

Stefan PIEPRZNIK, Jan STABRYŁA, Krzysztof DUTKA

Akademia Rolniczo-Techniczna - Olsztyn

## DOBÓR OPTIMALNEGO TWORZYWA NA PROWADNICE ŁAŃCUCHA PRZENOŚNIKA W CHŁODNIKU "FOLAX"

**Streszczenie:** W opracowaniu przedstawiono badania odporności na zużycie ściernie staliwa L35GSM i L40H3T poddanego różnym wariantom obróbki cieplnej, żeliwa Z1X i żeliwa zabilonego Zs5002 oraz bazaltu lanego. Badania przeprowadzono pod kątem zastosowania tych materiałów na prowadnice łańcucha zgrzeblowego do transportu klinkieru. Zmiana konstrukcji prowadnic i zastosowanie wytypowanych materiałów pozwoliły na wielokrotne zwiększenie żywotności elementów trących. Wyniki badań laboratoryjnych potwierdzono próbami przemysłowymi, które wykazały że żeliwo szare hartowane zachowuje się w badanych warunkach pracy najkorzystniej spośród przebadanych przez nas tworzyw.

### 1. Wstęp

Części maszyn transportowych, budowlanych i rolniczych, takich jak: czerpaki koparek i ładowarek, gąsienice, łańcuchy przenośników zgrzeblowych, ich prowadnice itp. elementy narażone są między innymi na intensywne zużycie ściernie w zmiennych warunkach pracy. Zużycie tego rodzaju można określić z dużym przybliżeniem jako zużycie ściernie erozyjne w masie ścierniej o niejednakowym rozdrobnieniu. Ponieważ zużycia materiałów przy tego rodzaju pracy nie można zmniejszyć np. przez zastosowanie smarowania, dlatego postęp w tej dziedzinie polegać musi na doborze materiałów odpornych na tego typu zużycie. Na podstawie dostępnej literatury [1-3, 8-10], wiadomo, że proces ściernia nie jest procesem monotonicznym. Już w pierwszym etapie tego procesu występują na powierzchni ścierniej przynajmniej trzy zjawiska: mikroskrabanie, rysowanie i bruzdowanie. Po pokryciu powierzchni bruzdami wykrawanymi lub wyciśniętymi, warunki działania poszczególnych elementów ściernych ulegają dalszemu zróżnicowaniu. Przy ścierniu przez warstwę ścierną, tj. takiemu rodzajowi ściernia jakiego występuje w czasie pracy urządzeń wymienionych na wstępie, ziarna ściernie które przedostały się między współpracujące części tworzą razem z osnową, tzw. film ścierny i przemieszczają się zgodnie z kierunkiem ruchu powierzchni czynnej. Według P. Solskiego [8-10] istnieje kilka przypadków zachowania się ziarn, które przedostały się do obszaru styku:

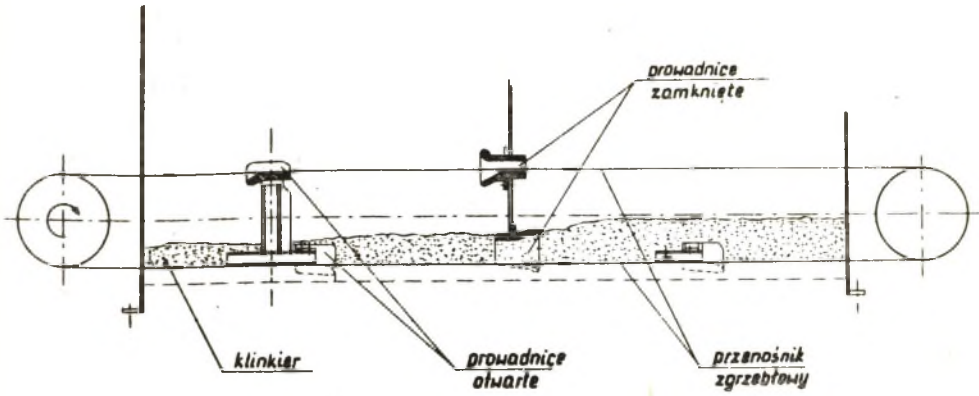
- wnikanie ziarn we współpracujące powierzchnie spowodowane różnicą twardości oraz ich niekorzystnym kształtem. Ziarna te chwilowo lub trwale stają się ziarnami umocowanymi powodując intensywne mikroskrawanie, rysowanie lub bruzdowanie powierzchni trącej,
- przetaczanie się drobnych i zaokrąglonych ziarn pomiędzy powierzchniami pary ciernej,
- rozkruszanie ziarn, gdy działające obciążenia przekroczą ich wytrzymałość.

