ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: GÓRNICTWO z. 41 Nr kol. 269

Dr inż. Jan Orlacz
Zakłady Konstrukcyjno-Mechanizacyjne PW
Gliwice

TWORZYWA TERMOPLASTYCZNE JAKO MATERIAŁY CIERNE NA WYKŁADZINY KÓŁ PĘDNYCH

Streszczenie: Wzrost parametrów pracy maszyn wyciągowych związany z intensyfikacją ich ruchu wymaga stosowania nowych, bardziej doskonałych materiałów. W artykule omówiono zagadnienie stosowania tworzyw sztucznych na wykładziny kół pędnych. Dokonano przeglądu najnowszych opracowań i rozwiązań tak krajowych jak i zagranicznych. Sformułowano wytyczne i zalecenia stosowania tworzyw produkcji krajowej.

Wstęp

W dotychczasowych tradycyjnych konstrukcjach kopalnianych maszyn wyciągowych, na okładziny cierne kół pędnych stosowano materiały jak: drewno, skóra i guma. Własności mechaniczne i cierne materiału wykładziny mają podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu maszyny systemu Koepe. Zachwianie równowagi na kole pędnym na którym lina jest utrzymywana jedynie tarciem, prowadzi do niezwykle poważnych awarii. Dla ilustracji można podać, że maszyny wyciągowe PW pracują przy takich parametrach jak ruchome ciężary rzędu 50-80 ton, jednorazowy ładunek użyteczny 12-20 ton prędkości jazdy 10-18 m/sek i wydajności 5000-10000 ton na dobę. W przypadku awarii połączonej często z zerwaniem liny wyzwalane są siły rzędu kilkuset tysięcy kilogramów co połączone jest z proporcjonalnymi zniszczeniami i stratami od kilku do kilkunastu milionów złotych. Należy zaznaczyć, że jeżeli awaria wkładek ciernych a w związku z tym i poślizg liny nastąpią w okresie jazdy ludzi (60-70 osób jednorazowo) wtedy wielkości strat są bardzo trudne do liczbowego sprecyzowania.

Wymienione pokrótce motywy są przyczyną bardzo rygorystycznych wymagań przepisów i władz górniczych. I tak wymaga się aby współczynnik sprzężenia liny z wykładziną nie spadł nigdy poniżej wartości 0,2, nawet w przypadku szczególnie niekorzystnych warunków to znaczy lina mokra, oblodzona, zanieczyszczona smarem itp. Równocześnie dla skrócenia przestojów urządzenia przy wymianie okładzin ciernych dąży się do maksymalnego przedłużenia ich żywotności.

Jak wykazały doświadczenia krajowe i zagraniczne (firma W. Oxe NRF, Becorit - NRF, prace NCB-Anglia) tradycyjne materiały cierne wymienione na wstępie pracują średnio od 1/2 - 1 roku, przy czym ich współczynnik sprzężenia jest niestabilny i często spada poniżej dopuszczalnego minimum.

Z tych względów przodujące przemysły podjęły bardzo szerokie prace nad uzyskaniem materiałów syntetycznych, które mogłyby sprostać złożonym i trudnym wymaganiom pracy.

Analizując aktualne osiągnięcia można wyróżnić dwie grupy materiałów stosowanych na wykładziny kół pędnych są to: tworzywa na bazie polichlorku-winylu PCV oraz tworzywa na bazie polimerów akrylo-nitrylowych względnie butadienowych.

Materiały cierne na bazie żywic termoutwardzalnych (L.1) nie znalazły dotychczas szerszego zastosowania na kontynencie europejskim i są pozytywnie oceniane jedynie w Anglii.

1. Materiały cierne produkcji zagranicznej

Od materiału na okładziny rowka linowego koła pędnego wymaga się spełnienia szeregu postulatów:

- wysokiej wartości statystycznego współczynnika tarcia, który ma istotne znaczenie dla zachowania równowagi na kole pędnym w warunkach normalnego pełzania liny,
- wysokiej wartości kinetycznego współczynnika tarcia, który decyduje o możliwości przywrócenia równowagi jeżeli zaistniał poślizg liny,
- małej zmienności współczynnika tarcia w przypadku zawilgocenia lub zaolejenia żłobka linowego,

- odporności materiału na uszkodzenia pochodzące od zawilgocenia lub zaolejenia,
- zachowania właściwości mechanicznych i ciernych w możliwie najszerszym przedziale temperatur ujemnych i dodatnich,
- minimalnej rozszerzalności cieplnej,
- dobrej obrabialności mechanicznej,
- nie starzenia się materiału pod działaniem czynników otoczenia takich jak wpływy chemiczne smarów i wód, działanie światła i temperatur.

