

**Andrzej WIECZOREK\***

## **MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA NOWYCH MATERIAŁÓW NA BĘBNY ŁAŃCUCHOWE GÓRNICZYCH PRZENOŚNIKÓW ZGRZEBŁOWYCH O ZWIĘKSZONEJ ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIE**

### **POSSIBILITIES OF APPLICATION OF NEW MATERIALS FOR CHAIN DRUMS OF ARMOURED FACE CONVEYORS WITH AN INCREASED WEAR RESISTANCE**

#### **Słowa kluczowe:**

trwałość, zużycie, górnicze przenośniki zgrzeblowe, materiał ścierny

#### **Key words:**

durability, wear, armoured face conveyors, abrasive material

#### **Streszczenie**

Zasadniczym celem opracowania było przeprowadzenie porównawczych badań zużyciowych materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe produkcji krajowej i zagranicznej oraz żeliwa ADI, które uznano za tworzywo predestynowane do zastosowania w wytwarzaniu tych bębnow. W ramach pracy opracowano i wykonano nowe stanowisko umożliwiające badanie procesu zużywania się bębnow w obecności dodatkowego ścierniwa. Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych właściwości zużyciowych stwierdzono, że największą odpor-

---

\* Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Mechanizacji Górnictwa, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, e-mail: andrzej.n.wieczorek@polsl.pl.

nością na zużycie, spośród rozpatrywanych materiałów, charakteryzuje się żeliwo sferoidalne zawierające w swym składzie ok. 1% Cu i poddane hartowaniu izotermicznemu w solach w temperaturze  $270\pm 5^{\circ}\text{C}$  (wariant ADI CU C).

## WPROWADZENIE

Jednymi z najbardziej narażonych na uszkodzenie elementów przenośników zgrzeblowych, które wchodzi w skład kompleksów eksploatacyjnych węgla kamiennego, są bębny łańcuchowe. Bębny te pracują zazwyczaj w środowisku o znacznej agresywności, charakteryzującym się obecnością takich czynników eksploatacyjnych jak:

- pył kamienny lub kamiennie-węglowy dostający się do strefy współpracy bębnow z łańcuchem,
- wilgoć przyczyniająca się do powstania korozji powierzchni bębnow, co zwiększa podatność na zużycie ściernie,
- liczne rozruchy przenośników,
- przeciążenia spowodowane m.in. przeładowaniem przenośnika i zablokowaniem łańcuchów.

Wymienione czynniki przede wszystkim wydatnie zwiększają zużycie tribologiczne, co prowadzi do częstych awarii i postojów wpływających na ekonomikę wydobywania węgla. Należy jednak także dodać, że wystąpienie awarii przenośników zgrzeblowych może istotnie wpływać na stan bezpieczeństwa załogi. Szczególnie silnie występuje to w przypadku zmęczenia zerwań łańcuchów i pęknięć zębów bębnow łańcuchowych.

Procesom zużycia ściernego można przeciwdziałać, stosując odpowiednie materiały i technologie. Jak wynika z analiz uszkodzeń bębnow łańcuchowych górniczych przenośników zgrzeblowych [L. 1], dotychczas stosowane materiały i technologie nie przeciwdziałają w sposób zadowalający procesom degradacyjnym. W celu poprawy odporności na zużycie materiałów używanych do wytwarzania bębnow łańcuchowych należy rozważyć alternatywne tworzywa. W niniejszej pracy podjęto temat określenia odporności na zużycie materiałów już stosowanych na bębny łańcuchowe oraz materiałów innowacyjnych. W szczególności dokonano określenia rodzaju i gatunków materiałów już stosowanych do produkcji bębnow łańcuchowych górniczych przenośników zgrzeblowych, zaproponowano alternatywne tworzywa oraz przeprowadzono badania zużycia ściernego rozpatrywanych materiałów na specjalnie w tym celu opracowanym i wykonanym stanowisku doświadczalnym.

## CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW PODDANYCH BADANIOM ZUŻYCIOWYM

Obecnie najczęściej do produkcji bębnow łańcuchowych górniczych przenośników ścianowych i podścianowych stosuje się odkuwki stalowe lub odlewy ze

staliwa stopowego, niekiedy dodatkowo poddane obróbce cieplnej, najczęściej hartowaniu indukcyjnemu lub płomieniowemu warstwy wierzchniej zębów. Po standardowej wstępnej obróbce odlewów oraz obróbce skrawaniem powierzchni osadycznych następuje najczęściej drobna korekta zarysów zębów z wykorzystaniem szablonów, najczęściej w formie ręcznej obróbki elektrona-rzędziami szlifierskimi.

