

УДК 375.3

**СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ СКЛЕЄНОГО З'ЄДНАННЯ  
АРМАТУРНІ СТЕРЖНІ-ГІЛЬЗА НА ОСНОВІ ШАРУ  
НАПОВНЮВАЧА ІЗ СУМІШІ БАЗАЛЬТОВОЛОКНО-ЕПОКСИДНА  
СМОЛА ЕДП**

*Р. Гуменюк, інженер*

*Львівський національний аграрний університет*

**Ключові слова:** арматура, епоксидна смола, базальтоволокно, наповнювач, міцність, напруження.

Запропоновано ефективний спосіб одержання склеєних з'єднань (арматурні стержні-гільза), на основі трубчатого шару наповнювача із суміші епоксидна смола – базальтоволокно у співвідношенні 5:1 вагових одиниць, які мають напруження розтягу  $\sigma_p=980$  МПа порівняно з такими напруженнями для стикових зварних з'єднань  $\sigma_p^*=650$  МПа для зварних з'єднань із арматурної сталі 35ГС відповідно. Пропонується застосовувати такі склеєні з'єднання замість стикових зварних з'єднань для виготовлення довгопрогонових залізобетонних ферм, габаритних колон, які використовують при будівництві мостів і інших споруд будівельної галузі.

**Постановка проблеми.** Необхідність виготовлення та дослідження склеєних з'єднань зумовлена можливістю заміни операції зварювання пруткової арматури на більш економну операцію її склеювання у випадках одержання довгопрогонових ферм, колон при будівництві мостів і інших будівельних споруд. Адже відомо, що класична технологія зварювання є енергоємна, а саме зварне з'єднання із термонапруженої арматури (сталей 35ГС і 25Г2С) до 40% має нижчу міцність від вихідного металу [1].

У цьому плані знайшли впровадження ряд розробок із застосування нових композитних матеріалів, міцність яких практично приближається до міцності металевих матеріалів [2], що є актуальним для інженерної практики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В узагальнюючих монографічних матеріалах [3,4] розкрито ряд аспектів щодо поведінки композиційних матеріалів у різних об'єктах техніки, їх механіки руйнування з урахуванням впливу технологічних і металургійних чинників, а також встановлено ряд розв'язків задач з оцінки міцності та довговічності

неперервно армованих композитів в елементах із залізобетонних конструкцій [5].

Сьогодні існують також практичні способи використання склеєних з'єднань для виготовлення порожнистих і дюрчистих штанг, стрижнів із композитних матеріалів, які застосовують для поливання води, зрошуючи рослинні поля чи розпилювання отрутохімікатів для знищення шкідників після висіву зернових матеріалів [6,7].

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розроблення способу склеєного з'єднання (арматурні стержні-гільза) на основі шару наповнювача із суміші базальтоволокно-епоксидна смола ЕДП, яке б забезпечувало більшу міцність від міцності стикового шва зварного з'єднання для термонапруженої арматурної сталі марки 35ГС, що використовують для виготовлення залізобетонних конструкцій (довгопрогонових ферм, колон) при будівництві мостів і інших будівельних споруд.

**Виклад основного матеріалу.** Відомий спосіб механічного виготовлення з'єднання арматурних стержнів з гільзою, згідно якого арматурні стержні додатково орієнтують до збігання їх профілів з профілем обтискного елемента, після чого фіксують та обтискають спочатку до заповнення міжреберного простору арматурних стержнів матеріалом гільзи, а потім дотискають до вирівнювання напружено-деформованого стану з'єднання за допомогою пристрою для його реалізації [7].

Однак цей спосіб вимагає застосування складного, енергоємного та трудомісткого пристрою для деформування гільзи шляхом обтискання, яке здійснюють профільним пуансоном до заповнення міжреберного простору арматурних стержнів матеріалом гільзи, а потім дотисканням такого з'єднання складним пристроєм для вирівнювання напружено-деформованого стану такого з'єднання.