Obecnie najbardziej rozpowszechnione są materiały na bazie PCV. Jako przykłady można wymienić szeroko stosowane i produkowane na dużą skalę materiały:

1.1. Kautex PCV (L.3)

Jest to materiał na bazie PCV o twardości około 85° Shore'a zawierający specjalne dodatki o różnych funkcjach. Firma podaje że współczynnik tarcia liny z tą wykładziną jest bardzo wysoki ponad 0,6 w stanie suchym i ponad 0,5 w stanie zawilgoconym. W przypadku liny zanieczyszczonej smarami współczynnik tarcia nie spada poniżej 0,3. Jako dodatkową zaletę podaje się specyficzną własność materiału wzrostu wartości współczynnika tarcia w przypadku zaistnienia poślizgu. Firma tłumaczy to zjawiskiem mięknięcia warstwy materiału przylegającej do liny w wyniku jej nagrzania w czasie poślizgu. W tym przypadku skrętki i druty liny zagłębiają się w materiał i lina zostaje zatrzymana. Materiał ten jest także odporny na działanie smarów i starzenie. Według danych firmowych dopuszcza się naciski około 22 kG/cm^2.

1.2. Tekaplast (L.2)

Wykonany jako kombinacja dwóch materiałów termoplastycznych W1 i W2 sprasowanych w bloki złożone z płytek tych materiałów ułożonych na przemian. Materiały te mają zbliżone twardości W1 - 54° Shore'a, W1 - 55° Shore'a ale różne moduły sprężystości odpowiednio 4068 kG/cm^2 i 1987 kG/cm^2. Według danych firmy współczynnik tarcia dla liny suchej wynosi 0,58, dla zawilgo-

conej 0,36 i dla liny zanieczyszczonej smarem nie mniej jak 0,25. Przy czym dopuszcza się tu naciski do 30 kG/cm^2.

1.3. Becorit D670, D670F i D670H (L.4)

Należą do grupy fenoplastów i nie są termoplastyczne. Dla tego materiału dopuszcza się naciski do 20 kG/cm^2 przy których średnie wartości współczynnika tarcia określane są na 0,58 dla liny suchej i 0,71 liny zawilgoconej. Ta korzystna właściwość materiału objawiająca się wzrostem współczynnika tarcia przy zawilgoceniu żłobka nie utrzymuje się niestety przy linie smarowanej. W tym przypadku współczynnik tarcia spada do 0,17 tj. poniżej dopuszczalnej wartości.

1.4. SKEGA 49-7VB

Materiał na bazie polimerów butadienowo-nitrylowych o twardości około 70°Sk o stosunkowo wysokiej wytrzymałości na rozrywanie około 200 kG/cm^2. Wykładzina dostarczana w segmentach o długości 15000 mm z profilem poprzecznym normalnym wykazuje wysoki współczynnik tarcia powyżej 0,5 w stanie suchym oraz nie niżej 0,2 przy linie zawilgoconej i zanieczyszczonej smarem.

1.5. ASEA PVC-D

Tworzywa na bazie polichlorku winylu dostarczane w blokach o długości około 1000 mm i przekroju poprzecznym jednostronnie zbieżnym. Wytwórca zapewnia współczynnik tarcia nie niżej 0,3.

Niektóre z tych materiałów jak: Kautex PCV oraz SKEGA-49-7V zostały sprowadzone do kraju celem wypróbowania na kopalniach PW. Krótkie omówienie wyników tych prób zostało zamieszczone poniżej.

