УДК 539.3

І.Когут, канд. техн. наук
Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім.Я.С.Підстригача НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТРУБЧАСТИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ПЕРЕХРЕСНО АРМОВАНОГО ПЛАСТИКУ ПРИ ЗГИНІ

Експериментально досліджено міцність і механізм руйнування перехресно армованої базальтопластикової оболонки, а також базальтопластикових трубчастих елементів з сталевими наконечниками при поперечному згині. Дано рекомендації для проектування і розрахунку міцності елементів.

Відомий спосіб виготовлення трубчастих елементів [1] мокрим намотуванням неперервним волокном з одночасним заформуванням (примотуванням) наконечників на кінцях труби. Після полімеризації сполучника створюється адгезійне з'єднання труби з наконечниками. Такі елементи (рис. 1 а, б) можуть застосовуватися як тримкі стрижні штанг польових обприскувачів [2, 3], ферм [4, 5], механічних тяг, антен, ізоляційних конструкцій [6] та ін. З елементів (рис. 1 б) і вставних деталей можна збирати ферми, їх безпосереднім з'єднанням – трубопроводи, видовжені телескопічні консолі (щогли, горизонтальні підтримні штанги). Консольні конструкції здебільшого працюють на згин, у трубопроводах згин можливий через викривлення вісі внаслідок осідання опор або монтажу. Отже, дослідження міцності елементів на згин є актуальним.

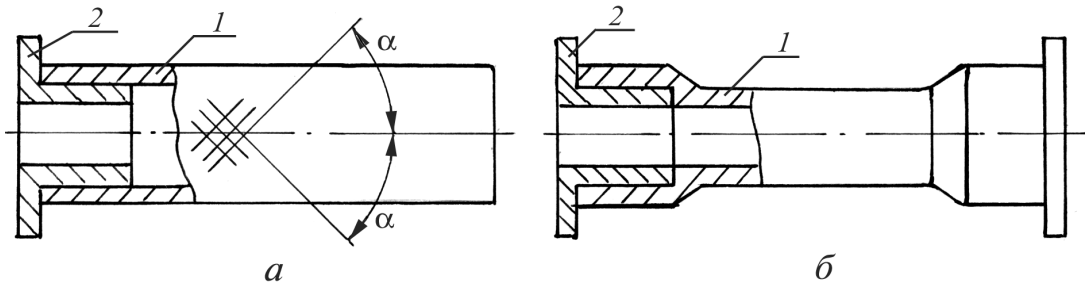

Рис. 1. Конструкції трубчастих елементів: гладкого (а); ступінчастого (б);
1 - оболонка з армованого пластику; *2* - патрубок сталевий.

Мета роботи – дослідження міцності і механізму руйнування трубчастих елементів при згині.

Випробовуючи зразки (рис. 2 а, б, в) на короткочасний поперечний згин, досліджували міцність та механізм руйнування базальтопластикової оболонки і трубчастих елементів. Внутрішній діаметр і довжина зразків – 30 і 420 мм, товщина стінки – t_1 і довжина заформованої втулки – 3 і 70 мм відповідно. Базальтопластикову оболонку намотували стрічкою з двох ровінгів (ровінг має 17 первинних ниток, кожна із ста елементарних волокон завтовшки 9...12 мкм), просоченою епоксидно-поліефірним сполучником (компаунд К115 і отверджувач ПЕПА у ваговому співвідношенні 100:12). Намотування перехресне, однозахідне, з натягом стрічки 36, 28 і 22 ± 3 Н для кутів армування 34, 45 і 58° відповідно. Товщина оболонки – 2 мм. За таких умов коефіцієнт армування (за масою) становив 0,48–0,50. Режим полімеризації і термообробки стандартний. Кут армування і товщина стінки зразків (рис. 2 б) 34° і 2 мм. Зразки (рис. 2 в) армовані під кутом 34° з числом елементарних шарів n від 3 до 10. Випробування виконували на машині

FP-100/1 монотонним навантаженням зразків до руйнування. Схема згину триточкова, симетрична. Міжопорна віддаль – 390 мм. Вставні шайби обмежують локальні прогини зразка від зосереджених сил. Швидкість переміщення пуансона випробувальної машини 5 мм/хв. За шкалою силовимірювача машини візуально фіксували руйнівні навантаження. Міцність зразків обчислювали за формулою $\sigma = Pl/4W$, де $W = \pi(D^4 - d^4)/32D$ – вісьовий момент опору кільцевого поперечного перетину; D і d – зовнішній і внутрішній діаметри; l – віддаль від опори до місця зламу; P – середнє значення руйнівного навантаження, визначене за результатами випробувань трьох зразків.