Zmniejszenie wielkości ziarn pociąga za sobą spadek intensywności zużywania się współpracujących elementów, gdyż rozdrobnione ziarna działają na mniejszej głębokości. Z tego wynika, że o wielkości zużycia elementów trących decyduje głównie mikroskrawanie i częściowo plastyczne wyciskanie bruzd w trących się materiałach. W miarę pogłębiania się bruzd i rys oraz rozdrabniania ziarn ściernych większa liczba ziarn może swobodnie przesuwac się w bruzdach nie powodując niszczenia powierzchni ślizgowych. Pozostałe ziarna mogą tworzyć nowe bruzdy i rysy lub też pogłębiać i rozszerzać istniejące. Na zużycie ściernie wpływa także proces ścinania nierówności, gdy siła niezbędna do ścienca przekroju występu jest mniejsza od wartości oporu odkształcenia współdziałającego ziarna materiału ściernego. Spełnienie tego warunku zależy od geometrii występów, kształtu i własności mechanicznych materiałów trących.

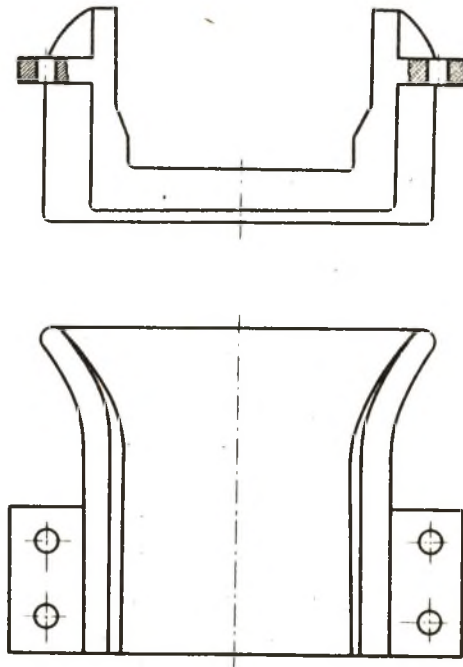
Duża liczba czynników, takich jak: tarcie, utlenianie, oddziaływanie chemiczne i mechaniczne wpływają w znacznej mierze na proces zużycia. Sprawiają one, że nie ma uniwersalnego sposobu określenia odporności na zużycie ściernie [5, 7, 10]. W naszych badaniach przyjęliśmy zasadę zapewnienia warunków ścierania maksymalnie zbliżonych do rzeczywistych.

## 2. Część badawcza

Chłodnik typu "FOLAX" jest urządzeniem do schładzania rozdrobnionego klinkieru, który opuszczając piec obrotowy posiada temperaturę rzędu 250°C. Jednym z elementów chłodnika przedstawionego na rys.1 jest łańcuch zgrzeblowy, który transportuje klinkier z komory do komory przez okienka w ściankach działowych. Zimne powietrze chłodzi klinkier podczas przesuwania go przez okienka przegród. Prowadnice zamocowane w okienkach przegród i wewnątrz komór służą do podtrzymywania i prowadzenia łańcucha przenośnika zgrzeblowego. W czasie ruchu ogni łańcucha po powierzchni pracującej prowadnicy występuje transport rozdrobnionego klinkieru. W tej sytuacji powstaje szczególnie niekorzystny układ cierny z warstwą ścierniwa pomiędzy metalowymi powierzchniami zgarniaka i prowadnicy. Dodatkowo niekorzystnie na warunki pracy wpływa podwyższona temperatura klinkieru.

