

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНИХ ПРОБЛЕМ МЕХАНІКИ  
І МАТЕМАТИКИ ім. Я.С.ПІДСТРИГАЧА

---

На правах рукопису

КОГУТ Іван Степанович

УДК 539.3

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ, РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ  
З'ЄДНАНЬ ТРУБЧАТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ АРМОВАНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.

Спеціальність 01.02.04 - механіка деформівного  
твердого тіла

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Львів - 1993

Робота виконана в Інституті прикладних проблем механіки  
і математики ім. Я.С.Підстригача АН України.

Науковий керівник - доктор фізико-математичних наук,  
професор Пелех Б.Л.

Науковий консультант - кандидат фізико-математичних наук  
Марчук М.В.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,  
професор Бігак В.М.  
кандидат технічних наук  
Сітало В.Г.

Провідна установа - Інститут проблем міцності  
АН України, м. Київ

Захист дисертації відбудеться "20" 09 1993 р.  
о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради  
К.016.59.01 в Інституті прикладних проблем механіки і матема-  
тики ім. Я.С.Підстригача АН України (м. Львів, вул. Наукова,  
3 "б").

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту  
прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача  
АН України (м.Львів, вул. Наукова, 3 "б").

Відгук на автореферат просимо направляти за адресою :  
290047, ГСП, м. Львів, вул. Наукова, 3 "б", вченому секретарю  
спеціалізованої ради.

Автореферат розіслано "18" 08 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

Марчук П. Р.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00815525 (Q)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема підвищення міцності і зниження матеріаломісткості конструкцій, що працюють в умовах інтенсивних динамічних навантажень і агресивних середовищ вимагає створення і застосування нових полімерних композиційних матеріалів, зокрема армованих неперервними волокнами. Їх застосування зумовлене більш вигідними властивостями (високою питомою міцністю і жорсткістю, віброміцністю і демпфуючою здатністю, антикорозійною і хімічною стійкістю), а також порівняно простими технологіями виготовлення – методом намотки і пресування.

Пріоритетний напрям по створенню раціональних конструкцій трубчатих елементів надзвичайно важливий, але складний і недостатньо розроблений, оскільки вимагає одночасного вирішення трьох головних задач – розробки способу і технології виготовлення, конструювання матеріалу і створення надійного з'єднання в конструкції.

Відомі праці з механіки тонкостінних конструкцій із армованих композиційних матеріалів (КМ) належать С.О.Амбарцумяну, О.М.Гузю, В.В.Болотіну, Е.І.Григор'юку, В.В.Васильєву, Я.М.Григоренку, В.Д.Кубенку, Т.Л.Мартинівичу, Ю.М.Новічкову, Б.Л.Пелеху, В.Г.Піскунову, В.Д.Протасову, О.О.Рассказову, В.П.Тамужу, І.А.Цурпалу, М.О. Шульзі та іншим.

Проблемам проектування з'єднань композиційних елементів а також дослідження їх міцності присвячені роботи В.О.Борисенка, Е.В.Ганова, Д.М. Карпіносе, Д.Ю.Мочерника, І.Ф. Образцова, В.Г. Сітала, Б.Л.Пелеха, М.В.Марчука, В.В.Пилипенка, С.Саміа, К.Рісман та інших вчених.

Застосування традиційних (механічних і клеємеханічних) з'єднань труби з наконечниками не доцільне внаслідок високої матеріаломісткості. Вага таких з'єднань може досягати до 40% ваги конструкції. Перспективнішими з точки зору полегшення і уніфікації виготовлення конструкції є клейові з'єднання, одержані примотуванням наконечників в процесі намотки самої труби. При цьому для підвищення міцності застосовується рельєфна поверхня наконечників (з різьбою, буртами, шпалами, канавками і т.п.)

Однак, на даний час не існує простих і надійних з'єднань, які повністю передавали б навантаження армуючим волокнам і виключали б передчасне руйнування армованих компо-

зиційних матеріалів в межах з'єднання. Крім цього, актуальним є дослідження раціональної схеми армування циліндричної оболонки із КМ з точки зору максимальної міцності при осьовому розтягу.

