ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol. 1480

Monika HARDYGÓRA
Politechnika Wrocławska

BADANIA PORÓWNAWCZE TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH POLIAMIDOWYCH I POLIESTROWO-POLIAMIDOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono badania laboratoryjne taśm przenośnikowych poliestrowych i poliamidowych, które obejmowały badanie wpływu wilgoci, badanie czasu i temperatury wulkanizacji tych taśm na zmiany ich parametrów wytrzymałościowych. Przedstawiono również badania połączeń wykonanych pomiędzy tymi typami taśm w stosunku do połączeń taśm tego samego typu.

COMPARATIVE STUDIES OF POLYAMIDE AND POLYESTER-POLYAMIDE CONVEYOR BELTS

Summary. In this paper laboratory studies of polyester and polyamide conveyor belts, concen-trated on the influence of moisture and vulcanization time and temperature on the belts' strength parameters, and comparative studies of splices made between belts of the above types and splices between belts of the same type are presented.

1. Wstęp

Wieloprzekładkowe taśmy przenośnikowe są najstarszym typem taśm i ciągle najpowszechniej stosowanym. Opatentowane zostały przez Thomasa Robinsona, a zastosowane po raz pierwszy w roku 1891 w kopalni magnetytu w New Jersey w USA. Rdzenie tekstylne taśm wieloprzekładkowych obecnie wykonuje się najczęściej z włókien całkowicie syntetycznych takich, jak: poliamid, poliester czy aramid. Przekładki łączone są ze sobą cienką warstewką gumy lub innego tworzywa (zwykle tego samego, z jakiego wykonane są okładki), zapewniającą niezbędną wytrzymałość taśmy na rozwarstwienie oraz umożliwiającą wzajemne przemieszczenia przekładek względem siebie przy przeginaniu taśmy. Taśmy posiadają od trzech do sześciu przekładek.

Różnice własności tych taśm wynikają z różnic samych materiałów zastosowanych w produkcji. Brak jest jednak szerszych badań zmian własności tych taśm w różnych warunkach kopalnianych, np. w przypadku dużego zawodnienia, obciążeń dynamicznych czy grzania podczas wulkanizacji. Również ciekawe jest porównanie wytrzymałości połączeń

wykonywanych na tych taśmach i pomiędzy sobą. Te problemy będą przedstawione w niniejszym referacie.

2. Charakterystyka poliamidu i poliestru stosowanego do produkcji taśm

Poliamid jest tworzywem w pełni syntetycznym, znany pod nazwą nylon, otrzymywany w wyniku polikondensacji heksametylenodwuaminy z kwasem adypinowym (nylon 6.6) lub kaprolaktamu (nylon 6). Charakteryzuje się on dużą wytrzymałością na rozciąganie, małym modułem sprężystości, a co za tym idzie dużymi wydłużeniami względnymi. Poliamid jest ponadto odporny na uderzenia i zginanie oraz na działanie chemikaliów z wyjątkiem kwasów i na korozję biologiczną.

Poliester jest również tworzywem w pełni syntetycznym o dużej wytrzymałości na rozciąganie, wysokim module sprężystości, a zatem o znacznie mniejszych wydłużeniach względnych. Jest odporny na ścieranie i na zginanie. Ponadto poliester jest odporny na działanie chemikaliów, z wyjątkiem zasad, oraz na korozję biologiczną. W taśmach przenośnikowych stosuje się głównie politereftalanety.

Taśmy poliamidowe zbudowane są w całości z włókien poliamidu i oznaczane są przez P, natomiast taśmy poliestrowe zbudowane są z osnowy (nici wzdłuż taśmy) poliestrowej i wątka poliamidowego, oznaczane są przez EP. Oba tworzywa odznaczają się wysoką wytrzymałością przy stosunkowo małej gęstości. Poliamid charakteryzuje się większymi wydłużeniami od poliestrów, co w wątku jest korzystne, zwiększa bowiem elastyczność poprzeczną taśmy, umożliwiając osiągnięcie głębokiej niecki.

