Добрушин Л.Д. (2009) *Расширение технологических возможностей обработки взрывом для снижения остаточных напряжений в сварных соединениях декомпозеров объемом до 5000 м³. Автоматическая сварка, 11, 54–56.*

References

1. DSTU B V.2.6-168:2011. *Welded rebars and embedded products, welded joints of rebars and embedded products of concrete structures. General technical conditions* [in Ukrainian].
2. DSTU B V.2.6-169:2011. *Welded joints of rebars and embedded products of concrete structures. Types, structures and dimensions* [in Ukrainian].
3. DSTU 3760L:2019. *Reinforcing bars for concrete structures. General technical conditions* [in Ukrainian].
4. Petushkov, V.G. (2005) *Application of explosion in welding technology.* Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
5. DBN V.2.3-14:2006. *Bridges and pipes. Design rules* [in Ukrainian].
6. (2013) *Safety rules when handling explosive materials for industrial purposes.* Kyiv, Okhrona Pratsi [in Ukrainian].
7. Lobanov, L.M., Bryzgalin, A.G., Dobrushin, L.D. et. al. (2009) *Widening of technological capabilities of explosion treatment for reducing residual stresses in welded joints on up to 5000 m³ decomposers.* *The Paton Welding J.*, 11, 46-48.

JOINING BUILDING REBARS USING COUPLINGS COMPRESSED BY EXPLOSION

A.G. Bryzgalin, P.S. Shlyonskyi, S.D. Ventsev, E.D. Pekar

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

Joining building rebars is a labour-consuming critical process. Arc welding processes are of little use in the cases of application of heat-strengthened building rebars, or such which have a protective layer. It is shown that use of steel couplers, compressed by explosion, allows obtaining strong and reliable joints of building rebars for various applications. Coupler parameters are calculated under the condition of equal strength with the rebar steel. Rupture testing revealed a higher strength of the coupler joint, compared to the strength of rebar beyond which rupture took place. Cyclic fatigue life testing showed that fatigue resistance of coupler joints is higher than what is required by normative documentation. There is experience of application of explosives in large construction sites and in operating industrial facilities. 7 Ref., 2 Tabl., 5 Fig.

Keywords: building reinforcement, reinforcement joint, coupling, fatigue resistance, strength, explosion compression

Надійшла до редакції 04.08.2022

InnoTrans

Міжнародна виставка транспортних технологій



На міжнародній виставці транспортних технологій InnoTrans 2022, яка була проведена з 20 по 23 вересня у Берліні, Україну представляли на колективному стенді 13 компаній: ТОВ «АТ-Сигнал», ТОВ «ІК «Восток», ДМЗ «Карпати», ТОВ «Київгума», ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод», ТОВ «Міжнародне ділове співробітництво», ТОВ «Пром Альянс», Асоціація «ОКО», ТОВ «РВА Україна», ТОВ «Білоцерківський завод «Трібо», ТОВ «Українська локомотивобудівна компанія», Ukreastindustry (UCI Group) та Індустріальна група УПЕК. «Присутність українських компаній на заході такого масштабу є надважливою, адже кожні два роки InnoTrans збирає тисячі керівників галузі машинобудування», – наголосив заступник директора Офісу з розвитку підприємництва та експорту Андрій Литвин.

Унікальна концепція InnoTrans включала експозицію просто неба, спеціалізовану виставку та широкую програму конференцій. Цього року виставка збрала 2800 учасників з 56 країн.

Під час виставки InnoTrans 2022 АТ «Укрзалізниця» та найбільший залізничний оператор Німеччини Deutsche Bahn підписали меморандум про підтримку та співпрацю. Меморандум передбачає співпрацю між компаніями для розширення коридорів залізничних вантажних перевезень та пропускної спроможності терміналів. Крім того, меморандум передбачає інші взаємодії між компаніями, зокрема, допомогу Німеччини Укрзалізниці у відновленні інфраструктури.

Устаткування для контактного стикового зварювання залізничних рейок було представлено такими відомими світовими виробниками як: Schlatter Industries AG, Швейцарія; Holland, США; Plasser & Theurer, Австрія.

Технології та устаткування для контактного стикового зварювання залізничних рейок, розробки Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України, були представлені компанією SAS Sculfort YEL, Франція.

Олександр Кавуніченко