

**Шифр «Гільза»**

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ СКЛЕЄНИХ З'ЄДНАНЬ  
АРМАТУРНІ СТРИЖНІ – ГІЛЬЗА**

**2019/2020**

## ЗМІСТ

|  |   |
|--|---|
| Вступ.....   | 3 |
| 1. Типи зразків для визначення міцності армованих склеєних з'єднань...4  |   |
| 2. Виготовлення склеєного з'єднання арматурних стрижнів з періодичним реберним профілем і гільзою.....7                                    |   |
| 3. Приклад визначення напружень розриву та зсуву для склеєного з'єднання арматурні стрижні-гільза.....11                                   |   |
| 4. Добір композитних матеріалів та результати експериментальних досліджень міцності склеєного з'єднання арматурні стрижні – гільза .....12 |   |
| 5. Порівняльна оцінка міцності термонапруженої арматури, зварного шва та склеєних з'єднань.....21  |   |
| Висновки та пропозиції.....22  |   |
| Список використаних джерел.....23  |   |

## Вступ

Забезпечення надійності та довговічності залізобетонних елементів конструкцій у випадках, коли йдеться про заміну зварних стикових з'єднань пруткової арматури, які, як правило, мають залишкові напруження від зварювання, а значить є першоджерелами пониження їх міцності та особливо тріщиностійкості ( $K_{IC}$ ), силами науковців запропоновано ряд підходів і конструкцій зразків зі склеєних композитних з'єднань для визначення їх міцності, зокрема напружень розриву  $\sigma_p^*$  та зсуву  $\tau^*$  відповідно.

Технологічні способи виготовлення композитів і виробів із них, їх розрахунку і випробувань наведено в [1-4]. Вони будуть залежати від типу наповнювача та сполучника [5-10], а створення конструкцій із армованих полімерних матеріалів (АПМ) є актуальним вже в тому, що, як показано в роботах [11-15], з одного боку замінює ряд металевих матеріалів, а з другого - запобігає корозійному руйнуванню останніх [16-18].

Вихідними матеріалами в якості наповнювача служать різноманітні волоконні матеріали: скловолокно та базальтоволокно у вигляді тонких ниток та специфічні вуглепластики вищої міцності від попередніх, які виготовляють за різними технологіями [19-24].

Вихідними матеріалами в якості сполучника є клеї на основі епоксидних смол марок ЕДП-20, ЕДП-22 ГОСТ 10587-84, або смола епоксидна модифікована (епоксидний - компаунд) марки К115 ЕУ 6-05-1251-75; пластифікатор дибутилфталат (ДБФ) ГОСТ 8728-77.

Згідно [9] оптимальний температурний режим отвердіння сполучника на основі епоксидного компаунда К115: на першій стадії за кімнатної температури протягом 25 год.; на другій – полімеризація за підвищених температур нагріву за схемою 80 °С/1 год. + 100 °С/1 год. + 120 °С/1 год., або зі швидкістю нагріву 60 °С/1 год. та охолодження виробу-зразка разом з піччю до температури 40 °С.

Такий режим забезпечує максимальне зниження залишкових напружень в склеєному з'єднанні.

Треба відзначити, що міцність АПМ залежить від способу намотування армованого скло- чи базальтопластика (перехресного чи поздовжнього

намотування), зусилля натягування нитки – стрічки, знежирювання та висушування з'єднувальних деталей, режимів термообробки тощо [2, 25-27].

## 1. Типи зразків для визначення міцності армованих склеєних з'єднань

Типи зразків для випробувань шару у склеєних армованих з'єднаннях на розтяг і зсув та еюра дотичних напружень для цього шару за розробками [28-30] показані на рис. 1, а, б, в відповідно. Конструктивні розміри збірних зразків для досліджень склеєних з'єднань на розтяг показані на рис. 2 і рис. 3 відповідно.

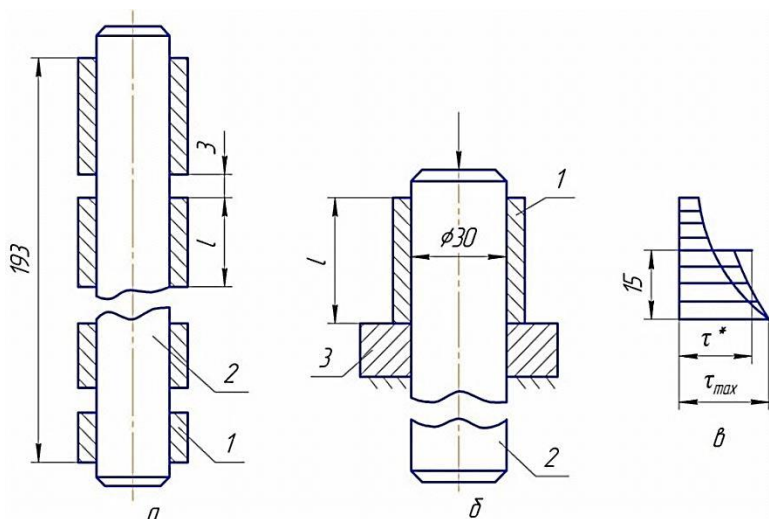


Рис. 1. Дослідний зразок (а), схема випробувань на зсув шару (б) і еюра дотичних напружень в клейовому шарі (в): 1 - шар із АПМ; 2 - оправка; 3 – опора

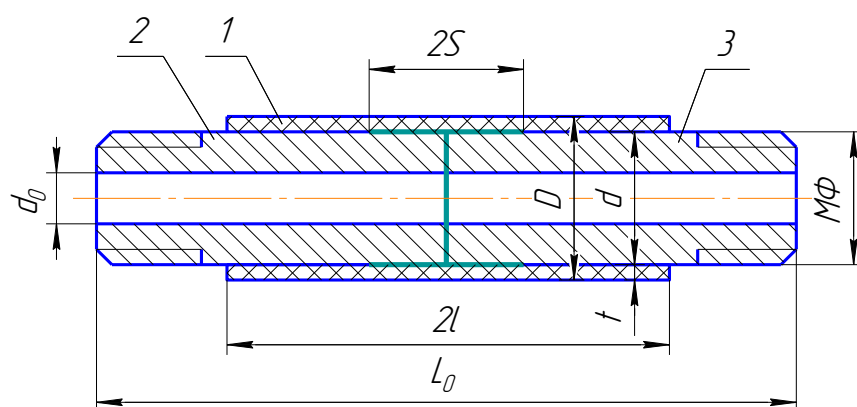


Рис. 2. Трубчастий зразок для досліджень склеєних з'єднань на розтяг: 1 – намотаний шар із АПМ; 2, 3 – ліва і права оправки.

Треба сказати, що у зразках (рис. 2) і (рис. 3), сталеві оправки повинні мати грубу шорсткість ( $Rz=160...320$  мкм) поверхні під намотування волоконного шару, що дає хорошу адгезію (зчеплення зв'язуючого намотаного шару зі сталевими оправками) та надійне моделювання роботи склеєного з'єднання.

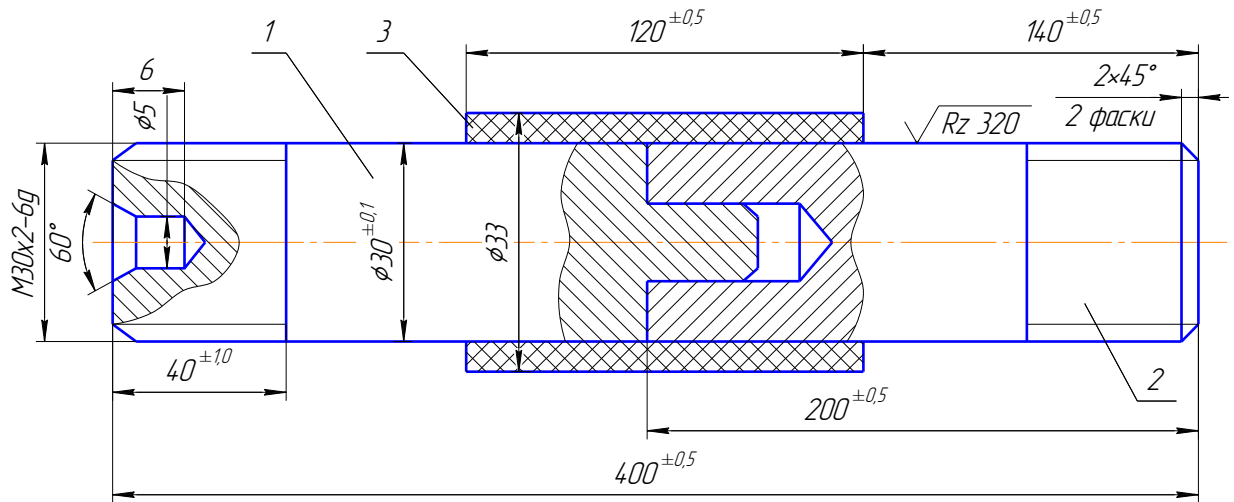


Рис. 3. Конструктивні розміри збірного зразка для досліджень склеєних з'єднань: 1, 2 – ліва і права оправки; 3 – намотаний шар із АПМ.