Jak wspomniano wyżej, producenci przenośników zgrzeblowych do wytworzenia bębnow łańcuchowych stosują najczęściej stale kute i staliwa stopowe, jednakże wytwórcy nie informują o użytych gatunkach materiałów. W celu określenia rodzaju używanych przez producentów bębnow łańcuchowych materiałów, co jest istotne z uwagi na realizację kolejnego etapu badań doświadczalnych, przeprowadzono identyfikację materiałową, w ramach której wykonano:

- pomiary twardości w rdzeniu i na powierzchni zęba metodą Rockwella w oparciu o normę PN-EN ISO 6508-1: 2008 z użyciem twardościomierza produkcji KARBID-PREESS Warszawa (dopuszczalny błąd wskazań  $\pm 1,5$  HRC),
- pomiary składu chemicznego na spektrometrze emisyjnym firmy Hilger-Analytical typ E983 (zastosowano wzorzec odniesienia P55/1 P58/1),
- analizę metalograficzną z zastosowaniem mikroskopu optycznego typu Reichert-Jung MeF3.

Próbki pobrano z 6 bębnow łańcuchowych pochodzących od trzech krajowych i dwóch zagranicznych producentów przenośników zgrzeblowych. Próbki te wycięto za pomocą strumienia wody pod wysokim ciśnieniem z zębów bębnow łańcuchowych, które pracowały wcześniej w kopalniach węgla kamiennego.

W **Tabeli 1** przedstawiono zestawienie stwierdzonych rodzajów i gatunków materiałów oraz twardości powierzchni i rdzeni dla poszczególnych producentów przenośników zgrzeblowych, natomiast w **Tabeli 2** przedstawiono wyniki analizy metalograficznej.

**Tabela 1. Zestawienie rodzajów materiałów i twardości dla poszczególnych producentów przenośników zgrzeblowych**

Table 1. Types of materials and hardness for the producers of armoured face conveyors

Producent (typ przenośnika)	Stwierdzony materiał	Twardość powierzchni, HRC	Twardość rdzenia, HRC
Producent krajowy 1	36HMN (stal)	50	31
Producent krajowy 2	L35GSM (staliwo)	56	28
Producent krajowy 3	GS42CrMo4 (staliwo)	55	28
Producent zagraniczny 1	L35HM (staliwo)	54	29
Producent zagraniczny 2	L35HM (staliwo)	50	30

Jak wykazały doświadczenia eksploatacyjne, stal i staliwo jako materiał konstrukcyjny na bębny łańcuchowe nie zapewniają spełnienia rosnących wymagań użytkowych. Stąd też konieczność poszukiwania innych, całkowicie nowych rozwiązań materiałowych. Analiza wielu danych literaturowych skłoniła do podjęcia prób z wykorzystaniem zupełnie nowego materiału na odlew, jakim jest żeliwo sferoidalne ADI.

Żeliwo sferoidalne ausferytyczne ADI (Austempered Ductil Iron) jest materiałem, który powstaje z żeliwa stopowego sferoidalnego po wykonaniu specjalnej obróbki cieplnej w postaci hartowania izotermicznego. W wyniku tego rodzaju obróbki żeliwo uzyskuje szczególne własności w postaci wysokiej granicy plastyczności, przy stosunkowo dobrych własnościach plastycznych, co zapewnia dobrą udarność przy wysokiej twardości. Ten korzystny zestaw własności mechanicznych powoduje, że jest to materiał predestynowany na elementy o złożonej konstrukcji narażone na duże obciążenia oraz oddziaływania ściernie i ścierno-korozyjne.

