ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: Mechanika z. 47 Nr kol. 339

Jerzy BURSA, Włodzimierz OCHOŃSKI

Instytut Budowy Maszyn
Zakład Maszyn do Przetwórstwa
Tworzyw Sztucznych

WŁASNOŚCI MECHANICZNE RUR POLIESTROWO-SZKLANYCH

Streszczenie. W pracy omówiono dwie najczęściej stosowane metody wytwarzania rur poliestrowo-szklanych, metodą nawijania i odlewania odśrodkowego. Przedstawiono wyniki badań niektórych własności mechanicznych takich jak: wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, zginanie, ciśnienie wewnętrzne i inne rur poliestrowo-szklanych, wykonanych w oparciu o krajowe żywice poliestrowe "Polimal".

1. WSTĘP

Od kilku lat, w różnych gałęziach przemysłu, coraz szersze zastosowanie znajdują rury z tworzyw sztucznych, wzmocnione włóknem szklanym. Rury te wytwarzane są z dwuskładnikowych laminatów. Jako żywice stosuje się przeważnie nienasycone żywice poliestrowe i żywice epoksydowe, które w stanie utwardzonym wykazują dobrą odporność na chemikalia oraz dość dobrą odporność cieplną. Dla polepszenia własności wytrzymałościowych stosuje się włókno szklane w postaci rovingu, tkanin i mat, które posiada bardzo dużą wytrzymałość na rozciąganie.

Rury z tworzyw sztucznych, wzmocnionych włóknem szklanym, łączą w sobie zalety obu składników, a zatem cechuje je dobra odporność chemiczna i termiczna, przy jednocześnie wysokiej wytrzymałości mechanicznej i małym ciężarze właściwym.

Rury takie stosuje się powszechnie za granicą na przewody wentylacyjne, kanalizacyjne, na rurociągi w przemyśle chemicznym, a także zamiast konstrukcyjnych rur aluminiowych w lotnictwie, budownictwie i innych.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENNICTWA

Rury z tworzyw sztucznych wzmocnionych włókien szklanym wytwarzane są obecnie metodą nawijania lub odlewania odśrodkowego.

Metoda nawijania polega na nawijaniu na sztywny rdzeń, obracający się w łożu obrabiarki, rowingu pasmowego, taśm lub tkanin szklanych, w stanie wstępnego naprężenia, nasyconych utwardzalną żywicą, według ściśle okre-

ślonego wzoru geometrycznego. Nawijanie prowadzi się zwykle na mokro, tzn. rowing lub taśmę przepuszcza się przez wannę z żywicą, gdzie zachodzi impregnacja włókien. Jeżeli nawija się preimpregnaty, proces przebiega na sucho, ze wstępnym ogrzaniem preimpregnatu, w celu uzyskania odpowiedniej lepkości nawijanych pasm. Utwardzanie rur przebiega zazwyczaj w podwyższonej temperaturze. Rury otrzymane w ten sposób mają gładką powierzchnię wewnętrzną, średnice w zakresie od 15 do 3000 mm i grubości ścianek 0,25-- 75 mm [1].

Przy ciągłych metodach nawijania, na urządzeniach poziomych lub pionowych, stosuje się zwykle oplatanie obiegowe, tzn. rdzeń przesuwa się wzdłuż osi nawijanej rury ruchem posuwisto-zwrotnym, natomiast rowing nawija się ze szpul zamontowanych na tarczy obracającej się wokół rdzenia. Tą metodą otrzymuje się rury w odcinkach o dowolnej długości, ale o ograniczonych grubościach ścianek - od 1,25 do 9 mm i średnicach od 50 do 1800 mm.

Metoda odlewania odśrodkowego polega na ułożeniu warstw mat lub tkanin szklanych wewnątrz stalowej, wypolerowanej rury, wprowadzeniu żywicy utwardzanej na gorąco, a następnie nadaniu rurze dużej prędkości obrotowej rzędu 2000 do 3000 obr. na minutę [2].

Żywica przenika pomiędzy poszczególne włókna i utwardza się podczas przepuszczania przez rurę gorącego powietrza.

Skurcz uformowanej rury jest skierowany do wewnątrz i ułatwia wyjęcie utwardzonej żywicy z formy. Polepszenie własności mechanicznych rur wykonanych tą metodą, a także ich ukierunkowanie może nastąpić wskutek wprowadzenia tkanin szklanych o różnej budowie. Zamiast zbrojenia w arkuszach i ciekłej żywicy, do obrotowej formy może być wprowadzona uprzednio przygotowana mieszanina żywicy i włókien ciętych.