Довжина склеєного шару  $2l = 120$ мм (рис. 3) буде достатньою для забезпечення оптимального зусилля при розриві з'єднання за умови:

$$2l \geq 4 \dots 5D \quad (1)$$

де  $D$  – діаметр металеві оправки.

Характерна діаграма статичного розтягу склеєного армованого з'єднання показана на рис. 4, яка має скачкоподібний характер при руйнуванні в координатах сила  $P^*$  - деформація  $\epsilon$ , що пов'язано з поступовим руйнуванням волокон намотаного шару.

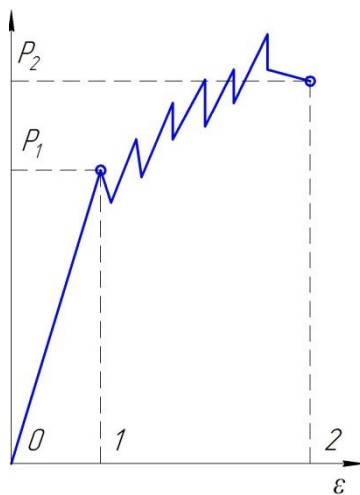


Рис. 4. Типова діаграма статичного розтягу склеєного армованого з'єднання.

Нормальні напруження розриву  $\sigma^*$  та зсуву  $\tau^*$  після руйнування склеєного з'єднання визначають за формулами:

$$\sigma^* = 4P^* / \pi(D - d)^2, \quad (2)$$

$$\tau^* = P^* / 2\pi RL, \quad (3)$$

де  $D - d$  – різниця діаметрів між намотаним шаром і оправкою;  $L$  – довжина намотаного шару;  $P^*$  – руйнівне зусилля;  $2\pi R$  – довжина кола основи

циліндричної оправки;  $2\pi RL$  – бічна поверхня циліндричного склеєного шару із зістикованими оправками відповідно.

Схему визначення міцності сталюї арматури періодичного профілю для з'єднання зістикованих стрижнів з гільзою після обтискання профільним пуансоном (рис. 5) та загальний вигляд пуансона (рис. 6) відповідно запропонували [31, 32].

Треба відзначити, що реалізація цього способу з'єднання стрижнів із гільзою вимагає складної конструкції силової головки [33], яка працює в парі з гідравлічним пресом (рис. 7), що створює певні труднощі в його реалізації.

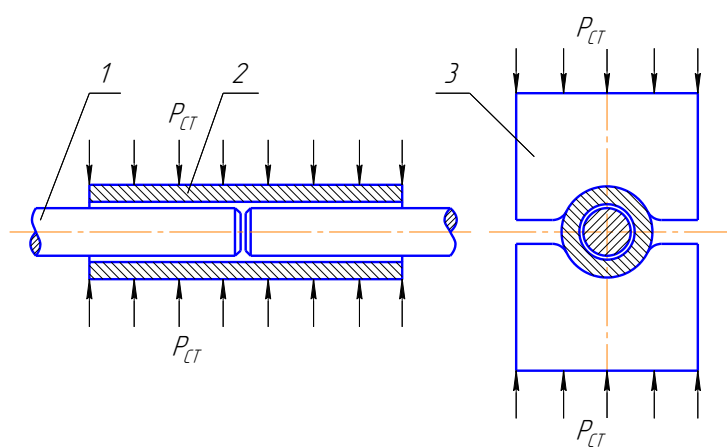


Рис. 5. Принципова схема втулкового з'єднання та обтискання: 1 – арматура; 2 – втулка; 3 – пуансон.

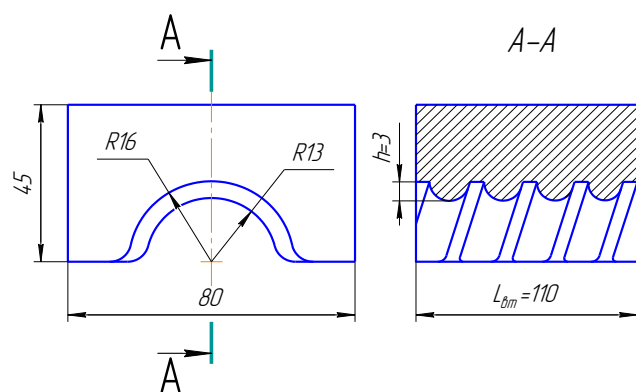


Рис. 6. Загальний вигляд профільного пуансона (верхня половина).

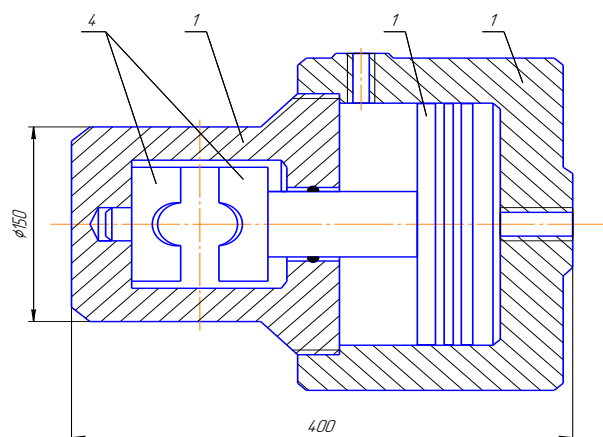


Рис. 7. Конструктивна схема силової головки для гідравлічного преса: 1 – корпус; 2 – циліндр; 3 – поршень; 4 – профільні пуансони.

В результаті проведеного літературного огляду з даної проблеми в роботі сформульовано наступну *мету дослідження*: застосувати композиційні матеріали із армованих полімерів для склеювання прутків із термонапруженої арматури з гільзою на основі епоксидних смол після добору їх компонентів. На цій основі порівняти міцність склеєних з'єднань з міцністю такої арматури та міцністю її зварних з'єднань і запропонувати оптимальний варіант склеєних армованих з'єднань для виготовлення довгопрогонових ферм мостів, габаритних будівельних споруд тощо.

## **2. Виготовлення склеєного з'єднання арматурних стрижнів з періодичним реберним профілем і гільзою**

Необхідність дослідження склеєних з'єднань спрямована на заміну операції зварювання пруткової арматури на більш економну операцію її склеювання.

У цьому плані знайшли впровадження ряд розробок нових композиційних матеріалів, міцність яких практично наближається до міцності зварних з'єднань, і навіть до міцності металів [34, 35].

Що стосується виготовлення з'єднання арматурних стрижнів механічним способом в якому арматурні стрижні додатково орієнтують до збігання їх профілів з профілем обтискного елемента, після чого фіксують та обтискають спочатку до заповнення міжреберного простору арматурних стрижнів матеріалом гільзи, а потім дотискають до вирівнювання напружено-деформованого стану з'єднання за допомогою пристрою для його реалізації [33].

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

В основу запропонованих способів [36, 37] поставлено завдання забезпечити стійке з'єднання арматурних стрижнів періодичного профілю, в

якому нове виконання відомих операцій і введення нових елементів, які забезпечили би відсутність контактних напружень від обтискання гільзи з профілем арматурних стрижнів, що зменшить енергоємність та трудомісткість з'єднання.

Поставлене завдання вирішується тим, що з'єднання арматурних стрижнів періодичного профілю (див. рис. 8), арматурні стрижні орієнтують відносно гільзи та додатково орієнтують до збігання їх профілів з аналогічним профілем гільзи, у стінці гільзи по середині її довжини виготовляють отвір з нарізкою для під'єднування нагнітальної системи з штуцером, по кінцях отвору гільзи виточують кільцеві канавки для встановлення ущільнювальних гумових кілець. Потім арматурні стрижні через отвори гумових кілець просовують з натягом назустріч один одному до половини довжини отвору гільзи і через отвір штуцера вприскують консистентне зв'язуюче епоксидна смола - базальтоволокно повного заповнення міжреберної порожнини між арматурними стрижнями та гільзою, від'єднують нагнітальну систему із штуцером, а армований шар полімеризують за заданим режимом і охолоджують з певною витримкою на повітрі та одержане з'єднання випробовують розтягом і визначають напруження  $\sigma^*$  які зіставляють з напруженнями  $\sigma_B$  матеріалу арматури.