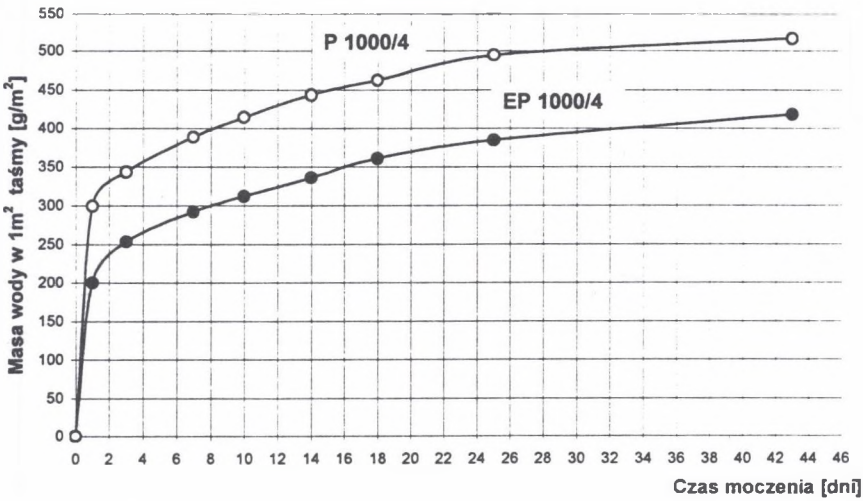
3. Badania wpływu zawilgocenia na parametry taśm poliamidowych i poliestrowych

Problem wpływu zawilgocenia taśm przenośnikowych na ich parametry wytrzymałościowe a w konsekwencji na trwałość taśm był wielokrotnie zgłaszany przez kopalnie, ale nie prowadzono dotychczas badań, które mogłyby wykazać te zależności. Badania właściwości wytrzymałościowych zawilgoconych taśm przenośnikowych wieloprzekładkowych rozpoczęto w Laboratorium Taśm Przenośnikowych Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej w roku 1997 [1]. Prace te kontynuowano w następnym roku poddając badaniom kolejne taśmy: P 1000/4 oraz EP 1000/4, poszerzając jednocześnie zakres o badania zmęczeniowe [2].

Badania taśm poliamidowej i poliestrowo-poliamidowej rozpoczęto od pomiarów nasiąkliwości wodą w funkcji czasu moczenia. Badaniami oznaczano następujące właściwości wytrzymałościowe próbek suchych i moczonych:

- wytrzymałość na rozciąganie wg PN-75/C-05011/04
- wytrzymałość na rozwarstwienie wg PN-79/C-05011/08
- wytrzymałość na ścinanie wg PN-C-94147:1997 pkt. 3.1.2.3
- wytrzymałość zmęczeniową wg metody opracowanej w Instytucie Górnictwa Politechniki Wrocławskiej [3].

Pierwsza seria badań wykazała, że większość właściwości wytrzymałościowych taśm ulega obniżeniu po dłuższym niż siedmiodniowe moczeniu próbek. W celu sprawdzenia, jak przebiega proces nasiąkania taśm wodą, próbki ważono w określonych odstępach czasu. Wyniki tych badań przedstawione są na rys.1.



Rys.1. Badanie nasiąkliwości taśm
Fig.1. Belt absorbability tests

Badania wykazały, że w ciągu pierwszej doby taśmy nasiąkają ok. połową tej ilości wody, którą zawierają po sześciu tygodniach moczenia. Po siedmiu dniach moczenia taśma nasiąka w ok. 75%. W czasie od trzeciego do szóstego tygodnia przyrost masy wody wynosi już tylko 0.4 % na dobę. Taśma poliamidowa typu P 1000/4 wchłania około 520 gramów wody na 1 m^2 swojej powierzchni, a taśma poliestrowa typu EP 1000/4 wchłania około 420 gramów wody na 1 m^2 swojej powierzchni. Nasiąkliwość taśmy poliestrowej jest więc o ok. 20% mniejsza od taśmy poliamidowej. Biorąc po uwagę fakt, że wątek taśmy typu EP jest wykonany z nici poliamidowych można obliczyć ze stosunku mas nici poliamidowych i poliestrowych, że nasiąkliwość nici poliestrowych jest o ok. 25% mniejsza od poliamidowych.