Мета роботи є теоретико-експериментальне дослідження міцності адгезійних з'єднань трубчатих елементів із армованих КМ, визначення фізико-механічних характеристик армованих КМ, та проектування раціональних конструкцій трубчатих елементів.

#### Наукова новизна роботи:

- розроблена раціональна конструкція трубчатого елемента (з точки зору максимальної міцності при осьовому розтягу), яка включає раціональну схему армування КМ і раціональну форму з'єднання;

- розроблено методику дослідження ударної в'язкості неперервно армованих пластиків при осьовому динамічному розтягу циліндричного зрезка, а також методику дослідження жорсткісних і демпфуючих характеристик стержневих елементів конструкцій із КМ при згинних коливаннях.

- запропоновано нову математичну модель розрахунку напружено-деформованого стану адгезійного з'єднання циліндричних елементів із металу і КМ при розтягу і визначено оптимальну довжину з'єднання;

Достовірність результатів підтверджується коректністю встановлених критеріїв і розрахункових моделей міцності з'єднання, узгодженням одержаних результатів експериментальних досліджень з відомими в літературі для однотипних матеріалів, апробацією запропонованих методик.

Практична цінність роботи полягає в можливості використання одержаних результатів, які мають самостійне значення з точки зору оцінки міцності і працездатності, при проектуванні трубчатих елементів раціональних конструкцій із композиційних матеріалів.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на II Всесоюзному науково-технічному семінарі "Некласичні проблеми механіки композиційних матеріалів і конструкцій із них" (м. Львів, 1984 р.), Міжнародному симпозіумі "Міцність матеріалів і елементів конструкцій при звукових і ультразвукових частотах навантаження" (м. Київ, 1984 р.), другій Всесоюзній науково-технічній конференції "Міцність, жорсткість і технологічність виробів із композиційних матеріалів" (м. Єреван, 1984 р.), I Всесоюзній конфе-

ренції "Технологічні проблеми міцності несучих конструкцій" (м. Запоріжжя, 1991 р.), Int. Symp. "Mechanics of polymer composites pro'91" (Prague, 1991), 1-му Міжнародному симпозіумі "Фізико-хімічна механіка композиційних матеріалів" (Львів - Івано-Франківськ, 1993 р.).

В цілomu робота доповідалася на семінарі відділу механіки тонкостінних елементів конструкцій під керівництвом доктора фіз.-мат. наук, професора Б.Л.Пелеха і спеціалізованому семінарі "Механіка деформівного твердого тіла" Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Піддєригача АН України (м. Львів, 1993 р.) під керівництвом член-кореспондента АН України Я.Й.Бурка і канд. фіз.-мет. наук П.Р. Шевчука.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 15 робіт, в тому числі одержано три авторські свідоцтва на винаходи.

Структура і обсяг. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і бібліографії (145 найменувань). Основний зміст роботи викладений на 140 сторінках та включає 43 рисунки, 23 таблиці.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність роботи, поставлені мета і задачі досліджень, а також коротко викладені основні результати роботи.

В першому розділі розкрито спосіб і технології виготовлення трубчатих елементів із перехресно армованого базальтопластика. Показано переваги і можливості способу створення адгезійних з'єднань. Обгрунтовано вибір методу намотки, вихідних матеріалів, параметрів процесу намотки, режимів полімеризації і термообробки, а також приведено послідовність технологічних операцій.

Метод намотки дозволяє реалізувати простий спосіб адгезійних з'єднань циліндричних елементів із металу і КМ шляхом примотування металевого наконечника всередині армованої оболонки в процесі її виготовлення (рис. 1), або намотування муфти із перехресно армованого полімерного матеріалу на стімку циліндричних валів, труб і т.п. (рис. 2). Спосіб виключає такі дефекти з'єднань, як непроклеї і невідповідність товщини клеєвого шару і сумішей в одному технологічному циклі виготовлення обо-

лонки і створення з'єднання. В такий спосіб можливе отворення з'єднань оболонки з наконечниками (сферичними, конічними, тороридними, бочкоподібними з круговим чи еліптичним перетином) за рахунок форми, що важливо у випадку недостатньої адгезії.

