ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Mechanika z. 57 Nr kol. 445

Jerzy Bursa, Kazimierz Walczak
Instytut Budowy Maszyn

WPŁYW PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW PRZETWÓRSTWA NA WŁASNOŚCI CIŚNIENIOWE RUR POLIESTROWO-SZKLANYCH

Streszczenie. W pracy podano informacje na temat wytwarzania rur z żywic poliestrowych wzmocnionych włóknem szklanym, metodą nawijania. Przedstawiono również wyniki badań wpływu podstawowych parametrów technologicznych na wartość naprężeń obwodowych w momencie utraty szczelności oraz na ich wytrzymałość.

Wstęp

Znaczną grupę wyrobów z tworzyw wzmocnionych stanowią rury i zbiorniki wytwarzane metodami nawijania. Zastępują one skutecznie wyroby z tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych w wielu dziedzinach zastosowań dzięki wysokim własnościom mechanicznym, dielektrycznym i odporności na korozję. Niezbędnym czynnikiem stosowania tworzyw wzmocnionych w wyrobach nawijanych jest znajomość wpływu technologii wytwarzania na ich własności. Niewłaściwy proces produkcji może spowodować znaczne obniżenie wytrzymałości gotowego wyrobu. Materiały te charakteryzują się dużą anizotropią własności fizykomechanicznych, która powstaje w procesie wytwarzania i może być dowolnie regulowana w zależności od przeznaczenia danej konstrukcji i rodzaju obciążeń. Uzyskanie optymalnych własności wytrzymałościowych wymaga zaprojektowania procesu nawijania w sposób zapewniający przeniesienie całości obciążeń przez wzmocnienie włókniste, które powinno być ułożone w kierunku działania naprężeń głównych. Jeżeli ze względów technologicznych takie ułożenie wzmocnienia jest niemożliwe, należy dążyć do zastąpienia go uzwojeniem równoważnym. W przypadku nawijania rur i zbiorników ciśnieniowych, gdzie układanie wzmocnienia w kierunku wzdłużnym i obwodowym nastręcza znaczne trudności, można zastąpić go równoważnym uzwojeniem śrubowym, ułożonym pod kątem $\pm 54^{\circ}\ 45'$ do osi wzdłużnej rury [1, 2].

Celem przeprowadzonych badań było ustalenie wpływu rodzaju kompozycji żywic poliestrowych, jej lepkości oraz stopnia odpowietrzenia na własności rur ciśnieniowych poliestrowo-szklanych.

Materiały do badań i przygotowanie próbek

Przedmiotem badań były rury wykonane z krajowych żywic poliestrowych, wzmocnione rowingiem szklanym. Do wykonania próbek użyto następujących materiałów produkcji krajowej:

- żywice poliestrowe: sztywna Polimal 100 i elastyczna Polimal 151,
- włókno szklane w postaci rowingu 30 pasmowego o symbolu ER 2002, Tex 1140 x 10^{-5} N/m,
- utwardzacz: nadtlenek benzoilu rozpuszczony we ftalanie dwu-n-butylu do utwardzania na gorąco kompozycji żywic [3].

Próbki posiadały wymiary:

- średnica wewnętrzna d_w = 45 mm,
- grubość ścianki g = 1,9-2,2 mm w zależności od lepkości żywicy użytej do przesycania włókna,
- długość części pomiarowej próbki $L_p = 4\ d_w$ = 180 mm [4],
- zawartość włókna szklanego $\varphi_{wag.}$ = 50-80% w zależności od lepkości żywicy,
- naciąg włókna szklanego - 5 N/wstęgę rowingu,
- kąt ułożenia wzmocnienia szklanego w stosunku do osi wzdłużnej rury $\alpha = 54^{o}\ 45' \pm 2^{o}$.

Kąt ułożenia wzmocnienia szklanego przyjęto na podstawie analizy wytrzymałościowej rur cienkościennych ($\frac{2g}{d_w} \leq 0,12$) [4].

