

Jadwiga BRYNIARSKA, Andrzej GWIŹDŹ,  
Wiesław PSTUŚ

Instytut Odlewnictwa  
MPMCiR - Kraków

## ŻELIWA STOPOWE ODPORNE NA ŚCIERANIE I ICH PRZEMYSŁOWE ZASTOSOWANIE

Streszczenie. W artykule przedstawiono dwie oddzielne grupy zagadnień, mianowicie dobór tworzywa na szybko zużywające się części oczyszczarek śrutowych, w których procesy zużycia ściernego są dominujące oraz dobór materiału na wyłożenia wozów gaśniczych w koksowniach, gdzie rolę pierwszoplanową odgrywa przede wszystkim odporność materiału na wstrząsy cieplne.

### 1. Wstęp

W prezentowanym obecnie referacie przedstawione zostaną dwie grupy zagadnień, w których krótko omówione będą wyniki prac od kilku lat prowadzonych w IO, mających na celu opracowanie odlewów o podwyższonej trwałości użytkowej. W obu tych grupach zagadnień cykl badawczy obejmował analizę dotychczasowego stanu zagadnienia, dobór nowego materiału, opracowanie technologii wytwarzania odlewów poszczególnych elementów, ich próby eksploatacyjne oraz wielostronną analizę wyników, która pozwoliła na wytypowanie najlepszych materiałów, zarówno pod względem żywotności, jak też ze względów ekonomicznych.

Pierwsza przedstawiona grupa materiałowa to stopy, które zapewnić miały wzrost żywotności elementów, poddawanych przede wszystkim znacznemu zużyciu przez ścieranie, przy czym zużycie to dokonywane było głównie pod wpływem znacznej energii kinetycznej ziarn ściernych, a także pod wpływem przesuwającej się warstwy twardego materiału /np. spiek wielkopieczowy lub koks/, powodującego duże zużycie podłoża.

Druga natomiast grupa materiałowa obejmuje zagadnienie zużycia, w którym sam mechanizm ścierania jest czynnikiem drugoplanowym, a rolę pierwszoplanową odgrywa przede wszystkim odporność materiałów na wstrząsy cieplne, a także ich własności antykorozyjne.

### 2. Żeliwa wysokostopowe wykazujące głównie odporność na ścieranie

Celem prac prowadzonych w tym zakresie był dobór tworzywa na szybko zużywające się części oczyszczarek śrutowych tzn. szczególnie łopatek rzutowych, lecz także

wirników rozdzielczych, tulei regulacyjnych, jak również osłon, tzn. wkładów prostych, łukowych i bocznych.

W początkowym etapie prac /zgodnie ze złożonym w 1973 r. w IO zapotrzebowaniem/ zajęto się doбором zamiennika polskiego na te elementy, eksploatowane w przemyśle stoczniowym oraz w innych przedsiębiorstwach, w których oczyszczarki śrutowe wykorzystywane były jedynie do celów czyszczenia konstrukcji metalowych przed procesem ich lakierowania. Wspomniane zakłady dysponowały na ogół śrutem lanym o stosunkowo małej i jednorodnej ziarnistości, który nie był zanieczyszczony piaskiem, ani innymi temu podobnymi twardymi cząstkami.

Dalszy etap prac obejmował przeniesienie doświadczeń uzyskanych w poprzednich opracowaniach na trudniejsze zastosowanie tych materiałów, w oczyszczarkach stosowanych w odlewniach, w których częste są zanieczyszczenia śrutu piaskiem kwarcowym, a także granulacja śrutu jest znacznie bardziej zróżnicowana i ze względów obiektywnych stosuje się nie tylko żeliwny śrut lany lecz także cięży śrut stalowy.

Trzeci etap prac stanowił natomiast dalsze rozszerzenie zastosowania opracowanych materiałów na inne dziedziny np. wyłożenia transporterów spieku w aglomerownikach, wyłożenia i zamknięcia zbiorników zasypowych rudy i spieku także w aglomerownikach hutniczych oraz wyłożenie zrzutni koksu w koksowni hutniczej.

#### 2.1. Dobór materiału zastępczego na elementy oczyszczarek śrutowych

Wstępny dobór materiału, który dokonano w pierwszym etapie omawianych prac obejmował 5 gatunków żeliwa /tabela 1/. Wyboru tych gatunków dokonano na podstawie przeprowadzonego rozeznania literaturowego oraz w oparciu o dotychczasowe doświadczenia IO w tym zakresie [1-3].

Wszystkie wybrane gatunki żeliwa wytapiano w piecu indukcyjnym o pojemności 250 kg i wyłożeniu kwaśnym w przypadku czterech pierwszych gatunków żeliwa chromowego, natomiast przy wytapianiu żeliwa manganowego stosowano wyłożenie zasadowe. Zależnie od składu chemicznego żeliwa właściwe pierwiastki stopowe w postaci odpowiednich żelazostopów dodawano do roztopionej i odtlenionej kąpeli metalowej. Modyfikację metalu przeprowadzano przed jego spustem do kadzi syfonowej, wygrzanej uprzednio do temperatury 500-600°C. W tabeli 1 obok składów chemicznych badanych gatunków żeliwa zamieszczono także dane dotyczące stosowanych materiałów wsadowych modyfikatorów i sposobu prowadzenia poszczególnych wytopów.