В основу запропонованого способу [7] поставлено завдання забезпечити стійке з'єднання арматурних стержнів періодичного профілю, в якому нове виконання відомих операцій і введення нових елементів забезпечили би відсутність контактних напружень від обтискання гільзи з профілем арматурних стержнів.

Поставлене завдання вирішується тим, що в способі з'єднання арматурних стержнів періодичного профілю (див. рис. 1), арматурні стержні орієнтують відносно гільзи та додатково орієнтують до збігання їх профілів з аналогічним профілем гільзи, у стінці гільзи по середині її довжини виготовляють отвір з нарізю для під'єднування нагнітальної системи з штуцерами та гнучким шлангом, а кінці стержнів просовують назустріч один одному до половини довжини отвору гільзи, потім через отвір штуцера вприскують консистентне зв'язуюче на основі епоксидної смоли ЕДП з

порошковим базальтоволокном до повного заповнення міжреберної порожнини між арматурними стержнями та гільзою, від'єднують нагнітальну систему із штуцером, потім армований шар полімеризують за заданим режимом і охолоджують з певною витримкою на повітрі.

Заміна складного, енергоємного та трудомісткого пристрою для операції деформування гільзи на операцію її склеювання забезпечує відсутність контактних напружень від обтискання гільзи з профілем арматурних стержнів та забезпечує надійне нероз'ємне склеєне з'єднання.

Виготовлення склеєного з'єднання арматурних стержнів з періодичним реберним профілем здійснюють наступним чином:

- нарізають арматурні стержні 1 і діаметром  $d_{\text{стер}}$  в розмір  $l$ , та нарізі на кінцях стержнів (рис. 1), після чого нарізають пруток 2 діаметром  $d_{\text{пр}}$  в розмір  $L_{\text{заг}}$ ;

- свердлять отвір діаметром  $D_0$  на всю довжину прутка  $L_{\text{заг}}$  відповідно до діаметра арматурного стержня  $d_{\text{стер}}$ ;

- нарізають наскрізну гвинтову канавку в отворі  $D_0$  одержаної втулки-гільзи глибиною до діаметра  $D_k$  відповідно до кроку  $P$  міжреберного арматурного стержня і свердлять отвір діаметром  $d_0$  у стінці гільзи по середині її довжини  $L_{\text{заг}}/2$  (рис.1.);

- нарізають нарізь в отворі діаметра  $d_0$  стінки гільзи відповідно до нарізі  $M$  для загвинчування штуцера впускного 4 та під'єднують штуцер випускний 6 через шланг до ємності 7 з епоксидною смолою ЕДП (рис. 1.).

- в отвір гільзи 2 просовують з двох боків до середини її довжини  $L_{\text{заг}}/2$  арматурні стержні, пуском електродвигуна 9 нагнітають тиск в ємність 8, вприскуючи епоксидну смолу до повного заповнення порожнини шаром 3 між ребрами арматурних стержнів 1 і гвинтовою канавкою гільзи 2 (рис. 1.);

- охолоджують одержане склеєне з'єднання на повітрі з витримкою протягом 1 год. і від'єднують гідравлічну систему разом із штуцером випускним 4 із отвору стінки гільзи з нарізю  $M$ .

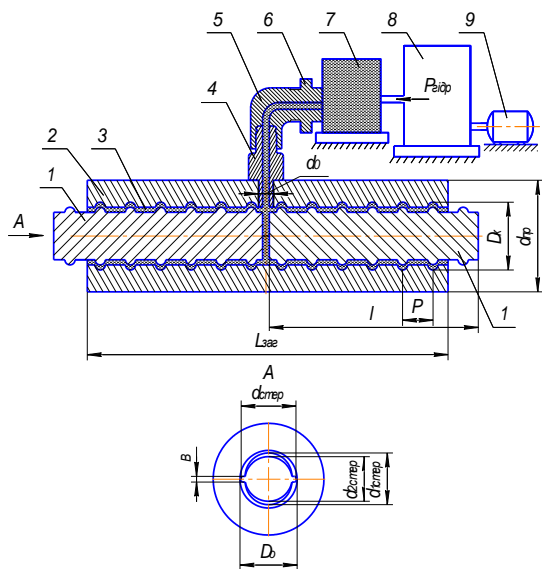


Рис. 1. Схема виготовлення склеєного з'єднання арматурних стержнів з гільзою.