В другому розділі експериментально досліджено фізико-механічні характеристики і механізм руйнування базальтопластика (коефіцієнт армування 0,48...0,50 за об'ємом), а також адгезійного з'єднання циліндричних елементів з металу і ЮМ. Характеристики необхідні для проектування трубчатих елементів, а також перевірки адекватності теоретичної моделі розрахунку міцності з'єднань.

На трубчатих зразках досліджено поздовжній модуль Юнга  $E^+$  і короточасну статичну міцність  $P^+$  при розтягу,  $E^-$  і  $P^-$  при стиску,  $P$  - при поперечному згині, а також механізм руйнування базальтопластика. Кільцевий модуль Юнга  $E_\theta$  і коефіцієнт Пуассона  $\nu_{\theta\theta}$  визначено з досліду на розтяг кільцевих зразків шляхом навантаження через податливий елемент. Коефіцієнт Пуассона  $\nu_{z\theta}$  визначено із співвідношення  $E_\theta \nu_{z\theta} = E_z \nu_{\theta z}$ .

Граничну міцність  $t^*$  при зсуві адгезійного з'єднання визначено шляхом осьового зсуву намотаного кільцевого шару ЮМ на сталеву циліндричну оправку. Початкові нормальні напруження  $\sigma_0$  на границі розділу метал-ЮМ визначені методом Зекса на двохшарових металопластикових кільцевих зразках при контрольованій деформації  $\epsilon_0$  на внутрішній поверхні металевого кільця.

Розроблено методику визначення і проведено дослідження коефіцієнта демпфування  $S$  і динамічної жорсткості  $k$  (модуля пружності  $E$ ) армованих ЮМ фазовим методом при кінематичному збудженні поперечних коливань, симетрично закріпленого на столі вібратора трубчатого біконсольного зразка. Метод ґрунтується на вимірюванні фазового кута  $(\bar{a}, \bar{a}_0)$  між переміщенням а кінця зразка і переміщенням  $a_0$  стола, а також співвідношення  $a/a_0$ . Величини  $S$  і  $k$  визначаються за аналітичними залежностями, одержаними із розв'язку рівнянь руху простого осцилятора з лінійним демпфуванням.

Встановлено істотну залежність характеристик і механізму руйнування від напрямку армування, а також раціональне значення кута армування. Експериментально визначені величини приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Фізико-механічні і міцнісні характеристики перехресно армованого базальтопластика і клеювого з'єднання циліндричних елементів із сталі і КМ.

| $\alpha^\circ$ | $E_z^+$ , ГПа | $E_\theta$ , ГПа | $\nu_{z\theta}$ | $P^+$ , МПа | $P^-$ , МПа | $P$ , МПа | $E_z^-$ , ГПа |
|----------------|---------------|------------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|---------------|
| 34             | 21,4          | 14,40            | 0,2629          | 270,9       | 144,8       | 202,2     | 21,0          |
| 45             | 15,4          | 15,25            | 0,3764          | 93,2        | 129,4       | 183,2     | 15,1          |
| 58             | 14,4          | 24,45            | 0,3577          | 67,5        | 133,8       | 91,7      | 16,1          |

Таблиця 1. (Продовження)

| $\alpha^\circ$ | $c$ , Н м/с | $E$ , ГПа | $\tau_c^*$ , МПа | $\sigma_c$ , МПа |
|----------------|-------------|-----------|------------------|------------------|
| 34             | 0,1989      | 7,59      | 126,0            | 0,99             |
| 45             | 0,1639      | 5,72      | 76,4             | 1,24             |
| 58             | 0,1264      | 3,41      | 59,4             | 1,99             |

В третьому розділі експериментально досліджено міцність і механізм руйнування адгезійних з'єднань циліндричних елементів із металу і КМ при статичному і динамічному розтягу та чистому згині на зразках, конструкція і розміри яких показані на рис. 3. Розміри зразків в мм:  $d = 30(16)$ ,  $d_0 = 16(5)$ ,  $D = 33(17,5)$ ,  $M \times 27 \times 2(M \times 22 \times 1,5)$ ,  $L = 600(300)$ ,  $l = 240(130)$  (в дужках розміри зразків на ударний розтяг).