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

Вигляд  $A$  арматурного стрижня з періодичним реберним профілем характеризує еліпс із малим діаметром  $d_{2\text{стєр}}$  та великим діаметром  $d_{1\text{стєр}}$ , утвореними двома твірними з товщиною  $B$  по довжині стрижня (рис. 8).



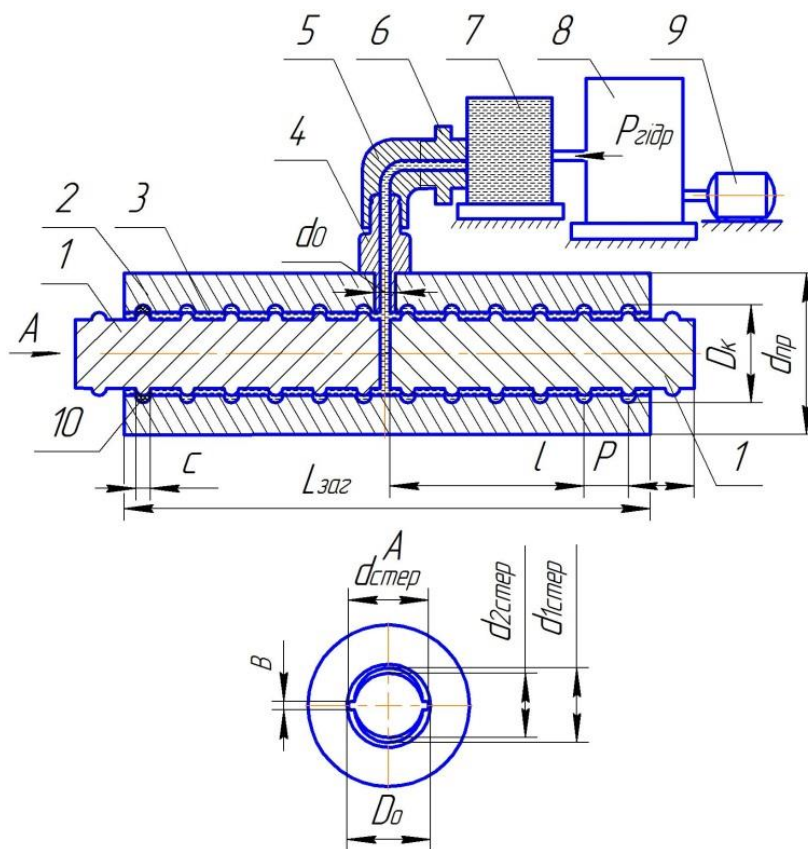


Рис. 8. Схема виготовлення склеєного з'єднання арматурних стрижнів з гільзою.

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

Спершу нарізали арматурні стрижні 1, діаметром  $d_{\text{степ}}$  в розмір  $l$ , нарізають пруток 2, діаметром  $d_{\text{пр}}$  в розмір  $L_{\text{заг}}$  у якому свердлили отвір діаметром  $D_0$  на всю довжину прутка  $L_{\text{заг}}$  відповідно до діаметра арматурного стрижня  $d_{\text{степ}}$  (див. рис. 8). В отворі  $D_0$  нарізали наскрізну гвинтову канавку глибиною до діаметра  $D_k$  відповідно до кроку  $P$  міжреберного арматурного стрижня і свердлили отвір діаметром  $d_0$  у стінці гільзи по середині її довжини  $L_{\text{заг}}/2$ . В отворі діаметра  $d_0$  нарізали нарізь відповідно до нарізі  $M$  загвинчувального штуцера впускного 4 та під'єднували штуцер випускний 6 через шланг 5 до ємності 7 з епоксидною смолою, наприклад, марок ЕДП-20 або ЕДП-22 змішаною з базальтвоволокном у співвідношенні 10:1 вагових одиниць. Потім монтували стрижні 1 через отвори гумових кілець 10, що є в канавках гільзи 2 просуванням з двох боків до середини її довжини  $L_{\text{заг}}/2$ ,

нагнітали тиск в ємність 8 і пуском електродвигуна 9 вприскуючи суміш епоксидної смоли і базальтоволоконна, яка створила шар 3 після повного заповнення порожнини між ребрами арматурних стрижнів і гвинтовою канавкою гільзи (див. рис. 8). Після цього склеєне з'єднання витримували на повітрі протягом 1 год., від'єднали гідравлічну систему разом із штуцером впускним 4 із отвору стінки гільзи з нарізною  $M$  і полімеризували в муфельній печі армований шар склеєного з'єднання (гільза – арматурні стрижні) за режимом: нагрів при  $T = 100...150$  °С, витримка 2...3 год., охолодження на повітрі, а одержане склеєне з'єднання (гільза – арматурні стрижні) (рис. 9) випробовували осьовим розтягом до руйнування на розривній машині та визначали нормальні напруження розриву для армованого шару за формулою:

$$\sigma^* = \frac{P^*}{F_k}, \quad (4)$$

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



*Рис. 9. Склеєне з'єднання арматурні стрижні - гільза в зборі.*

Аналогічно визначали напруження зсуву для армованого шару склеєного з'єднання за формулою:

$$\tau^* = \frac{P^*}{F_k \cdot L_{заг}}, \quad (5)$$

де  $P^*$ - руйнівне зусилля;  $F_k \cdot L_{заг}$  – бічна поверхня, утвореного з поперечним перерізом кільця площею  $F$  склеєного з'єднання по довжині  $L_{заг}$  для пари арматурні стрижні – гільза. Підраховані для армованого шару

нормальні напруження розриву  $\sigma^*$  і зсуву  $\tau^*$  зіставляли з напруженнями міцності  $\sigma_B$  матеріалу арматури.

### 3. Приклад визначення напружень розриву та зсуву для склеєного з'єднання арматурні стрижні-гільза

Запропонований спосіб апробовано на двох партіях склеєних епоксидними смолами ЕДП-20 та ЕДП-22 ГОСТ 10587-84 нероз'ємних з'єднань (рис. 8, 9), виготовлених із стандартних арматурних стрижнів діаметром  $d_{\text{стер}} = 14\text{мм}$  і довжини  $l = 120\text{мм}$  та гільзи, виготовленої із прутка  $d_{\text{пр}} = 25\text{мм}$  і загальної довжини  $L_{\text{заг}} = 140\text{мм}$  (10-ти кратної довжини від діаметра арматурного стрижня). У гільзі висвердлений наскрізний отвір  $D_0 = 15\text{мм}$ . У ньому нарізали гвинтову канавку глибиною до  $D_k = 18\text{мм}$  відповідно до кроку  $P = 6\text{мм}$  профілю арматури. Висвердлений отвір  $d_0 = 10,5\text{мм}$  в стінці гільзи по середині її довжини  $L_{\text{заг}}/2 = 70\text{мм}$  мав нарізь діаметром  $M12 \times 1,5-6p$ . Гумові кільця для ущільнювання з'єднання мали товщину  $B = 5\text{мм}$  та діаметр  $D_k = 19\text{мм}$ . Нагнітальна система в ємкості створювала тиск до  $P = 0,5\text{МПа}$ .

За такою послідовністю одержували склеєні епоксидною смолою ЕДП-22 з'єднання у другій партії. Після затиску кінців стрижнів захоплювачами випробування двох партій таких з'єднань проводили на розривній машині РМ-25 з записом діаграми розтягу в координатах навантаження  $P$ -деформація  $\varepsilon$ . Масштаб діаграмного запису склав 20:1. Швидкість навантаження 2 мм/хв. Руйнівне навантаження  $P^*$  фіксували за шкалою силовимірювача розривної машини. В процесі експерименту для таких з'єднань визначали напруження розриву  $\sigma^*$  і зсуву  $\tau^*$  (йдеться про склеєну поверхню, утворену у вигляді поперечного перерізу кільця по гвинтових канавках із заданою товщиною армованого шару, для пари арматурні стрижні-гільза  $D_k - d_{\text{стер}}$  на довжині склеєного з'єднання  $L_{\text{заг}} = 140\text{мм}$ ) з урахуванням еліпсного перерізу арматури, за формулами:

$$\text{напруження розриву } \sigma^* = \frac{4P^*}{\pi(D_k - d_{\text{стер}})^2}, \quad (6)$$

$$\text{а напруження зсуву } \tau^* = \frac{P^*}{\pi d_{\text{стєр}} \cdot L_{\text{зєг}}}, \quad (7)$$

Після встановлення  $P^*$  в результаті руйнування армованих шарів склеєних епоксидними смолами ЕДП-20 та ЕДП-22 з'єднань (по 3 шт. зразків у кожній партії), та підрахунків за формулами (6) і (7) встановлено переваги склеєних з'єднань на основі ЕДП-22 порівняно з ЕДП-20, для яких напруження розриву склали  $\sigma^* = 940$  МПа і  $\sigma^* = 878$  МПа, а напруження зсуву  $\tau^* = 42,0$  МПа і  $\tau^* = 33,5$  МПа відповідно.