Примітка: вигляд А арматурного стержня з періодичним реберним профілем характеризується еліпсом із малим діаметром  $d_{2стерж}$  та великим діаметром  $d_{1стерж}$  утвореним двома твірними а також товщиною В по довжині стержнів.

Загальний вигляд склеєного з'єднання (арматурні стержні-гільза) показано на фото (рис.2), яке випробовують осьовим розтягом до руйнування на розривній машині та визначають нормальні напруження розриву для армованого шару склеєного з'єднання за формулою:

$$\sigma^* = \frac{P^*}{F}, \quad (1)$$

де  $P^*$  - руйнівне зусилля;  $F$  - площа поперечного перерізу кільця у склеєному з'єднанні.

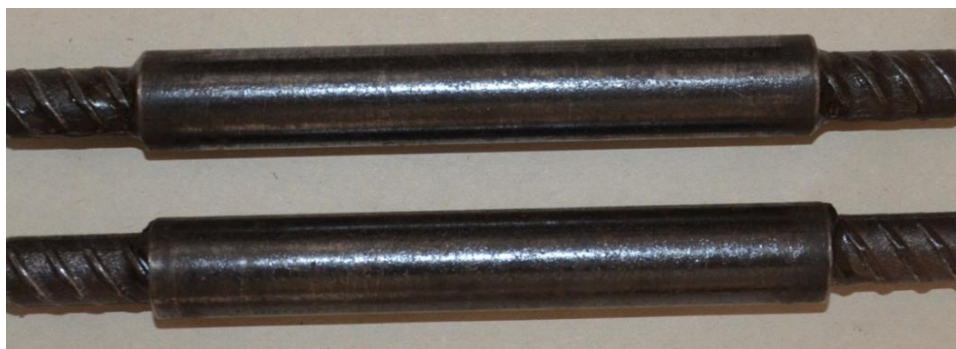


Рис. 2. Загальний вигляд склеєного з'єднання в зборі.

Напруження зсуву для армованого шару склеєного з'єднання підраховують за формулою:

$$\tau^* = \frac{P^*}{F \cdot L_{заг}}, \quad (2)$$

де,  $P^*$  - руйнівне зусилля;  $F \cdot L_{заг}$  – бічна поверхня заданого з поперечного перерізу кільця склеєного з'єднання по довжині  $L_{заг}$  для пари арматурні стержні – гільза.

Запропонований спосіб апробовано на наповнювачі із суміші базальтоволокно-епоксидна смола ЕДП, із якої одержували нероз'ємне з'єднання (рис. 1.) із стандартних арматурних стержнів діаметром  $d_{стер}=14$ мм та довжиною  $l=120$ мм з гільзою, виготовленою із прутка  $d_{пр}=25$ мм із загальною довжиною  $L_{зар}=140$ мм (10-ти кратної довжини від діаметра арматурного стержня). Маршрут виготовлення таких з'єднань полягає у наступному: у прутку-заготовці висвердлювали наскрізний отвір  $D_0=15$  мм відповідно до діаметра поздовжніх ребер стержнів  $d_{стер}=14$ мм, у якому нарізали гвинтову канавку відповідно до кроку  $P=6$ мм профілю арматурних стержнів глибиною до  $D_k=18$ мм. Наступними операціями були свердління отвору  $d_0=10,5$ мм у стінці гільзи по середині її довжини  $L_{зар}/2=70$ мм та нарізання у ній нарізі діаметром  $M12 \times 1,5$ -бр для загвинчення з натягом штуцера впускного і під'єднання його через шланг з випускним штуцером до ємності із зв'язуючим: базальтоволокно - епоксидна смола ЕДП та нагнітальною системою (рис. 1.).