При статичному розтягу фіксувалися руйнуючі навантаження  $P^*$  і знімалися діаграми розтягу (рис. 4) в координатах навантаження-переміщення активного захвату ( $P^*A$ ). При ударному розтягу - енергія руйнування  $\mathcal{E}$  зразка.

Встановлено, що руйнування шару КМ передує руйнуванню шляхом дискретного поширення тріщини (на глибину  $B$ ) поперечного звуку на границі розділу метал-КМ при зусиллі  $P_0$ . Виявлено істотний вплив розмірів  $l$  і  $t$  на зусилля  $P_0$  (рис. 5, криві 1 і 2 відповідно). Тензометруванням з'єднання (в точках 1, 2, 3 рис. 3) встановлено значення допустимого навантаження  $P_{\text{д}} \approx P_0/4$ , при якому настає текучість в адгезійному з'єднанні. Усереднені (за результатами трьох випробувань) експериментальні і розрахункові величини подані в таблиці 2.

Таблиця 2. Характеристики руйнування з'єднання при розтягу (n-число елементарних шарів;  $\sigma^* = 4P^*/\pi(D^2 - d^2)$  1  $\sigma^* = P^*/\pi d l$  - напруження при розриві 1 зсуві шару КМ відповідно).

| Вид випробування | Вид руйнування шару | n | $\alpha^\circ$ | $P^*$<br>кН | $\sigma^*$<br>МПа | $S_{max} \cdot 10^3$<br>М | В, Дж |
|------------------|---------------------|---|----------------|-------------|-------------------|---------------------------|-------|
| Статичне         | розрив              | 6 | 34             | 70,5        | 490               | 56                        | ---   |
|                  | розрив              | 6 | 45             | 52,5        | 370               | 37                        | ---   |
|                  | розрив              | 6 | 58             | 38,0        | 268               | 16                        | ---   |
|                  | зсув                | 6 | 34             | 60,0        | 6,7               | 95                        | ---   |
| Ударне           | розрив              | 3 | 32             | -           | -                 | 80                        | 19,1  |
|                  | зсув                | 4 | 32             | -           | -                 | 90                        | 16,7  |

Розроблено методику дослідження ударної в'язкості намотуваних пластиків при осьовому динамічному розтягу циліндричного зразка (рис. 3) з тонким кільцевим надрізом, виконаним в шарі КМ в середньому перетині зразка. Встановлено, що глибина надрізу більше 0,625 товщини шару КМ забезпечує достовірне значення ударної в'язкості. Досліджено вплив вмісту затверджувача на ударну в'язкість перехресно армованого базальтопластика.

Досліджено міцність і механізм руйнування з'єднання (рис. 2) при чистому згині, а також вплив конструктивного елемента-галтелі на міцність з'єднання (рис. 1) при поперечному згині. Встановлено, що зменшення товщин стінок з'єднаних елементів покращує їх сумісну роботу, а галтель знижує міцність труби на 30%.

Проведено випробування на герметичність з'єднання сталевих труб ( $d \times t = 98 \times 2,5$  мм) із настановою на їх стику базальтопластикової муфти ( $l \times t = 400 \times 3$  мм,  $\alpha = 45^\circ$ ). Встановлено, що розгерметизація відбувається шляхом відшарування шару КМ при гідростатичному тиску  $4,5 \pm 0,4$  МПа. Виявлено, що армування першого (від стінки труби) елементарного шару в кільцевому напрямі підвищує руйнуючий тиск і викликає руйнування відшаруванням шару. Розгерметизація настає внаслідок пробивання шару КМ при тиску  $6,5 \pm 0,5$  МПа.