Wyniki badań właściwości wytrzymałościowych pierwszej serii badań wykazały, że dłuższy czas moczenia niż 7 dni powoduje większe spadki właściwości wytrzymałościowych. Biorąc pod uwagę wyniki badań czasu nasiąkania taśm wodą przyjęto okres moczenia równy co najmniej 7 tygodni. Ponieważ stwierdzono także większe spadki właściwości

wytrzymałościowych taśm moczonych w wodzie destylowanej w porównaniu z moczonymi w wodzie kopalnianej drugą serię badań przeprowadzono wyłącznie przy użyciu wody destylowanej. Zestawienie wartości średnich wyników pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie wyników badań wytrzymałościowych

Właściwość taśmy	Wyniki badań			
	P 1000/4		EP 1000/4	
	sucha	moczona	sucha	moczona
Wytrzymałość na rozciąganie w kierunku osnowy w kN/m	1344	1189	1306	1267
Wytrzymałość na rozciąganie w kierunku wątka w kN/m	360	338	419	342
Wytrzymałość na rozwarstwianie między przekładkami w kN/m	11.3	8.2	8.6	8.9
Wytrzymałość na rozwarstwianie między okładką a rdzeniem w kN/m	6.6	4.5	7.8	7.9
Wytrzymałość na ścinanie w N/mm2	4.5	3.4	4.3	4.1
Wydłużalność w kierunku osnowy w % przy:				
10% Rn	1.7	4.5	1.2	1.5
20% Rn	4.9	7.6	2.1	2.9
zerwaniu	20.1	21.3	16.4	17.7
Wydłużalność w kierunku wątka przy zerwaniu, w %	28.8	30.1	29.4	28.5

Na podstawie wyników można stwierdzić, że zawilgocenie taśmy poliestrowej typu EP 1000/4 tylko w minimalnym kilkuprocentowym stopniu wpływa na obniżenie jej parametrów wytrzymałościowych. Nie ulega obniżeniu jej wytrzymałość na rozwarstwianie. Natomiast zawilgocenie taśmy poliamidowej typu P 1000/4 powoduje następujące zmiany jej parametrów:

- wytrzymałość na rozciąganie maleje o ok. 12%
- wytrzymałość na rozwarstwienie maleje w granicach 13 do 32%
- wytrzymałość na ścinanie maleje w granicach 17 do 23%.

Dodatkowo zawilgocenie taśm powoduje kilkudziesięcioprocentowy wzrost ich wydłużalności w zakresie obciążeń roboczych.

Badania zmęczeniowej wytrzymałości taśm przeprowadzono na podstawie metody [3] polegającej na pulsacyjnym obciążaniu próbek taśm w zakresie od 270 do 2700 N. Częstość obciążeń wynosiła 1 cykl na 2 sekundy. Próbki obciążano aż do momentu zniszczenia. Badania przeprowadzono na pulsatorze MINI BIONIX firmy MTS (USA). Pulsator

współpracował z komputerem, który rejestrował między innymi przebieg sił w czasie i liczbę cykli. Przyjęta wielkość sił obciążających 270 do 2700 N przy wymiarach warstwy ścinanej 30 mm x 100 mm wywoływała w próbce naprężenia ścinające równe 0,09 do 0,9 N/mm^2. Wyniki badań taśm suchych oraz moczonych przez 7 do 9 tygodni w wodzie destylowanej przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie wyników badań zmęczeniowych

Oznaczenie taśmy	Taśma sucha			Taśma moczona		
	nr próbki	liczba cykli	średnia liczba cykli	Nr próbki	liczba cykli	średnia liczba cykli
P 1000/4	1 3 5 7	139450 125702 157298 135367	139454	2 4 6 8	30274 40499 23372 14868	27253
EP 1000/4	1 3 5 7	70910 61918 65490 77454	68943	2 4 6 8	42135 53334 46421 38014	44976