Dla wszystkich gatunków żeliwa przeprowadzano próbę lejukości, pomiary twardości, próby rozciągania, porównawcze próby ścieralności, badania metalograficzne, rentgenowską analizę fazową struktury osnowy metalicznej poszczególnych stopów oraz mikroanalizę rentgenowską wydzieleni węglkowych i osnowy metalicznej. Wszystkie przedsta-

wione dane pomiarowe są średnimi z wielokrotnie przeprowadzonych prób.

Pewną tradycyjną charakterystykę wytypowanych materiałów uzyskano badaniem ich lejułości /wg wskazań PN-61/ /H-04677/ oraz wyznaczeniem twardości i wytrzymałości na rozciąganie. Średnie wyniki tych oznaczeń przedstawiono w tabeli 2.

Odporność na zużycie stanowi jedną z bardzo ważnych własności materiałów przeznaczonych na elementy oczyszczarek śrutowych. Należy podkreślić, że ten typ zużycia jest jednym ze szczególnych rodzajów, które wg określenia P.Solskiego [5] jest ścieraniem metalu przez strumień ścierny. Ten rodzaj ścierania charakteryzuje się znaczną energią kinetyczną ziarn nadaną im przez nośnik, względnie bezpośrednio. Styk ziarn niszczących ze ścierną powierzchnią następuje w tym przypadku pod działaniem sił dynamicznych, natomiast praca ścierania wykonywana jest kosztem energii kinetycznej i dynamicznego zgniatania materiału. Z tego też względu przydatność materiału do tego szczególnego rodzaju zastosowań powinna być badana na odpowiednich stanowiskach doświadczalnych. Z uwagi jednak na brak takiego stanowiska pewną charakterystykę odporności na ścieranie uzyskano w próbie tarcia obrotowego na sucho, przeprowadzonej na maszynie Amsler, przy zastosowaniu prędkości obrotowej 400 obrotów/minutę. Droga tarcia w tych próbach wynosiła 5000 obrotów przeciwpróbki, co stanowi około 625 m. Materiałem przeciwpróbki była zahartowana stal 45, wykazująca twardość 55 jednostek HRC. Próby wykonywano stosując obciążenie wynoszące 400 i 600 N. Uzyskane w czasie prób ubytki wagi próbki i przeciwpróbki przeliczono na intensywność zużycia [5] wg wzoru

$$J = \frac{dZ}{dL} \quad /1/$$

gdzie: Z - zużycie, którego miernikiem jest ubytek wagi

L - droga tarcia.

Średnie wyniki tak przeprowadzonych prób, wraz z obliczonym dla tych warunków współczynnikiem tarcia przedstawiono w tabeli 3. Dla porównania podano również w tej tabeli analogicznie pomierzone wartości intensywności zużycia dla trzech gatunków żeliwa szarego.

Jak już wcześniej wspomniano przytoczone wyniki prób ścieralności traktowano jedynie orientacyjnie i porównawczo pomiędzy poszczególnymi badanymi materiałami, wiadomo bowiem [6-8], że najbardziej miarodajną oceną przydatności poszczególnych materiałów dla danych konkretnych zastosowań są ich próby eksploatacyjne.

W uzupełnieniu krótkiej charakterystyki badanych 5 gatunków żeliwa, w tabeli 4 przedstawiono ich mikrostrukturę w stanie lanym, a także wyniki identyfikacji rentgenowskiej ich osnowy metalicznej i węglików, /które na ogół nie są zgodne z danymi literaturowymi [9-11] oraz wyniki przeprowadzonej mikroanalizy wydzieleni węglikowych i

osnowy metalicznej. Ponadto podano tam również obliczone wartości stosunków procentowej zawartości chromu oraz molibdenu do zawartości węgla. Współczynniki te, [11] przydatne są nie tylko dla oceny zawartości chromu w węglkach, które decyduje o ich twardości, a tym samym także i odporności na zużycie, ale również o zawartości obu tych pierwiastków w osnowie metalicznej, a także pozwalają na ocenę dyspersji wydzielen węglkowych [12], która również odgrywa bardzo ważną rolę w procesie zużycia. [13]

Jak wcześniej wspomniano ze wszystkich wytypowanych gatunków żeliwa, wykonano serie doświadczalne przede wszystkim łopatek rzutowych, a także wirników rozdzielczych i tulei regulacyjnych i wysłano je do trzech pierwszych zakładów uwidoczniionych w tabeli 5, w których oczyszczarki śrutowe wykorzystywane są do oczyszczania konstrukcji stalowych. W urządzeniach tych używano śrutu o równomiernej i drobnej granulacji /tabela 5/, nie zanieczyszczonego piaskiem kwarcowym, ani innym twardym tworzywem. Jak widać z danych w tabeli 5 uzyskane w tych zakładach wyniki eksploatacyjne są bardzo wysokie, dorównujące, a nawet przewyższające żywotność stosowanych tam poprzednio tworzyw zachodnio-europejskich, a wielokrotnie wyższe od dotychczas stosowanych zamienników polskich.

