

УДК 621.529.4

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.1.143

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ СКЛЕЄНИХ КОМПОЗИТНИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ ТЕРМОНАПРУЖЕНОЮ АРМАТУРОЮ

Гуменюк Р. В., Керницький І. С., Шолудько Я. В., Буртак В. В.,
Березовецький С. А.

Львівський національний аграрний університет

Анотація. Приведено огляд способів визначення міцності армованих склеєних і механічних з'єднань. Запропоновано методологію виготовлення склеєних композитних з'єднань арматурних стрижнів – гільз, визначено напруження розриву σ^* та зсуву τ^* для них. Шляхом добдобирання з п'яти марок композитних матеріалів встановлено найбільшу міцність композитного шару склеєного з'єднання на основі армування базальтоволокно-епоксидної смоли ЕДП-22 за умови співвідношень 1:10 їх вагових одиниць, у цьому випадку такий композитний шар становить 90 % і 71 % міцності термонапруженої арматури зі сталей 35ГС і 25Г2С та перевищує на 24 % і 18 % міцність шва їх зварних з'єднань.

Ключові слова: термонапруження, гільза, склеєне з'єднання, температура, арматура, епоксидна смола.

Вступ

Для забезпечення надійності та довготривалості залізобетонних елементів конструкцій у випадках, коли йдеться про заміну зварних стикових з'єднань пруткової арматури, які зазвичай мають залишкові напруження від зварювання, а отже, є першоджерелами зниження їхньої міцності та тріщиностійкості (K_{IC}) науковцями запропоновано ряд підходів і конструкцій зразків зі склеєних композитних з'єднань для визначення їх міцності, зокрема напружень розриву σ_p^* та зсуву τ .

Технологічні способи виготовлення композитів і виробів із них, їх розрахунки і випробування наведені 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 зазначено в роботах [11–15], з одного боку вони можуть замінити ряд металевих матеріалів, а з іншого запобігти корозійному руйнуванню останніх [16–18].

Вихідними матеріалами, тобто наповнювачем є різноманітні волоконні матеріали: скловолокно та базальтоволокно у вигляді тонких ниток та специфічних вуглепластиків, що мають міцність, яка вище за попередні, які виготовляють за різними технологіями [19–24].

Вихідними матеріалами, тобто сполучником, є клеї на основі епоксидних смол марок ЕДП-20, ЕДП-22 ГОСТ 10587-84 або смола епоксидна модифікована (епоксидний ком-

паунд) марки K115 ЕУ 6-05-1251-75; пластифікатор дибутилфталат (ДБФ) ГОСТ 8728-77.

Згідно з [9] оптимальний температурний режим ствердіння сполучника на основі епоксидного компаунду дорівнює K115: на першій стадії за кімнатної температури протягом 25 годин; на другій – полімеризація за підвищених температур нагрівання за схемою 80 °С/1 годин + 100 °С/1 годин + 120 °С/1 годин або зі швидкістю нагрівання 60 °С/1 годин та охолодження виробу-зразка разом з піччю до температури 40 °С.

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

Треба зазначити, що міцність АПМ залежить від способу намотування армованого скло- чи базальтопластику (перехресного чи поздовжнього намотування), зусилля натягування нитки-стрічки, знежирювання та висушування з'єднуваних деталей, режимів термооброблення тощо [2, 25–27].

Аналіз публікацій

Типи зразків для випробувань шару у склеєних армованих з'єднаннях на розтягування, зсув та епюра дотичних напружень для нього за розробками [28–30] подані на рис. 1, а, б, в відповідно. Конструктивні розміри збірних зразків для досліджень склеєних з'єднань на розтягування подані на рис. 2 та рис. 3 відповідно.

Треба зазначити, що у зразках рис. 2 та 3 сталеві оправки повинні мати грубу

шорсткість ($R_z=160...320$ мкм) поверхні під намотування волоконного шару, що дає гарну адгезію (зчеплення зв'язувального намотаного шару зі сталевими оправками) та надійне моделювання роботи склеєного з'єднання.

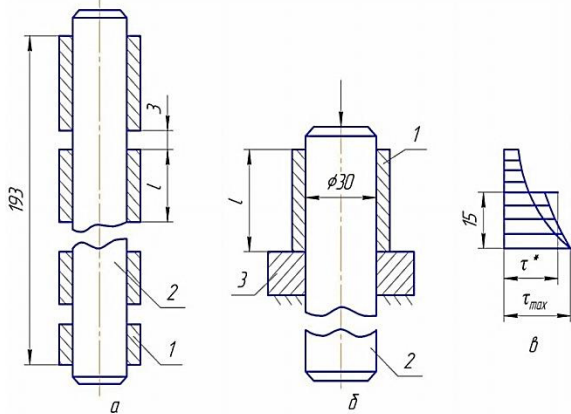


Рис. 1. Дослідний зразок (а), схема випробувань на зсув шару (б) і епюра дотичних напружень в клейовому шарі (в): 1 – шар із АПМ; 2 – оправка; 3 – опора