**Tabela 2. Wyniki przeprowadzonych badań metalograficznych dla rozpatrywanych próbek**  
Table 2. Results of metallographic studies conducted for the tested samples

Producent	Struktura warstwy hartowanej próbki	Grubość warstwy hartowanej	Struktura rdzenia próbki
Producent krajowy 1	Drobnoziarnisty martenzyt, po jednej stronie zgiądu znajduje się warstwa napawana	10 mm	Sorbit z wydzieleniami drobnych węglików
Producent krajowy 2 Wariant bębna 1	Martenzyt z wydzieleniami bardzo drobnych węglików	20 mm	Sorbit, widoczna struktura dendrytyczna typowa dla odlewów
Producent krajowy 2 Wariant bębna 2	Strefę zewnętrzną (widoczne jej przegrzanie) stanowi grubo iglasty martenzyt, poniżej martenzyt gruboziarnisty	25 mm	Sorbit z wydzieleniami ferrytu, widoczna struktura dendrytyczna typowa dla odlewów
Producent krajowy 3	Martenzyt	20 mm	Sorbit, widoczna struktura dendrytyczna typowa dla odlewów
Producent zagraniczny 1	Zachowane tylko fragmenty warstwy hartowanej o strukturze martenzytu z wydzieleniami bardzo drobnych węglików	15 mm	Sorbit z wydzieleniami ferrytu, widoczna struktura dendrytyczna typowa dla odlewów
Producent zagraniczny 2	Zachowane niewielkie fragmenty warstwy hartowanej o strukturze martenzytu	uległa zużyciu	Sorbit, widoczna struktura dendrytyczna typowa dla odlewów

Własności mechaniczne żeliwa ADI [L. 3, 4, 7] silnie zależą od parametrów obróbki cieplnej, której najbardziej istotnym zabiegiem jest hartowanie z przemianą izotermiczną. Odlew z żeliwa sferoidalnego, po uprzedniej ewen-

tualnej wstępnej obróbce skrawaniem, jest poddawany stosunkowo długiemu procesowi austenizacji w temperaturze 850÷900°C, po którym następuje hartowanie izotermiczne w specjalnie dobranym złożu fluidalnym lub solnym z wytrzymywaniem w temperaturze rzędu 300÷400°C przez okres 1÷2 h, a następnie schładzanie swobodne do temperatury otoczenia. Opisany zabieg powoduje, że uzyskiwana w ten sposób struktura końcowa składa się z mieszaniny płytkowego ferrytu i austenitu. Struktura ta, zwana ausferrytem, cechuje się zespołem korzystnych własności mechanicznych.

Norma europejska zaimplementowana jako norma polska PN-EN-1564 z roku 1997 wyróżnia jedynie cztery gatunki żeliwa ADI różniące się własnościami mechanicznymi (patrz **Tab. 3**).

**Tabela 3. Własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego ADI wg PN-EN-1564/1997**

Table 3. Mechanical properties of spheroidal irons ADI by PN-EN-1564/1997

Gatunek żeliwa ADI	R <sub>m</sub> min MPa	R <sub>e0,2</sub> min MPa	A <sub>5</sub> min %	Twardość HB
EN-GJS-800-8	800	500	8	220÷260
EN-GJS-1000-5	1000	700	5	300÷360
EN-GJS-1200-2	1200	880	2	340÷440
EN-GJS-1400-1	1400	1100	1	380÷480

Badania ostatnich lat przedstawiają związek właściwości ADI z zawartością w jego mikrostrukturze austenitu, a w szczególności austenitu metastabilnego. Austenit ten w wyniku zewnętrznych oddziaływań mechanicznych, np. kulowania czy rozciągania, umacnia się w wyniku przemiany martenzytycznej (efekt TRIP – Transformation Induced Plasticity). Tworzenie martenzytu, jako fazy twardej, może skutecznie zwiększać odporność elementów na zużycie ścierne bądź przez tarcie. Jednak problemem pozostaje dobór odpowiednich parametrów obróbki cieplnej, aby udział austenitu metastabilnego był dostosowany do przeznaczenia danej konstrukcji.

## CHARAKTERYSTYKA BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

### Stanowisko do badania zużycia materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe przenośników zgrzeblowych

Dotychczas stosowane konstrukcje stanowisk badawczych do badań zużycia (tribotestery produkcji ITeE w Radomiu [L. 6], stanowisko do badań płyt trudnościeralnych konstrukcji Ryfamy [L. 5]) nie zapewniają odwzorowania warunków eksploatacji bębnow łańcuchowych i dlatego też postanowiono zapro-

jektować oraz wykonać stanowisko badawcze dedykowane badaniom materiałów na bębny łańcuchowe.

Nowe stanowisko [L. 2] do badań właściwości zużyciowych (widok stanowiska przedstawiono na **Rys. 1**) materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe przenośników zgrzeblowych składa się z dwóch części:

- napędowej,
- próbce.