Przebieg badań

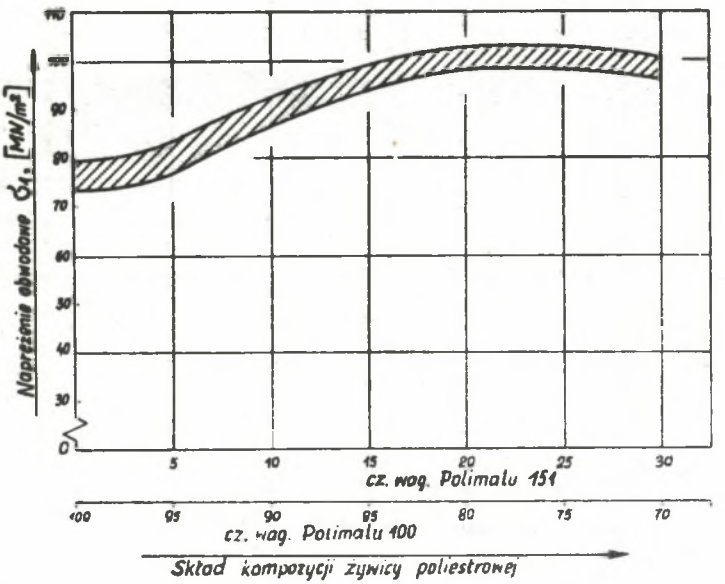
Badania prowadzone były w celu przystosowania tych rur do pracy pod ciśnieniem wewnętrznym. Wyroby ciśnieniowe poliestrowo-szklane tracą szczelność znacznie wcześniej niż wynika to z własności wytrzymałościowych wzmocnienia. Na zjawisko to ma duży wpływ rodzaj żywicy użytej do laminowania (jej własności fizykomechaniczne) stopień jej odpowietrzenia oraz zawartość włókna szklanego. Współdziałanie żywicy z włóknem szklanym w laminacie wymaga, aby wydłużenie żywicy przy zerwaniu było większe od wydłużenia włókna szklanego. Ponieważ krajowe żywice poliestrowe przeznaczone do laminowania - Polimal 100 i Polimal 109 nie spełniają warunku wydłużeń, należy je uelastyczniać (wydłużenie włókna szklanego przy zerwaniu wynosi 2-3%, żywicy Polimal 100-0,3%) [3].

Badania rur na ciśnienie wewnętrzne, przeprowadzono na urządzeniu ciśnieniowym przy szybkości narastania ciśnienia - 30 MN/m^2 min. Do rejestracji punktu pocenia się rur wykorzystano metodę elektryczną. W tym ce-

lu na próbkę nakładano gęstą siatkę miedzianą (200 oczek/cm^2) w ten sposób, aby dokładnie przylegała do próbki na jej części pomiarowej i nie posiadała zwarcia z obudową metalową. Metoda ta polega na połączeniu jednego bieguna omomierza z siatką miedzianą a drugiego z rurką metalową, doprowadzającą wodę do wnętrza próbki. Z chwilą utraty szczelności rury następowało zwarcie biegunów poprzez wodę i wychylenie wskazówki omomierza. Wykorzystanie tej metody było możliwe ponieważ laminat poliestrowo-szklany charakteryzuje się dobrymi własnościami dielektrycznymi.

Omówienie wyników badań

Badania rozpoczęto od ustalenia optymalnej kompozycji krajowych żywic poliestrowych: sztywnej Polimal 100 i elastycznej Polimal 151, użytych do wykonania rur poliestrowo-szklanych. Jak wynika z przebiegu krzywej na rys. 1 dodatek żywicy elastycznej Polimal 151 w ilości 5÷20 części wagowych do żywicy sztywnej Polimal 100 wpływa w istotny sposób na podwyższenie punktu pocenia się rur. Dalszy wzrost udziału żywicy elastycznej nie daje dodatniego efektu a nawet powoduje powolny spadek wartości naprężeń obwodowych σ_1 w momencie utraty szczelności.