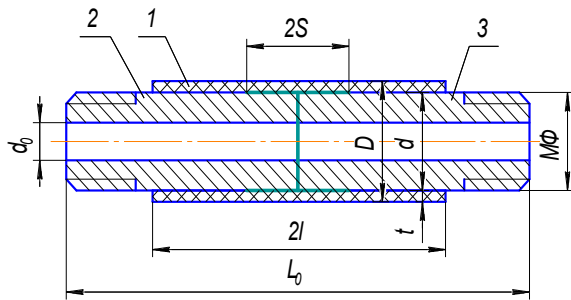


Рис. 2. Трубчастий зразок для досліджень склеєних з'єднань на розтягування: 1 – намотаний шар із АПМ; 2, 3 – ліва і права оправки

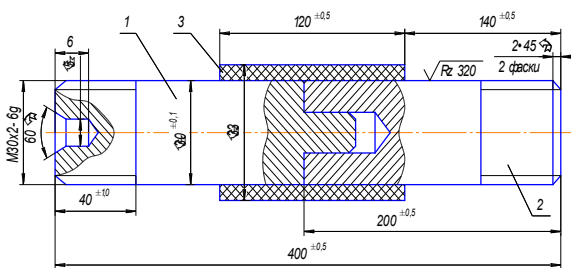


Рис. 3. Конструктивні розміри збірної зразка для досліджень склеєних з'єднань: 1, 2 – ліва і права оправки; 3 – намотаний шар із АПМ

Довжина склеєного шару $2l = 120$ мм (рис. 3) буде достатньою для забезпечення

оптимального зусилля у разі розриву з'єднання за умови

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

де D – діаметр металевої оправки.

Характерна діаграма статичного розтягування склеєного армованого з'єднання подана на рис. 4, яка має скачкоподібний характер у випадку руйнування в координатах сили P^* – деформація ϵ , що пов'язано з поступовим руйнуванням волокон намотаного шару.

Нормальні напруження розриву σ^* та зсуву τ^* 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.

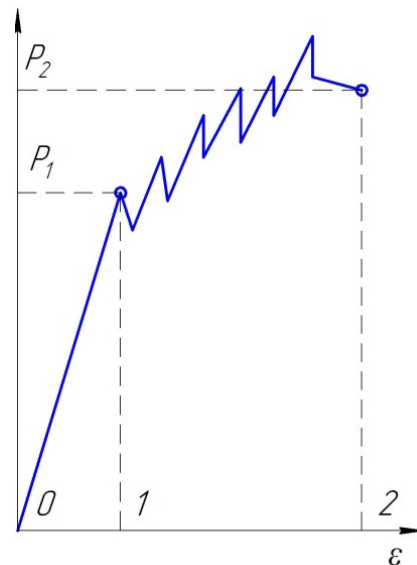


Рис. 4. Типова діаграма статичного розтягування склеєного армованого з'єднання

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

Треба зазначити, 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 складності для його реалізації.

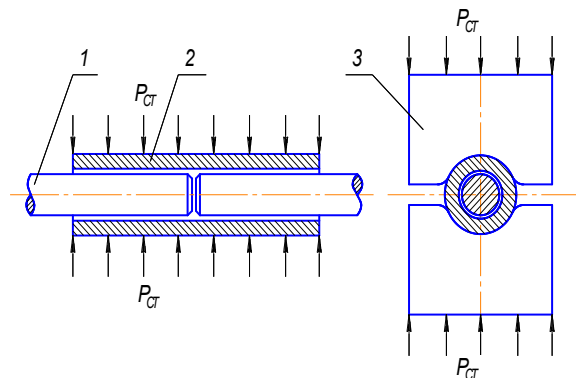


Рис. 5. Принципова схема втулкового з'єднання та обтискання: 1 – арматура; 2 – втулка; 3 – пуансон

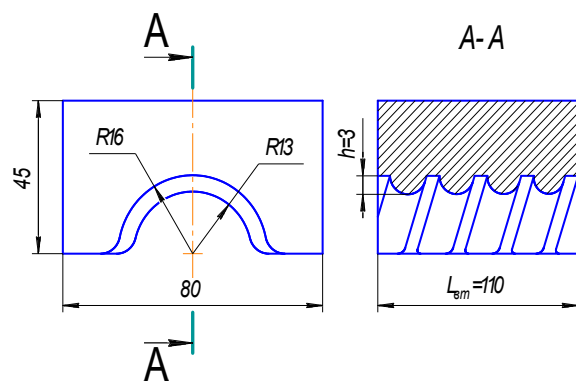


Рис. 6. Загальний вигляд профільного пуансона (верхня частина)

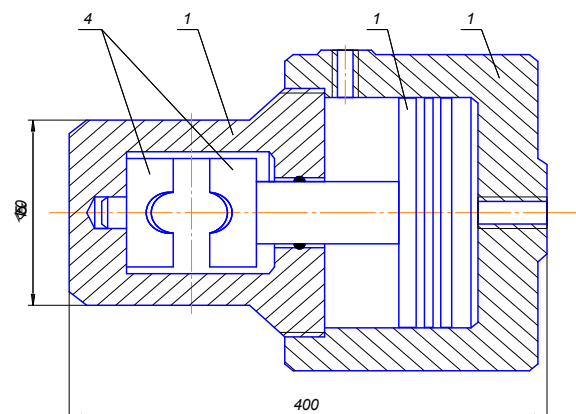


Рис. 7. Конструктивна схема силової головки для гідравлічного преса: 1 – корпус; 2 – циліндр; 3 – поршень; 4 – профільні пуансони

Мета і постановка завдання

Метою роботи є 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.