Trudności w otrzymaniu dobrego materiału syntetycznego polegają na tym, że okładzina musi równocześnie sprostać szeregowi wymagań często sprzecznych. Przykładowo podnoszenie parametrów wytrzymałościowych materiału wpływa ujemnie na współczynnik tarcia, stabilizowanie własności mechanicznych przy

zmianie temperatur podnosi koszty wytwarzania itp. Odtworzenie na drodze analizy chemicznej składu wypróbowanych dobrych materiałów nie daje wyników, gdyż na własności końcowe materiału wpływ mają czynniki technologiczne jak temperatury, czasy wulkanizacji, kolejności dozowania poszczególnych składników, kolejności procesów przygotowawczych itp., które to czynniki są niewykrywalne na drodze analiz i pomiarów gotowego produktu. Z kolei określenie wpływu poszczególnych składników i czynników technologicznych wymaga bardzo obszernych badań trwających kilka tysięcy godzin ze względu na żywotność materiału.

Ponieważ jak zaznaczono uprzednio materiały te mają decydujący wpływ na bezpieczeństwa ruchu, to wyciąganie ostatecznych wniosków o ich przydatności może mieć miejsce po wyczerpujących badaniach przy pracy w warunkach rzeczywistych. Z tych samych względów wymagana jest kompletność badań i sprawdzanie wyników możliwie w największej liczbie przypadków. Wszystko to powoduje, że prace badawcze i wdrożeniowe są wieloletnie i czasochłonne.

2. Krajowe materiały cierne (L.5)

Materiały te powstały w wyniku prac studialnych i badań podstawowych nad ustaleniem receptur i technologii produkcji.

2.1. Materiały cierne na bazie polichlorku winylu

Są to tworzywa znane pod nazwą "Poltar" PCW-W4. Badanie tych tworzyw prowadzono porównawczo z materiałem typu Kautex PCV.

Doświadczenie ruchowe z materiałem ciernym typu "Poltar" opartym o polichlorek winylu, nie dały zadowalających rezultatów. Materiał ten produkowany przez Zakłady Tworzyw Sztucznych w Wieliczce oparty jest na plastyfikowanym polichlorku winylu z siarczanem baru jako wypełniaczem i stearynianami metali drugiej grupy jako stabilizatorami.

Własności materiału takie jak współczynnik tarcia i twardość odpowiadają wymaganiom ruchu. Niewystarczające są natomiast odporność materiału na temperaturę oraz zmęczenie przy

obciążeniach zmiennych, ścieralność oraz zmianę parametrów mechanicznych.

Wyniki pomiarów porównawczych, materiału "Kautex" prod. firmy W. Oxe oraz materiału Poltar zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Lp.	Oznaczenie	Kautex	Poltar
1	Wytrzymałość na rozciąganie (kG/cm^2)	188	127-149
2	Wydłużenie względne %	233	175-191
3	Wydłużenie trwałe %	40	10-22
4	Twardość w skali Shora A ^oSh	85	8,7
5	Ścieralność %	3	5,1
6	Ciężar właściwy (g/cm^3)	1,45	1,59
7	Moduł przy 100% wydłuż. (kG/cm^2)	1,36	1,06
8	Współczynnik tarcia w stanie suchym	0,6	0,6
9	Współczynnik tarcia w stanie wilgotnym	0,5	0,5

Doświadczenia uzyskane przy eksploatacji materiału na kopalniach potwierdziły także niską trwałość i niedostateczne własności mechaniczne, zwłaszcza pod wpływem temperatury. Wymienione wyżej problemy były powodem poszukiwań nowych materiałów ciernych.

2.2. Materiały cierne na bazie modyfikowanego polichlorku winylu

Otrzymano w rezultacie materiał na bazie polichlorku winylu modyfikowanego łańcuchami akrylonitrylowymi i butadienowymi. Podstawową ideą modyfikacji plastyfikatów polichlorku winylu jest zastosowanie łańcucha akrylonitrylowego którego współudział wpływa na olejodporność, ogranicza termoplastyczność, polepsza sprężystość i umożliwia korelację twardości z innymi

wskaźnikami mechanicznymi. Dodatkowo wprowadzono aktywny wypełniacz w formie krzemionki koloidalnej typu Ultrasil, zmniejszający ścieralność i zwiększający współczynnik tarcia. Pozostałe składniki umożliwiają odpowiednie zmiękczenie, żelowanie i regulowaną w czasie i temperaturze wulkanizację oraz stabilizację cieplną mieszanki winylowo-kauczukowej. W oparciu o te zasady wytypowano następujące surowce:

- polichlorek winylu "Cwilit" typ. D. gat. I lub II,
- plastyfikatory: ftalen dwuoktylu, trójksylilofosfaren, a w ich zastępstwie ftalen dwubutylu i trójkrezylofosforan,
- kauczuki akrylonitrylowe: hycar, Perbunan,
- stabilizatory: stearyniany kadmu lub wapna,
- wypełniacz aktywny: krzemionka koloidalna Ultrasil,
- środki sieciujące: siarka koloidalna,
- przyspieszacze wulkanizacji: M. DM. Tiuram T,
- aktywator wulkanizator: tlenek, cynku,
- środek smarujący: stearyna.

Wykonano szereg zmienianych - zestawów recepturalnych i opracowano 13 różnych mieszanek winylowo-kauczukowych przy czym analiza wyników pomiarów każdej poprzedniej mieszanki była podstawą do następnej modyfikacji.
Z każdej mieszanki wykonano płytki wulkanizowane w temp. 150-160°C i określono ich własności mechaniczne zgodnie z obowiązującymi normami. Przeprowadzono na tej podstawie analizę wpływu zmian recepturalnych na poszczególne współczynniki mechaniczne gotowych wulkanizatów.
W sumie wykonano ponad 1000 pomiarów kontrolnych. Porównawcze dane techniczne otrzymanego materiału zestawiono w tablicy 2.

3. Wyniki badań i obserwacji pracy wkładzin

Celem zdecydowania o przydatności do pracy na kołach pędnych nowo otrzymanego materiału prowadzono badania laboratoryjne i ruchowe. W badaniach laboratoryjnych prowadzonych na specjalnych stoiskach określano wartości współczynnika sprzężenia ciernego w temperaturze otoczenia od +20 do +25°C. W drugiej

Tablica 2

Lp.	Oznaczenie	Kautex[1)]	Modar R3[2)]
1	Wytrzymałość na rozciąganie (kG/cm^2)	188	190
2	Wydłużenie względne (%)	233	330
3	Wydłużenie trwałe (%)	40	26
4	Twardość (^oSH) w temperaturze - 10°C	97	94
	0°C	93	95
	+ 25°C	82	91
	+ 40°C	76	89
	+ 50°C	75	88
5	Ciężar właściwy (g/cm^3)	1,35	1,28
6	Współczynnik starzenia w temp. 100°C wg Geera	-	1,71
7	Ubytek przy próbie ścieraln. (cm^3) z prędkością V = 7,8 m/s czas próby tp = 10 s Nacisk na próbkę 10 kG/cm^2	0,070	0,011
	15 "	0,410	0,027
	20 "	0,758	0,054
	25 "	1,430	0,078
	30 "	-	0,145
	40 "	-	0,248
	50 "	-	0,422
8	Współczynnik sprzężenia	0,3-0,6	0,3-0,6

1) Kautex PCV - prod. f-my Walter Oxe Witten-Annen (Ruhr) NRF.

2) Modar R3 - prod. S-pnia "Spoiwo" Radom ul. Kolejowa 24 (PRL).

grupie badano wartości współczynnika sprzężenia w czasie poślizgu przy temperaturach od - 10°C do + 50°C.

Badania laboratoryjne objęły także pomiary odporności wykładzin na ścieralność i długotrwałe zmienne naciski. Rezultaty tych badań obejmujące kilka tysięcy wyników przedstawiono bardzo fragmentarycznie w tablicy 2.