Taśma z przekładkami poliamidowymi uzyskała najlepsze wyniki w stanie suchym jednakże po zawilgoceniu jej trwałość zmęczeniowa spadła gwałtownie z około 137 tys. cykli do 27 tys. cykli. Porównując wykresy setnego cyklu próbki suchej i moczonej widać, że wydłużenie próbki na bazie 200 mm w zakresie obciążeń zmęczeniowych wzrosło z 6,3 do 11,2 mm. Energia tracona przez próbkę mokrą mierzona wielkością pola zawartego wewnątrz pętli jest o ok. 25% większa niż próbki suchej. Głównymi czynnikami, które wpłynęły na niską trwałość zmęczeniową taśmy mokrej, są znaczne spadki wszystkich jej parametrów wytrzymałościowych (tabela 2). Taśma poliestrowa w stanie suchym uzyskała ok. 69 tys. cykli, a w stanie mokrym ok. 45 tys. cykli. Porównując wykresy setnego cyklu zauważono, że wydłużenie próbek wzrosło z 4,4 do 4,9 mm. Energia tracona przez próbkę mokrą jest tylko o ok. 14% większa od próbki suchej. Na podstawie uzyskanych wyników można zalecić, aby taśmy poliamidowe stosować tam, gdzie warunki eksploatacyjne nie spowodują ich zawilgocenia. Taśmę poliestrową można natomiast zalecić do pracy nawet w warunkach dużego zawilgocenia.

4. Badanie wpływu temperatury i czasu wulkanizacji na właściwości taśm poliamidowych i poliestrowych

W związku z prowadzoną regeneracją taśm wieloprzekładkowych konieczne było ustalenie optymalnych czasów i temperatury wulkanizacji taśm poliamidowych i poliestrowo-poliamidowych. Badania laboratoryjne [5] były prowadzone na próbkach taśm typowych dla

górnictwa odkrywkowego węgla brunatnego dla taśmy sześcioprzekładkowej P2000 i EP2000. Zakres temperatur wulkanizacji wynosił 145, 150 i 150°C, przy ciśnieniu równym 10 MPa i czasach wulkanizacji kolejno 45, 60 i 75 min. Badano następujące właściwości taśm:

- wytrzymałość na rozwarstwianie,
- wytrzymałość na ścinanie,
- wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie względne,
- ścieralność i twardość gumy.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych badań można zauważyć różnice pomiędzy właściwościami obu typów taśm w zależności od zmian temperatury wulkanizacji jak i czasu. Wytrzymałość na rozwarstwianie okładek po procesie wulkanizacji generalnie dla obu taśm wzrasta. Dla taśmy poliamidowej największy wzrost o ok. 60% nastąpił dla czasu 45 min i temperatury 155 °C, a dla taśmy poliestrowo-poliamidowej dla czasu 45 min i temperatury 140°C o około 22%. W przypadku taśmy poliamidowej większy wpływ na wytrzymałość miała temperatura, a taśmy poliestrowo-poliamidowej - czas, gdyż przy zmianie tych parametrów występują duże zmiany wartości wyników.

Wytrzymałość na ścinanie dla obydwu taśm wykazuje spadek po procesie wulkanizacji. Dla taśmy poliamidowej są to wartości rzędu 4% do 12%, natomiast dla taśmy poliestrowo-poliamidowej od 9% aż do 35%. W przypadku taśmy EP można zauważyć spadek wytrzymałości przy wzroście temperatury i czasu wulkanizacji, natomiast taśma P wykazuje brak widocznych zależności pomiędzy wpływem temperatury jak i czasu wulkanizacji na jej wytrzymałość. Wartości wytrzymałości na rozciąganie dla obu typów taśm wykazują spadki po wulkanizacji i są to wartości porównywalne. Wydłużenie względne przy zerwaniu dla taśmy poliamidowej utrzymuje się na takim samym poziomie jak przed wulkanizacją, dla taśmy poliestrowo-poliamidowej wykazuje spadek. Optymalne parametry wulkanizacji dobrane dla taśm poliamidowych to czas 45 min i temperatura 145 i 155°C, przy tych parametrach taśma osiągała najwyższe parametry wytrzymałościowe, a dla taśm poliestrowo-poliamidowych za optymalne warunki uznano czas 45 min i temperaturę 140°C oraz czas 60 min i temperaturę 145°C. Dalszy wzrost czasu i temperatury powodował znaczne obniżenie parametrów wytrzymałościowych. Podsumowując te badania stwierdzić można, że taśmy poliamidowe lepiej znoszą wulkanizację. Wpływ działania temperatury w dłuższym czasie powoduje znacznie mniejsze spadki wartości parametrów wytrzymałościowych, tym samym taśmy poliamidowe są bardziej korzystne do zastosowania tam, gdzie przewiduje się regenerację taśm.