#### **4. Добір композитних матеріалів та результати експериментальних досліджень міцності склеєного з'єднання арматурні стрижні – гільза**

Маючи методику виготовлення склеєного з'єднання арматурних стрижнів з гільзою за способами [36, 37], представимо комплекс досліджень щодо добору композитних матеріалів, при заповненні міжреберної порожнини між стрижнями та отвором гільзи для виявлення максимальної міцності такого нероз'ємного з'єднання.

Програмою експериментів використано п'ять марок армуючих матеріалів зі зв'язуючим на основі епоксидних смол, для виготовлення склеєних з'єднань п'яти партій (див. табл. 1).

Для проведення експериментів щодо визначення максимальної міцності склеєного з'єднання із п'яти марок армуючих склеювальних матеріалів виготовляли арматурні стрижні та гільзи (рис. 10, а, б) по 10 шт. і по 5 шт. для п'яти партій відповідно.

Після монтажу, склеювання стрижнів з гільзою, витримки до 2-х діб та полімеризації при  $80^\circ\text{C}$  одержані склеєні з'єднання (рис. 10, а, б) випробовували осьовим розтягом на розривній машині РМ-25 (рис.11,12), де записували діаграми розтягу в координатах  $P - \varepsilon$  (сила-деформація) (рис. 13-17).

Після обробки експериментальних даних за формулами (6 і 7) встановлені значення напружень розриву  $\sigma^*$  та зсуву  $\tau^*$  для досліджуваних партій склеєних з'єднань (рис.18) зведено у табл. 1. [38]

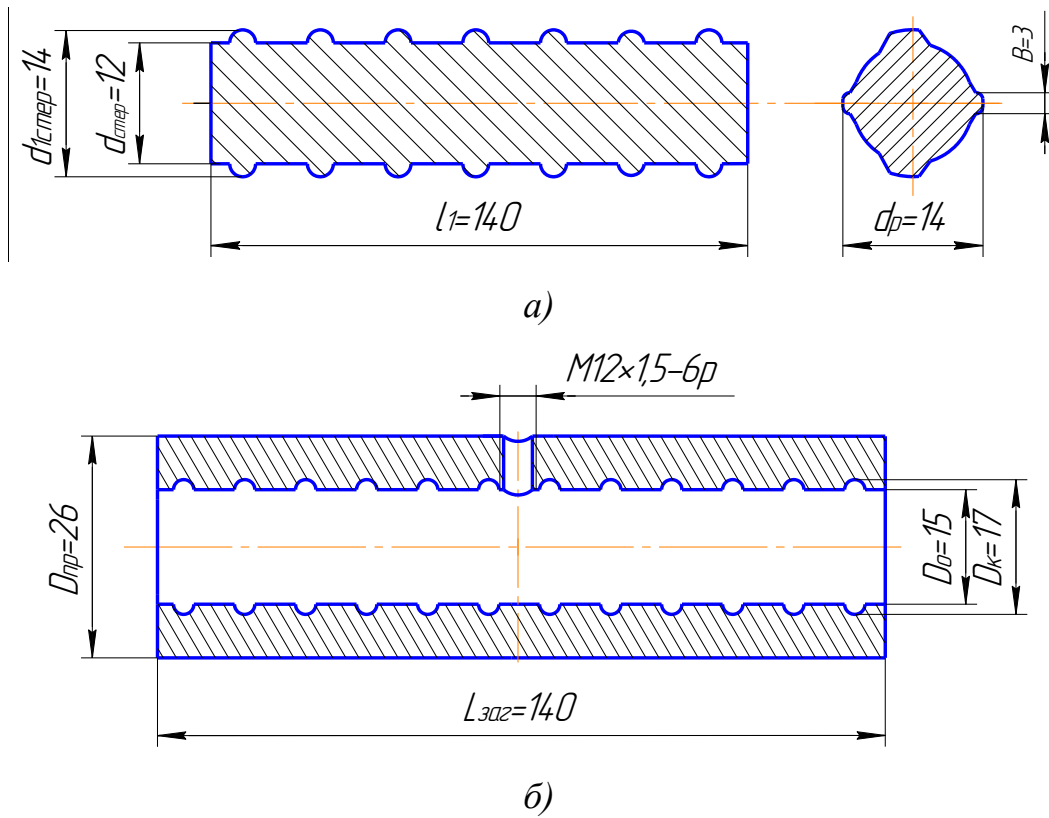


Рис. 10. Геометричні розміри стрижня (а) та гільзи (б) для виготовлення склеєних з'єднань.



Рис. 11. Загальний вигляд 25-ти тонної розривної машини марки РМ-25 для осевого розтягу склеєного з'єднання арматурні стрижні – гільза та запис діаграми сила-деформація (P-ε) в процесі його руйнування

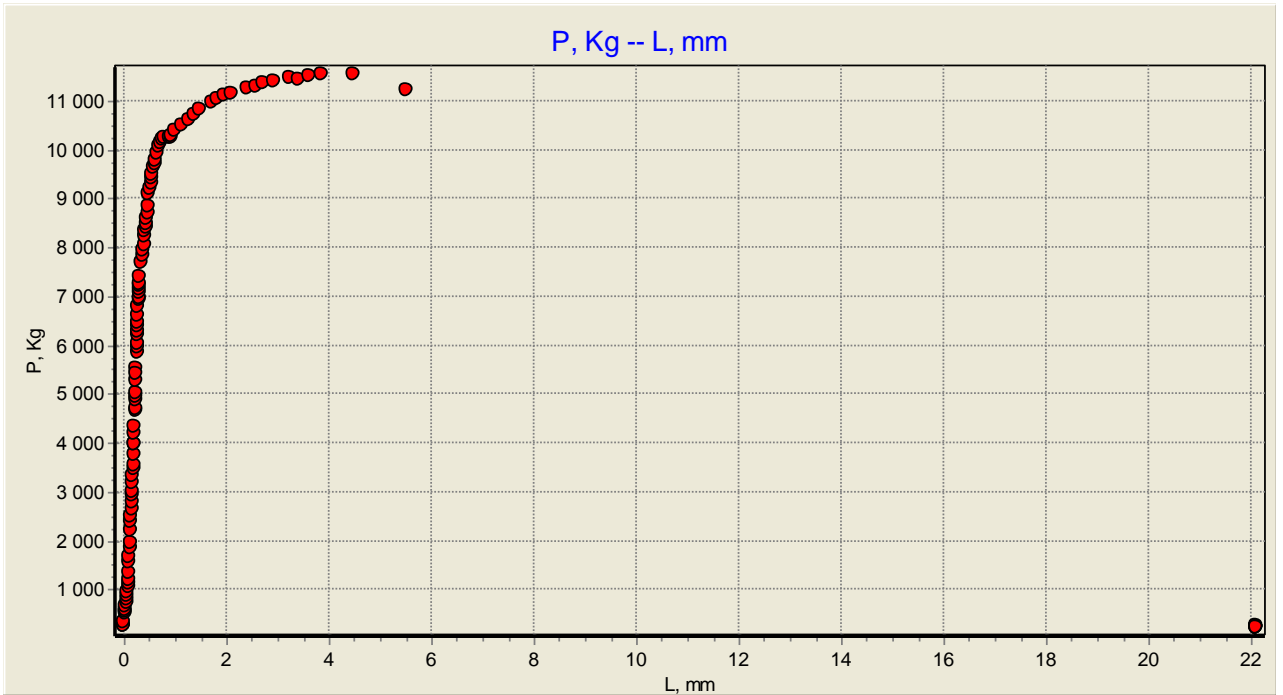


а)