Результати й аналіз дослідження

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 економічну операцію її склеювання.

З цією метою було впроваджено декілька розробок нових композиційних матеріалів, міцність яких практично наближається до міцності зварних з'єднань та навіть до міцності металів [34, 35].

Щодо виготовлення з'єднання арматурних стрижнів механічним способом, в якому арматурні стрижні додатково орієнтують до збігання їх профілів з профілем обтискного елемента, а далі 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].

Але 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 основі запропонованих способів [36, 37] є завдання забезпечення стійкого з'єднання арматурних стрижнів періодичного профілю, в якому нове здійснення відомих операцій і введення нових елементів, які забезпечили б відсутність контактних напружень від обтискання гільзи з профілем арматурних стрижнів, що зменшить енергоємність та трудомісткість з'єднання.

Це завдання вирішується тим, що з'єднання арматурних стрижнів періодичного профілю (див. рис. 8) та арматурні стрижні орієнтують відносно гільзи та додатково орієнтують до збігання їхніх профілів з аналогічним профілем гільзи, у стінці гільзи вздовж середини її довжини виготовляють отвір з нарізю для під'єднання нагнітальної системи з штуцером, на кінцях отвору гільзи виточують кільцеві канавки для встановлення ущільнювальних гумових кілець. Потім арматурні стрижні крізь отвори гумових кілець просовують з натягом назустріч один одному до половини довжини отвору гільзи і крізь отвір штуцера вприскують консистентну зв'язувальне епоксидної смоли – базальтоволокно повного заповнення міжреберної порожнини між арматурними стрижнями та гільзою, від'єднують нагнітальну систему зі штуцером, а армований шар полімеризують за заданим режимом і охолоджують з певною витримкою на повітрі. Одержане з'єднання випробовують розтягуванням і визначають напруження σ^* , яке зіставляють з напруженнями σ_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 корозостійке 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* вздовж довжини стрижня (рис. 8).

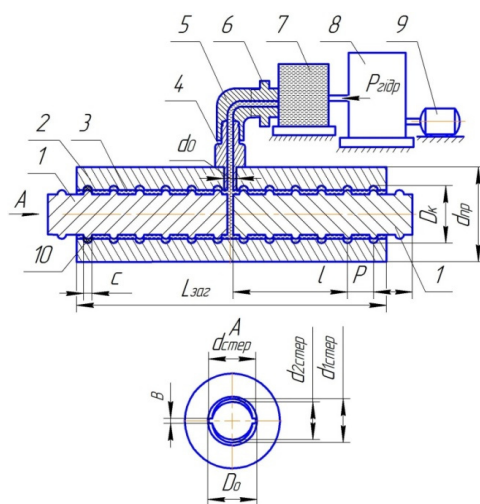


Рис. 8. Схема виготовлення склеєного з'єднання арматурних стрижнів з гільзою

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

Спершу нарізали арматурні стрижні 1, діаметром $d_{\text{стєр}}$, розміром l , потім нарізають пруток 2, діаметром $d_{\text{пр}}$ розміром $L_{\text{заг}}$, у якому робили отвір, діаметром D_0 на всю довжину прутка $L_{\text{заг}}$ відповідно до діаметра арматурного стрижня $d_{\text{стєр}}$ (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 вздовж середини її довжини $L_{\text{заг}}/2$. В отворі діаметра d_0 робили нарізь відповідно до нарізі M загвинчувального штуцера впускного 4 та під'єднували штуцер випускний 6 крізь шланг 5 до ємності 7 з епоксидною смолою, наприклад, марок ЕДП-20 або ЕДП-22, змішаною з базальтоволокном у співвідношенні 10:1 вагових одиниць.

Потім монтували стрижні 1 крізь 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 вприскували суміш епоксидної смоли і базальтоволокна, що створили 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 години, від'єднували гідравлічну систему разом зі штуцером впускним 4 з отвору стінки гільзи з нарізю M і полімеризували в муфельній печі армований шар склеєного з'єднання (гільза-арматурні стрижні) за таким режимом: нагрів за $T = 100 \dots 150$ °С, витримка 2...3 години, охолодження на повітрі, а одержане склеєне з'єднання (гільза-арматурні стрижні) (рис. 9) випробовували осьовим розтягуванням 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

Таким же способом визначали напруження зсуву для армованого шару склеєного з'єднання за формулою

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

де P^* – руйнівне зусилля; $F_k \cdot L_{\text{заг}}$ – бічна поверхня утвореного з поперечним перерізом кільця площею F склеєного з'єднання за довжиною $L_{\text{заг}}$ для пари арматурні стрижні-гільза. Підраховані для армованого шару нормальні напруження розриву σ^* і зсуву τ^* зіставляли з напруженнями міцності σ_b матеріалу арматури.