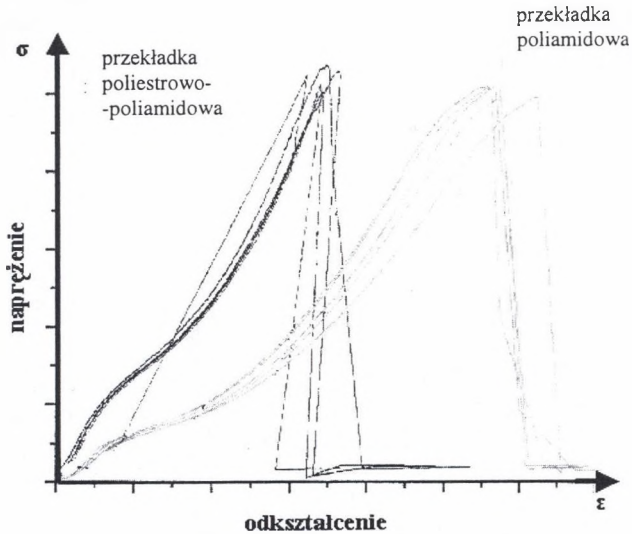
5. Badania połączeń taśm poliamidowych i poliestrowych

Badania taśm i połączeń przeprowadzono [4] aby wykazać jaki wpływ na wytrzymałość połączenia ma łączenie taśm o różnych charakterystykach wytrzymałościowych.

Do badań wybrano dwa odcinki tkaninowych, wieloprzekładkowych taśm przenośnikowych typu EP i P o tej samej wytrzymałości na rozciąganie, równej 1000 kN/m i o jednakowej liczbie przekładek (taśmy czteroprzekładkowe) oraz jednakowej szerokości, równej 1000 mm. Taśmy przeznaczone do badań nie były eksploatowane. Otrzymano je bezpośrednio od producentów, w 10-metrowych odcinkach. Przed przystąpieniem do właściwych badań sprawdzono zgodność parametrów taśm z normą PN-74/C-94143. Taśmy spełniły wymagania zawarte w normie.

W celu oznaczenia właściwości mechanicznych wybranych taśm przeprowadzono badania za pomocą maszyny wytrzymałościowej „INSTRON 4467" zainstalowanej w Laboratorium Transportu Taśmowego Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Próbki umieszczone w uchwytach maszyny wytrzymałościowej rozciągano z prędkością 100 mm/min, aż do zerwania rejestrując równocześnie za pomocą tensometru odkształcenia 100 mm bazy pomiarowej.

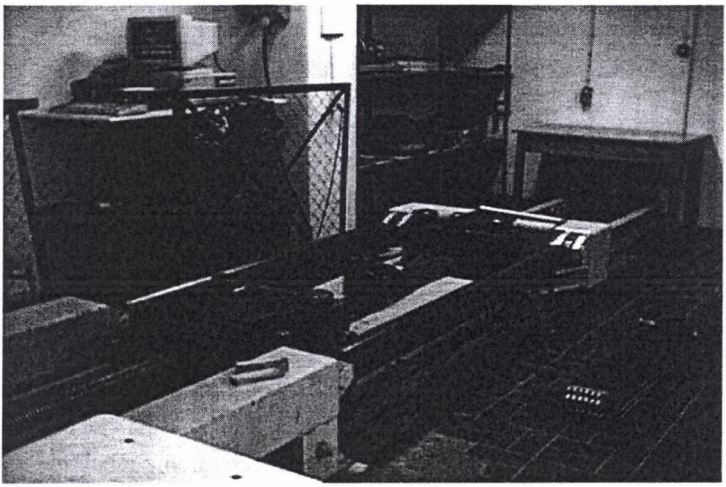
Wyniki pomiarów w postaci uzyskanych dla poszczególnych taśm charakterystyk naprężenie/odkształcenie przedstawia rys 2.



