ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: MECHANIKA z.103 Nr kol. 1112

Roman Bąk, Tomasz Matyja

Instytut Transportu
Politechnika Śląska

MODELE MATEMATYCZNE ANALIZY STANU NAPRĘŻENIA W WALCOWYCH ZBIORNIKACH CIŚNIENIOWYCH LAMINOWANYCH KOMPOZYTEM

Streszczenie. W pracy opisano algorytm i program komputerowy do obliczeń wytrzymałościowych walcowych zbiorników ciśnieniowych laminowanych kompozytem. Wyniki obliczeń numerycznych zweryfikowano z danymi doświadczalnymi prezentowanymi w dostępnych publikacjach.

Obniżenie masy zbiorników ciśnieniowych oraz zwiększenie ich wytrzymałości ma duże znaczenie ekonomiczne, szczególnie w przypadku butli gazowych wykorzystywanych w pojazdach z silnikami napędzanymi gazem.

W pracy rozpatrywano metodę polegającą na częściowym zastąpieniu zewnętrznej ścianki zbiornika odpowiednio przygotowaną warstwą zbudowaną z długich włókien łączonych żywicami (kompozyt). Warstwę taką uzyskać można nawijając włókno syntetyczne w postaci cienkiej linki (tzw. roving) na cylindryczną część zbiornika. W trakcie nawijania istnieje możliwość naciągnięcia włókna (wstępne naprężenia w konstrukcji), oraz takiego ukształtowania warstwy kompozytowej (np. przez dobór kąta owijania), aby uzyskać optymalne własności anizotropowe materiału kompozytowego ze względu na kierunek największych naprężeń.

Opracowano algorytm oraz program komputerowy umożliwiający analizę wytrzymałościową takich zbiorników.

Z teoretycznego punktu widzenia problem sprowadza się do rozwiązania zadania współpracy dwóch powłok walcowych: metalowej i kompozytowej (por. rys.1). Siły na powierzchni kontaktu obliczyć można korzystając z warunku zgodności przemieszczeń obu powłok:

$$\forall \; x \in [\,0\,,l\,] \qquad u^s = u^k \;,\; \theta^s = \theta^k \;,\; w^s = w^k \tag{1}$$

gdzie: s-powłoka metalowa,
k-kompozytowa,
l-długość tworzącej.

Przemieszczenia walcowej powłoki kompozytowej w stanie błonowym opisują wzory [4]:

$$u^k = -\int_0^x [a_{11}\int_0^x q_x dx + a_{16}\int_0^x q_\phi dx]dx + \int_0^x [a_{11} f_2^k + a_{12} q_r R_k + f_1^k a_{16} + a_1^*]dx + f_3^k \quad (2)$$

$$\theta^k = -\int_0^x [a_{61}\int_0^x q_x dx + a_{66}\int_0^x q_\phi dx]dx + \int_0^x [a_{61} f_2^k + a_{62} q_r R_k + a_{66} f_1^k + a_6^*]dx + f_4^k \quad (3)$$

$$w^k = -R_k [a_{21}\int_0^x q_x dx + a_{26}\int_0^x q_\phi dx] + R_k [a_{21} f_2^k + a_{22} q_r R_k + a_{26} f_1^k + a_2^*] \quad (4)$$

gdzie: a_{ij} współczynniki macierzy podatności powłoki kompozytowej,
a_i współczynniki związane z rozszerzalnością termiczną.

Dla powłoki metalowej w stanie błonowym znane są analogiczne formuły na przemieszczenia [2].
W obu przypadkach we wzorach przyjąć należy stałe całkowania wynikające z warunków brzegowych pokazanych na rys.1, tzn.:

$$f_3^k = f_4^k = f_3^* = f_4^* = 0 \quad (5)$$

$$f_1^k = \int_0^l q_\phi dx \qquad f_2^k = \int_0^l q_x dx \qquad f_1^* = -\int_0^l q_\phi dx \qquad f_1^* = N_0 - \int_0^l q_\phi dx \quad (6)$$

Dokładność metody obliczeń zależy od wielkości sił Q_0 i M_0 zaburzających stan błonowy. Wiadomo, że odpowiednie ukształtowanie den pozwala wyeliminować moment M_0 [3]. Natomiast siłę tnącą zredukować można dobierając odpowiednią wartość ciśnienia kontaktu q_r. W optymalnym przypadku siła tnąca redukuje się do zera, gdy:

$$q_r = p \left(\frac{R_1}{R_2}\right)_0^{\frac{1}{2-\nu}} \quad (7)$$

gdzie: R_1, R_2 - główne promienie krzywizny dna w miejscu zetknięcia się z powłoką cylindryczną.