В четвертому розділі побудовано математичну модель розреуунку напружено-деформованого стану адгезійного з'єднання циліндричних елементів із металу і КМ, визначено ефективну довжину, допустиме навантаження з'єднання. Експериментально

визначено раціональну схему армування матеріалу і раціональну форму металевого неконечника трубчатого елемента.

Елементи з'єднання моделюються пружними тонкостінними оболонками з товщинами стінок  $2h_0$  - внутрішньої (сталеві) і  $2h$  - зовнішньої (із КМ) і радіусами серединних поверхонь  $R_0$  і  $R$  відповідно. Оболонка із КМ вважається ортотропною. Для опи-  
су напружено-деформованого стану цієї оболонки застосовується уточнена модель, яка враховує податливість зсувним транс-  
версальним деформаціям і дозволяє точно задовільнити крайові умови в напруженнях на граничних поверхнях оболонки. Для ста-  
левої оболонки модель модифікується шляхом використання спро-  
щених деформаційних співвідношень. В кінцевому результаті за-  
дача зведена до інтегрування системи двох звичайних дифе-  
ренціальних рівнянь відносно функцій прогину середньої по-  
верхні  $w$  і кута повороту нормального елемента  $\gamma$  композиційної  
оболонки:

$$\begin{aligned}
 D \frac{1+4b}{1+b} w^{IV} - \left[ \Lambda_{zr} - 2 \frac{B_z h_0}{1+b} \left( \frac{\nu}{R_0} - \frac{\nu_{z\theta}}{R} \right) \right] w'' + \\
 + \left[ \frac{B_z (1-\nu^2)}{R_0^2} + \frac{B_\theta (1-\nu_{z\theta} \nu_{\theta z})}{R^2} + \frac{B_z}{1+b} \left( \frac{\nu}{R_0} - \frac{\nu_{z\theta}}{R} \right)^2 \right] w = \\
 = - \frac{1}{1+b} \left( \frac{\nu_{z\theta} b}{R} + \frac{\nu}{R_0} \right) N_0 + \frac{B_z h h_0}{1+b} \gamma'' + \\
 + \left[ \Lambda_{zr} + \frac{B_z h}{1+b} \left( \frac{\nu}{R_0} - \frac{\nu_{z\theta}}{R} \right) \right] \gamma \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_z \frac{1+4b}{1+b} \gamma'' - \Lambda_{zr} \gamma = \frac{B_z h h_0}{1+b} w'' + \\
 + \left[ \Lambda_{zr} + \frac{B_z h}{1+b} \left( \frac{\nu}{R_0} - \frac{\nu_{z\theta}}{R} \right) \right] w \quad (2)
 \end{aligned}$$

В (1), (2) прийняті позначення:  $B_z = 2E_z h / (1 - \nu_{z\theta} \nu_{\theta z})$ , ( $z \rightarrow \theta$ );  
 $D_z = B_z h^2 / 3$ ;  $\Lambda_{zr} = 5hG_{zr} / 3$ ;  $B = 2Eh_0 / (1 - \nu^2)$ ,  $D = Bh_0^2 / 3$ ;  $b = B_z / B$ ;  
 $E$  і  $\nu$  - модуль пружності і коефіцієнт Пуассона металеві оболонки,  $G_{zr}$  - модуль зсуву КМ;  $N_0 = P / 2\pi(R-h) = P / 2\pi(R_0 - h_0)$ .

Отримано в замкнутому виді розв'язок граничної задачі для системи рівнянь (1), (2) і вирази для контактних (дотичних  $\tau$  і нормальних  $\sigma$ ) напружень в клеєвому з'єднанні. Встановлено, що напруження мають точку концентрації  $\varepsilon=1$  (рис. 1) і  $\varepsilon=0$  (рис. 2).

Допустиме навантаження  $P_T$  визначено з умови адгезійної міцності з'єднання  $\tau = \tau^* + f(\sigma - \sigma_0)$ , де  $f = 0,2$  - коефіцієнт тертя пари сталь-полімер. Для випадку, коли  $b \ll 1$  ( $h/h_0 \approx 1$ ,  $E_2/E \ll 0,1$ ), вирез для  $P_T$  має вигляд

$$P_T = 4kR_0 h_0 (\tau^* - f\sigma_0) / (\bar{\chi} \operatorname{cth} \frac{\chi}{2} l - 2fk), \quad (3)$$

де  $\chi^2 = A_{zT}/D_{rZ}$ ;  $\bar{\chi} = h_0 \chi$ ;  $k = A_{zT}/B_z - \nu_{z\theta} h/R$ .