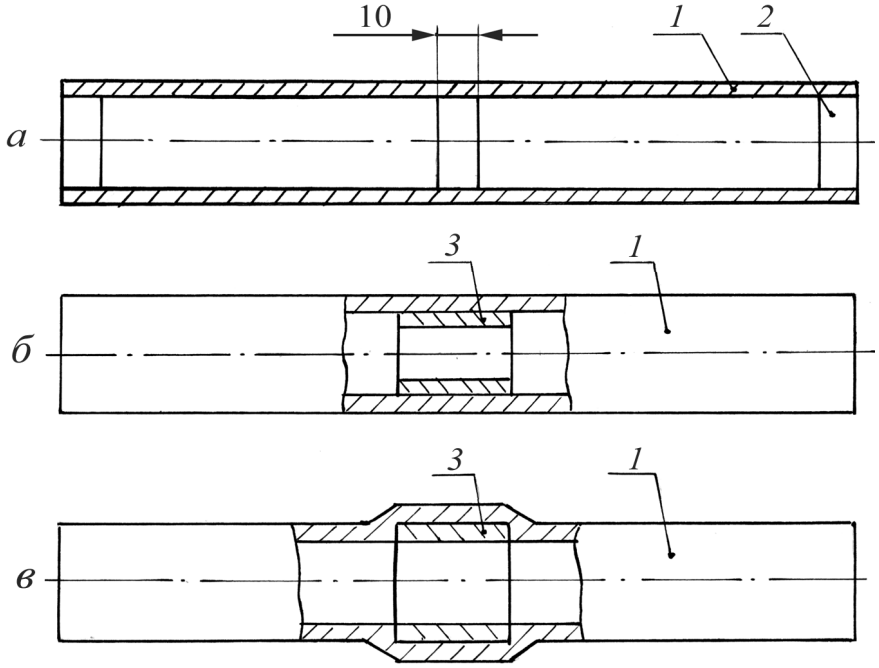

Рис. 2. Зразки для дослідження міцності при згині: базальтопластикової оболонки (*а*); гладких трубчастих елементів (*б*); ступінчастих трубчастих елементів (*в*); *1* - оболонка базальтопластикова; *2* – шайба вставна; *3* - втулка сталева.

Випробування зразків (рис. 1 а) виявили, що міцність (див. табл. 1) і механізм руйнування базальтопластика залежать від кута армування. При зусиллі P_1 відбувається первинне руйнування зсувом вздовж армівних волокон, при P – остаточне руйнування. Руйнування локальне, зразки на частини не поділяються. Зразки з $\alpha = 34°$ руйнуються у зоні стиску, глобальне (остаточне) руйнування сполучника супроводжується відшаруванням армівних стрічок. Первинне руйнування зразків з $\alpha = 45°$ настає у зоні розтягу, остаточне – у зоні стиску. Зразки з $\alpha = 58°$ руйнуються розривом сполучника, міцність волокон не реалізовується. Результати досліджень узгоджуються з відомими для однотипного матеріалу–склопластика [7, 8, 9].

Таблиця 1

Значення руйнівних навантажень і міцності базальтопластикової оболонки залежно від кута армування

α°	P_1, Н	P, Н	σ_1, МПа	σ, МПа
34	2992	3335	192,03 ± 2,56	214,09 ± 3,64
45	1995	2207	128,02 ± 2,96	147,97 ± 3,64
58	1161	1273	74,47 ± 1,50	82,91 ± 2,42

Зразки (рис. 2 б) спершу руйнуються зсувом адгезійного з'єднання при зусиллі P_0 = 2943 Н і напруженні σ_0 = 155 МПа з наступним первинним і остаточним руйнуванням оболонки на краю втулки. Втулка на міцність оболонки не впливає. Ад-

гезійне руйнування відбувається поширенням тріщини поперечного зсуву з країв з'єднання на довжину до 20 мм і супроводжується характерним тріском і раптовим спадом жорсткості зразка. Зразки (рис. 2 в) руйнуються при зусиллі P_2 контактним зминанням стінки (галтелі) оболонки з наступним зсувом (при $n \geq 6$) адгезійного з'єднання у зоні розтягу. Галтель істотно знижує міцність (див. табл. 2) оболонки. Коефіцієнт зниження міцності $k = \sigma_2 / \sigma_1$ залежить від співвідношення товщин стінок з'єднання.