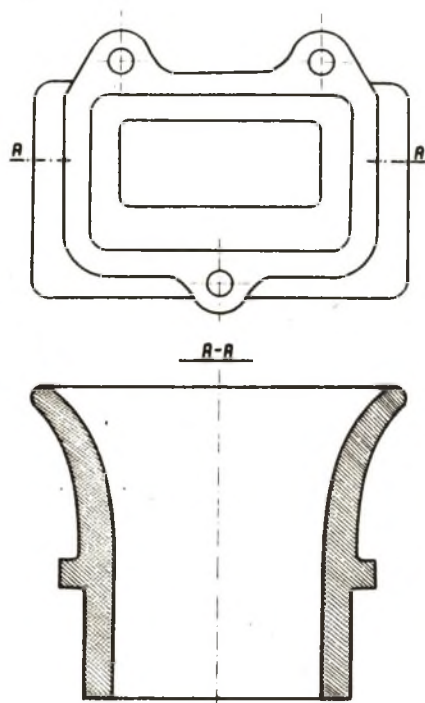


Rys.1 Schemat pracy chłodnika FOLAX



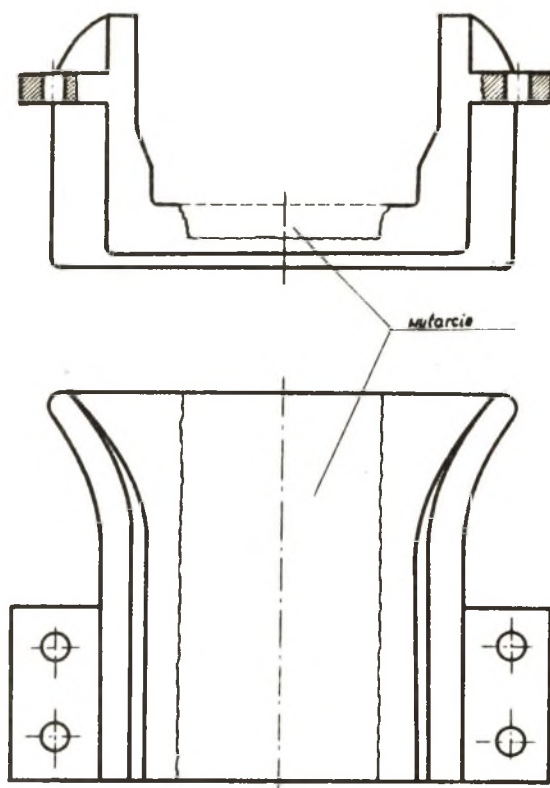
Rys.2 Prowadnica typu otwartego

W dotychczasowym rozwiązaniu stosowano zgarniaki ze staliwa L12OG13, współpracujące z prowadnicami typu otwartego i zamkniętego ukazane na rys. 2 i 3. Żywotność prowadnic wykonanych z przyczyn technologicznych z żeliwa szarego wynosiła od 1 do 3 miesięcy przy pracy ciągłej. Stosowane rozwiązanie konstrukcyjne zmuszało do częstej wymiany całych prowadnic, gdy w wyniku ścierania zużyciu ulegała tylko powierzchnia pracująca prowadnic co przedstawia rys.4.



Rys.3 Prowadnica typu zamkniętego

W związku z tym dotychczasowe rozwiązanie zastąpiono konstrukcją bimateriałową. Prowadnica wg nowego rozwiązania [4] przedstawiona schematycznie na rys.5, składa się ze stalowej spawanej obudowy 1 i wymiennej wkładki 2 wykonanej z tworzywa konstrukcyjnego odpornego na ścieranie. Wkładka posiada zbieżność na powierzchniach bocznych co przy jednokierunkowym ruchu łańcucha zapewnia jej łatwe, proste i pewne mocowanie w obudowie. Takie rozwiązanie konstrukcyjne prowadnicy pozwala na:

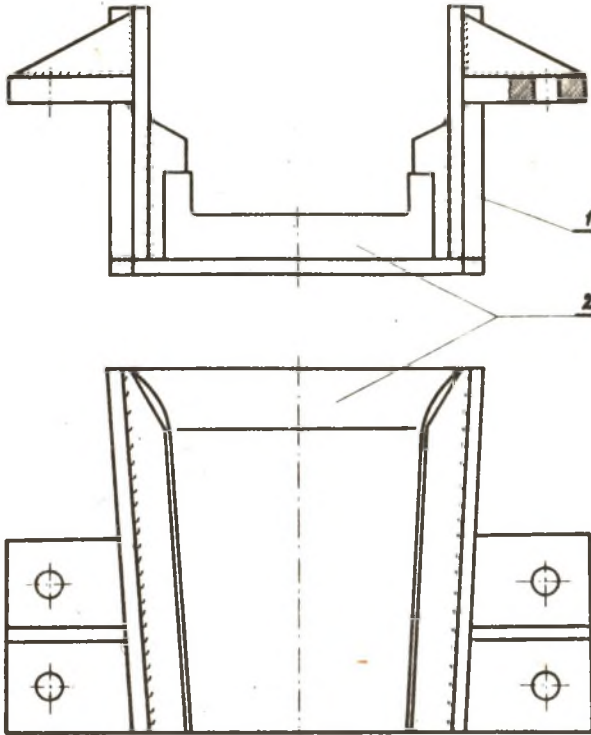


Rys.4 Miejsce zużycia jednolitej prowadnicy żeliwnej

1. Ujednolicenie wymiennych wkładek do wszystkich typów prowadnic.
2. Ułatwienie technologii wykonywania prowadnic przez uproszczenie ich kształtu.
3. Obniżenie kosztów wykonania wkładek w stosunku do prowadnic jednolitych.
4. Skrócenie i ułatwienie remontu chłodziaka, pozwalające na przedłużenie czasu jego pracy.

Stalowa obudowa prowadnicy wykonywana jest jednorazowo jako stała część konstrukcyjna. Dalsze badania skoncentrowano na doborze odpornego na zużycie ściernego materiału wkładki wymiennej do prowadnicy. Dla wytypowania odpowiedniego materiału przeprowadzono badania odporności na zużycie ściernego szeregu materiałów z uwzględnieniem ich obróbki cieplnej. Przyjęta metoda badawcza opiera się na ścieraniu próbek materiału tarczą gumową zanurzoną w wodnej zawieszynie elektrokorundu. Zasadę pracy urządzenia do badania zużycia ściernego wykonanego w ART Olsztyn [7] przedstawia rys.6. Podczas obracania się bębna urządzenia, przez nacięcia na obwo-

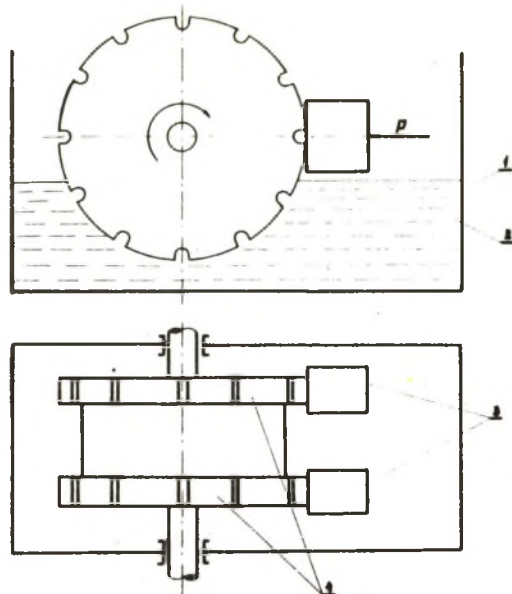
dzie tarcz gumowych 4 zabierana jest zawieszina 2 elektrokorundu EB-80 w wodzie. Próbki 3 są dociskane stałym naciskiem  $P$  do tarcz gumowych. W tabeli 1 podano zastosowane



Rys.5 Budowa przewodnicy bimateriałowej  
a - metalowa obudowa spawana  
b - wymienna wkładka

parametry pomiarowe badań. Ścieraniu poddawano trzy próbki każdego tworzywa. Pomiar zużycia ściernego dla tych samych próbek powtarzano 3-krotnie. Określenie zużycia ściernego oparto na pomiarze różnicy masy próbki przed i po ścieraniu. Próbki były ważone na wadze laboratoryjnej o dokładności wskazań 0,0001 g.

Do badań użyto próbek ze staliwa L35GSM i L40H3T o różnych wariantach obróbki cieplnej [6, 7], żeliwa Zs5002 zabielenego i wyżarzonego w czasie 4 h w temperaturze  $760^{\circ}\text{C}$ , żeliwa Z1X w stanie surowym i hartowanego w wodzie z temperaturą  $900^{\circ}\text{C}$  oraz bazaltu lanego. Próbki ze staliwa L35GSM poddawano hartowaniu z temperaturą  $860^{\circ}\text{C}$  i  $920^{\circ}\text{C}$  oraz odpuszczaniu w temperaturze  $450$  i  $550^{\circ}\text{C}$ . Staliwo L40H3T poddawano wyżarzaniu normalizującemu w temperaturze  $850$  i  $910^{\circ}\text{C}$ , po czym hartowano z temperaturą  $840$ ,  $860$  i  $880^{\circ}\text{C}$  uzyskując we wszystkich przypadkach strukturę martenzytyczną.