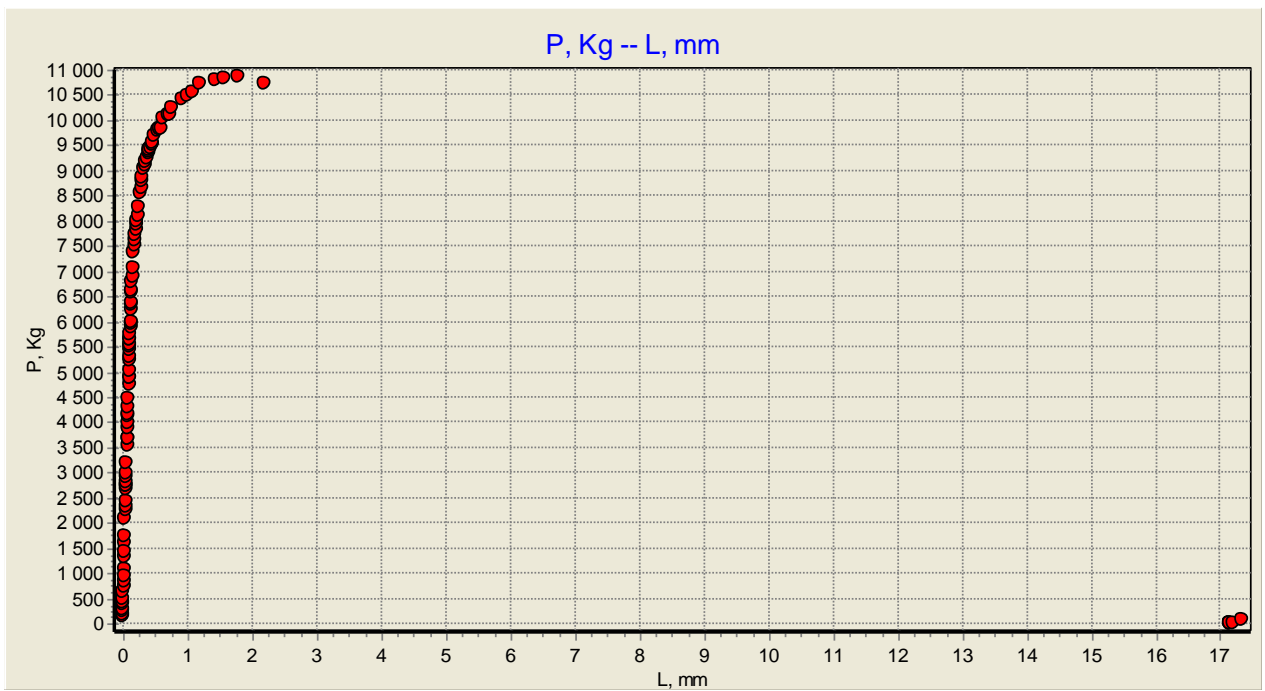


б)

Рис. 12. Осьовий розтяг на розривній машині РМ-25 склеєного з'єднання арматурні стрижні – гільза на основі шару епоксидної смоли ЕДП-22 з базальтоволоконном (а) і запис діаграми руйнування сила – деформації (F-ε) на екрані компютерної системи (б).



№1



№2

Рис. 13. Діаграми осьового розтягу зразків №1; №2 склеєних з'єднань арматурні стрижні – гільза (шар на основі епоксидної смоли ЕДП-22 з базальтоволокном – пропорція 10 : 1 вагових одиниць суміші) на розривній машині РМ-25

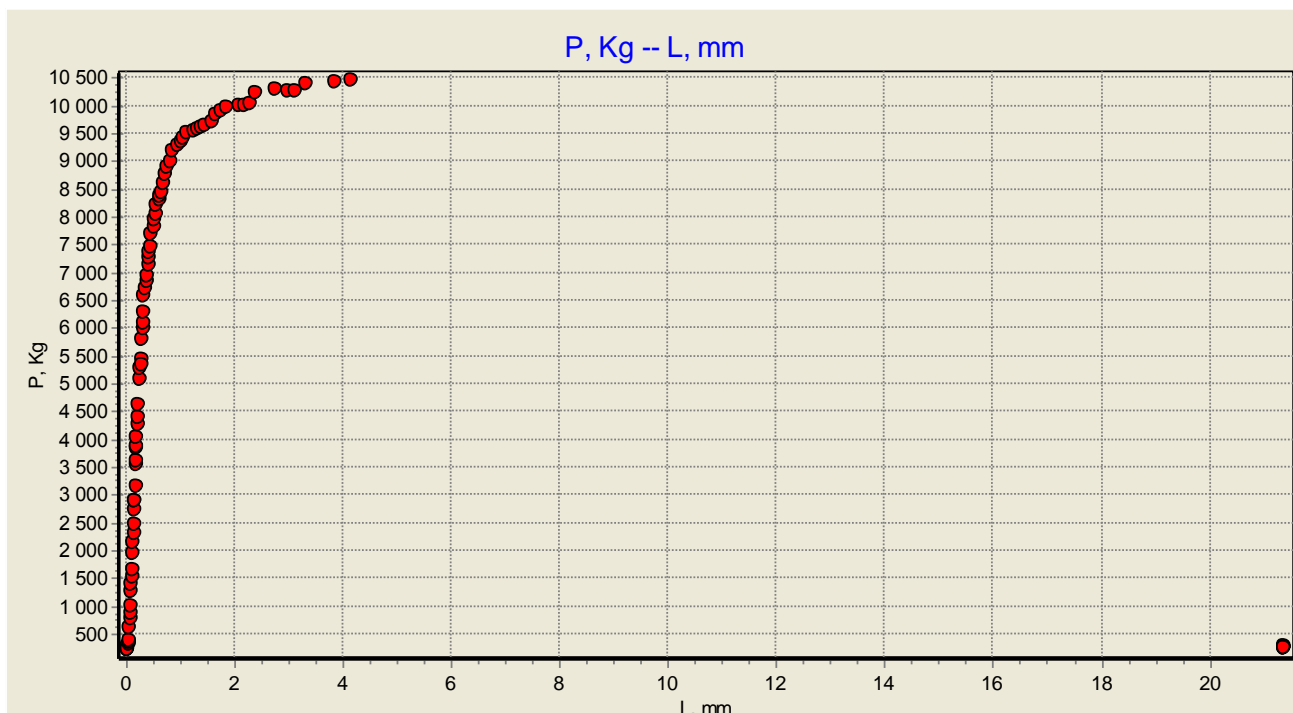


Рис. 14. Діаграма осьового розтягу склеєного з'єднання арматурні стрижні-гільза (шар на основі епоксидної смоли Akfix E340) на розривній машині РМ-25