Część napędowa stanowiska złożona jest z:

- silnika napędowego,
- przemiennika częstotliwości,
- sprzęgła wkładkowego,
- wału napędowego,
- osłony.

W części badawczej na płycie nośnej zamocowana jest pokrywa dolna, w której osadzona jest próbka dolna. Styka się ona z próbką górną poprzez warstwę ścierniwa. Próbka górna zamocowana jest w pokrywie górnej, która z kolei napędzana jest wałem połączonym poprzez sprzęgło z silnikiem napędowym.



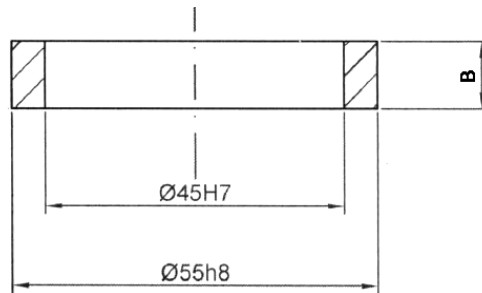
**Rys. 1. Stanowisko do badań właściwości zużyciowych materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe przenośników zgrzeblowych**

Fig. 1. Rig for testing the wear properties of materials used for chain drums of armoured face conveyors

## Obiekt badań

Do badań zużyciowych dotychczas stosowanych materiałów na bębny łańcuchowe wykorzystano próbki pierścieniowe (ich postać konstrukcyjna została przedstawiona na **Rys. 2**).

W celu scharakteryzowania właściwości zużyciowych grupy materiałów tradycyjnych, czyli stali i staliw, wykonano próbki z następujących gatunków: stal 36HMN, staliwa L35HM i L35GSM. Próbki te poddano hartowaniu i niskiemu odpuszczaniu. Warunki przeprowadzonej obróbki cieplnej zestawiono w **Tabeli 4**.



**Rys. 2. Postać konstrukcyjna próbek stosowanych do badań ubytku masy; B – szerokość próbki górnej B = 10 mm, dolnej B = 6 mm**

Fig. 2. Construction form of the samples used for testing the loss of mass; B – width of the upper sample B = 10 mm, lower B = 6 mm

**Tabela 4. Parametry obróbki cieplnej próbek stalowych i staliwnych**

Table 4. Parameters of heat treatment of steel and cast steel samples

	Austenityzacja	Hartowanie	Odpuszczanie niskie
Temperatura, °C	860	780	180
Czas wygrzewania, min	150	-	60

Próbki z żeliwa ADI hartowane izotermicznie w solach zostały odlane w Zakładzie Stopów Żelaza Instytutu Odlewnictwa w Krakowie w postaci wałka  $\phi 60 \times 450$  mm (z tych odlewów wykonano próbki  $\phi 55/45 \times 10$  i 6 mm), klinów Y typ II o wymiarach 25 x40 x150 mm, z których wykonano próbki do badań własności mechanicznych po obróbce cieplnej. Procesy obróbki cieplnej wytopu wykonano w piecu typu Multitherm N41/M firmy NABERTHERM. Operacje wychładzania izotermicznego przeprowadzono w piecu elektrycznym wannowym typu PEW – 2, w kąpeli solnej (mieszanina azotanu potasu i azotynu sodu). W zależności od temperatury hartowania izotermicznego uzyskano 3 warianty próbek oznaczone jako: ADI CU A, ADI CU B i ADI CU C.

Parametry obróbki cieplnej próbek przedstawiono w **Tabeli 5**, zmierzone wartości twardości – w **Tabeli 6**, a wyznaczone wartości parametrów wytrzy-

małościowych i udarności w **Tabeli 7**. Skład chemiczny wytopu przedstawiono natomiast w **Tabeli 8**.

Analizując wyniki zestawione w **Tabeli 6** i odnosząc je do normy PN-EN 1564 „Żeliwo sferoidalne hartowane z przemianą izotermiczną”, można stwierdzić, że uzyskane wartości twardości pozwalają wstępnie zaklasyfikować:

- próbki ADI CU A do żeliwa gatunku EN-GJS-800-8,
- próbki ADI CU B do żeliwa gatunku EN-GJS-1000-5,
- próbki ADI CU C do żeliwa gatunku EN-GJS-1400-1.