Rys.6 Schemat urządzenia do pomiaru ścieralności:  
 1 - zbiornik  
 2 - zawieszina proszku ściernego w wodzie  
 3 - próbki  
 4 - gumowa tarcza ścierna

Tabela 1

## Warunki badania ścieralności

Wyszczególnienie	Ilość	Jednostka
<b>Czynnik ścierny</b> /woda + ścierniwo/ objętość wody	1,0	l
objętość ścierniwa	1,0	l
<b>Próbki</b> wymiary próbki	35x30x10	mm
liczba próbek badanych jednocześnie	2	szt.
nacisk normalny próbki na tarczę ścierającą	2,76	daN
<b>Bęben ścierny</b> materiał części pracującej	guma	-
średnica gumowej tarczy trącej	200	mm
prędkość obwodowa w punkcie styku z próbką	185	m/min
prędkość obrotowa tarczy	290	obr/min
liczba obrotów tarczy w czasie jednego pomiaru	10000	obr.

Odpuszczanie przeprowadzano w temperaturze 450 i 650°C uzyskując odpowiednio strukturę martenzytu odpuszczonego i dyspersyjnego perlitu. Wyniki badań zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie wyników badań zużycia ściernego i twardości wybranych materiałów

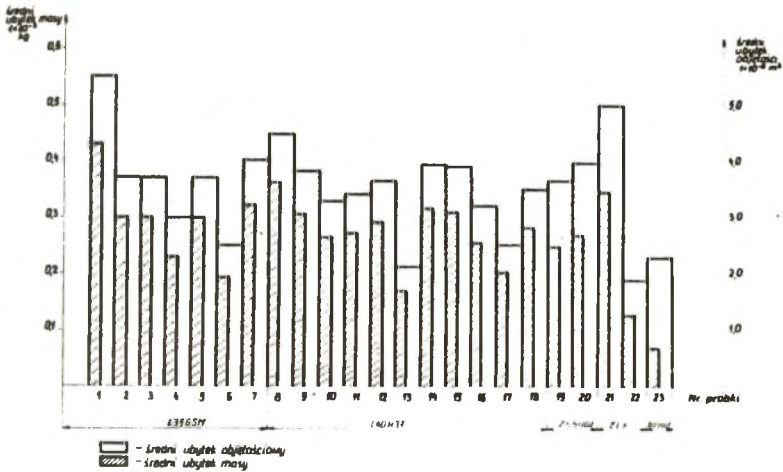
Lp.	Materiał	Rodzaj i parametry obróbki cieplnej, °C				Średni ubytek masy $1 \times 10^{-3}$ kg	Średni ubytek objętości $1 \times 10^{-8}$ m <sup>3</sup>	Średni ubytek %	Twardość HB
		wyż.uj.	norm.	hart.	odpusz.				
1	L35GSM	1150	-	-	-	0,4343	5,56	110,1	211
2	"	-	-	860	-	0,3030	3,75	74,1	405
3	"	-	-	860	450	0,3018	3,74	74,2	404
4	"	-	-	860	550	0,2342	3,00	59,4	363
5	"	-	-	920	-	0,3034	3,76	74,6	489
6	"	-	-	920	450	0,1957	2,51	49,7	426
7	"	-	-	920	550	0,3245	4,16	82,4	363
8	L40H3T	1150	-	-	-	0,3648	4,56	90,3	223
9	"	-	850	-	-	0,3074	3,84	76,0	354
10	"	-	850	840	-	0,2673	3,34	66,1	573
11	"	-	850	840	450	0,2779	3,47	68,7	415
12	"	-	850	860	450	0,2941	3,67	72,6	438
13	"	-	850	880	650	0,1726	2,16	42,7	306
14	"	-	910	-	-	0,3180	3,97	78,6	272
15	"	-	910	840	-	0,3152	3,94	78,0	504
16	"	-	910	840	450	0,2583	3,23	63,9	426
17	"	-	910	860	450	0,2035	2,54	50,3	383
18	"	-	910	880	650	0,2822	3,53	66,9	285
19	Zs 5002	-	-	-	-	0,2550	3,72	73,6	477
20	"	760	-	-	-	0,2745	4,00	79,2	191
21	Z1X	-	-	-	-	0,3439	5,05	100,0	187
22	"	-	-	900	-	0,1306	1,92	38,0	498
23	Bazalt	-	-	-	-	0,0682	2,27	45,0	800

1/ - Jako 100 % przyjęto średni ubytek objętościowy żeliwa szarego w stanie surowym