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 зі стандартних арматурних стрижнів, діаметром $d_{\text{стер}} = 14$ мм і довжини $l = 120$ мм та гільзи, виготовленої із прутка $d_{\text{пр}} = 25$ мм і загальної довжини $L_{\text{заг}} = 140$ мм (десятикратної довжини від діаметра арматурного стрижня). У гільзі висвердлений наскрізний отвір $D_0 = 15$ мм, якому нарізали гвинтову канавку, глибиною до $D_k = 18$ мм відповідно до кроку $P = 6$ мм профілю арматури. Висвердлений отвір $d_0 = 10,5$ мм в стінці гільзи всередині її довжини $L_{\text{заг}}/2 = 70$ мм мав нарізь, діаметром $M12 \times 1,5$ -6р. Гумові кільця для ущільнювання з'єднання мали товщину $B = 5$ мм та діаметр $D_k = 19$ мм. Нагнітальна система в ємкості створювала тиск до $P = 0,5$ МПа.

За такою послідовністю одержували склеєні епоксидною смолою ЕДП-22 з'єднання у другій партії. Після затискання кінців стрижнів захоплювачами випробування двох партій таких з'єднань здійснювали на розривній машині РМ-25 з записом

діаграми розтягування в координатах навантаження P -деформація ϵ . Масштаб діаграмного запису склав 20:1. Швидкість навантаження дорівнювала 2 мм/хв. Руйнівне навантаження P^* фіксували за шкалою силовимірника розривної машини. Під час експерименту для таких з'єднань визначали напруження розриву σ^* і зсуву τ^* (йдеться про склеєну поверхню, утворену у вигляді поперечного перерізу кільця вздовж гвинтових канавок із заданою товщиною армованого шару, для пари арматурні стрижні-гільза $D_k - d_{\text{стер}}$ на довжині склеєного з'єднання $L_{\text{заг}} = 140$ мм) із врахуванням еліпсного перерізу арматури за формулами

напруження розриву:

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

та напруження зсуву:

$$\tau^* = \frac{P^*}{\pi d_{\text{стер}} \cdot L_{\text{заг}}}. \quad (7)$$

Після встановлення P^* в результаті руйнування армованих шарів склеєних епоксидними смолами ЕДП-20 та ЕДП-22 з'єднань (3 шт. зразків у кожній партії) та розрахунків за формулами (6) і (7) визначені переваги склеєних з'єднань на основі ЕДП-22, як порівняти 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.

Добирання композитних матеріалів для одержання максимальної міцності склеєного з'єднання арматурні стрижні-гільза.

Відповідно до методики виготовлення склеєного з'єднання арматурних стрижнів з гільзою за способами [36, 37], визначимо комплекс досліджень щодо добору композитних матеріалів у випадку заповнення міжреберної порожнини між стрижнями та отвором гільзи для виявлення максимальної міцності такого нероз'ємного з'єднання.

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

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

Після монтажу склеювання стрижнів з гільзою, витримки до 2-х діб, та полімеризації за 80 °С одержані склеєні з'єднання

(рис. 10, а, б) випробовували осьовим розтяганням на розривній машині РМ-25, де записували діаграми розтягання в координатах P - ε (сила-деформація).

Після оброблення експериментальних даних за формулами (6 і 7) встановлені значення напружень розриву σ^* та зсуву τ^* для досліджуваних партій склеєних з'єднань зведено в табл. 1. [38].

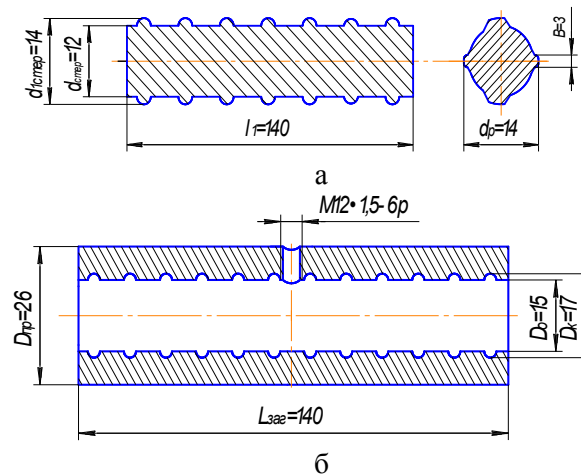


Рис. 10. Геометричні розміри стрижня (а) та гільзи (б) для виготовлення склеєних з'єднань

Таблиця 1 – Напруження розриву σ^* та зсуву τ^* склеєних з'єднань

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

Згідно з даними табл. 1. мінімальні значення напружень розриву σ^* і зсуву τ^* для склеєних з'єднань має клей полімерної смоли (позиція 3), а максимальні – клей епоксидної смоли з базальтоволокном (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 базальтоволокна у співвідношенні 10:1 вагових одиниць можна рекомендувати для інженерної практики.