Metodą odlewania odśrodkowego wytwarza się obecnie rury o średnicy do 1200 mm i długości do 5 m [3]. Zaletą rur odlewanych odśrodkowo jest dokładność średnicy zewnętrznej, co nie tylko wpływa korzystnie na wygląd, lecz także ułatwia stosowanie znormalizowanych kołnierzy i złączek.

Gęstości i niektóre własności mechaniczne, w zależności od różnych sposobów wytwarzania rur z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym, podane są w pracy [3].

Ujemną cechą wszystkich rur z tworzyw wzmocnionych jest wciąż jeszcze stosunkowo mała odporność na działanie wody, niezadawalająca odporność cieplna przy temperaturach powyżej 150°C oraz przenikalność gazowa. Spadek wytrzymałości na mokro jest szczególnie widoczny w przypadku rur pracujących pod ciśnieniem. Zwiększenie odporności na wodę i odporności chemicznej uzyskuje się między innymi przez "wyłożenie" wewnętrznych ścian rury warstwą elastycznej żywicy lanej, np.:.poliestrowej, epoksydowej lub furanowej.

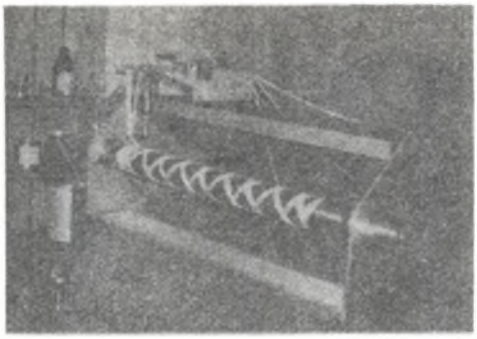
Rury o lepszych własnościach mechanicznych i wyższej odporności chemicznej otrzymuje się przez nawijanie na rury z twardego PCW, względnie

niskociśnieniowego polietylenu (PE) wzmocnienia z PWS. Wielkość ciśnienia roboczego dla tego typu rur zależy przede wszystkim od grubości warstwy zewnętrznej, zawartości szkła w tej warstwie oraz rodzaju zastosowanej żywicy. Ciśnienie to wynosi zwykle od 1,0 do 6,0 MN/m^2. Ciężar rur jest pięciokrotnie niższy od ciężaru rur stalowych, współczynnik przewodzenia ciepła wynosi zaledwie 0,5% wartości współczynnika dla rur stalowych, a opory przepływu są ok. 15% niższe, ze względu na mały współczynnik tarcia i nie powstawanie osadu na wewnętrznych ścianach rur [1].

3. BADANIA WŁASNE

3.1. Przygotowanie rur i próbek

Rury wykonano na urządzeniu do okresowego wytwarzania rur z żywic poliestrowych i epoksydowych, wzmocnionych włóknem szklanym. Urządzenie to pracuje na zasadzie działania tokarki (rys. 1). Uzwojenie spiralno-krzyżowe uzyskuje się dzięki istnieniu dwóch ruchów, tj. ruchu obrotowego rdzenia oraz ruchu posuwisto-zwrotnego suportu. Na suporcie zamocowana jest wanna, w której następuje przesycanie rovingu oraz nadanie odpowiedniego naciągu. Rurę ściąga się z rdzenia za pomocą oddzielnego przyrządu śrubowego. Ściąganie ułatwia niewielka zbieżność rdzenia. Zmianę parametrów nawijania uzyskuje się przez odpowiedni dobór kół zębatych oraz ogniw łańcucha.