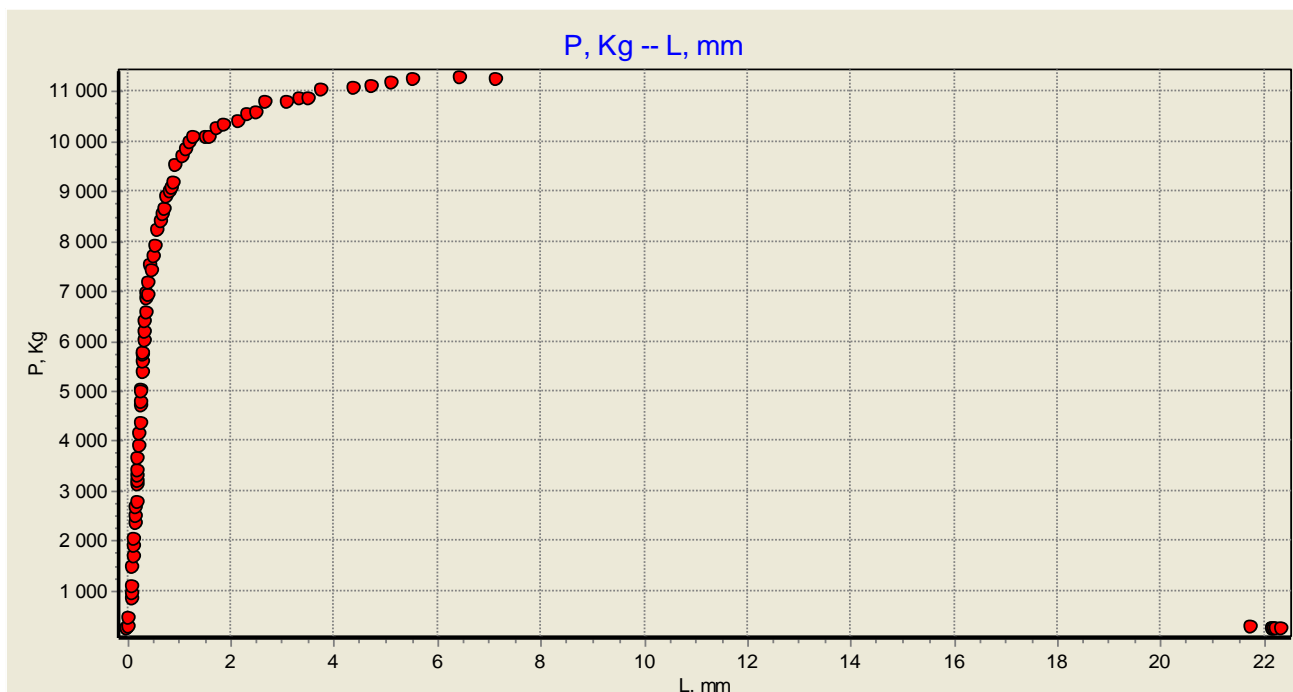
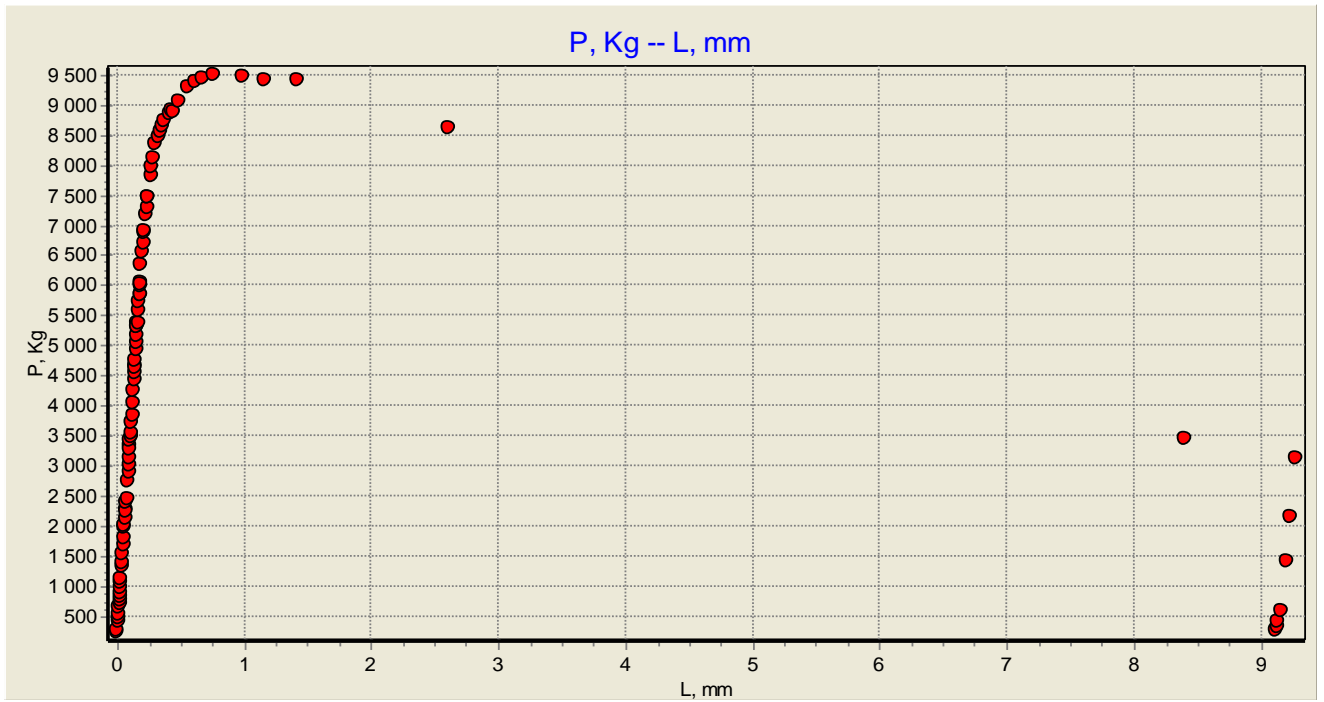
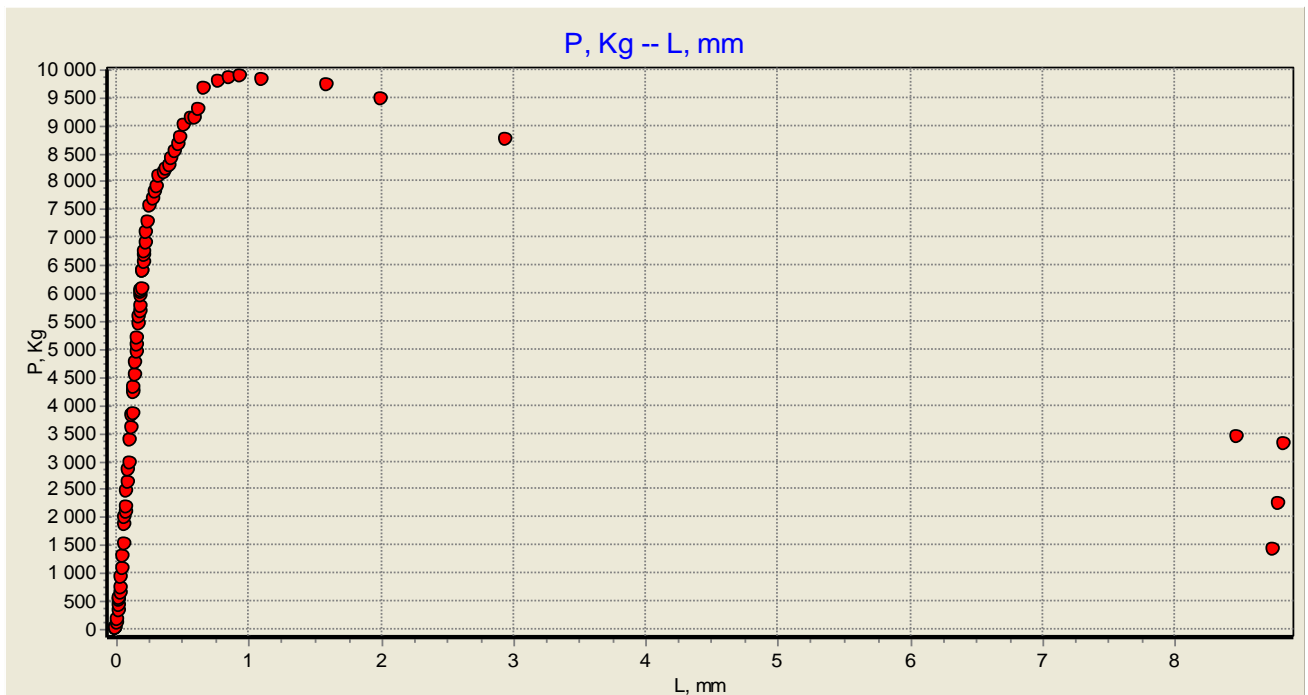


Рис. 15. Діаграма осьового розтягу склеєного з'єднання арматурні стрижні-гільза (шар на основі епоксидної смоли Steel Weld Epoxy) на розривній машині РМ-25