Rys. 1. Wpływ dodatku żywicy elastycznej Polimal 151 do żywicy sztywnej Polimal 100, na wartość naprężeń obwodowych w momencie utraty szczelności rur. Pole zakreskowane oznacza przedział ufności wartości średniej na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0{,}05$ przy n = 10 próbek (wg testu "t" - Studenta)

Naprężenia obwodowe σ_1 oblicza się z zależności [5]:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot d_{śr}}{2\,g},$$

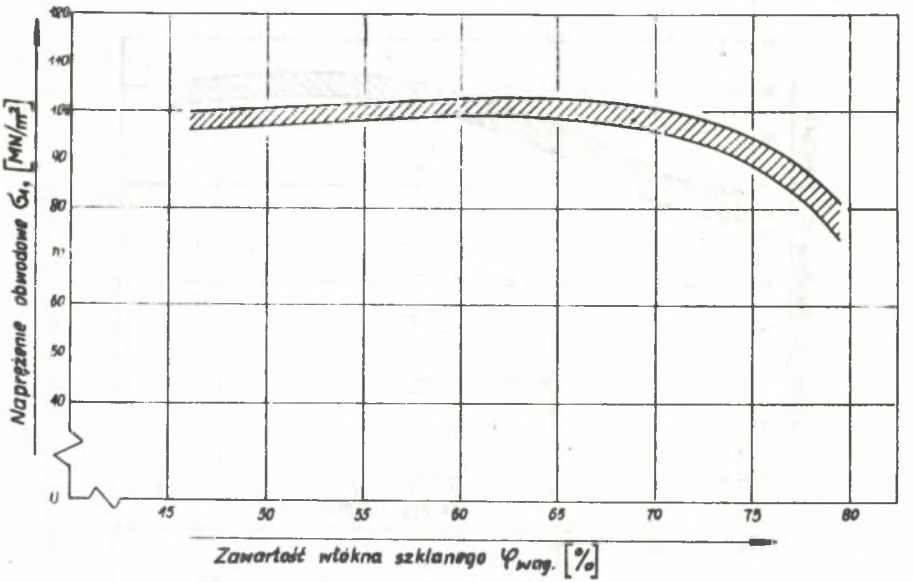
gdzie:

p - wartość ciśnienia w momencie utraty szczelności $\frac{MN}{m^2}$,

$d_{śr}$ - średnia średnica próbki - $d_{śr} = \frac{d_w + d_z}{2}$ mm,

g - grubość ścianki próbki mm.

Obniżenie się własności ciśnieniowych rur wykonanych z kompozycji zawierającej powyżej 20 części wagowych żywicy elastycznej spowodowane jest prawdopodobnie spadkiem wytrzymałości żywicy. Żywica sztywna Polimal 100 posiada wytrzymałość na rozciąganie ok.60 MN/m^2, natomiast żywica elastyczna Polimal 151 ok. 0,4 MN/m^2. Przy udziale żywicy elastycznej równym 30 części wagowych wytrzymałość kompozycji obniża się o 30% [6]. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że do wytwarzania wymienionych rur najlepszą kompozycją jest: Polimal 100 ok. 80 cz.wag. i Polimal 151 ok. 20 cz.wag. Kompozycję tę zastosowano do wykonania rur do dalszych badań.



Rys. 2. Wpływ zawartości włókna szklanego na wartość naprężeń obwodowych w momencie utraty szczelności rur poliestrowo-szklanych. Pole zakreskowane: przedział ufności wartości średniej na poziomie prawdopodobieństwa = α = 0,5 przy n = 10 próbek (wg testu "t" - Studenta)

Wyniki badań wpływu zawartości włókna szklanego w laminacie nawijanym na szczelność rur przedstawia rys. 2. Zmianę zawartości włókna szklanego uzyskiwano poprzez zmianę lepkości żywicy użytej do laminowania. Lepkość można zmieniać poprzez zmianę temperatury żywicy lub przez dodanie rozcieńczalników. Ponieważ wprowadzenie rozcieńczalników w postaci styrenu lub acetonu obniża własności mechaniczne laminatu, zmianę lepkości żywicy realizowano przez zmianę temperatury kompozycji. Wpływ temperatury na lepkość kompozycji żywicy przedstawia tablica 1. Tablica 2 zawiera natomiast wyniki badań wpływu lepkości żywicy użytej do laminowania na zawartość włókna szklanego w wyrobie utwardzonym.