### 3. Analiza wyników

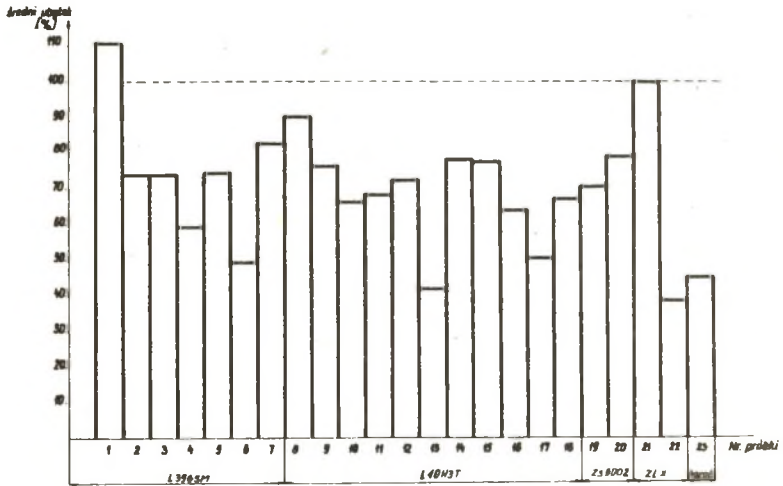
Wyniki pomiarów zużycia ściernego podano jako ubytek masy w /g/. Jednakże porównanie badanych tworzyw wykazuje, że różnią się one własnościami fizycznymi, a szczególnie ciężarem właściwym. W tym przypadku celowe staje się uzależnienie ubytku ściernych próbek od ciężaru właściwego danych tworzyw. Dlatego też przeliczono ubytek wagowy na ubytek objętościowy, który w przypadku badań porównawczych różnych tworzyw konstrukcyjnych wydaje się bardziej miarodajny.



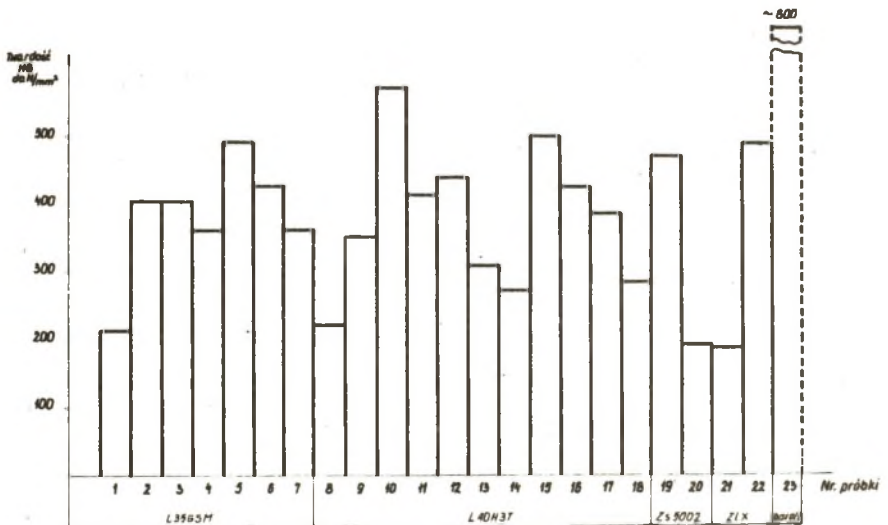
Rys.7 Wyniki badań ścieralności

Dla zobrazowania zależności odporności na zużycie ścierne od rodzajów tworzyw, wyniki ścierania przedstawiono w postaci wykresu słupkowego na rys.7. Wyniki badań zużycia przedstawiono również na rys.8, w porównaniu do zużycia żeliwa szarego przyjmując jego zużycie objętościowe jako 100%. Zestawienie takie pozwoliło na porównanie odporności na zużycie badanych tworzyw i wytypowanie tworzywa najodpowiedniejszego w danych warunkach pracy. Z analizy ubytku wagowego, objętościowego i procentowego /tabela 2/ wynika, że największą odpornością na zużycie ścierne charakteryzuje się żeliwo szare hartowane oraz bazalt o strukturze przedstawionej na rys.12, a w dalszej kolejności staliwo L40H3T normalizowane w temperaturze 850°C, hartowane z temperaturą 880°C i odpuszczane w temperaturze 650°C /rys.11/ i staliwo L35GSM hartowane z temperaturą 920°C i odpuszczane w temperaturze 450°C /rys. 10/. Na rysunku 9 przedstawiono w formie wykresu słupkowego twardości poszczególnych tworzyw. Z porównania twardości z odpornością na zużycie ścierne w warunkach

kach przeprowadzonych badań wynika, że twardość nie jest jednocześnie wskaźnikiem odporności na zużycie ściernie. Zaobserwowano, że tworzywa o wysokiej twardości nie wykazują równie wysokiej odporności ścierniej. Wyjątkiem okazał się jedynie bazalt. Na szczególną uwagę zasługuje żeliwo szare hartowane o strukturze przedstawionej na rys.13 i twardości 492 HB, które wykazało najmniejszy ubytek objętościowy.