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

У табл. 2. подано три варіанти фізико-механічних характеристик, а саме: міцності (σ_B і σ_T) термонапружених сталей 35ГС і 25Г2С, міцності шва σ_B і σ_T зварних з'єднань на основі цих сталей, напружень розриву σ^* і зсуву τ^* для склеєних з'єднань арматурних стрижнів із цих сталей і гільзи, виготовленої зі сталі 45 (стан поставляння) [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	
		σ_b	σ_T	σ_b	σ_T	σ^*	τ^*
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 базальтово-локно-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 σ^* є вищою на 24 % і 18 % від міцності зварного шва зі 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

1. Здійснено аналіз наукової 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 армувального композитного матеріалу до міжреберної порожнини між арматурними стрижнями та гільзою, що дозволило визначити напруження розриву σ^* та зсуву τ^* для склеєного з'єднання.

3. Шляхом добору різних марок композитних матеріалів встановлено найбільшу міцність шару склеєного з'єднання після армування базальтоволокном на основі зв'язуючого з епоксидних смол ЕДП-20 чи ЕДП-22; у цьому випадку напруження розриву σ^* для з'єднання становлять близько 90 % від міцності $\sigma_b = 1050$ МПа термонапруженої арматури зі сталі 35ГС і 71 % від міцності $\sigma_b = 1320$ МПа термонапруженої арматури зі сталі 25Г2С та перевищують 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 замість операції зварювання на операцію склеювання арматурних прутків із гільзою з гвинтовим профілем отвору шляхом заповнення міжреберної порожнини композитним наповнювачем базальтоволокно-епоксидним зв'язуючим на основі ЕДП-22 зі співвідношенням 1:10 вагових одиниць для виготовлення довгопрогонових ферм мостів, габаритних будівельних споруд тощо.

Література

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. Москва: Изд-во стандартов, 1987. 57 с.
2. Росато Д. В., Грове К. С. Намотка стеклоткни. Развитие метода, производство, области применения и конструирование / пер. с англ. Москва: Машиностроение, 1969. 310 с.
3. Тарнопольский Ю. М. Методы статистических испытаний армированных пластиков. Москва: Химия, 1981. 272с.
4. Удрис А. О., Упитис З. Т., Тетерс Г. А. Исследование деформирования и разрушения стеклопластика со спиральным армированием $\pm 45^\circ$ при простом и сложном напряжении. Механика композитных материалов. 1984. № 5. С. 805–813.
5. Булманис В. Н., Гусев Ю. И. Прочность при растяжении намоточного полиэфирного стеклопластика. Механика композит. материалов. 1984. № 10. С. 67–68.