Tablica 1

Wpływ temperatury na lepkość kompozycji żywic poliestrowych
(Polimal 100 - 80 cz.wag., Polimal 151 - 20 cz.wag.)
W tablicy podane są wartości średnie z 10 pomiarów

Temperatura ^{o}K	288	293	298	303	308
Lepkość c St	965	592	384	238	151

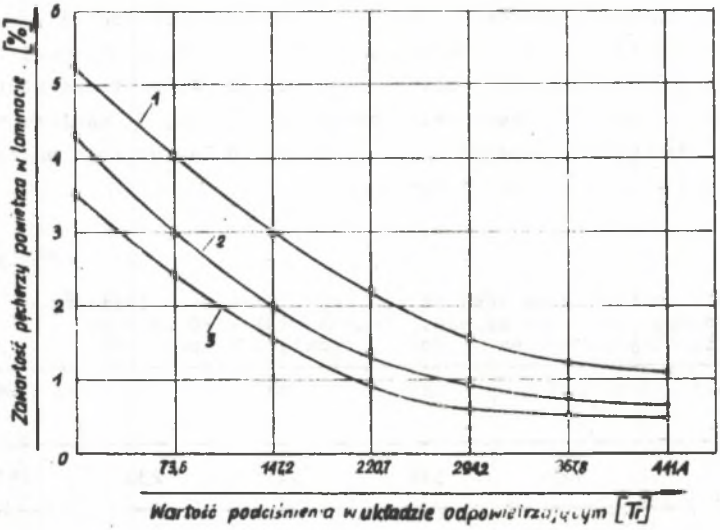
Tablica 2

Wpływ lepkości żywicy użytej do laminowania
na zawartość włókna szklanego w laminacie nawijanym
($\varphi_{wag.}$ i $\varphi_{obj.}$)
W tablicy podane są wartości średnie z 10 pomiarów

Lepkość żywicy c St	965	592	384	238
Zawartość włókna szklanego φ_{wag} - %	46,1	55,8	69,4	78,9
$\varphi_{obj.}$ - %	29,3	38,0	52,5	64,5

Z przebiegu krzywej na rys. 2 wynika, że zawartość włókna szklanego powyżej 70% wag. powoduje gwałtowny spadek naprężeń obwodowych w momencie utraty szczelności rur. Spowodowane jest to niezupełnym przesyceniem włókna szklanego żywicą a tym samym nierównomiernym rozłożeniem go na przekroju rury. Potwierdziły to obserwacje próbek na mikroskopie. W trakcie badań mikroskopowych zaobserwowano w laminacie liczne pęcherze gazowe, dlatego przeprowadzono próby odpowietrzania żywicy. Wpływ odpowietrzania żywicy na zawartość pęcherzy powietrza w laminacie przedstawia rys. 3. Na rys. 4 przedstawiono wpływ wartości podciśnienia w układzie odpowietrza-

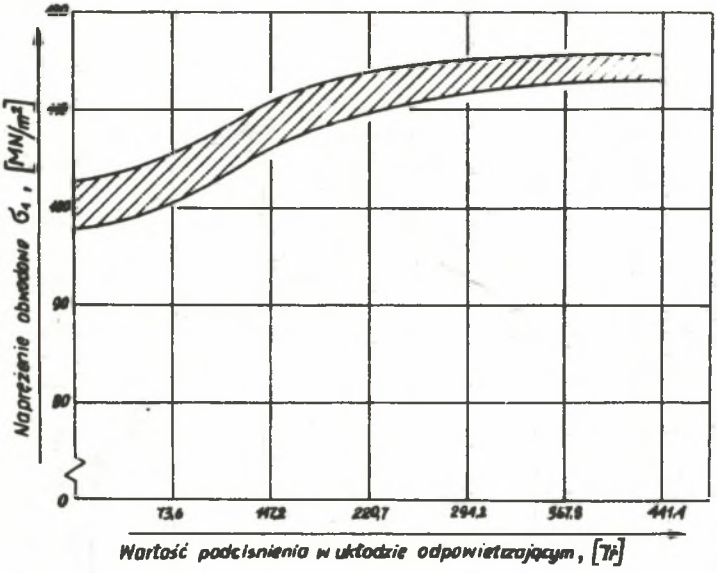
jącym żywicę na wartość naprężeń obwodowych w momencie utraty szczelności rur. Jak wynika z przeprowadzonych badań, w laminacie nawijanym w normalnych warunkach znajduje się 3,5-5.2% pęcherzy powietrza, w zależności od lepkości żywicy użytej do laminowania.