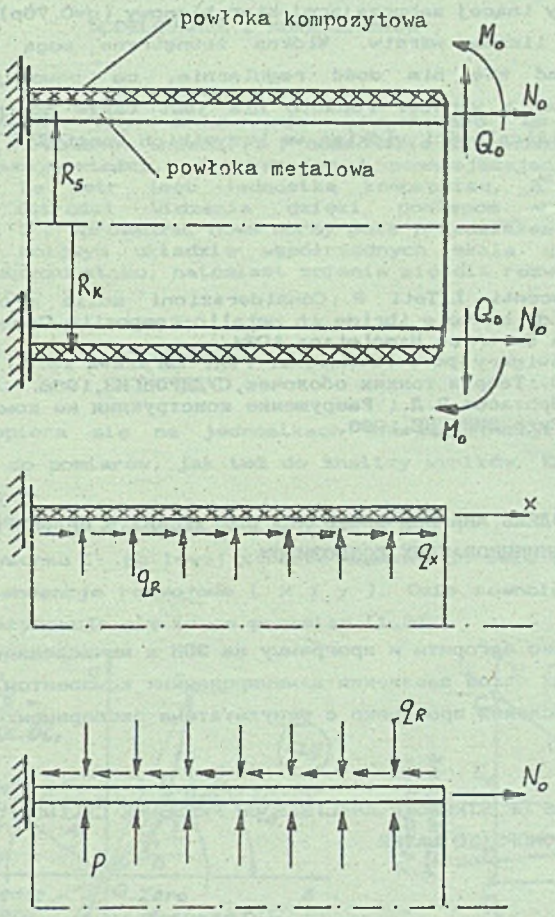
Opracowany zgodnie z nakreśloną wyżej metodą program komputerowy zweryfikowano na podstawie danych doświadczalnych podanych w pracy [3]. W tab.1 pokazano wybrane charakterystyki butli badanych doświadczalnie oraz rodzaj i ciśnienie zniszczenia. Tablica 2 zawiera wybrane wyniki obliczeń.

T a b l i c a 1

Nr butli	Grubość metalu (mm)	Rodzaj kompozytu	Grubość kompozytu (mm)	Typ zniszczenia	Ciśnienie zniszczenia (MPa)
1	2.90	Kevlar49	2	obwodowy	75
2	2.50	Kevlar49	2	osiowy	68
3	2.70	Kevlar49	2	obwodowy	73
4	2.95	węglowe HM	2	zn. włókien	53
5	2.95	Kevlar49	2	nie znisz.	>77
6	2.50	Kevlar49	4	obwodowy	69

Tablica 2

Nr butli	Ciśnienie zniszczenia (MPa)	Typ zniszczenia	Siła obwodowa (N)	Siła osiowa (N)	Stosunek σr/P	Zgodność wyników
1	76	obwodowy	2793	2493	0.49	Wniosek1
2	69	?	2327	2313	0.53	Wniosek2
3	73	obwodowy	2585	2454	0.51	Wniosek1
4	59	zn. włókien	818	1834	0.81	Wniosek3
5	77	obwodowy	2858	2599	0.49	Wniosek1
6	82	osiowy	1422	2682	0.76	wniosek4



Rys.1. Schemat metody obliczeń

Fig.1. Scheme of calculations method

Z analizy tabeli 1 i 2 wynikają następujące wnioski:

Wniosek 1 Dobra zgodność wyników obliczeń z danymi doświadczalnymi świadczy o poprawności przyjętych modeli matematycznych zbiorników

wzmacnianych warstwą kompozytu i poprawności opracowanego algorytmu.

Wniosek 2 Siła obwodowa i osiowa są praktycznie jednakowe, w związku z czym możliwy jest każdy rodzaj zniszczenia. Zgodność pozostałych wyników bardzo dobra.

Wniosek 3 Zgodność wyników dobra. Nieco większe ciśnienie zniszczenia niż w badaniach doświadczalnych. Przyczyną może być wzrost siły tnącej (q=0.81p) i zaburzenie stanu błonowego.

Wniosek 4 Brak zgodności wyników, wytrzymałość butli wyraźnie zawyżona. Niezgodność obliczeń z wynikami doświadczalnymi może być spowodowana:

1. Wzrostem siły tnącej zaburzającej stan błonowy (q=0.76p).
2. Zbyt dużą liczbą warstw. Włókna zewnętrzne mogą wtedy podczas nawijania układać się nie dość regularnie, co powoduje zaburzenia wzajemnego położenia warstw. Ponadto nie jest także spełniony postulat jednakowej odkształcalności włókien we wszystkich warstwach.

LITERATURA

[1] Crivelli-Visconti I.,Teti R.:Considerazioni sulla progettazione e realisatione di bombole ibride in metallo-composito.Cooperativa Universitaria Editrice Napoletana,1984.
[2] Nowacki W.:Dźwigary powierzchniowe. PWN, Warszawa 1979.
[3] Новожилов В.В.:Теория тонких оболочек,СУДПРОМГИЗ,1962.
[4] Тамужа В.П.,Протасов В.Д.: Разрушение конструкций из композитных материалов, Рига ЗИНАТНЕ,1986.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ БАКАХ ДАВЛЕНИЯ ЛАМИНИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОМ

Р е з ю м е

В работе описано алгоритм и программу на ЭВМ к вычислениям сопротивления цилиндрических баков давлиения ламинированных композитом. Результаты нумерических исчислении проверено с результатами экспериментов в доступных публикациях.

MATHEMATICS MODELS OF STRENGTH ANALISIS OF PRESSURE CYLINDRICAL TANKS REINFORCED WITH COMOPSITE LAYER

S u m m a r y

In this work were described an algorithm and computer's program of calculating strength of materials of cylindrical tank reinforced with composite layer. The results were verified on observable evidence, wich were presented in other publications.