6. Воробей В. В., Сироткин О. С. Соединение конструкций из композиционных материалов. Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1985. 168 с.
7. Булманис В. Н., Гусев Ю. И., Стручков А. С. Экспериментальное исследование особенностей деформирования и разрушения при растяжении перекрестно армированных намоточных композитов. Механика композитных материалов. 1985. № 6. С. 1020–1024.
8. Жигун И. Г., Михайлов В. В. Особенности испытаний на растяжение высокопрочных однонаправленных композитов. Механика полимеров. 1978. № 4. С. 717–723.
9. Ко Ги Нам. Статистические характеристики базальтовых волокон. Механика композитных материалов. 1990. № 2. С. 348–351.
10. Потапов В. Д., Лукьяков А. М. Оптимизация параметров клевого соединения. Проблемы прочности. 1988. № 4. С. 85–89.
11. Божидарнік В. В. Механіка руйнування, міцність і довговічність неперервно армованих композитів : монографія : у 2-х т. Луцьк : Надстир'я, 2007. Т. 1. Основи механіки руйнування неперервно армованих композитів. 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 Москва: 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. Киев: Наук. думка, 1977. С. 13–16.
14. Композиционные материалы: справ. / В. В. Васильев и др. Москва: Машиностроение, 1990. 512 с.
15. Розин Б. Разрушение составных армированных материалов при растяжении. Ракетная техника и космонавтика. 1964. № 11. С. 121–129.
16. Бліхарський З. Я., Хміль Р. В., Вашкевич Р. В. Вплив одночасної дії агресивного середовища і навантаження на міцність залізобетонних балок з корозійними пошкодженнями по довжині: зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів. 2005. Вип. 5. С. 13–21.
17. Василів Х., Винар В., Рацька Н. Особливості зношування α -титанових сплавів за водневого впливу. 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. Пелех Б. Л., Когут И. С., Голінский Я. И. Исследование прочности клевого соединения цилиндрических элементов из металла и армированного пластика. Механика композитных материалов. 1988. № 5. С. 929–931.
21. Когут И. С. Трещиностойкость конструкционных материалов. Львов: Выща шк. 1986. 160 с.
22. Фрейдин А. С. Прочность и долговечность клеевых соединений. Москва: Химия, 1981. 270 с.
23. Фрудзин Т. Механика разрушения композиционных материалов / пер. с японск. Москва: Мир, 1982. 232 с.
24. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров. Казань: Дом печати, 2008. 544 с.
25. Сироткин О. С. Проектирование и технология соединений элементов конструкций из композиционных материалов. Пластические массы. 1976. № 3. С. 57–61.
26. Тарнопольский Ю. М., Хитров В. В. Стержни из композитов для ферменных конструкций. Механика композитных материалов. 1986. № 2. С. 258–268.
27. Технология полимерных материалов / А. Ф. Николаев и др. Санкт-Петербург: Профессия, 2008. 544 с.
28. Кейгл Ч. Клеевые соединения / пер. с англ. Москва: Мир, 1971. 294 с.
29. Когут І. С. Міцність і деформування стрижневих конструкцій із армованих полімерів. Львів: ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАНУ; Центр наукового товариства ім. Т. Шевченка, 2011. 198 с.
30. Kogut I. S., Kalyta H. I. Evaluation of the sizes of the process zone for quasibrittle notched specimens. Materials Science. 2008. 44. № 1. P. 97–103.
31. Ігнатишин М. І., Гвоздюк М. М. 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.
32. Лучко Й. Й., Іваницький Я. Л., Гвоздюк М. М. Оцінка працездатності втулкового з'єднання арматурних стержнів: зб. наук. пр. Діагностика, довговічність та реконструкція – 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. Штанюра, 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 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 сталеної термонапруженої арматури та її зварних і склеєних з'єднань: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. Луцьк, 2014. 20 с.
- ### References
1. Strength calculations and tests. Test methods for polymer matrix composites. Tensile, compression, torsion, internal and external pressure, complex stress state of tubular specimens at normal, elevated and lowered temperatures: a method. say. MR 245–87. Moskov: Publishing House of Standards, 1987. 57 p.
 2. Rosato D. V., Grove K. S. Winding of fiberglass. Method development, production, applications and design: trans. with. eng. Moskov: Mechanical Engineering, 1969. 310 p.
 3. Tarnopolskii Yu. M. Methods of statistical tests of reinforced plastics 3rd ed. recycling. and ext. MMoskov: Chemistry, 1981. 272s.
 4. Udris A.O., Upitis Z., Teters G. Investigation of deformation and fracture of fiberglass with spiral reinforcement $\pm 45^\circ$ at simple and complex stress. Mechanics of Composite Materials. 1984. № 5. P. 805–813.
 5. Bulmanis V. N., Gusev Yu. Tensile strength of winding polyester fiberglass. Mechanics of Composite materials. 1984. № 10. P. 67–68.
 6. Vorobei V. V., Sirotkin O. Joining structures from composite materials. Mechanical Engineering. Leningrad Branch, 1985. 168 p.
 7. Experimental study of the features of deformation and fracture in tension of cross-reinforced winding composites / V. N. Bulmanis etc. Mechanics of composite materials. 1985. № 6. P. 1020–1024.
 8. Zhigun I. G., Mikhailov V. V. Peculiarities of tensile testing of high-strength unidirectional composites. Polymer mechanics. 1978. № 4. P. 717–723.
 9. Ko Hi Nam. Statistical characteristics of basalt fibers. Mechanics of composite materials. 1990. № 2. P. 348–351.
 10. Potapov V.D., Lukyakov A. M. Optimization of the parameters of an adhesive compound. Problems of Strength. 1988. №4. P. 85–89.
 11. Bozhidarnik V. V. Mechanics of fracture, strength and durability of continuous reinforced composites: monograph: in 2 volumes. T. 1. Fundamentals of fracture mechanics of continuously reinforced composites. Lutsk: Overhang, 2007. 400 p.
 12. Composite materials: cases. manual in the 8th item / under General. ed. L. Brautman and R. Crock. Vol. 3. Application of Composite Materials in Engineering. Moscow: Mechanical Engineering, 1978. 512 p.
 13. Composite materials based on high-strength basalt fibers: physical and mechanical properties / Ya.S. Podstrigach, B.L. Pelekh, D.D. Dzhigiris, etc. Composite materials and new constructions. Kiev: Sciences. Opinion, 1977 pp. 13–16.
 14. Composite materials: cases. / V.V. Vasilyev, V.D. Protasov, V.V. Bolotin et al. Moscow: Machine-building, 1990. 512 p.
 15. Rozin B. Destruction of composite reinforced materials during tensile. Rocket technology and astronautics. 1964. № 11. P. 121–129.
 16. Blikharskii Z. Influence of simultaneous action of aggressive medium and load on the strength of reinforced concrete beams with corrosion damage along the length. Blikharskii Sciences. BC Diagnostics, durability and reconstruction of bridges. 2005. Vip. 5. P. 13–21.
 17. Vasilov H., Vinar V., Ratskaya N. Features of wear of α -titanium alloys under hydrogen action. Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin, 2011. T. 13 D. P. 198–202.
 18. Mechanics of composites: cases. manual in the 12th item / under General ed. A.N.Guzya and L.P. Khoroshun. Vol. 12 Applied research. Kiev: «A. S. K.», 2003 399 p.
 19. A. p. 773742 USSR, MKI H 01 V 17/00. Node of connection of fiberglass rod with metal tip and method of its manufacture / Ch. G. Agaev, G.N. Shamanov, I.F. Karagezov, G.A. Huseynov; publ. 1980, Bul. № 39.
 20. Investigation of the strength of adhesive joints of cylindrical elements of metal and reinforced plastic / B.L. Pelekh etc. Mechanics of Composite Materials. 988. № 5. P. 929–931.
 21. Kogut N. S. Fracture Resistance of Structural Materials. Lviv: Higher School. 1986. 160 p.
 22. Freudin A. S. Strength and durability of adhesive compounds. Moskov: Chemistry, 1981. 270 p.
 23. Frudzin T. Mechanics of fracture of composite materials: trans. with japanese. Moskov: Mir, 1982. 232 p.
 24. Khozin V. G. Strengthening of epoxy polymers. Kazan: House of the Press, 2008. 544 p.
 25. Sirotkin O. S. Design and technology of compounds of structural elements from composite materials. Plastic masses. 1976. № 3. P. 57–61.
 26. Tarnopolsky Yu. M., Khitrov V. V. Rods from Composites for Truss Constructions. Mechanics of Composite Materials. 1986. № 2. P. 258–268.
 27. Technology of polymeric materials / A. F. Nikolaev etc.]. St. Petersburg: Profession, 2008. 544 p.
 28. Kagle C. Glue compounds: trans. with English. Moskov: World, 1971. 294 p.