Із (3) отримано максимальне допустиме навантаження на з'єднання і його мінімальну (ефективну) довжину:

$$\max P_T \leq 4kR_0 h_0 (\tau^* - f\sigma_0) / (\bar{\chi} - 2fk),$$

$$l = 4h_0 \ln 5 / \bar{\chi}. \quad (4)$$

Порівняння теоретичних значень  $P_T$ , виражуваних по (3) з експериментальними показує, що похибка не перевищує 20%, тобто одержані теоретичні оцінки міцності з'єднання є придатними для практичного використання. На основі (4) встановлено, що ефективна довжина з'єднання не залежить від адгезійних властивостей.

Експериментально досліджено раціональну схему армування трубчатого елемента при осьовому розтягу. Виявлено, що таку схему складає двохшарова оболонка (з товщиною стінки  $t$ ), внутрішній шар якої (товщиною  $t_1$ ) армований в кільцевому напрямі, а зовнішній - під кутом меншим  $\pm 45^\circ$ . Встановлено, що для напрямів армування  $\pm 88^\circ$  і  $\pm 34^\circ$  максимальна міцність реалізується при  $t_1/t = 0,125$ .

Визначено раціональну форму і розміри металевих наконечників, що забезпечують максимальну міцність трубчатого елемента. Встановлено, що плавно спряжена сферична і циліндрична поверхня на примотаній ділянці наконечника, із співвідношенням діаметрів сфери і циліндричного хвостовика рівним 1,66, є раціональною формою.

Проведено дослідження міцності трубчатого елемента раціонального проекту, в якому реалізується максимальна міцність оболонки із ХМ при осьовому розтягу. Згідно з рис. 6 елемент

складається із зовнішнього несучого шару 1, внутрішньої тонкостінної оболонки 2, сталевих сферичних наконечників 3. Внутрішня оболонка виконана спіральною намоткою неперервним волокном під кутом  $\pm 82...88^\circ$  до осі, зовнішній шар - перехресною намоткою під кутом  $\pm 28...45^\circ$ . Внутрішня оболонка разом з наконечниками виконує роль оправки при намотуванні зовнішнього несучого шару. Для забезпечення жорсткості системи при намотці оболонка 2, наконечники 3 і діафрагми 4 збираються на стержневій розтяжці 5 і фіксуються гайками 6. Випробування показали, що при розтягу базальтопластикового елемента з параметрами несучого шару  $d_{xt}=30 \times 1,5$  мм і  $\alpha=34^\circ$  руйнуєчче навантаження складало 64 кН.

### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ РОБОТИ

1. Експериментально досліджено основні фізико-механічні характеристики перехресно армованого базальтопластика і з'єднання циліндричних елементів із сталі і базальтопластика. Визначено міцнісні характеристики і досліджено процес руйнування перехресно армованого базальтопластика при осьовому розтягу, стиску і поперечному згині.

2. Розроблено методику дослідження ударної в'язкості КМ (скло- і базальтопластиків) при осьовому ударному розтягу, а також методику дослідження жорсткісних і демпфуючих характеристик стержневих елементів конструкцій із КМ при поперечних коливаннях.

3. Експериментально досліджено напружено-деформований стан клейового з'єднання і вплив геометричних параметрів (довжини і товщини стінки з'єднання) на його міцність при осьовому розтягу. Досліджено процес руйнування з'єднання при згині, статичному і динамічному розтягу.

4. На основі уточненої прикладної теорії оболонок типу Тимошенка, яка враховує деформації поперечного зсуву, сформульована постановка і одержано в замкнутому вигляді розв'язок задачі про розподіл напружень в з'єднанні циліндричних елементів із металу і КМ. Отримані інженерні формули для розрахунку напружень в з'єднанні і визначена його ефективна довжина.