Таблиця 2

Значення руйнівних навантажень і міцності ступінчастих стрижнів залежно від співвідношення товщин стінок з'єднання

N	D, мм	t/t_1	P_2, Н	P_0, Н	σ_2, МПа	σ_0, МПа	k
3	32,5	0,42	1619		140,35		0,731
4	33,5	0,58	2354		143,06		0,745
5	34,0	0,66	2894		152,42		0,794
6	34,5	0,75	3581	4218	166,03	195,56	0,865
7	35,0	0,83	4316	4807	178,32	198,62	0,929
8	35,5	0,92	4709	5788	175,14	215,27	0,912
9	36,5	1,08	5494	6916	169,38	213,30	0,882
10	37,5	1,25	6180	8191	161,83	214,49	0,843

Як випливає із досліджень, раціональний кут армування стрижнів із однотипних за механічними характеристиками матеріалів скло- чи базальтопластиків має бути меншим за 45°. Конструктивний елемент стрижня – галтель – знижує міцність оболонки на 7...27 % залежно від співвідношення товщин стінок з'єднуваних деталей. Для розрахунку на міцність гладких стрижнів армованих під кутом $\alpha \leq 34°$ допустиме напруження треба вибирати за напруженням руйнування адгезійного з'єднання.

We study experimentally the strength and destruction mechanism for a cross - armoured basalt-plastic shell and basalt-plastic tube elements with metal tips under transverse bend. The recommendations as to projection and calculation of the elements strength are presented.

Література

1. Пелех Б.Л., Когут И.С., Голынский Я.И., Когут Н.С. Исследование прочности клеевого соединения цилиндрических элементов из металла и армированного пластика // Механика композит. материалов.-1985.-№2.-С.312-315.
2. А.с. 1117031 СССР. МКИ А01М 7/00. Штанга опрыскивателя / Б.Л.Пелех, О.П.Тушницкий, Т.И.Рыбак и др. // Открытия. Изобретения.-1984.-№37.-С.12.
3. А.с. 1419651 СССР. МКИ А01М 7/00. Штанга опрыскивателя / Б.Л.Пелех, М.В.Марчук, И.С.Когут и др. // Открытия. Изобретения.-1988.-№32.-С.28.
4. А.с. 1689710 СССР. МКИ F16L 9/12. Стержневой элемент / И.С.Когут, М.В.Марчук // Открытия. Изобретения.-1991.-№41.-С.135.
5. Патент 31450 А Україна. 6 F 16 L 9/12. Стрижневий елемент / І.С.Когут, М.М.Хом'як.-Опубл. 15.12.2000; Бюл. №7-ІІ.
6. Патент 31451 А Україна. 6 Н 01 В 17/00. Ізолятор / І.С.Когут, А.М.Попель, М.М.Хом'як.-Опубл. 15.12.2000; Бюл. №7-ІІ.
7. Булманис В.Н., Гусев Ю.И., Стручков А. С., Антохонов В. Б. Экспериментальное исследование особенностей деформирования и разрушения при растяжении перекрестно армированных намоточных композитов // Механика композит. материалов.-1985.-№6.-С.1020-1024.
8. Удрис А.О., Упитис З.Т., Тетерс Г.А. Исследования деформирования и разрушения стеклопластика со спиральным армированием ±45° при простом и сложном нагружении // Механика композит. материалов.-1984.-№5.-С.805-813.
9. Хитров В.В., Катарженов Ю.М. Влияние угла армирования на несущую способность сжимаемых намоточных стержней // Механика композит. материалов.-1979.-№4.-С.611-616.

Одержано 24.12.2001 р.