

STANISŁAWA PRZYBYŁO, JAN BRODA

Institut Inżynierii Tekstyliów i Materiałów Polimerowych
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

FIBRYLIZOWANE WŁÓKNA POLIPROPYLENOWE DO ROZPROSZONEGO ZBROJENIA BETONU*

Streszczenie. Od wielu lat do rozproszonego zbrojenia betonu są stosowane włókna polipropylenowe. Dodatek włókien ogranicza rozprzestrzenianie się pęknięć skurczowych w betonie, poprawia jego właściwości i zwiększa odporność na działanie czynników atmosferycznych. Do zbrojenia betonu mogą być stosowane włókna gładkie, karbowane i fibrylizowane. W ramach pracy przeprowadzono badania morfologii i właściwości mechanicznych włókien fibrylizowanych. Włókna wyprodukowano w warunkach przemysłowych za pomocą linii wyposażonej w ugięty wałek fibrylizujący. W czasie badań wyznaczono wymiary siatki oraz parametry mechaniczne włókien: wytrzymałość, moduł Younga i wydłużenie przy zerwaniu. Stwierdzono, że włókna formowane przy najmniejszej prędkości wałka fibrylizującego mają najdrobniejszą siatkę i najlepsze właściwości mechaniczne.

Słowa kluczowe: beton, zbrojenie rozproszone, włókna polipropylenowe fibrylizowane, wytrzymałość, moduł Younga, wydłużenie

Wstęp

Zbrojenie rozproszone betonu włóknami rozłożonymi równomiernie w całej jego objętości znane jest od wielu lat. Pierwsze próby zbrojenia rozproszonego z zastosowaniem profilowanych włókien stalowych podjęto na początku XX wieku (SWAMY 1975, KARWACKI 1995). W następnych latach do zbrojenia zaczęto stosować klasyczne włókna przerabiane w przemyśle włókienniczym. W szerokiej literaturze z tego zakresu opisane są próby zastosowania różnych włókien naturalnych i syntetycznych (ZHENG i FELDMAN 1995).

*Praca finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2009-2011 jako projekt badawczy nr 08 0002 06/2009.

Z grupy włókien syntetycznych największe zastosowanie znalazły włókna polipropylenowe (BUDI AULIA 2002). Skutecznie powstrzymują one rozprzestrzenianie się pęknięć skurczowych betonu i korzystnie wpływają na jego właściwości. Wyeliminowanie rys skurczowych poprawia szczelność i ogranicza nasiąkliwość betonu, a także zwiększa jego mrozoodporność. Beton zbrojony włóknami polipropylenowymi ma większą trwałość przy działaniu zmiennych warunków atmosferycznych. Dodatek włókien zapewnia długi czas użytkowania konstrukcji betonowych z zachowaniem optymalnych właściwości.

Beton z dodatkiem włókien polipropylenowych znalazł szerokie zastosowanie do budowy dróg, mostów, lotnisk, posadzek przemysłowych, osłon przeciwdziałających wibracjom, ścian ograniczających przenikanie substancji niebezpiecznych oraz do rekonstrukcji uszkodzonych murów oporowych, tuneli i ścian skalnych.

Włókna polipropylenowe przeznaczone do zbrojenia betonu są produkowane w postaci ciętych włókien mono- lub multifilamentowych, włókien fibrylizowanych i włókien profilowanych o specjalnie karbowanej powierzchni.

Ze względu na swoje właściwości i stosunkowo niską cenę duże zainteresowanie wzbudzają włókna fibrylizowane (DEOPURA 1999, PHILLIPS i GHOSH 2003). Proces formowania takich włókien obejmuje wytłaczanie folii, cięcie folii na wąskie tasiemki, rozciąganie tasiemek, stabilizację termiczną, nacinanie tasiemek i rozciąganie końcowe.

W przypadku włókien przeznaczonych do zbrojenia betonu szczególne znaczenie mają operacje końcowe, podczas których następuje fibrylizacja tasiemek polipropylenowych. W wyniku fibrylizacji powstaje struktura siatkopodobna, która rozwija się podczas mieszania włókien w zaprawie betonowej. Poprzez rozwinięcie struktury siatkopodobnej zwiększa się powierzchnia właściwa włókien, w wyniku czego poprawia się ich przyczepność do składników betonu.

W ramach pracy oceniono wpływ fibrylizacji na budowę morfologiczną i parametry mechaniczne włókien.

Material i metody

Polipropylenowe włókna fibrylizowane wytworzono w warunkach przemysłowych z zastosowaniem włoskiej linii produkcyjnej DPM. Wytłoczoną folię cięto na tasiemki o szerokości 10 cm, które po rozciągnięciu i stabilizacji poddano fibrylizacji. Fibrylizację tasiemek prowadzono za pomocą wałka ugiętego. Uzyskano cztery serie włókien o masie liniowej 400, 600, 800 i 1000 tex. W procesie fibrylizacji stosowano różne prędkości wałka ugiętego: 150, 180 i 200 m/min.