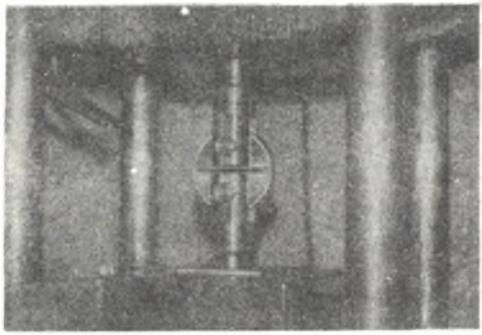
Rys. 1

W celu zbadania własności mechanicznych rur poliestrowo szklanych, wykonano 11 rur o średnicy wewnętrznej 100 mm i długości ok. 1 m, z różnych żywic poliestrowych i o różnej ilości warstw. Przy nawijaniu zastosowano kąt ok. 54°. Wszystkie rury wykonano z żywic poliestrowych "Polimal", produkcji Zakładów Chemicznych "Sarzyna" oraz włókna szklanego, 60-pasmowego Gevetex ES 10 - 40 x 60 -K 35. Utwardzanie rur przeprowadzono na zimno,

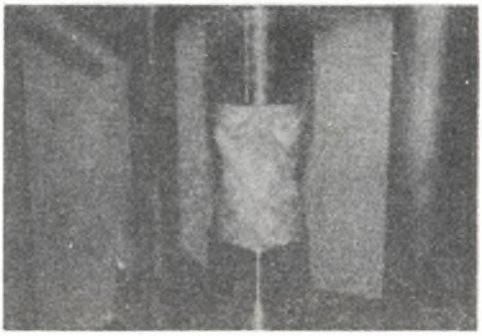
przy zastosowaniu jako inicjatorów polimeryzacji pasty WNCH, w ilości 4% oraz naftenian kobaltu w ilości 0,2%. W tablicy 1 zestawiono wykonane rury, użyte do badań, z podaniem rodzaju żywicy, ilości warstw i grubości. Próbki do badań wycinano piłą do metali, a następnie wygładzano papierem ściernym.

3.2. Przebieg badań

Próby rozciągania przeprowadzono na próbkach cylindrycznych i pierścieniowych, na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej typu Amsler. Na rys. 2 pokazano próbę rozciągania próbki pierścieniowej, a na rys. 3 próbki cylindrycznej. Uzyskane wyniki podano w tabl. 2.



Rys. 2



Rys. 3

Tablica 1

Zestawienie wykonanych rur

Symbol rury	Gatunek żywicy	Gatunek warstw	Grubość (mm)	Ilość szt.
Pol 109 - 1 w	Polimal 109	1	1,5	1
Pol 109 - 2 w	Polimal 109	2	2,5	1
Pol 109 - 3 w	Polimal 109	3	3,5	1
Pol 109 - 4 w	Polimal 109	4	4,5	2
Pol 109 - 5 w	Polimal 109	5	5,5	2
Pol 109+151 - 3 w	Polimal 109+151	3	3,5	1
Pol 100 - 3 w	Polimal 100	3	3,5	1
Pol 103 - 3 w	Polimal 103	3	3,5	1
Pol 108 - 3 w	Polimal 108	3	3,5	1

x) 75% Polimal 109 + 25% Polimal 151

Tablica 2

Wytrzymałość na rozciąganie w zależności od gatunku żywicy

Gatunek żywicy	Ilość warstw	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m \frac{MN}{m^2}$	
		Próbka pierścieniowa	Próbka cylindryczna
Polimal 109	3	177	44,5
Polimal 109 + 151	3	148	41,0
Polimal 100	3	184	45,5
Polimal 103	3	151	42,5
Polimal 108	3	165	45,0

1) h = 0,2, D = 20 mm

2) długość pomiarowa l_o = 150 mm

W celu wyznaczenia zależności wytrzymałości na rozciąganie próbek pierścieniowych od ilości warstw, wycięto z rur Pol. 109 o różnych ilościach warstw od 1 do 5 po 3 próbki pierścieniowe o szerokości h = 20 mm każda i poddano je próbie rozciągania. Za wynik przyjęto wartość średnią. Badano również wpływ szerokości próbki pierścieniowej na wytrzymałość na rozciąganie. W tym celu wycięto z rury Pol. 109 + 151 - 3 w po 3 próbki, o następujących szerokościach: 5, 10, 15, 20, 25 mm, a następnie poddano je próbie rozciągania. Za wynik przyjęto wartość średnią.

Próbie ściskania poddano odcinki rur o długości 230 mm. Na końce tych odcinków nasadzono końcówki stalowe, aby zapobiec zniszczeniu rur na powierzchniach oporowych. Otrzymane wyniki podano w tabl. 3.