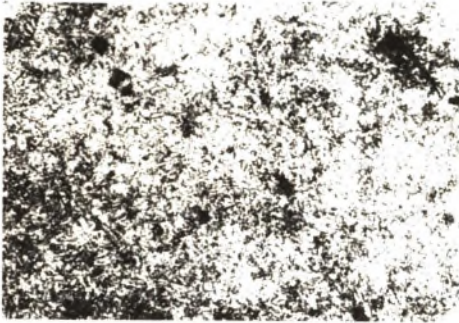


Rys. 8 Ubytek procentowy objętościowy

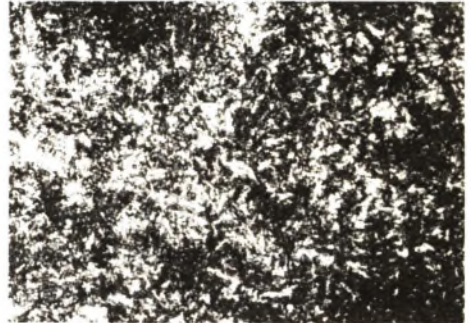


Rys. 9 Wyniki pomiaru twardości

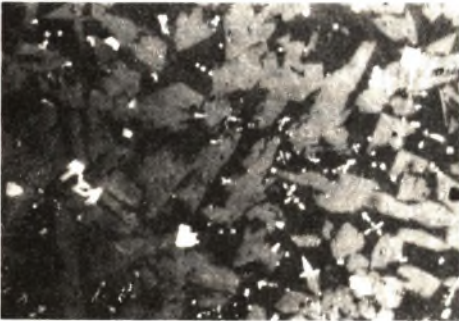
Prowadnice stosowane dotychczas, zwłaszcza typu zamkniętego, są odlewami trudnymi do wykonania z tworzyw odpornych na ścieranie, takich jak żeliwo białe lub staliwo stopowe obrabiane cieplnie. Wprowadzona zmiana konstrukcyjna pozwala zastosować na odlew wkładki wymiennej do prowadnic dowolne tworzywo odlewnicze odporne na ścieranie. Uwzględniając także czynnik ekonomiczny obok technologicznego, wkładki do prowadnic należy wykonywać z żeliwa szarego hartowanego w wodzie.



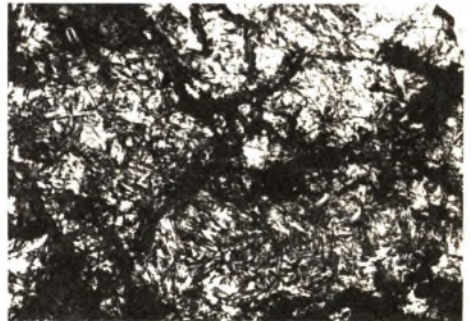
Rys. 10



Rys. 11



Rys. 12



Rys. 13

W przypadku zastosowania odlewanych wkładek bazaltowych ze względu na ich kruchość należy osadzać je w stalowej obudowie, na warstwie pośredniej, która ma za zadanie zapewnienie dokładnego sryku powierzchniowego obydwu elementów. Odporność na zużycie ściernie staliwa niskostopowego zależy w głównej mierze od zastosowania właściwej obróbki cieplnej. Z przeprowadzonych badań wynika, że istnieje możliwość podwyższenia o 60 % odporności ścierniej staliwa L35GSM i o około 50 % staliwa L40H3T przez zastosowanie właściwej obróbki cieplnej.