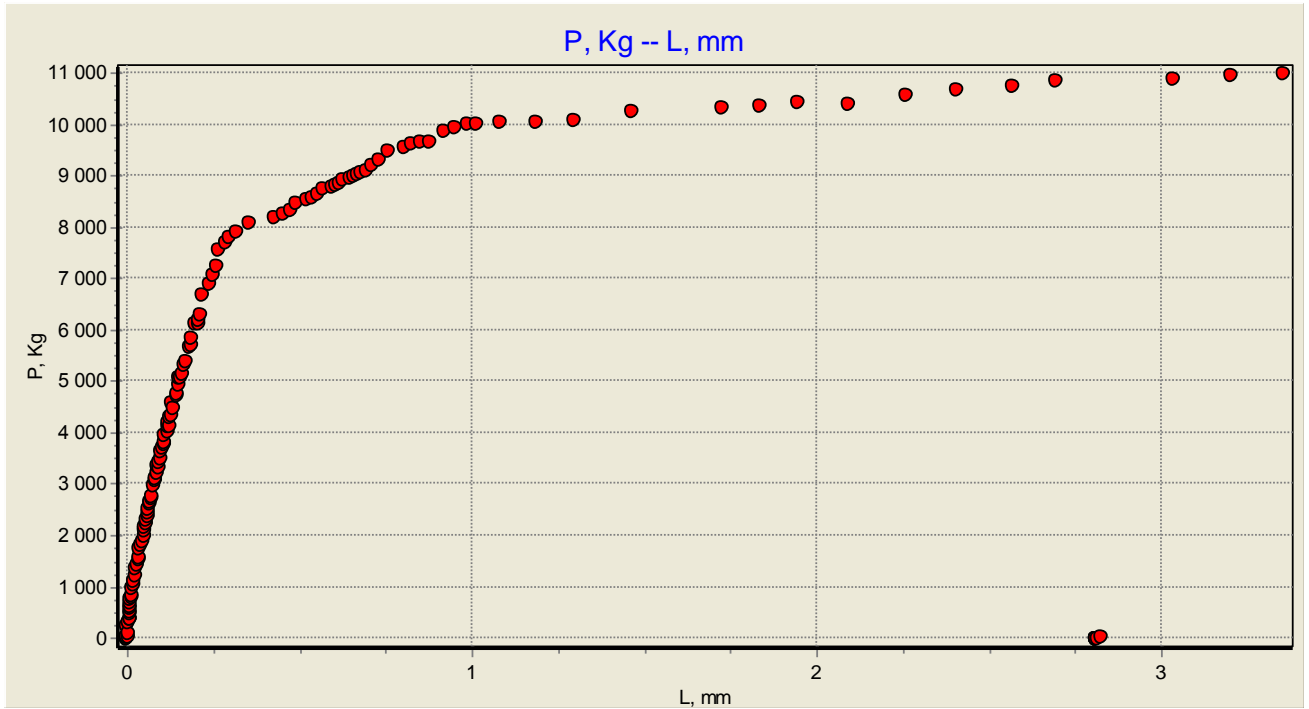


№1

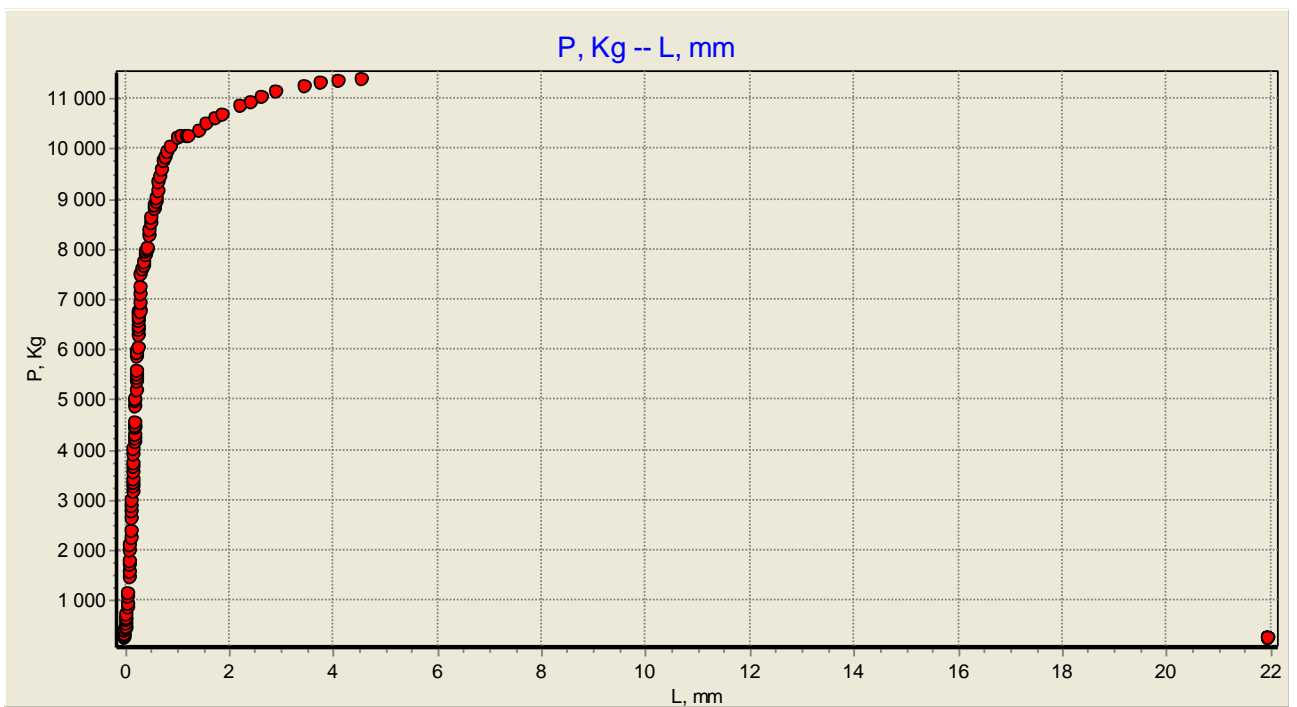


№2

Рис. 16. Діаграми осьового розтягу зразків №1; №2 склеєних з'єднань арматурні стрижні – гільза (шар на основі полімерної смоли, на епоксидній основі Multy-metal Epoxy), на розривній машині РМ-25



№1



№2

Рис. 17. Діаграми осьового розтягу зразків №1; №2 склеєних з'єднань арматурні стрижні – гільза (шар на основі полімерної смоли з металевим порошковим наповнювачем SCT MANNOL Ероху-metal), на розривній машині РМ-25.



Рис. 18. Випробувальні зразки склеєних з'єднань із шарами різних марок епоксидних смол.

Таблиця 1.

Напруження розриву  $\sigma^*$  та зсуву  $\tau^*$  склеєних з'єднань.

| №<br>п/п | Марки<br>клеїв            | Компоненти клеїв   | Руйнівне<br>зусилля<br>$P$ , кН | Напруження                  |                         |
|----------|---------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|          |                           |  |                                 | розриву $\sigma^*$ ,<br>МПа | зсуву $\tau^*$ ,<br>МПа |
| 1        | Akfix E340                | Акрил епоксидна<br>смола із<br>затверджувачем                | 104,4                           | 851,1                       | 38,0                    |
| 2        | Steel Weld<br>Ероху       | Епоксидна основа<br>із затверджувачем                        | 112,6                           | 918,0                       | 41,0                    |
| 3        | Multy-metal<br>Ероху      | Полімерна смола<br>на епоксидній<br>основі                   | 98,7                            | 804,7                       | 35,9                    |
| 4        | SCT MANNOL<br>Ероху-metal | Полімерна смола з<br>металевим<br>порошковим<br>наповнювачем | 113,6                           | 926,1                       | 41,3                    |
| 5        | ЕДП-22                    | Епоксидна смола з<br>базальтоволоконном                      | 115,3                           | 940,0                       | 42,0                    |

Як видно із даних табл. 1. мінімальні значення напружень розриву  $\sigma^*$  і зсуву  $\tau^*$  для склеєних з'єднань має клей полімерної смоли (позиція 3), а максимальні – клей епоксидної смоли з базальтоволоконном (позиція 5). Решта склеєних з'єднань із інших марок клеїв мають проміжні значення цих напружень.

Отже клейове з'єднання (позиція 5) – на основі епоксидної смоли ЕДП-22 та наповнювача із базальтоволоконна у співвідношенні 10:1 вагових одиниць можна рекомендувати для інженерної практики.

## 5. Порівняльна оцінка міцності термонапруженої арматури, зварного шва та склеєних з'єднань

В табл. 2. представлено три варіанти фізико-механічних характеристик, а саме: міцності ( $\sigma_B$  і  $\sigma_T$ ) термонапружених сталей 35ГС і 25Г2С, міцності шва  $\sigma_B$  і  $\sigma_T$  зварних з'єднань на основі цих сталей, напружень розриву  $\sigma^*$  і зсуву  $\tau^*$  для склеєних з'єднань арматурні стрижні із цих сталей і гільзи, виготовленої із сталі 45 (стан поставки) [38].

Таблиця 2.

### Міцність термонапружених сталей, шва та склеєного з'єднання.

| № вар | Вихідні матеріали для досліджень  | Міцність    |            |                   |            |                          |          |
|-------|---|-------------|------------|-------------------|------------|--------------------------|----------|
|       |   | сталей, МПа |            | зварного шва, МПа |            | склеєного з'єднання, МПа |          |
|       |   | $\sigma_B$  | $\sigma_T$ | $\sigma_B$        | $\sigma_T$ | $\sigma^*$               | $\tau^*$ |
| I     | Термонапружені сталі  |             |            |                   |            |                          |          |
|       | 35ГС  | 1050        | 930        |                   |            |                          |          |
|       | 25Г2С   | 1320        | 1030       |                   |            |                          |          |
| II    | Зварні з'єднання  |             |            |                   |            |                          |          |
|       | 35ГС + шов 08Г2С  |             |            | 735               | 651        |                          |          |
|       | 25Г2С + шов 08Г2С   |             |            | 924               | 721        |                          |          |
| III   | Склеєні з'єднання   |             |            |                   |            |                          |          |
|       | 35ГС – арматурні стрижні та гільза – сталь 45 і шар базальтоволокно – епоксидна смола ЕДП-22  |             |            |                   |            | 940                      | 42       |
|       | 25Г2С – арматурні стрижні та гільза – сталь 45 і шар базальтоволокно – епоксидна смола ЕДП-22 |             |            |                   |            | 940                      | 42       |

Таким чином можна стверджувати, що міцність склеєного з'єднання арматурні стрижні - гільза із шаром базальтоволокно - епоксидна смола ЕДП-22 за значеннями напружень розриву  $\sigma^*$  є вищою на 24% і 18% від міцності зварного шва із сталі 08Г2С, а також становить 90 % від міцності  $\sigma_B = 1050$  МПа сталі 35ГС і 71 % від міцності  $\sigma_B = 1320$  МПа сталі 25Г2С відповідно.