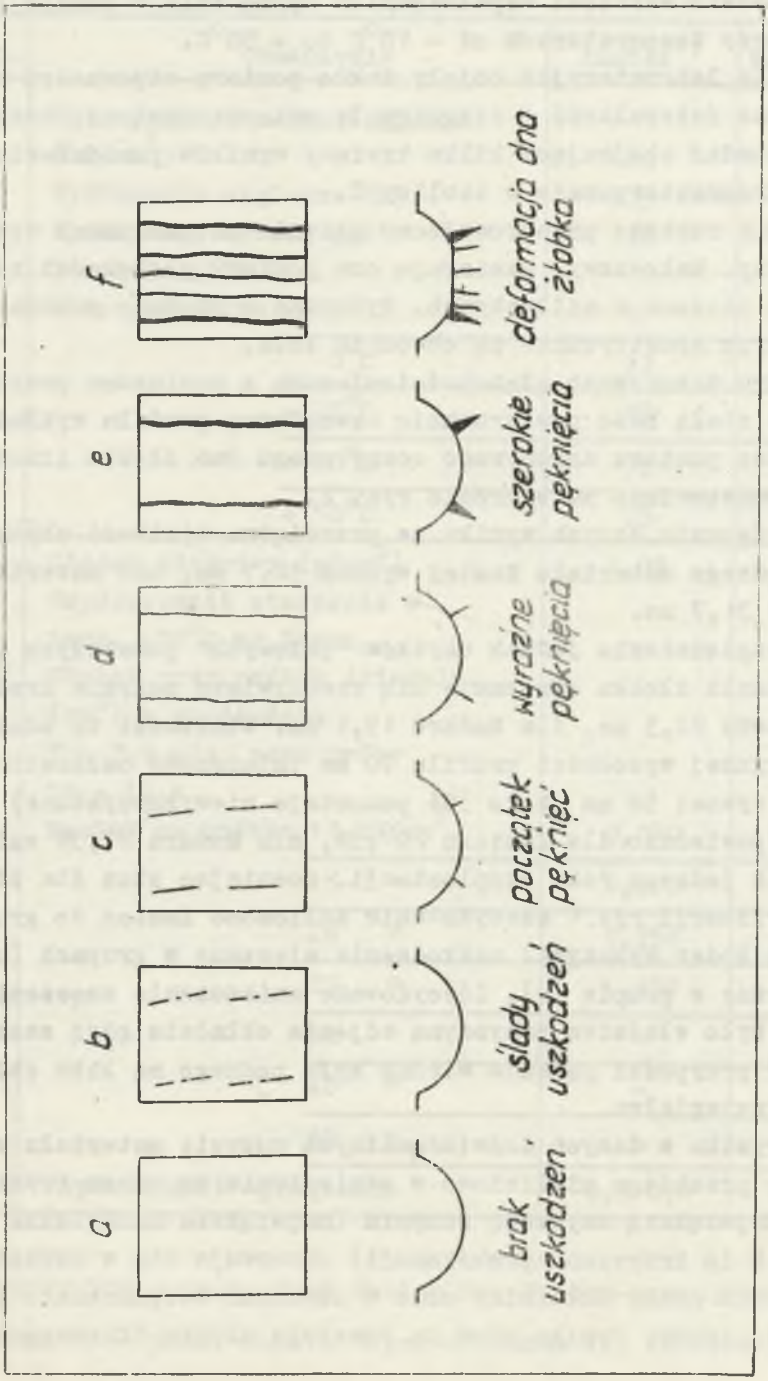
Badania ruchowe przeprowadzono głównie na maszynach wyciągowych kop. Makoszowy, zawierają one pomiary głębokości rowka linowego liczone w milimetrach. Wykonane w siedmiu punktach rozłożonych symetrycznie na obwodzie koła.

Pomiaru dokonywano głębokościomierzem z noniuszem przyjmując jako stałą bazę powierzchnię zewnętrzną profilu wykładziny. Oprócz pomiaru dokonywano oceny stanu dna żłobka linowego. Dane przedstawiono na wykresie rys. 2.

Z porównania danych wynika że przeciętna wielkość ubytku bezwzględnego materiału Kautex wynosi 32,7 mm, zaś materiału Modar R3 31,7 mm.