29. Kohut I. S. Strength and deformation of core structures made of reinforced polymers / IS Kohut. Lviv: IPPMM them. Ya. S. Podstryhach of NASU; Center for Scientific Society. T. Shevchenko, 2011. 198 p.
30. Kogut I. S., Kalyta H. I. Evaluation of the process zone sizes for quasibrittle notched specimens. Materials Science. 2008. 44. № 1. P. 97–103.
31. Ignatyshyn M. I., Gvozdyuk M. M. Connections of the Periodic Profile Reinforcement in Reinforced Concrete Structures. Sciences. BC Diagnosis, durability is the reconstruction of bridges and structures. Lviv: Stonecutter, 2004. Issue. 6. P. 42–47.
32. Luchko Y. Y. Diagnostics, durability and reconstruction of bridges and structures. Lviv. 2003. P. 137–145.
33. Pat. 63168A Ukraine, PMC E 04 C 5/03. Method of connecting reinforcing bars of a periodic profile and device for its implementation / Y.Y. Luchko, Ya. L. Ivanitsky, S.T. Shtayura, M.I. Ignatyshyn. - publ. 01/15/2004, Bul. № 5.
34. A. p. 773742 USSR, MKI H 01 V 17/00. Node of connection of fiberglass rod with metal tip and method of its manufacture / Ch. G. Agaev, G.N. Shamanov, I.F. Karagezov, G.A. Huseynov; publ. 1980, Bul. № 39.
35. Basalt fibers / O. V. Chemical Technology. 1985. № 5. P. 14–17.
36. Pat. 83692 Ukraine, IPC E 04 C 5/03. A method of connecting reinforcing bars with a periodic rib profile / M.S. Kogut, R.V. Humeniuk. - publ. 9/25/2013, Bul. № 18.
37. Pat. 88832 Ukraine, IPC E 04 C 5/03. The method of connection of reinforcing bars / M.S. Kogut, R.V. Humeniuk. - publ. 04/10/2014, Bul. № 7.
38. Humeniuk, R.V., Estimation of strength and fracture-stability of steel thermally stressed armature and its welded and glued joints / R.V. Humeniuk, author. diss. Cand. tech. Sciences. LNTU, Lutsk, 2014. 20 p.

Гуменюк Руслан Васильович к.т.н., в.о. доцента кафедри машинобудування, тел. +380965614415, e-mail: grv.lnau@gmail.com.,

Керницький Іван Степанович д.т.н., професор, завідувач кафедри машинобудування,

Шолудько Ярослав Васильович к.т.н., доцент кафедри енергетики,

Буртак Володимир Володимирович к.т.н., в.о. доцента кафедри сільськогосподарської техніки,

Березовецький Сергій Андрійович к.т.н., в.о. доцента кафедри машинобудування, Львівський національний аграрний університет, вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, 80381, Україна.