## Висновки та пропозиції

1. Проведено огляд літератури щодо виготовлення та визначення міцності армованих склеєних і механічних з'єднань.

2. Розроблено маршрутні технології склеювання та герметизації арматурних стрижнів з гільзою шляхом вприскування армуючого композитного матеріалу у міжреберну порожнину між арматурними стрижнями та гільзою, що дозволило визначати напруження розриву  $\sigma^*$  та зсуву  $\tau^*$  для склеєного з'єднання.

3. Шляхом добору різних марок композитних матеріалів встановлено найбільшу міцність шару склеєного з'єднання після армування базальтоволоконном на основі зв'язуючого із епоксидних смол ЕДП-20 чи ЕДП-22; при цьому напруження розриву  $\sigma^*$  для такого з'єднання становлять близько 90 % від міцності  $\sigma_B = 1050$  МПа термонапруженої арматури із сталі 35ГС і 71 % від міцності  $\sigma_B = 1320$  МПа термонапруженої арматури із сталі 25Г2С та перевершують понад 18 % міцності  $\sigma_B = 924$  МПа шва зварного з'єднання 25Г2С + шов 08Г2С і 24 % міцності  $\sigma_B = 735$  МПа шва зварного з'єднання 35ГС + шов 08Г2С відповідно. Оскільки міцність склеєних з'єднань займає проміжні значення між міцностями термонапруженої арматури та її зварними з'єднаннями, то їх успішно можна рекомендувати до впровадження взамін операції зварювання на операцію склеювання арматурних прутків із гільзою з гвинтовим профілем отвору шляхом заповнення міжреберної порожнини композитним наповнювачем базальтоволоконно-епоксидним зв'язуючим на основі ЕДП-22 зі співвідношенням 1:10 вагових одиниць, коли йдеться про виготовлення довгопрогонових ферм мостів, габаритних будівельних споруд тощо.

## Список використаних джерел

1. Расчеты и испытания на прочность. Методы испытания композитов с полимерной матрицей. Растяжение, сжатие, кручение, внутреннее и внешнее давление, сложное напряженное состояние трубчатых образцов при нормальной, повышенной и пониженной температурах : метод. реком. МР 245–87. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 57 с.

2. Росато Д. В. Намотка стеклонитью. Развитие метода, производство, области применения и конструирование : пер. с англ. / Д. В. Росато, К. С. Грове. – М. : Машиностроение, 1969. – 310 с.

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

4. Удрис А. О. Исследование деформирования и разрушения стеклопластика со спиральным армированием  $\pm 45^\circ$  при простом и сложном напряжении / А. О. Удрис, З. Т. Упитис, Г. А. Тетерс // Механика композитных материалов. – 1984. – № 5. – С. 805 – 813.

5. Булманис В. Н. Прочность при растяжении намоточного полиэфирного стеклопластика / В. Н. Булманис, Ю. И. Гусев // Механика композит. материалов. – 1984. – № 10. – С. 67 – 68.

6. Воробей В. В. Соединение конструкций из композиционных материалов / В. В. Воробей, О. С. Сироткин. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отделение, 1985. – 168 с.

7. Экспериментальное исследование особенностей деформирования и разрушения при растяжении перекрестно армированных намоточных композитов / [ В. Н. Булманис, Ю. И. Гусев, А. С. Стручков и др.] // Механика композитных материалов. – 1985. – № 6. – С. 1020 – 1024.

8. Жигун И. Г. Особенности испытаний на растяжение высокопрочных однонаправленных композитов / И. Г. Жигун, В. В. Михайлов // Механика полимеров. – 1978. – № 4. – С. 717 – 723.

9. Ко Ги Нам. Статистические характеристики базальтовых волокон / Ги Нам Ко // Механика композитных материалов. – 1990. – № 2. – С. 348 – 351.
10. Потапов В. Д. Оптимизация параметров клеевого соединения / В. Д. Потапов, А. М. Лукьяков // Проблемы прочности. – 1988. – №4. – С. 85 – 89.
11. 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.
12. 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.
13. Композиционные материалы на основе высокопрочных базальтовых волокон : физико-механические свойства / [Я. С. Подстригач, Б. Л. Пелех, Д. Д. Джигирис и др.] // Композиционные материалы и новые конструкции. – К. : Наук. думка, 1977. – С. 13 – 16.
14. Композиционные материалы : справ. / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотина и др. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
15. Розин Б. Разрушение составных армированных материалов при растяжении / Б. Розин // Ракетная техника и космонавтика. – 1964. – № 11. – С. 121 – 129.
16. Бліхарський З. Я. Вплив одночасної дії агресивного середовища і навантаження на міцність залізобетонних балок з корозійними пошкодженнями по довжині / З. Я. Бліхарський, Р. Є. Хміль, Р. В. Вашкевич // Зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів. – 2005. – Вип. 5. – С. 13 – 21.
17. Василів Х. Особливості зношування  $\alpha$ -титанових сплавів за водневого впливу / Х. Василів, В. Винар, Н. Рацька // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2011. – Т. 13 D. – С. 198 – 202.



18. 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.
19. А. с. 773742 СССР, МКИ Н 01 В 17/00. Узел соединения стеклопластикового стержня с металлическим наконечником и способ его изготовления / Ч. Г. Агаев, Г. Н. Шаманов, И. Ф. Карагезов, Г. А. Гусейнов; опубл. 1980, Бюл. № 39.
20. Исследование прочности клеевого соединения цилиндрических элементов из металла и армированного пластика / [Б. Л. Пелех, И. С. Когут, Я. И. Голынский и др.] // Механика композитных материалов. – 1988. – № 5. – С. 929 – 931.
21. Когут Н. С. Трещиностойкость конструкционных материалов / Н. С. Когут. – Львов : Выща шк. 1986. – 160 с.
22. Фрейдин А. С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А. С. Фрейдин. – М. : Химия, 1981. – 270 с.
23. Фрудзин Т. Механика разрушения композиционных материалов : пер. с японск. / Т. Фрудзин. – М. : Мир, 1982. – 232 с.
24. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров / В. Г. Хозин. – Казань : Дом печати, 2008. – 544 с.
25. Сироткин О. С. Проектирование и технология соединений элементов конструкций из композиционных материалов / О. С. Сироткин // Пластические массы. – 1976. – № 3. – С. 57 – 61.
26. Тарнопольский Ю. М. Стержни из композитов для ферменных конструкций / Ю. М Тарнопольский, В. В. Хитров // Механика композитных материалов. – 1986. – № 2. – С. 258 – 268.
27. Технология полимерных материалов / [А. Ф. Николаев, В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов и др.]. СПб. : Профессия, 2008. – 544 с.
28. Кейгл Ч. Клеевые соединения : пер. с англ. / под ред. Д. А. Кардашова. – М. : Мир, 1971. – 294 с.

29. 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.

30. Kogut I. S. Evaluation of the sizes of the process zone for quasibrittle notched specimens / I. S. Kogut, H. I. Kalyta // *Materials Science*. – 2008. – 44. – № 1. – P. 97 – 103.

31. Ігнатишин М. І. З'єднання арматури періодичного профілю у залізобетонних конструкціях / М. І. Ігнатишин, М. М. Гвоздюк // *Зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*. – Львів : Каменяр, 2004. – Вип. 6. С. 42 – 47.

32. Лучко Й. Й. Оцінка працездатності втулкового з'єднання арматурних стержнів / Й. Й. Лучко, Я. Л. Іваницький, М. М. Гвоздюк // *Зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*. – Львів. – 2003. – С. 137 – 145.

33. 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.

34. А. с. 773742 СССР, МКИ Н 01 В 17/00. Узел соединения стеклопластикового стержня с металлическим наконечником и способ его изготовления / Ч. Г. Агаев, Г. Н. Шаманов, И. Ф. Карагезов, Г. А. Гусейнов; опубл. 1980, Бюл. № 39.

35. Базальтоволокниты [О. В. Тутаков, В. А. Вонсянский, Л. В. Кармазина и др.] // *Химическая технология*. – 1985. – № 5. – С. 14 – 17.

36. Пат. 83692 Україна, МПК Е 04 С 5/03. Спосіб з'єднання арматурних стержнів з періодичним реберним профілем / М. С. Когут, Р. В. Гуменюк. – опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18.

37. Пат. 88832 Україна, МПК Е 04 С 5/03. Спосіб з'єднання арматурних стержнів / М. С. Когут, Р. В. Гуменюк. – опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7.

38. Гуменюк Р. В. Оцінка міцності й тріщиностійкості сталюї термонапруженої арматури та її зварних і склеєних з'єднань / Р. В. Гуменюк, автореф. дис. канд. техн. наук. ЛНТУ, Луцьк, 2014. – 20 с.