Opracowane rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe zastosowano w warunkach produkcyjnych jednej z cementowni krajowych. Do badań w warunkach przemysłowych wytypowano i zastosowano odlewy wkładek z żeliwa szarego hartowanego i bazaltu. Pracujące równolegle jednolite prowadnice z żeliwa szarego Z1X uległy zużyciu po okresie 2 miesięcy pracy ciągłej. Odlewy wkładek z bazaltu i żeliwa hartowanego przeprowadziły okres 1 roku bez wykazania nadmiernego zużycia. Pomyślne wyniki przeprowadzonych prób zadecydowały o wprowadzeniu na stałe w produkcji wkładek żeliwnych hartowanych. Niektóre z wkładek bazaltowych w czasie badań uległy popękaniu w wyniku zmian temperatury i dynamicznych uderzeń łańcucha zgrzeblowego oraz skutek niestarannego osadzenia ich w obudowie. Z tego powodu zrezygnowano z zastosowania bazaltu w chłodniku "FOLAX".

#### 4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Optymalnym tworzywem na prowadnice chłodnika "FOLAX" jest żeliwo szare hartowane w wodzie
2. Dobre wyniki można uzyskać przy zastosowaniu wkładek bazaltowych pod warunkiem ich starannego osadzenia w obudowie
3. Właściwie dobrana obróbka cieplna staliwa niskostopowego odpornego na ścieranie L35GSM i L40H3T pozwala zwiększyć ich odporność o około 50 - 60 %
4. Opracowanie uproszczonej konstrukcji prowadnic do chłodnika "FOLAX" przy zachowaniu niezmiennych przekrojów prześwitów pozwala na zastosowanie wymiennych wkładek z dowolnych nawet trudnych technologicznie tworzyw
5. Zastosowana bimateriałowa konstrukcja prowadnicy umożliwiła zunifikowanie wkładek wymiennych tak do prowadnic otwartych jak i zamkniętych, co ułatwia znacznie obsługę urządzenia.

#### LITERATURA

1. Finkin F.: Mechanizm zużycia materiałów w procesie tarcia - wyniki najnowszych badań. Przegląd Mech. 1971 nr 1, s.27-30.
2. JANECKI J., HEBDA M.: Tarcie, smarowanie i zużycie części maszyn. WNT, Warszawa 1972.
3. KISIECKI J.: Zużycie ścierny stali - wpływ nacisków, prędkości i wilgotności ośrodka ciernego. Przegląd Mech. 1972 nr 4, s.121-123
4. PIEPRZNIK S. i in.: Zgłoszenie patentowe P-189820
5. PIASKOWSKI J., JANKOWSKI A.: Żeliwo sferoidalne, WNT, Warszawa 1974

6. PIEPRZNIK S.: Obróbka cieplna odlewów. Częstochowa 1970.
7. PIEPRZNIK S., STABRYŁA J.: Wpływ obróbki cieplnej na właściwości użytkowe staliwa L49H3T. Zesz.nauk.ART Olszt. Mechanika i Budownictwo nr 3, 1977, s. 55-68.
8. SOLSKI P.: Zużycie ściernie metali. WNT, Warszawa 1969.
9. SOLSKI P., ZIEMBA S.: Zużycie elementów maszyn spowodowane tarciem PWN, Warszawa 1969.
10. SOLSKI P.: Badania odporności na zużycie. Cz.I. Przegląd Mech. 1967 nr 5, s.130-142 Cz.II. Przegląd Mech. 1967, nr 10, s.642-645.

#### SELECTION OF OPTIMUM MATERIAL FOR CHAIN GUIDES IN "FOLAX" CLINKER COOLER CONVEYOR

##### S u m m a r y

Wear resistance of L36GSM and L40H3T cast steel after various heat-treatments, ZLX cast iron, Zs5002 chilled cast iron and cast basalt were determined with the aim of application of these materials for guides in a push-plate conveyor used for transport of clinker. Changes in design of the guides and application of the selected materials resulted in great improvement of life of the rubbing parts. The laboratory experiments were confirmed by industrial tests which showed that the best material for the purpose was quench-hardened grey cast iron.

#### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ЦЕПИ КОНВЕЙЕРА В ОХЛАДИТЕЛЕ "ФОЛАКС"

##### Р е з ю м е

В разработке рассматриваются исследования износостойкости стального литья L36GSM и L40H3T, подвергнутого разным видам термической обработки, чугуна ZLX и отбеленного чугуна Z<sub>5</sub>5002, а также литого базальта. Исследования были проведены с целью применения этих материалов для направляющих скребковой цепи для транспорта клинкера. Изменение конструкции направляющей и применение избранных материалов дало возможность на много раз повысить срок службы деталей подвергаемых трению. Результаты лабораторных исследований были подтверждены промышленными испытаниями, которые показали, что в этих условиях среди испытанных нами материалов, самым лучшим является серый чугун в закаленном состоянии.