5. Розроблені спосіб і технологія виготовлення трубчатих елементів конструкцій із перехресно армованого КМ.

6. Визначено раціональний охому армування намотуваннях КМ і раціональну форму наконечника. Запропонована конструкція

трубчатого элемента, яка забезпечує максимальну міцність при осьовому розтягу.

#### ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНІ В РОБОТАХ

1. А.с. 1117031 СССР. Штанга опрыскивателя / В.Л. Пелех, О.П. Тушницкий, Т.И. Рыбак, И.Н. Преображенский, М.И. Незбрицкий, С.Д. Шеруда, И.С. Когут. - Заявлено 10.09.82//Открытия. Изобретения.-1984.- № 37.- С. 12.

2. Пелех В.Л., Бутитер И.Б., Дивеев В.М., Когут И.С., Тушницкий О.П., Рыбак Т.И. Оптимальное проектирование и технология изготовления элементов конструкций из базальтопластика для штанг опрыскивателей с/х машин//Материалы второй Всесоюзной н.-т. конференции "Прочность, жесткость и технологичность изделий из композиционных материалов" - Ереван, 1984 - Т. III.- С. 28...30.

3. Дивеев В.М., Когут И.С. Технология изготовления оптимальных протяженных оболочек вращения// Информ. листок о НТД.- Львовский ЦНТИ, 1984.- № 41.- 4 с.

4. Саяк В.И., Когут И.С. Определение характеристик демпфирования и динамической жесткости пластин// II Всесоюз. науч.-техн. семинар "Неклассические проблемы механики композиционных материалов и конструкций из них": Тез. докл. - Киев: Наук. думка, 1984.- С. 60-61.

5. Пелех В.Л., Саяк В.И., Когут И.С., Млынта А.Ю. Исследование зависимости прочностных и демпфирующих свойств упругих элементов с покрытиями из армированными композиционными материалами от частоты нагружения// Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения. Тез. докл. Международного симпозиума.- Киев: Наук. думка, 1984.- С. 144.

6. Пелех В.Л., Когут И.С., Голынский Я.И., Когут И.С. Исследование прочности клевого соединения цилиндрических элементов из металла и армированного пластика// Механика композит. материалов.- 1985.- № 2.- С. 312...315.

7. Пелех В.Л., Саяк В.И., Когут И.С., Млынта А.Ю. Динамическая жесткость и демпфирующие свойства упругих элементов с армированными композиционными покрытиями// Проблемы прочности.- 1986.- № 2.- С. 81...84.

8. Пелех Б.Л., Когут И.С. Образец для исследования ударной вязкости армированных пластиков// Механика композит. материалов.- 1987. № 2.- С. 361...363.

9. А.с. 1419651 СССР. Штанга опрыскивателя/Б.Л. Пелех, М.В. Марчук, И.С. Когут, М.И. Незбрицкий, С.Д. Шеруда, С.А. Мачуга, О.П. Тушницкий. - Заявлено 24.02.87 //Открытия. Изобретения.- 1988.- № 32.- С. 28.

10. Пелех Б.Л., Когут И.С., Млыста А.Ю. Экспериментальное исследование демпфирующих свойств и динамической жесткости перекрестно армированного базальтопластика при поперечных колебаниях// Механика композит. материалов.- 1990. № 5.- С. 934...936.

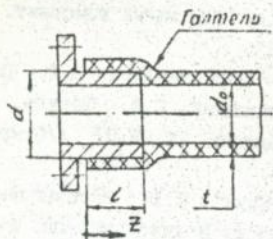
11. Marchuk M.V., Makhnitsky R.N., Kogut I.S., Cherepyuk I.D. Theoretical experimental investigation into the joints of composite cylindrical shells//In: Proc. Third. Int. Symp. "Mechanics of polymer composites mpc'91". Prague, April 16..18, 1991.- Publ. by ITAM CSAN, Prague.- P. 323...328.