Після монтування арматурних стержнів шляхом просовування їх назустріч один одному в отвір гільзи з двох боків до середини її довжини  $L_{зар}/2=70$ мм та запуску нагнітальної системи від електродвигуна та гідроциліндра створеного тиску  $P=0,5$ МПа в ємності із сумішшю епоксидної смоли ЕДП – базальтоволокно (5:1 вагових одиниць), через шланг з випускним та впускним штуцерами вприскували цю суміш до заповнення порожнини між арматурними стержнями та гільзою. Одержане з'єднання з годинною витримкою витримували до застигання на повітрі. В результаті створили надійне нероз'ємне склеєне з'єднання придатне для випробувань на статичну міцність (рис. 2.).

Випробування таких склеєних з'єднань проводили на розривній машині РМ-50 після затиску кінців арматурних стержнів захоплювачами, де записували діаграми розтягу в координатах навантаження  $P$ -деформація  $\epsilon$ . Масштаб діаграмного запису склав 20:1. Швидкість навантаження 2мм/хв. Руйнівне навантаження  $P^*$  фіксували за шкалою силовимірювача розривної машини. Так як в процесі експерименту для такого з'єднання можливі варіанти напружень розтягу  $\sigma^*$  і зсуву  $\tau^*$  (йдеться про склеєну поверхню, утворену у вигляді поперечного перерізу кільця по гвинтових канавках із заданою товщиною армованого шару, для пари арматурні стержні-гільза  $D_k$ -

$d_{стер}$  на довжині склеєного з'єднання  $L_{заг}=140$ мм), то їх можна підрахувати за формулами з урахуванням еліпсного перерізу арматури:

Напруження розриву

$$\sigma^* = \frac{4P^*}{\pi(D_k^2 - d_{стер}^2)}, \quad (3)$$

а напруження зсуву

$$\tau^* = \frac{P^*}{\pi d_{стер} \cdot L_{заг}}. \quad (4)$$

В процесі записів даних після руйнування армованих шарів для трьох зразків склеєних з'єднань, та підрахунків за формулами (3.) і (4.) було встановлено напруження розриву та зсуву, які склали  $\sigma^*=930$ МПа і  $\tau^*=82,0$ МПа відповідно. Якщо збільшувати товщину, діаметр та довжину бічної трубчастої поверхні армованого шару склеєного з'єднання, а також добирати хімічний склад зв'язуючих на основі епоксидних смол і базальтоволокон з додатковими добавками пластифікаторів і модифікаторів, а також сучасних армуючих волокон, наприклад, із вуглепластика, то міцність армованого шару такого склеєного з'єднання може бути співмірною із міцністю матеріалу самої арматури, що сповна перевершить міцність зварних з'єднань, одержуваних за класичними методами зварювання. Це означає, що операцію одержування стикових зварних з'єднань арматурних стержнів успішно можна замінити економічнішою операцією склеюванням.

**Висновки.** 1. Запропонований спосіб одержання склеєних з'єднань на основі наповнювача із зв'язуючого епоксидна смола ЕДП – базальтоволоконно у співвідношенні композитної суміші 5:1 вагових одиниць для трубчастого шару з товщиною стінки 4 мм і висотою 140мм у міжреберній порожнині (арматурні стержні-гільза), забезпечить напруження розриву  $\sigma_p^*=930$ МПа і напруження зсуву  $\tau^*=82,0$  МПа, які виявилися близькими до міцності термонапруженої арматурної сталі 35ГС, для якої, за даними [9] межа міцності  $\sigma_s=1030$  МПа, що повністю перевершує межу міцності стикових зварних з'єднань  $\sigma_s=750$  МПа, одержаних за даними [1].