**Tabela 5. Parametry obróbki cieplnej próbek żeliwa ADI**

Table 5. Parameters of heat treatment of ADI cast iron samples

	Austenityzacja	Hartowanie izotermiczne (złóże fluidalne)	
Temperatura, °C	900	ADI CU A	375
		ADI CU B	330
		ADI CU C	270
Czas, min	120	150	

**Tabela 6. Wyniki pomiarów twardości próbek z żeliwa ADI hartowanych w solach**

Table 6. Results of measurements of hardness of ADI cast iron samples treated in salts

	Twardość, HRC	Twardość, HB
	Wartość średnia	Przeliczona wg Normy EN ISO 18265
ADI CU A	30,6	291,6
ADI CU B	37,3	348,3
ADI CU C	45,3	428,0

**Tabela 7. Wyniki pomiarów własności mechanicznych próbek z żeliwa ADI hartowanych w solach**

Table 7. Results of measurements of mechanical properties of ADI cast iron samples treated in salts

Oznaczenie próbek	Własności mechaniczne		
	R <sub>m</sub> , MPa	R <sub>0,2</sub> , MPa	A <sub>5</sub> , %
ADI CU A	944	595	8,3
ADI CU B	1140	832	5,5
ADI CU C	1457	1164	3,3

**Tabela 8. Zestawienie składu chemicznego wytopu żeliwa ADI**

Table 8. Chemical composition of ADI cast iron smelting

Skład chemiczny, %							
C	Si	Mn	P	S	Ni	Mg	Cu
3,6	2,45	0,32	0,035	0,04	1,9	0,065	0,93



## Metodyka badań

Za podstawowy parametr charakteryzujący własności zużyciowe badanych materiałów przyjęto ubytek masy  $u_m$  obu próbek. Do jego wyznaczenia stosuje się zależność:

$$u_m = (m_{pd,0} - m_{pd,t}) + (m_{pg,0} - m_{pg,t}) \quad (1)$$

gdzie:  $m_{pd,0}$  – masa początkowa próbki dolnej,  
 $m_{pd,t}$  – masa próbki dolnej po czasie zużycia  $t$ ,  
 $m_{pg,0}$  – masa początkowa próbki górnej,  
 $m_{pg,t}$  – masa próbki górnej po czasie zużycia  $t$ .

W **Tabeli 9** zestawiono zadawane wartości parametrów kinematycznych i obciążeniowych, przy których prowadzono badania zużycia materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe przenośników zgrzeblowych.

**Tabela 9. Zestawienie wartości parametrów badań zużycia materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe przenośników zgrzeblowych**

Table 9. Values of parameters of wear testing materials used for chain drums of armoured face conveyors

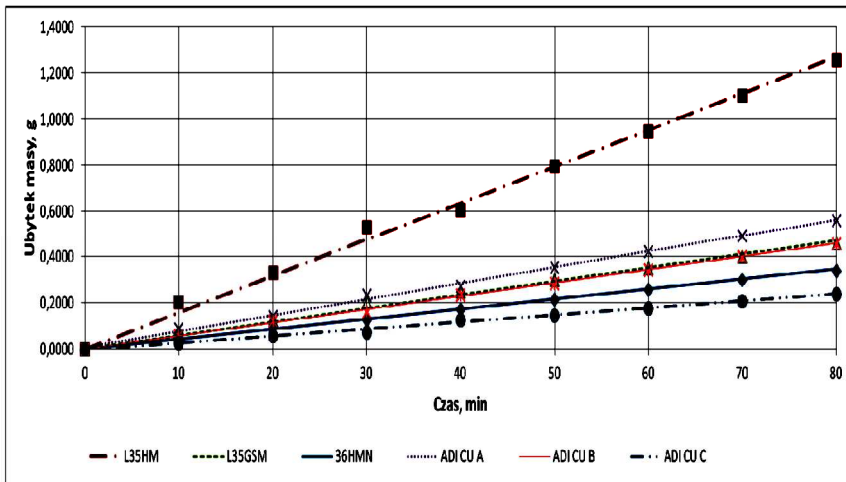
Gatunki stali i staliw	36HMN	L35HM	L35GSM
Naprężenie ściskające $\sigma$ , MPa	0,063	0,094	0,125
Prędkość obwodowa $v$ , m/s	0,29		
Czas badań	8x10 min		
Ścierniwo	korund		

W celu wyznaczenia, dla zadanego wariantu obciążenia, parametrów charakteryzujących zużycie materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe przenośników zgrzeblowych stosowano następujący tok postępowania:

- ważenie oczyszczonych próbek przed eksploatacją,
- zamocowanie próbek w pokrywach stanowiska,
- zważenie ścierniwa i umieszczenie go na próbce dolnej,
- zamocowanie pokrywy górnej,
- zadanie obciążenia i zamocowanie zabezpieczeń przed wysunięciem pokrywy górnej,
- włączenie stanowiska na 10 min,
- zdemontowanie zabezpieczeń i pokrywy górnej,
- oczyszczenie z zużytego ścierniwa powierzchni próbek,
- zdemontowanie pokrywy dolnej,
- wyciągnięcie próbek z mocowań w pokrywach,
- staranne oczyszczenie próbek w myjce ultradźwiękowej,
- zważenie obu próbek,
- wyznaczenie ubytku masy i niepewności pomiarowej.

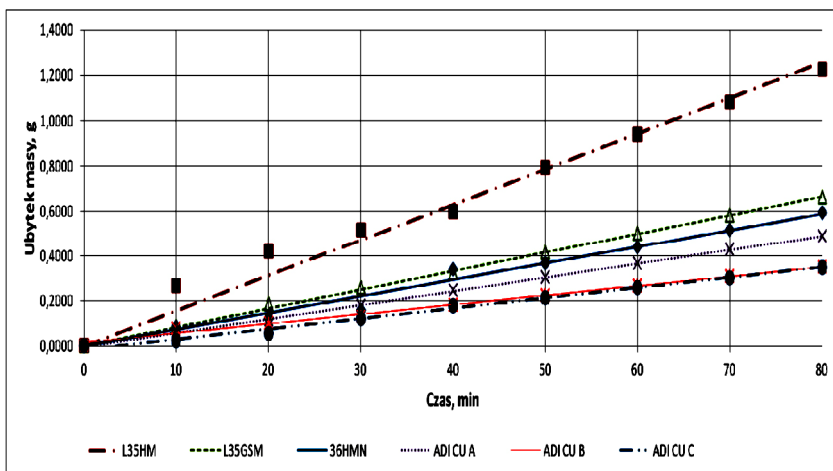
## WYNIKI BADAŃ ZUŻYCIA

Na **Rysunkach 3, 4 i 5** zilustrowano uzyskane wartości ubytku masy w funkcji czasu dla próbek stalowych, staliwnych i żeliwa ADI obrabianego w solach (próbki ADI CU A, ADI CU B i ADI CU C).



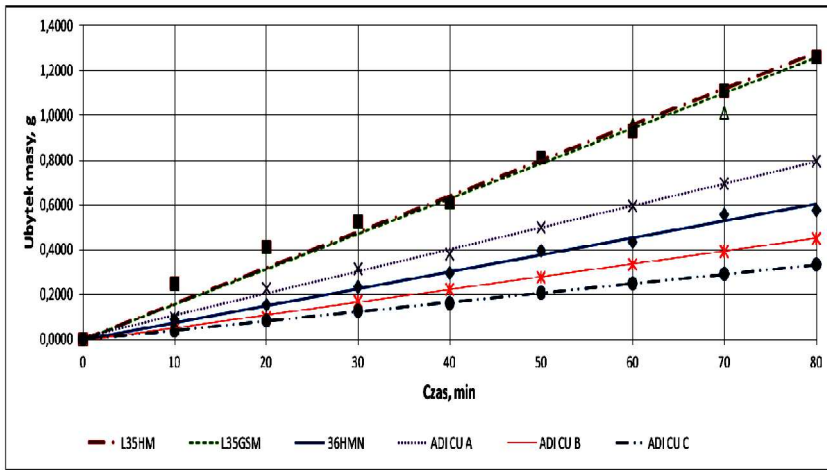
**Rys. 3.** Przebiegi wartości ubytku masy uzyskane przy obciążeniu  $N = 0,063$  MPa w funkcji czasu dla próbek stalowych, staliwnych i żeliwa ADI obrabianego w solach

**Fig. 3.** Courses of the mass loss value obtained at a the load  $N = 0,063$  MPa as a function of time – for steel, cast steel and ADI cast iron (treated in salts) samples



**Rys. 4.** Przebiegi wartości ubytku masy uzyskane przy obciążeniu  $N = 0,094$  MPa w funkcji czasu dla próbek stalowych, staliwnych i żeliwa ADI obrabianego w solach

**Fig. 4.** Courses of the mass loss value obtained at a the load  $N = 0,094$  MPa as a function of time – for steel, cast steel and ADI cast iron (treated in salts) samples