12. Пелех Б.Л., Когут И.С., Марчук М.В. Клеевые соединения трубчатых элементов стержневых конструкций из металла и армированного пластика// Технологические проблемы прочности несущих конструкций. Тр. I Всесоюз. конф.- Запорожье, 1991.- Т. 2, Ч. 1.- С. 117...124.

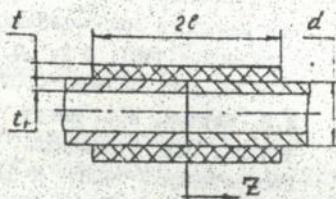
13. А.с. 1689710 СССР. Стержневой элемент/И.С. Когут, М.В. Марчук. - Заявлено 04.08.89 //Открытия. Изобретения.- 1991.- № 41.- С. 135.

14. Пелех Б.Л., Марчук М.В., Когут И.С. Исследование прочности и проектирование клеевого соединения цилиндрических элементов из металла и армированного полимерного материала// Механика композит. материалов.- 1992, № 3.- С.370...376.

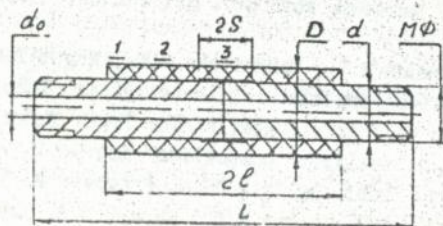
15. Когут І. Проектування і технологія з'єднань металевих і композиційних секцій трубопроводів//Анотація доповідей 1-го Міжнародного симпозіуму "Фізико-хімічна механіка композиційних матеріалів" - Львів-Івано-Франківськ, 1993.- С. 35.



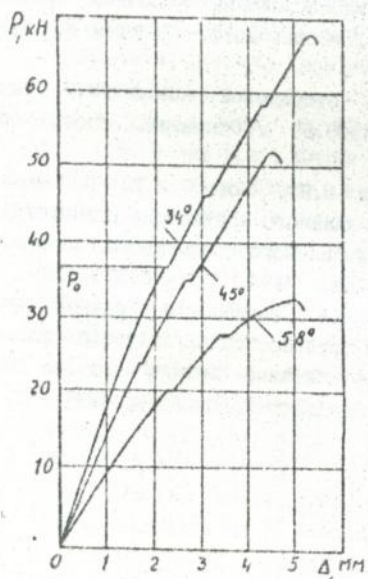
Puc. 1



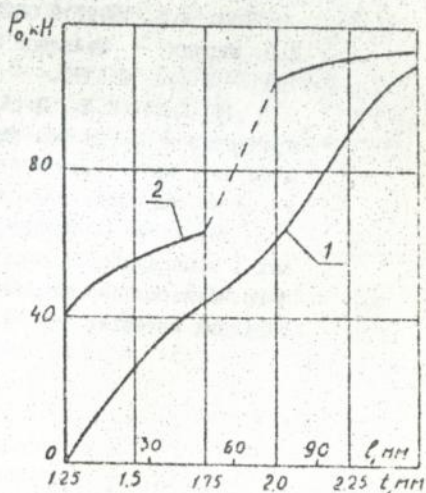
Puc. 2



Puc. 3



Puc. 4



Puc. 5

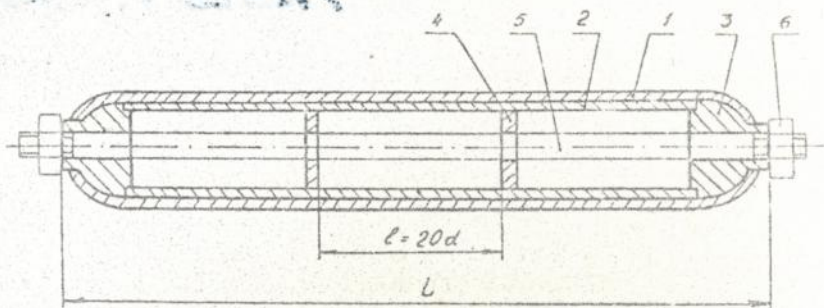


Рис. 6

AB 27.896