Tablica 3

Wyniki badań na ściskanie i spłaszczanie

Gatunek żywicy	Ilość warstw	Wytrzymałość na ściskanie R_c MN/m^2	Spłaszczanie	
			Maks.siła w N	Ugięcie %
Polimal 109	2	34,0	2980	35
Polimal 109	3	44,5	3440	45
Polimal 109	4	42,0	6310	40
Polimal 109	5	39,0	7150	40
Polimal 109 + 151	3	31,0	3920	45
Polimal 100	3	48,0	3520	25
Polimal 108	3	42,5	3140	25
Polimal 108	3	41,5	5500	50

Próbie spłaszczania rur poddano próbki o długości l = 150 mm ściskane między dwoma równoległymi płytami stalowymi na maszynie typu Amsler, do chwili pojawienia się pierwszego pęknięcia. Wtedy odczytano obciążenie i mierzono odkształcenie pionowe zewnętrznej średnicy rury h. Ugięcie rury obliczono ze wzoru:

$$F = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \cdot 100\%,$$

gdzie

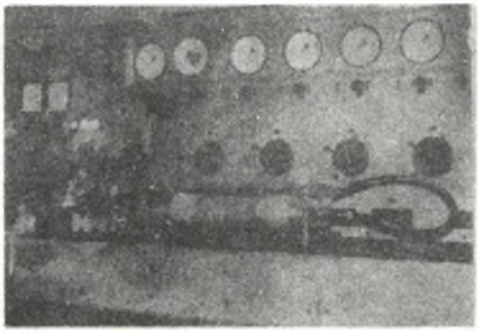
D_0 – początkowe średnice zewnętrzne rury,

D_1 – pionowa, zewnętrzna średnica rury po odkształceniu. Wynik podano w tabl. 3,

Próbie zginania poddano rurę Pol. 109 – 4 w, o długości l = 900 mm. Jej wytrzymałość na zginanie wyniosła = 29,5 MN/m^2.

Badanie rur na ciśnienie wewnętrzne przeprowadzono na specjalnym stanowisku badawczym (rys. 4). Do badania użyto odcinek rury Pol. 109 – 5 w, o długości pomiarowej l_0 = 300 mm. Na końcach badanej rury przyklejono klejem epoksydowym denka stalowe, z których jedno posiadało końcówkę gwintowaną dla wprowadzenia oleju pod ciśnieniem. Z zewnątrz denka owinięto dodatkowo taśmą szklaną przesyconą klejem epoksydowym. Tak przygotowaną rurę umieszczono w obudowie. Dzięki osłonie z plexi można było obserwować zachowanie się rury podczas badania. Przebieg próby był następujący: ciś-

nienie zwiększano w odstępach 1-minutowych co 1,0 MN/m^2, przy czym po każdym wzroście poddawano rurę jeszcze 5-krotnemu pulsowaniu ciśnienia od 0 do danej wartości. Utrata szczelności rury nastąpiła przy ciśnieniu p = = 4,0 MN/m^2. Po zwiększeniu ciśnienia do 10,0 MN/m^2 nastąpiło z jednej strony zniszczenie uszczelnienia rury.



Rys. 4

Próby udarności, twardości i zginania przeprowadzono na aparacie Dynstat. Wyniki prób rur, w zależności od gatunku żywicy, zawiera tablica 4.

Tablica 4

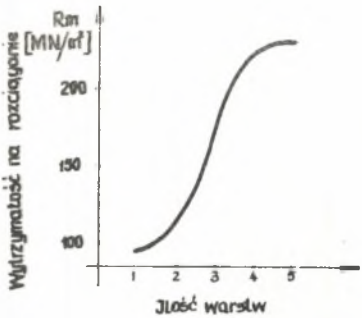
Wyniki pomiarów udarności, twardości i zginania w zależności od rodzaju żywicy

Gatunek żywicy	Udarność bez karbu U_k I/m^2	Z karbem U_k I/m^2	Twardość Brinella HB	Wytrzymałość na zginanie R_g, MN/m^2
Polimal 109	61,0	50,0	17,5	54,5
Polimal 109 + 151	52,5	42,5	9,9	44,0
Polimal 100	69,5	55,0	15,3	47,5
Polimal 103	68,0	64,0	12,7	47,5
Polimal 108	54,5	42,5	12,5	36,5