Rys. 5. Przebiegi wartości ubytku masy uzyskane przy obciążeniu  $N = 0,125$  MPa w funkcji czasu dla próbek stalowych, staliwnych i żeliwa ADI obrabianego w solach

Fig. 5. Courses of the mass loss value obtained at the load  $N = 0,125$  MPa as a function of time – for steel, cast steel and ADI cast iron (treated in salts)

Na podstawie uzyskanych wyników badań zużycia z zastosowaniem dodatkowego ścierniwa stwierdzono, że:

- wraz ze zwiększeniem czasu próby i obciążenia obserwuje się wzrost ubytku masy,
- w grupie stali i staliw poddanych hartowaniu i niskiemu odpuszczaniu najbardziej odporna na zużycie spośród rozpatrywanych materiałów była stal 36HMN, natomiast najmniej – staliwo L35HM.
- najmniejszymi wartościami ubytku masy w grupie żeliw ADI charakteryzuje się żeliwo oznaczone symbolem ADI CU C, które było obrobione cieplnie w solach w temperaturze  $270^{\circ}\text{C}$ , największymi natomiast żeliwo oznaczone symbolem ADI CU A, obrabiane cieplnie w temperaturze  $375^{\circ}\text{C}$ ,
- żeliwa hartowane izotermicznie w solach wykazały się korzystniejszymi właściwościami zużyciowym w stosunku do stali i staliw w stanie zahartowanym i odpuszczonym nisko.

## PODSUMOWANIE

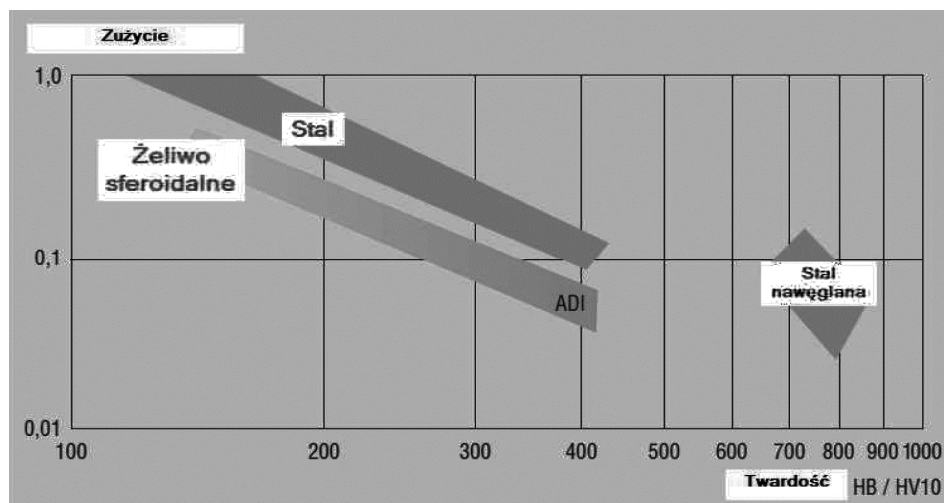
Zasadniczym celem opracowania było przeprowadzenie porównawczych badań zużyciowych materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe. W trakcie badań zużyciowych poddano próbom jeden gatunek stali, dwa gatunki staliwa i żeliwo sferoidalne poddane obróbce cieplnej, w wyniku której uzyskano trzy warianty materiałowe.

Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych właściwości zużyciowych stwierdzono, że korzystnymi cechami predestynującymi do zastoso-

wania w produkcji bębnow łańcuchowych przENOŚNIKÓW zgrzeblowych jest żeliwo sferoidalne zawierające w swym składzie ok. 1% Cu i poddane hartowaniu izotermicznemu w solach w temperaturze  $270\pm 5^{\circ}\text{C}$  (wariant ADI CU C).

Należy podkreślić, że każdy z rozpatrywanych wariantów żeliwa ADI charakteryzował się odpornością na zużycie lepszą lub bardzo zbliżoną w odniesieniu do odporności już stosowanych stali i staliw. W tym miejscu należy odnieść się do wyników uzyskanych przez innych badaczy. Wyniki badań zużycia żeliw ADI w porównaniu z materiałami stosowanymi na elementy maszynowe przedstawiono m.in. w pracach [L. 8–11] (niestety Autorzy tych opracowań nie opisali sposobu przeprowadzania badań zużyciowych).