Исследования прочности клеенных композитных соединений с термонапряженной арматурой

Аннотация. Приведен обзор способов определения прочности армированных клеенных и механических соединений. Необходимость исследования клеенных соединений направлена на замену операции сварки прутковой арматуры на более экономную операцию ее склеивания. Представлены типы образцов и конструктивные размеры для испытаний слоя в клеенных армированных соединениях на растяжение и сдвиг. Предложен комплекс исследований по подбору композитных материалов при заполнении межреберной полости между стержнями и отверстием гильзы для выявления максимальной прочности такого неразъемного соединения. Построена диаграмма статического растяжения клееного армированного соединения, которая имеет скачкообразный характер при разрушении в координатах сила P^* -деформация ϵ , что связано с постепенным разрушением волокон намотанного слоя. Предложена методология изготовления клеенных композитных соединений арматурные стержни-гильза и определено напряжения разрыва σ^* и сдвига τ^* для них. Путем подбора из пяти марок композитных материалов установлено максимальную прочность композитного слоя клееного соединения на основе армирования базальтоволокно-эпоксидная смола ЭДП-22 при условии соотношений 1:10 их весовых единиц, при этом такой композитный слой составляет 90 % и 71 % прочности термонапряженной арматуры из сталей 35ГС и 25Г2С и превосходит на 24 % и 18 % прочность шва их сварных соединений соответственно. Поскольку прочность клеенных соединений занимает промежуточные значения между прочностью термонапряженной арматуры и ее сварными соединениями, то их успешно можно рекомендовать к внедрению взамен операции сварки на операцию склеивания арматурных прутков с гильзой с винтовым профилем отверстия путем заполнения межреберной полости композитным наполнителем базальтоволокно-эпоксидным связующим на основе ЭДП-22 с соотношением 1:10 весовых единиц, когда речь идет об изготовлении долговременных ферм мостов, габаритных строительных зданий и т.д.

Ключевые слова: термонапряженная, гильза, клеенное соединения, температура, арматура, эпоксидная смола.

Гуменюк Руслан Васильевич к.т.н., и.о. доцента кафедры машиностроения,

тел. +380965614415, e-mail: grv.lnau@gmail.com,

Керницький Іван Степанович д.т.н. професор, заведуючий кафедрой машиностроения,

Шолудько Ярослав Васильевич к.т.н., доцент кафедры энергетики,

Буртак Владимир Владимирович к.т.н., и.о. доцента кафедры сельскохозяйственной техники,

Березовецький Сергій Андреевич к.т.н., и.о. доцента кафедры машиностроения,

Львовский национальный аграрный уни-верситет, ул. Владимира Великого, 1, г. Дубляны, 80381, Украина.

Researching strength of glued composite compounds with thermal-tension fittings

Problem. A review of methods for determining the strength of reinforced bonded and mechanical joints is given. The need to study glued joints is aimed at replacing the welding operation of bar reinforcement with a more economical gluing operation. Types of samples and structural dimensions for testing a layer in glued reinforced joints for tensile and shear are presented. A set of studies is proposed for the selection of composite materials when filling the intercostal cavity between the rods and the sleeve opening to reveal the maximum strength of such an integral connection. A diagram of the static tension of a glued reinforced joint is constructed, which has a jump-like nature when the coordinates P^* - strain ε are destroyed, which is associated with the gradual destruction of the fibers of the wound layer. A methodology for the manufacture of glued composite joints for reinforcing sleeves is proposed, and the tensile stress σ^* and shear stress τ^* are determined for them. **Goal.** Reinforced polymer composite materials are applied for bonding epoxy resin-coated rods after the selection of their components, and on this basis the strength of the bonded joints is compared with the strength of such reinforcement and the strength of its welded joints. **Methodology.** A methodology for the manufacture of glued composite joints is proposed for reinforcing bars – a sleeve and, specifically, the tensile stress σ^* and shear τ^* for them. **Results.** By sampling from five grades of composite materials, the maximum strength of the composite bonded joint layer based on the reinforcement of basalt fiber-epoxy resin EDP-22 was established, provided that the ratios are 1:10 of their weight units, while such a

composite layer is 90% and 71 % of the strength of thermally stressed reinforcement made of 35HS and 25H2S steels and exceeds by 24 % and 18 % the strength of the weld of their welded joints, respectively. **Originality.** For the first time, a methodology for the manufacture of bonded composite joints reinforcing rods – sleeve was proposed and the highest strength of the composite layer of the bonded compound based on the reinforcement of EDP-22 basalt fiber-epoxy resin was established. **Practical value.** Since the strength of glued joints takes intermediate values between the strength of thermally stressed reinforcement and its welded joints, they can be successfully recommended instead of the welding operation for gluing reinforcing bars with a sleeve with a screw profile of the hole by filling the intercostal cavity with a composite filler of basalt fiber – an epoxy binder based on EDP-22 with a ratio of 1:10 weight units when it comes to the manufacture of pre-carriage trusses of bridges, overall construction methods ore and others.

Keywords: thermal stress, sleeve, bonded connection, temperature, armature, epoxy.

Humenyuk Ruslan, Ph.D. in. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering,

tel. +380965614415, e-mail: grv.lnau@gmail.com,

Kernytskyy Ivan, Doctor of Technical Sciences Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering,

Sholudko Yaroslav, Ph.D. Associate Professor, Department of Energy,

Burtak Volodymyr, Ph.D. in. Associate Professor of the Department of Silkospodar Culture,

Berezovetskyi Sergiy, Ph.D. in. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Lviv National Agricultural University, str. Volodymyr the Great, 1, Dublyany, 80381, Ukraine.