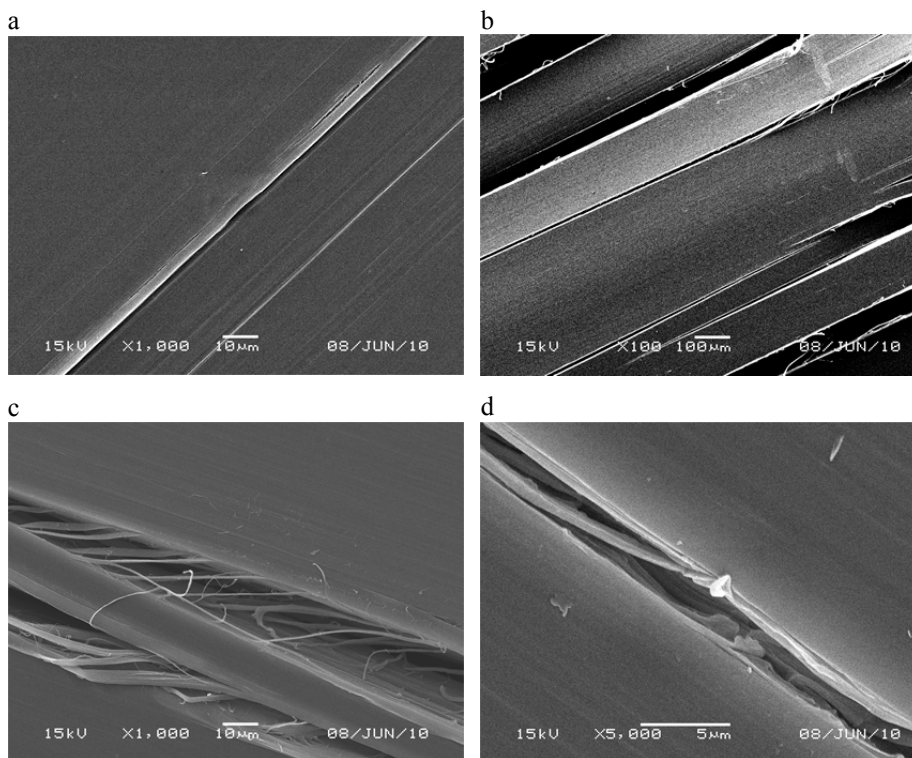
Zastosowano polipropylen komercyjny Moplen HP 456J (Orlen Polyolefins) z dodatkiem 2% polietylenu FB 2-30 (Slovnaft Petrochemicals).

Badano morfologię oraz właściwości mechaniczne włókien. Do badań morfologicznych zastosowano skaningowy mikroskop elektronowy Jeol 5500. Prowadzono obserwacje mikroskopowe próbek napylnych złotem za pomocą napyłarki laboratoryjnej Jeol 1200. Podczas badań właściwości mechanicznych wyznaczono następujące parametry włókien: wytrzymałość, wydłużenie przy zerwaniu i moduł Younga. Pomiarów parametrów mechanicznych wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 5079:1999 „Tekstylii. Włókna. Wyznaczanie siły i wydłużenia zrywającego pojedynczych włókien”.

Do badań zastosowano maszynę wytrzymałościową Instron 1026. Zrywano odcinki włókien o długości 20 mm.

Wyniki i dyskusja

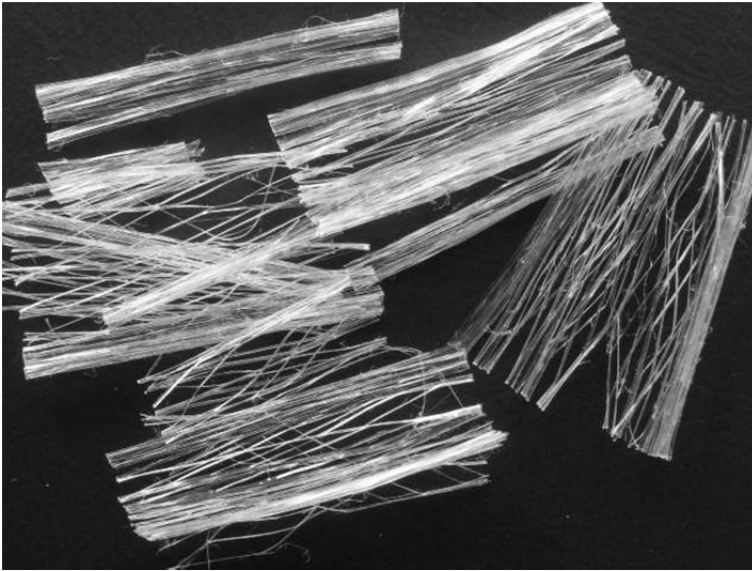
Na rysunku 1 przedstawiono morfologię powierzchni tasiemek i włókien fibrylizowanych. Na powierzchni tasiemek jest widoczna struktura fibrylarna (rys. 1 a). Fibryle o średnicy około $0,1 \mu\text{m}$ są ułożone ściśle obok siebie i równoległe względem kierunku rozciągania. Przy zetknięciu z wałkiem fibrylizującym w tasiemkach powstają wzdłużne nacięcia (rys. 1 b). Początkowo nacięcia są płytkie i nie obejmują całego przekroju poprzecznego tasiemki. W wielu miejscach są widoczne liczne fibryle łączące zakotwiczone równocześnie po obu stronach nacięcia (rys. 1 c).