Przykładowe wyniki badań odporności na zużycie [L. 8] przedstawiono na Rys. 6. Wyniki te ewidentnie wskazują na wyższą odporność na zużycie żeliw ADI w porównaniu z żeliwami sferoidalnymi i stalą ulepszoną cieplnie, czyli materiałami o zbliżonej twardości. Jedynie stal po nawęglaniu charakteryzowała się zbliżoną odpornością na zużycie, jednakże stal ta cechowała się o wiele wyższą twardością. Autorzy wyżej wymienionych prac wysoką odporność żeliw hartowanych izotermicznie (ADI) tłumaczą przemianą austenitu szczątkowego w martenzyt pod wpływem sił działających w czasie badań zużyciowych.



Rys. 6. Przykładowe wyniki badań odporności na zużycie liniowe na podstawie pracy [L. 8]  
Fig. 6. Examples of wear resistance test results – based on [L. 8]

Wstępne wyniki badań metalograficznych próbek poddanych zużyciu, a będących obiektem badań opisanych w niniejszej pracy, potwierdzają znaczenie przemiany austenitu szczątkowego w martenzyt w uzyskaniu wysokiej odporności na zużycie.

*Praca zrealizowana w ramach projektu rozwojowego nr N R09 0026 06/2009 finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego decyzją nr 0481/R/T02/2009/06.*

## LITERATURA

1. Dolipski M., Giza T., Mikuła M., Sobota P.: Eksploatacyjne uszkodzenia bębnow łańcuchowych górniczych przenośników zgrzeblowych. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 12 (208)/2011.
2. Dolipski M., Wieczorek A.: Nowe stanowisko do badań właściwości zużyciowych materiałów stosowanych na bębny łańcuchowe przenośników zgrzeblowych. Konferencja naukowa „Górnictwo zrównoważonego rozwoju 2010” Gliwice 2010.
3. Kaczorowski M., Myszka D.: Badania strukturalne żeliwa ADI w transmisyjnym mikroskopie elektronowym. *Archiwum Odlewnictwa, PAN*, vol. 3, nr 4 (2003), s. 266.
4. Kaczorowski M.: Struktura i właściwości żeliwa ADI. *Prace ZO, ITMat PW, zeszyt XXVI*, Warszawa 2001.
5. Kusak E., Suchoń J.: Badania odporności na zużycie ściernie stali trudnościernych. Materiały konferencyjne XVII Międzynarodowa konferencja Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych TEMAG 2009, Ustroń 2009.
6. Materiały informacyjne Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu.
7. Myszka D., Kaczorowski M.: Otrzymywanie żeliwa ADI przez bezpośrednie hartowanie izotermiczne. *Prace ZO ITMat PW, zeszyt XXVI*, Warszawa 2001.
8. Wittwer U., Rechsteiner A.: ADI – ein moderner Werkstoff mit vielfältigem Potenzial *Casting Journal*, Dezember 2005, s. 4–6.
9. Rimmer A.: CADi - ein neuer Eisengusswerkstoff. *Konstruieren+ giessen* 32 (2007) Nr 1, s. 39–41.
10. Hübner P., Fischer C.: Gezielte Einstellung der Eigenschaften von ADI (Gussanforderungen, Normung, Einsatzmöglichkeiten). ADI-Informationstag, Leipzig, 26. November 2009.
11. Keough J.R.: *Ductile Iron Databook for Design Engineers. Section IV.* [www.ductile.org/didata](http://www.ductile.org/didata).

## Summary

**The primary purpose of this study was to carry out comparative research concerning the wear properties of materials used for chain drums, both of domestic and foreign production, as well as of ADI cast iron, which was considered as a material highly suitable for use in manufacture of drums. As part of the study, a new test rig was developed and made in order to allow testing the process of wear in the presence of an additional abrasive material. On the basis of the experimental research concerning the wear properties, it has been found that the highest wear resistance among the analysed materials had the nodular cast iron containing approximately 1%**

**of Cu and subjected to isothermal quenching in salts at a temperature of  $270\pm 5^{\circ}\text{C}$  (variant: ADI CU C). It should be emphasized that each of the considered variants of ADI cast iron was characterized by a wear resistance better than that of steels and cast steels that are already in use or very similar. In terms of quality, the results were similar to the results of the research on abrasive wear of the ADI cast irons and steels presented by other authors in their research.**