4. Wyniki badań i ich dyskusja

Jak wynika z tablicy 2 największą wytrzymałość na rozciąganie próbek pierścieniowych posiadają rury wykonane z żywic poliestrowych Polimal 100 i Polimal 109. Wynoszą one odpowiednio: dla rury Pol. 100-3 w - 184 MN/m^2 a dla rury Pol. 109 - 3 w - 177 MN/m^2. Dla rur z pozostałych gatunków żywic, tj. Pol. 103, Pol. 108 i Pol. 109 + 151 wartości wytrzymałości na

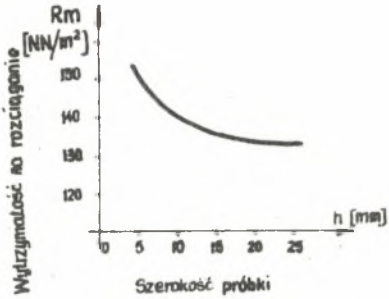
rozciąganie są nieco niższe, rzędu 150 - 160 MN/m^2. Wytrzymałość na rozciąganie próbek cylindrycznych dla rur z wszystkich użytych gatunków żywic jest tego samego rzędu, tj. 40 - 45 MN/m^2.



Rys. 5

Na rys. 5 przedstawiono zależność wytrzymałości na rozciąganie R_m próbek pierścieniowych od ilości nawiniętych warstw, dla rur Pol. 109. Jak widać na tym rysunku, wytrzymałość na rozciąganie wzrasta bardzo znacznie od ok. 100 MN/m^2, dla rury jednowarstwowej, do ok. 230 MN/m^2 -dla czterowarstwowej i pięciowarstwowej.

Na rysunku 6 przedstawiono zależność wytrzymałości na rozciąganie R_m od szerokości próbki pierścieniowej h dla rury Pol. 109 + 151 - 3 w. Z wykresu wynika, że ze wzrostem szerokości próbki maleje



Rys. 6

wytrzymałość na rozciąganie z ok. 150 NM/m^2, dla próbki o szerokości h = = 5 mm, do ok. 135 MN/m^2 dla próbki o szerokości h = 25 mm. Z tablicy 3 wynika, że największą wytrzymałość na ściskanie posiadają rury z żywic poliesterowych Polimal 100 i Polimal 109.Wynoszą one odpowiednio: dla rury Pol. 100 - 3 w - 48 MN/m^2, dla rury Pol. 109 - 3 w - 44,5 MN/m^2. Dla pozostałych gatunków żywic wartości te są nieco niższe. Z tablicy 4 wynika, że najwyższą udarność, twardość i wytrzymałość na zginanie mają rury Pol. 100, Pol. 103 i Pol. 109.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Największą wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, twardość i udarność posiadają rury wykonane z żywic poliestrowych Polimal 10C i Polimal 109.
2. Wytrzymałość na rozciąganie obwodowe wzrasta bardzo znacznie ze zwiększeniem ilości warstw nawiniętej rury.
3. Wytrzymałość na rozciąganie obwodowe maleje ze wzrostem szerokości próbki.
4. Wytrzymałość rur poliestrowo-szklanych na rozciąganie osiowe, ściskanie i zginanie jest niewielkie, rzędu 30 do 45 MN/m^2.
5. Wytrzymałość na ciśnienie wewnętrzne rur poliestrowo-szklanych jest bardzo duża, jednak ze względu na szybką utratę szczelności rury te nie nadają się na rurociągi ciśnieniowe.

LITERATURA

1. Z. NOWAK - Przegląd Mechaniczny 20, 1969, s. 639-642.
2. J. BURSA, K. OSKĘDRA - Przegląd Mechaniczny 19, 1966, s. 589-592.
3. F. LANFENBERG - Kunststoff Rundschau, 8, 1968, s. 43.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРНО-СТЕКЛЯННЫХ ТРУБ

Р е з ю м е

В работе описываются два наиболее часто применяемых метода изготовления полиэфирно-стеклянных труб: по методу навивки и по методу центробежной отливки. Приводятся результаты испытаний некоторых механических свойств как: сопротивление растяжению, сжатию, прочность на изгиб, внутреннее давление и прочие полиэфирно-стеклянных труб изготовленных на базе отечественных полиэфирных смол "Полималь".

THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE POLYESTER-GLASS TUBES

S u m m a r y

In the paper two most often used methods of producing polyester-glass tubes have been discussed: the winding method and the centrifugal casting one. The results of investigations of some mechanical properties like: tensile strength and others, of polyester-glass tubes, made from the domestic polyester resins "polimal" have been presented.