Rys. 3. Wpływ podciśnienia w układzie odpowietrzającym żywicę na zawartość pęcherzy powietrza w laminacie

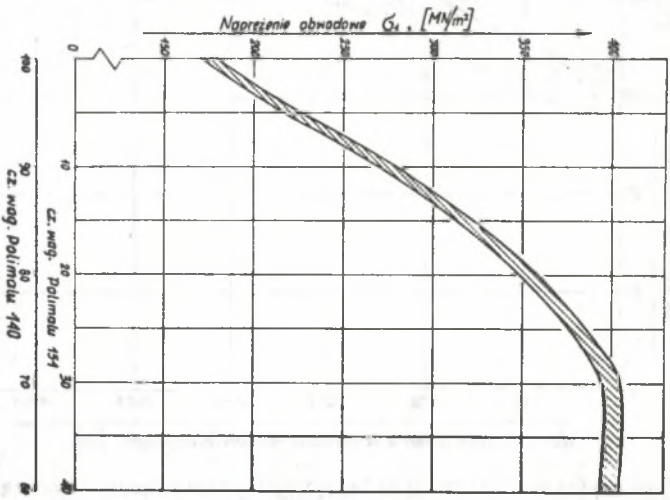
1 - żywica o lepkości 592 c St, 2 - żywica o lepkości 384 c St, 3 - żywica o lepkości 238 c St

Ze wzrostem wartości podciśnienia w układzie odpowietrzającym żywicę do około 440 Tr, zawartość pęcherzy zmniejsza się do ok. 0,5% w przypadku żywic o małej lepkości (238 c St) oraz do ok. 1% dla żywic o znacznej lepkości (590 c St). Mniejszą zawartość pęcherzy powietrza w żywicach o mniejszej lepkości można wytłumaczyć samoczynnym emigrowaniem na zewnątrz części pęcherzy pod wpływem podwyższonej temperatury żywicy oraz bardziej efektywnym odpowietrzeniem przy tej samej wartości podciśnienia. Zmniejszenie zawartości pęcherzy powietrza ze wzrostem podciśnienia w układzie odpowietrzającym żywicę do 440 Tr podwyższa wartość naprężeń obwodowych w momencie utraty szczelności rur o ok. 12%. Istotnym zjawiskiem jest zmniejszenie się przedziału ufności wartości średniej (pole zakreskowane) ze wzrostem podciśnienia. Prowadzi to w efekcie do większej niezawodności konstrukcji nawijanej a tym samym do zmniejszenia współczynnika bezpieczeństwa przy obliczeniach naprężeń dopuszczalnych. Uzyskane wartości naprężeń obwodowych w momencie utraty szczelności stanowią ok. 30% teoretycznej nośności rur przy obciążeniu ciśnieniem wewnętrznym, którą można wy-



Rys. 4. Wpływ podciśnienia w układzie odpowietrzającym żywicę na wartość naprężeń obwodowych w momencie utraty szczelności rur poliestrowo-szklanych. Pole zakreskowane: przedział ufności wartości średniej na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0,05$ przy $n = 10$ próbek (wg testu "t" - Studenta)