Rys. 1. Morfologia powierzchni włókien fibrylizowanych: a – struktura fibrylarna, b – nacięcia tasiemek, c – fibryle łączące brzegi nacięcia, d – szczelina pomiędzy poszczególnymi włóknami

Fig. 1. Surface morphology of split fibres: a – fibrillar structure, b – cuttings of strips, c – tie fibrils, d – slit between adjacent fibres

Podczas rozciągania fibryle oddzielają się od siebie. Ze względu na niewielką siłę kohezji polipropylenu proces rozszczepienia fibryl zachodzi z dużą łatwością. Wskutek rozdzielania poszczególnych fibryl nacięcia pogłębiają się i obejmują cały przekrój poprzeczny tasiemki (rys. 1 d). W efekcie tasiemki rozszczepiają się na włókna o szerokości kilkuset mikrometrów. Poszczególne włókna są miejscowo połączone ze sobą i przy rozciągnięciu w kierunku poprzecznym tworzą charakterystyczną strukturę siatkową (rys. 2).



Rys. 2. Siatkowa struktura włókien fibrylizowanych (włókna o masie liniowej 800 tex fibrylizowane przy prędkości wałka 200 m/min)

Fig. 2. Netlike structure of split fibres (linear density of fibres 800 tex, fibres split at the needle velocity 200 m/min)

Podczas badań mikroskopowych włókien formowanych przy różnej prędkości wałka fibrylizującego stwierdzono, że rozmiary oczek siatki są uzależnione od prędkości obwodowej wałka fibrylizującego. Dla włókien fibrylizowanych przy prędkości wałka 150 m/min średnia długość oczek siatki wynosi 4 mm. Ze wzrostem prędkości wałka długość oczek wzrasta i wynosi 5-6 mm dla prędkości 180 m/min i 7 mm dla prędkości 200 m/min.

Według Krässiga (KRÄSSIG i IN. 1984) długość oczka siatki może być wyznaczona według wzoru:

$$L = a(1 - V_f / V_r)$$

gdzie: L – długość oczka siatki, a – długość odcinka kontaktu wałka z tasiemką, V_f – prędkość liniowa odbieranej tasiemki, V_r – prędkość obwodowa wałka fibrylizującego.

Przedstawione wyżej długości oczek wyznaczone eksperymentalnie są zgodne z wartościami wyznaczonymi na podstawie powyższego wzoru.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych włókien. Wytrzymałość włókien zawiera się w przedziale 34-40 cN/tex. Najmniejszą wytrzymałość wykazują włókna o małej masie liniowej. Ze wzrostem masy liniowej wytrzymałość włókien wzrasta. W każdej serii włókien przy tej samej masie liniowej najbardziej wytrzymałe są włókna wytwarzane przy najmniejszej prędkości wałka ugiętego. Ze wzrostem prędkości wałka fibrylizującego wytrzymałość włókien maleje.

Tabela 1. Parametry mechaniczne fibrylizowanych włókien polipropylenowych
Table 1. Mechanical parameters of split polypropylene fibres

Masa liniowa Linear density (tex)	Prędkość wałka fibrylizującego Needle roller velocity (m/min)	Wytrzymałość Tenacity (cN/tex)	Wydłużenie przy zerwaniu Elongation at break (%)	Moduł Younga Young modulus (cN/tex)
400	150	37,8	26	2,2
	180	36,8	25	2,1
	200	35,3	24	2,1
600	150	38,1	29	2,1
	180	37,0	27	2,1
	200	34,3	26	2,0
800	150	39,9	32	2,0
	180	36,1	27	2,0
	200	33,6	29	2,0
1 000	150	37,5	32	1,9
	180	36,9	28	2,0
	200	34,7	30	1,9

Wyznaczone wartości wydłużenia włókien przy zerwaniu mieszczą się w przedziale 24-32%. Ze wzrostem masy liniowej wydłużenie włókien przy zerwaniu minimalnie wzrasta. W dwóch seriach włókien, o masie liniowej 400 tex i 600 tex, ze wzrostem prędkości wałka fibrylizującego wydłużenie maleje. We włóknach o masie liniowej 800 tex i 1000 tex najmniejsze wydłużenie przy zerwaniu obserwuje się przy prędkości wałka fibrylizującego 180 m/min.