Rys.2. Charakterystyki rozciągania przekładek badanych taśm
Fig. 2. Tension characteristics of tested belt' splices

Zależność między wydłużeniami i naprężeniami przy rozciąganiu taśmy ma charakter nieliniowy. Rozpatrywanie zależności wydłużenia-naprężenia jako zależności liniowej wymaga określenia modułu sprężystości dla danych granic obciążeń i danej wielkości obciążenia minimalnego. Obliczono wartości modułu sprężystości w pełnym zakresie zadawanych obciążeń. Wartość modułu sprężystości podłużnej materiału obliczona została za pomocą oprogramowania na podstawie najbardziej zbliżonej do liniowej (w zadanym przedziale) części krzywej wykresu zależności naprężenie/odkształcenie.

Na podstawie wybranych taśm przenośnikowych wykonano 4 połączenia przeznaczone do badań wytrzymałościowych. Połączenia wykonane zgodnie z normą PN-C-94147, łącząc ze sobą taśmy w różnych kombinacjach. Połączenia wykonano metodą wulkanizacji na gorąco. Zerwanie połączeń przeprowadzono na stanowisku pokazanym na rys.3. Zmierzone wartości wytrzymałości połączeń zestawiono w tab.3. Uzyskaną wytrzymałość połączeń porównano z wytrzymałością wymaganą normą PN/C-94147 oraz z nominalną wytrzymałością łączonych taśm (wynosząca 1000 kN/m). W przypadku połączeń różnych taśm dokonano ponadto porównania z wytrzymałością połączeń tej samej taśmy. Podane w tabeli wartości, znajdujące się w miejscu przecięcia wiersza odpowiadającego wybranemu połączeniu różnych taśm (1-2) z kolumną odpowiadającą połączeniu jednakowych taśm (1-1, 2-2) określają wyrażony w procentach stosunek zmierzonej wytrzymałości połączenia różnych taśm, odniesiony do wytrzymałości połączenia tej samej taśmy (przyjętej jako 100%). Badania wykazały zmniejszenie wytrzymałości połączeń taśm o różnych właściwościach mechanicznych przekładek w stosunku do połączeń taśm jednakowych. Wytrzymałość połączeń różnych taśm, oznaczonych jako 1-2, wyniosła 73% uzyskanej wytrzymałości połączeń 1-1, 2-2 (tab.3). Różnica wartości modułów sprężystości przekładek pomiędzy badanymi taśmami występuje w całym zakresie przenoszonych obciążeń. Różnica właściwości mechanicznych przekładek pomiędzy taśmą z rdzeniem poliestrowo-poliamidowym a taśmą z rdzeniem poliamidowym wynika z różnicy właściwości mechanicznych obu materiałów. Poliamid jest tworzywem charakteryzującym się małym modułem sprężystości, poliester natomiast cechuje wysoka wartość tego parametru.



Rys.3. Stanowisko do badań wytrzymałości taśm i ich połączeń
Fig.3. Tensile strength tests machine of conveyor belts and their splices

Tablica 3

Wyniki badań wytrzymałości połączeń

Oznaczenie połączenia	Średnia wytrzymałość połączenia na zrywanie [kN/m]	Wytrzymałość połączenia w porównaniu z wymaganą normą [%]	Wytrzymałość połączenia w porównaniu z uzyskaną dla połączeń jednakowych taśm [%]		Wytrzymałość połączenia w porównaniu z wytrzymałością nominalną taśmy [%]
			1 - 1	2 - 2	
1 - 1	670	105			67
2 - 2	635	100			64
1 - 2	468	73	70	74	47

Spadek wytrzymałości połączeń występuje wskutek dodatkowego (w stosunku do połączeń jednakowych taśm) wzrostu wielkości spiętrzenia naprężeń rozciągających w przekładkach i wzrostu naprężeń ścinających w warstwie gumy międzyprzekładkowej (warstwie klejowej).