znaczyć wg teorii przekrojów zredukowanych Dietza [7], na podstawie własności składników laminatu i ich procentowych zawartości. Dalsza poprawa własności ciśnieniowych rur poliestrowo-szklanych możliwa jest przez zastosowanie na wewnętrzną powierzchnię szczelnej i elastycznej powłoki np. z żywicy Polimal 140 (żelkot). Wyniki badań wpływu wewnętrznej powłoki z żywicy Polimal 140 oraz jej uelastyczniania dodatkiem żywicy Polimal 151 na własności ciśnieniowe rur przedstawia rys. 5. Jak wynika z tego rysunku zastosowanie wewnętrznej powłoki (0,2 mm grubości) z uelastycznionego żelkotu daje efekt utraty szczelności rury dopiero z równoczesnym zniszczeniem wzmocnienia szklanego. We wszystkich próbkach posiadających mniej niż 30 cz.wag. dodatku żywicy elastycznej Polimal 151 do żywicy Polimal 140 (żelkot) utrata szczelności rur następowała bez uszkodzenia wzmocnienia szklanego, co świadczy o zbyt małym wydłużeniu przy zerwaniu materiału powłoki wewnętrznej. Optymalna kompozycja do wykonania wewnętrznej powłoki z żywicy Polimal 140 powinna zawierać dodatek w postaci żywicy elastycznej Polimal 151 w ilości 30 cz.wag.



Rys. 5. Wpływ dodatku żywicy elastycznej Polimal 151 do żywicy Polimal 140 (żelkot) użytej do wykonania wewnętrznej powłoki w rurach poliestrowo-szklanych na ich nośność przy obciążeniu ciśnieniem wewnętrznym. Pole zakreskowane: przedział ufności wartości średniej na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0,05$ przy $n = 10$ próbek (wg testu "t" - Studenta)

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono:

Optymalna kompozycja do wytwarzania rur poliestrowo-szklanych składa się z żywicy sztywnej Polimal 100 ok. 80 cz.wag. i żywicy elastycznej Polimal 151 ok. 20 cz.wag.

Optymalna zawartość włókna szklanego w rurach poliestrowo-szklanych przeznaczonych do pracy pod wewnętrznym ciśnieniem wynosi ok. 70% wagowo.

Zmiana lepkości żywicy poprzez zmianę temperatury nie wpływa na obniżenie własności mechanicznych laminatów poliestrowo-szklanych.

Odpowietrzanie kompozycji żywicy zmniejsza zawartość pęcherzy powietrza i podwyższa własności mechaniczne laminatu.

Rury poliestrowo-szklane przeznaczone do pracy pod wewnętrznym ciśnieniem powinny posiadać wewnętrzną powłokę z materiału elastycznego.

LITERATURA

[1] Hoschke W.: Kunststoff - Rundschau, 3, 1968, 149.
[2] Schaper M.: Kunststoffe, 12, 1965, 938.
[3] Kłosowska Z., Królikowski W., Penczek P.: Żywice i laminaty poliestrowe, WNT, Warszawa 1969.
[4] Kincis T., Roze A., Zigun J.: Metody staticzeskich ispytanii armirowannych płastikov, Izd. Zinatnie, Ryga, 1972.
[5] Jakubowicz A., Orłoś Z.: Wytrzymałość materiałów, WNT, Warszawa 1966.
[6] Soroczizyn A.: Stiekłopłastiki. Izd. Lit. po Stroit., Moskwa 1964.
[7] Bernert J., Mindersdorf G., Wende A.: Kunststofe, 12, 1966, 848.

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЖИМОВ ПЕРЕРАБОТКИ НА НАПОРНЫЕ СВОЙСТВА ТРУБ ИЗ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ УСИЛЕННЫХ СТЕКЛОНИТЬЮ

Р е з ю м е

В статье даются информации по изготовлении труб из полиэфирных смол усиленных стеклонитью методом спиральной намотки. Приводятся тоже результаты собственных исследований влияния основных технологических параметров переработки на напряжения в момент потения стенок трубы и на прочность.

EFFECT OF BASIC TECHNOLOGY PARAMETERS ON PRESSURE CHARACTERISTICS OF THESE PIPES FROM FIBERGLASS REINFORCED POLYESTER RESINS

S u m m a r y

Informations on the production process of the pipes form fiberglass reinforced polyester resins by means of the reeling method are given.The results of carried out by the Authors investigations of the basic technology parameters effect on the stresses in the point of pipe sweating out and on the pipe strength.