Dla badanych włókien moduł Younga ma wartość z zakresu 1,9-2,2 cN/tex. Największą wartość modułu Younga wykazują włókna o najmniejszej masie liniowej: 400 tex, fibrylizowane przy najmniejszej prędkości wałka: 150 m/min. Dla pozostałych włókien wartość modułu Younga jest minimalnie mniejsza.

Analizując wartości parametrów mechanicznych badanych włókien, można zauważyć, że ze wzrostem prędkości obwodowej wałka fibrylizującego zmniejsza się wytrzymałość włókien. Obserwowane zmniejszenie wytrzymałości włókien jest wynikiem większej długości oczek siatki.

Wnioski

W końcowej fazie wytwarzania włókien fibrylizowanych w wyniku rozszczepienia tasiemek powstaje struktura siatkowa. Morfologia i parametry mechaniczne włókien są uzależnione od parametrów fibrylizacji. Zwiększenie prędkości obrotowej wałka fibrylizującego prowadzi do zwiększenia długości oczek siatki i w konsekwencji do zmniejszenia wytrzymałości włókien.

Włókna formowane przy najmniejszej prędkości wałka fibrylizującego mają najdrobniejszą siatkę i najlepsze parametry mechaniczne. Drobną siatką zapewnia włóknom dużą powierzchnię właściwą, co sprzyja tworzeniu silnych połączeń adhezyjnych z matrycą cementową. Dobre zdolności adhezyjne łącznie z dobrymi właściwościami mechanicznymi sprawiają, że te włókna najbardziej nadają się do zbrojenia betonu.

Literatura

- BUDI AULIA T., 2002. Effects of polypropylene fibers on the properties of high-strength concretes. *Lacer* 7: 43-59.
- DEOPURA B.L., 1999. Split fiber production in polypropylene: an A-Z reference. Red. J. Karger-Kocsis. Kluwer, Dordrecht.
- JAMROŻY Z., 2002. Betony ze zbrojeniem rozproszonym. W: *Materiały XVII Ogólnopolskiej Konferencji Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń*. Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków.
- KARWACKI J.M., 1995. Betony zbrojone włóknami stalowymi i włóknami syntetycznymi. *Inż. Bud.* 2: 114-116.
- KRÁSSIG H.A., LENZ J., MARK H.F., 1984. *Fiber technology. From film to fiber*. Dekker, New York.
- PHILLIPS K.J., GHOSH T.K., 2003. The technology of polypropylene tape yarns: processing and applications. *Text. Prog.* 33, 1: 1-53.
- PN-EN ISO 5079:1999. *Tekstylija. Włókna. Wyznaczanie siły i wydłużenia zrywającego pojedynczych włókien*. PKN, Warszawa.
- SWAMY R.N., 1975. Fibre reinforcement of cement and concrete. *Mater. Struct.* 8: 235-254.
- ZHENG Z., FELDMAN D., 1995. Synthetic fibre-reinforced concrete. *Prog. Polym. Sci.* 20: 185-210.

POLYPROPYLENE SPLIT FIBRES FOR REINFORCEMENT OF CONCRETE

Summary. For many years polypropylene fibres have been used for reinforcement of concrete. Addition of fibres reduces propagation of cracks, causes an improvement of some properties of concrete including durability against environmental factors. For concrete reinforcement smooth, crimp and split fibres are offered. The paper presents investigations on split polypropylene fibres, produced in industrial conditions using production line equipped with the needle roller. The morphology, mesh dimensions and mechanical parameters of the fibres: tenacity, Young modulus and elongation at break were determined. The studies revealed that fibres produced at the smallest needle velocity exhibit fine mesh structure and possess best mechanical properties.

Key words: concrete, reinforcement of concrete, polypropylene split fibres, tenacity, Young modulus, elongation at break

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Jan Broda, Instytut Inżynierii Tekstyliów i Materiałów Polimerowych, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Poland, e-mail: jbroda@ath.bielsko.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:
16.08.2011

Do cytowania – For citation:

*Przybyło S., Broda J., 2011. Fibrylizowane włókna polipropylenowe do rozproszonego zbrojenia betonu. *Nauka Przym. Technol.* 5, 4, #73.*