6. Wnioski

Taśma poliamidowa po zawilgoceniu straciła znaczny procent swoich właściwości wytrzymałościowych, w tym wytrzymałości na rozciąganie ok. 12%, na rozwarstwianie ok. 13 do 32% a na ścinanie ok. 17 do 23%. Trwałość zmęczeniowa taśmy wysoka w stanie suchym maleje po zawilgoceniu około pięciokrotnie.

Taśma poliestrowa wykazała małą wrażliwość na zawilgocenie. Jej właściwości wytrzymałościowe obniżyły się zaledwie o kilka procent, a trwałość zmęczeniowa zmalała o ok. 35%.

Eksploatując taśmy poliamidowe w warunkach dużego zawilgocenia należy się liczyć z tym, że oprócz spadku ich właściwości wytrzymałościowych zmniejszy się także wytrzymałość połączeń klejonych lub wulkanizowanych. Wzrośnie także skłonność do międzyprzekładkowych rozwarstwień. Wynika to ze znacznego spadku trwałości zmęczeniowej warstwy gumy międzyprzekładkowej.

Podsumowując badania czasu i temperatury wulkanizacji można stwierdzić, że taśmy poliamidowe lepiej znoszą wulkanizację. Wpływ działania temperatury w dłuższym czasie powoduje znacznie mniejsze spadki wartości parametrów wytrzymałościowych, tym samym

taśmy poliamidowe są bardziej korzystne do zastosowania tam, gdzie przewiduje się regenerację taśm.

Badania pełnowymiarowych połączeń, wykonanych w warunkach laboratoryjnych, wykazały, że właściwie wykonane połączenia jednakowych taśm spełniają, a nawet przewyższają wymagania dotyczące wytrzymałości ujęte w normie PN-C-94147.

Łącząc taśmy poliamidowe z poliestrowo-poliamidowymi należy oczekiwać znacznego obniżenia wytrzymałości połączeń ze względu na różnice charakterystyk wytrzymałościowych oraz na spiętrzenie naprężeń w połączeniu.

LITERATURA

1. Hardygóra M., Komander H.: Właściwości wytrzymałościowe zawilgoconych taśm przenośnikowych. Wiadomości Górnicze nr 2/2000.
2. Hardygóra M., Komander H., Woźniak D.: Badania wpływu rodzaju tkaniny oraz rodzaju i grubości gumy międzyprzekładkowej na wytrzymałość zmęczeniową taśm przenośnikowych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 78 /1995
3. Madziarz M.: Praca doktorska, Wydział Górniczy Politechniki Wrocławskiej, Ww 1998
4. Małek-Bernaszuk A., Bernaszuk W.: Wpływ temperatury Wulkanizacji na wybrane parametry wytrzymałościowe tkaninowo - gumowych taśm przenośnikowych. Praca magisterska. Wydział Górniczy Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1999

Recenzent: Dr hab.inż. Aleksander Lutyński
Prof.Politechniki Śląskiej

Abstract

Conveyor belts are selected considering the specific operating conditions related to the conveyor's parameters, the transported winning or the conditions prevailing in the mine. The range of application of polyamide and polyamide-polyester belts has not been defined precisely yet. Therefore studies of belts with polyamide and polyester fabric were undertaken herein to highlight the differences in the application of the belts, taking into account the moistness of mines or to be more precise, the influence of moisture on the change in the belts' strength parameters under both static and dynamic loads. The vulacanization performance of belts of the two types was also studied by analyzing the influence of vulcanization temperature and time on the change in the strength parameters. Finally, tensile strength tests of splices made between polyamide belts and polyester belts are presented.