#### Бібліографічний список

1. Когут М. С. Визначення тріщиностійкості ( $K_{IC}$ ) металу шва сталльної термонапруженої арматури на циліндричному зразку з кільцевою тріщиною / М. С. Когут, Р. В. Гуменюк // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2012. – Vol. 14, № 4. – S. 28 – 31.

2. Механика композитов : справ. пособие в 12-ти т. / под общ. ред. А. Н. Гузя и Л. П. Хорошуна. Т. 12 Прикладные исследования – К. : "А. С. К.", 2003 – 399с.

3. Композиционные материалы : справ. пособие в 8-ми т. / под общ. ред. Л. Браутмана и Р. Крока. Т. 3. Применение композитных материалов в технике – М. : Машиностроение, 1978 – 512 с.

4. Тарнопольский Ю. М. Методы статистических испытаний армированных пластиков / Ю. М. Тарнопольский // 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Химия, 1981. – 272с.

5. Божидарнік В. В. Механіка руйнування, міцність і довговічність неперервно армованих композитів : монографія : у 2-х т. / Т. 1. Основи механіки руйнування неперервно армованих композитів. – Луцьк : Надстир'я, 2007. – 400 с.

6. Когут І. С. Міцність і деформування стрижневих конструкцій із армованих полімерів / І. С. Когут. Львів : ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАНУ ; Центр наукового товариства ім. Т. Шевченка, 2011. – 198 с.

7. Тарнопольский Ю. М. Стержни из композитов для ферменных конструкций / Ю. М. Тарнопольский, В. В. Хитров // Механика композит. материалов. – 1986. – № 2. – С. 258 – 268.

8. Пат. 63168А Україна, ПМК Е 04 С 5/03. Спосіб з'єднання арматурних стержнів періодичного профілю та пристрій для його реалізації / Й. Й. Лучко, Я. Л. Іваницький, С. Т. Штаюра, М. І. Ігнатишин. – опубл. 15.01.2004, Бюл. № 5.

9. Когут М. С. Тріщиностійкість термонапруженої арматури і вплив на неї коливань температури / М. С. Когут, Р. В. Гуменюк // Проблеми прочности. – 2011. – № 5. – С. 82 – 89.

### **R. Humenyuk. A method of making a connection reinforcing rods glued-liner from the filler layer of a mixture of basalt fiber-resin epoksidna EDP**

An efficient method of producing bonded joints (reinforcing rod-sleeve), based on tubular filler layer of a mixture of epoxy resin - bazaltovolokno at a ratio of 5:1 by weight units that have tensile stress  $\sigma_p = 980$  MPa compared with naporuzhennyamy for butt welding of 'connections  $\sigma_p^* = 650$  MPa for welded joints with reinforcing steel 35HS respectively. It is proposed to apply the glued connection instead of butt welds to make dovhoprohonovyh concrete trusses, oversized columns, using the construction of bridges and other structures construction industry.

**Key words:** steel, epoxy, bazaltovolokno, filler, strength, stress.

**Р. Гуменюк. Способ изготовления склеенного соединения арматурные стержни-гильза на основе слоя наполнителя из смеси базальтоволокно-эпоксидная смола ЭДП**

Предложен эффективный способ получения клеенных соединений (арматурные стержни-гильза), на основе трубчатого слоя наполнителя из смеси эпоксидная смола - базальтоволокно в соотношении 5:1 весовых единиц, имеющих напряжение растяжения  $\sigma_p = 980$  МПа по сравнению с такими напоруженнямы для стыковых сварных соединений  $\sigma_p^* = 650$  МПа для сварных соединений из арматурной стали 35ГС соответственно. Предлагается применять такие клеенные соединения вместо стыковых сварных соединений для изготовления довгопрогоновых железобетонных ферм, габаритных колонн, использующих при строительстве мостов и других сооружений строительной отрасли.

**Ключевые слова:** арматура, эпоксидная смола, базальтоволокно, наполнитель, прочность, напряжения.