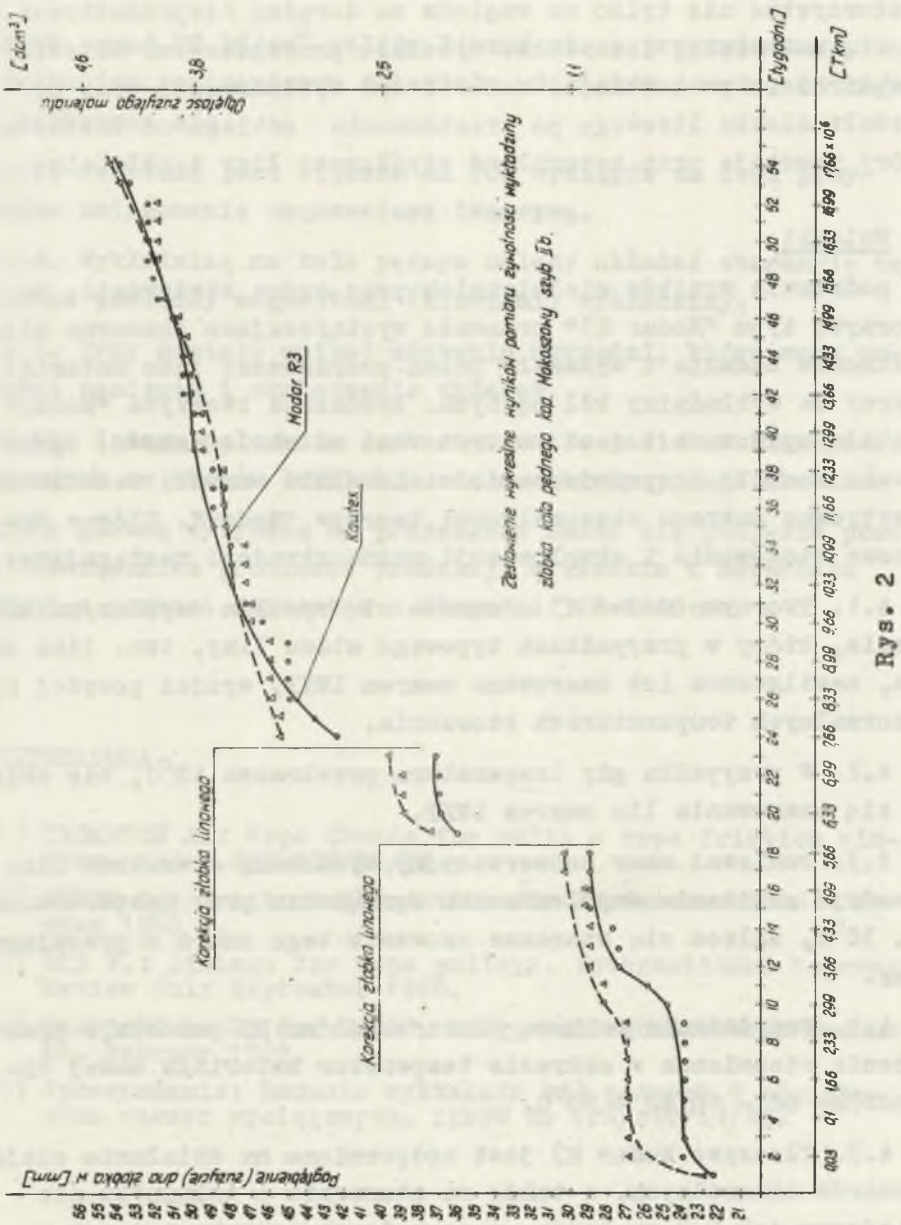
Po uwzględnieniu jednak ubytków "jałowych" powstałych przy przetaczaniu żłobka otrzymuje się rzeczywiste zużycie średnio dla Kautexu 20,5 mm, dla Modaru 19,1 mm. Wielkości te odniesione do czynnej wysokości profilu 70 mm (miąższość całkowita profilu wynosi 98 mm około 30% pozostaje niewykorzystane) wynoszą odpowiednio dla Kautexu 29°,3%, dla Modaru 27,3% zużycia w okresie jednego roku eksploatacji. Oceniając stan dla żłobka wg klasyfikacji rys.1 zdecydowanie zaliczono Kautex do grupy (f), zaś Modar wykazywał uszkodzenia mieszane w grupach (c,d) i nieliczne w grupie (e). Zdecydowane zniszczenie zmęczeniowe Kautexu było właściwą przyczyną zdjęcia okładzin gdyż zaczęły narastać przypadki pękania wieńca koła pędnego na łuku obłożonym tym materiałem.

Jak wynika z danych doświadczalnych zużycie materiału wykładziny przebiega nieliniowo w odniesieniu do czasu trwania próby. Największą szybkość zużycia (największe nachylenie stycznych do krzywych aproksymacji) obserwuje się w okresie początkowym pracy okładziny oraz w okresach bezpośrednio po korekcji żłobka. Wynika stąd że korekcje żłobka linowego są



Klasyfikacja stanu powierzchni dna żłobka

Rys. 1


Ubytek zużytego materiału [dcm³]
4,6
3,6
2,6
1,6
Modor R3
Kaustex
Zestawienie wykresów wyników pomiaru żywotności wykładziny
zębika koła pędnego kap. Makosowy serii Ib.
Korekcja zębika liniowego
Korekcja zębika liniowego
Pogłębienie (zużycie) dna zębika w [mm]
[tygodni]
[T km]
1,766 x 10⁶

Rys. 2

niekorzystne nie tylko ze względu na doraźną nieproduktywną stratę materiału, lecz także wywołują przyspieszone zużycie bezpośrednio po korekcji. Może to być wytłumaczone tym, że kształt żłobka linowego po przetoczeniu odbiega od kształtu, który powstaje przy naturalnej współpracy liny z okładziną.

4. Wnioski

Na podstawie wyników wieloletnich prac można stwierdzić, że tworzywo typu "Modar R3" przeszło wystarczająco obszerne wielostronne badania i wykazało pełną przydatność jako materiał cierny na wykładziny kół pędnych. Produkcja tworzywa "Modar" została opanowana i jest kontynuowana na skalę masową. Opracowane zostały i sprawdzone doświadczalnie warunki techniczne i wytyczne zakresu stosowalności tworzyw "Modar". Główne wytyczne stosowania i eksploatacji można streścić następująco:

4.1. Tworzywo Modar R3 odznacza się wysokim współczynnikiem tarcia, który w przypadkach typowego stanu liny, tzn. lina sucha, zawilgocona lub smarowana smarem LWKP, wynosi powyżej 0,3 w normalnych temperaturach otoczenia.

4.2. W przypadku gdy temperatura przekracza 40°C, nie zaleca się smarowania lin smarem LWKP.

4.3. Ponieważ smar konserwacyjny wyciskany z wnętrza liny powoduje obniżenie współczynnika sprzężenia przy temperaturach ok. 30°C, zaleca się staranne usuwanie tego smaru z pracującej liny.

4.4. Przydatność ruchowa tłoczywa Modar R3 pozostaje praktycznie niezmienna w zakresie temperatur materiału samej wykładziny od - 10 do + 50°C.

4.5. Tłoczywo Modar R3 jest uodpornione na działanie olejów i smarów mineralnych, a także na starzenie o wskaźniku nie mniejszym jak 0,7 wg Geera, w normalnych warunkach pracy wyciągu.

4.6. Wykładziny z tłoczywa Modar R3 mogą pracować poprawnie przy naciskach średnich liny na żłobek do 20 kG/cm^2. Przy na-

ciskach ponad 20 kG/cm^2 należy liczyć się z przyspieszonym zniszczeniem zmęczeniowym materiału. Nacisków powyżej 25 kG/cm^2 nie dopuszcza się.

4.7. Częstość jazd większa od 700 wyciągów na dobę przyspiesza zniszczenie zmęczeniowe tworzywa.

4.8. Wykładzinę na kole pędnym należy układać starannie bez szczelin pomiędzy segmentami (klockami) wykładziny.

4.9. Przy montażu unikać używania narzędzi, które mogą powodować zacięcia i skaleczenie wkładek.

4.10. Godnym polecenia jest stosowanie zacisków klinujących wykonanych ze stopów lekkich w miejsce tradycyjnego drewna.

Jako główną wytyczną na przyszłość uważa się podjęcie prac nad rozwiązaniem problemów produkcji wykładzin z materiału "Modar" w postaci segmentów o długości 300-1000 mm.

5. LITERATURA

[L.1] CROMPTON A.: Rope treads for multi - rope friction winders. AEJ-W.890-E500RR/VX.

[L.2] KÜPER T.: Treibscheibenfutter für Fördermaschinen - Bochum 1966 r.

[L.3] OXE W.: Linings for rope pulleys. International Ropeway Review July September 1966.

[L.4] Seilprüfstelle der Westf. Berggewerkschaftskasse-Bochum 26. Februar 1969.

[L.P] Sprawozdanie: Badania wykładzin kół pędnych i odciskowych maszyn wyciągowych. ZKMPW Nr 128/FPT/67/68.