Jednak w celu uzyskania pełniejszego porównania przydatności przemysłowej wytypowanych gatunków tworzyw zastosowano je również w oczyszczarkach śrutowych zamontowanych w odlewniach siedmiu dalszych zakładów, przedstawionych w dalszej części tabeli 5. W tej części tabeli uwidoczniiono również uzyskane tam wyniki badań eksploatacyjnych. Dla wyjaśnienia należy podkreślić, że warunki pracy oczyszczarek zainstalowanych do czyszczenia odlewów są znacznie trudniejsze od poprzednio opisanych. Głównymi czynnikami wpływającymi na znaczne obniżenie żywotności każdego stosowanego tam tworzywa jest duża niejednorodność granulacji stosowanego śrutu /2,5-6,5 mm/, jego znaczne nieraz zapylenie, a szczególnie zanieczyszczenie piaskiem kwarcowym, które jak widać z danych zamieszczonych w tabeli 5 dochodzić może niejednokrotnie do 40% /zakład VII i VIII/. Pomimo to jednak, jak wykazują wyniki badań eksploatacyjnych /tabela 5/ łopatki rzutowe wykonano z dwóch pierwszych gatunków żeliwa wytypowanych przez I.O. prawie zawsze przewyższały wyniki dotychczas uzyskiwane w poszczególnych zakładach i zależnie od zanieczyszczenia śrutu piaskiem kwarcowym wahały się od stukilkudziesięciu do kilkunastu godzin pracy, co stanowi wielokrotny wzrost żywotności tych elementów. Ponadto w jednym z zakładów zaistniała w pewnym okresie możliwość przeprowadzenia prób na stanowisku doświadczalnym przy użyciu śrutu odpylonego o bardziej jednorodnej granulacji. Wyniki tych prób ujęto także w tabeli 5.

Podkreślić przy tym należy, że próby wykonywane na stanowisku doświadczalnym różniły się dość znacznie od prób przemysłowych, ograniczono się tylko do pewnego stopnia zużycia materiału, w związku z tym uzyskiwane z niego wyniki nie mogą być bezpośrednio porównywane z próbami przemysłowymi. Niemniej jednak i te wyniki można w pewnym sensie traktować jako porównanie względne przydatności poszczególnych wytypowanych materiałów.

Biorąc pod uwagę całość prób eksploatacyjnych przeprowadzonych na łopatkach rzutowych stwierdzić należy, że spośród pięciu wytypowanych tworzyw, najlepsze rezultaty uzyskały pierwsze dwa gatunki żeliwa wysokochromowego. Także kalkulacja ekonomiczna przeprowadzona dla wytypowanych pięciu materiałów potwierdziła celowość zastosowania dwu pierwszych tworzyw, zdecydowanie eliminując tworzywo czwarte, jako najbardziej drogie oraz tworzywo III i V jako wymagające dodatkowo zastosowania obróbki cieplnej poprawiającej własności użytkowe tych żeliw.

Po pozytywnych wynikach prób eksploatacyjnych szczególnie łopatek rzutowych do śrutownic, częściowo z inicjatywy użytkowników tych łopatek, a częściowo z inicjatywy IO podjęto próby wykonania i sprawdzenia w praktyce zastosowania omawianego żeliwa na osłony, które należą również do najszybciej zużywających się elementów oczyszczarek, a wytwarzane były dotychczas ze stali 80G, poddawanej dodatkowej obróbce cieplnej.

Tak więc w IO odlano próbną partię tych wkładów z przeznaczeniem dla trzech użytkowników /Zakład II, III i IX/. Podobnie jak dla łopatek rzutowych stwierdzono znaczny wzrost ich żywotności, co widać również z wyników zamieszczonych w tabeli 5.

## 2.2. Rozszerzenie zastosowania żeliw trudno ścieralnych

W związku z powtarzającymi się pozytywnymi wynikami dobrej odporności na ścieranie dwóch pierwszych gatunków żeliwa wysokochromowego, postanowiono rozszerzyć jego zastosowanie na inne elementy konstrukcyjne, które można uzyskiwać na drodze odlewniczej. W tej sprawie zwrócono się do zakładu IX i w porozumieniu z działem remontowym wytypowano do prób następujące elementy:

1. Wyłożenie do zsympów i transporterów spieku w aglomerowni, będące płytami 2-względnie 4-otworowymi o wadze 30-45 kg. Dotychczas produkowano je ze staliwa Hadfielda i żywotności tych płyt wynosiła 2 miesiące. Płyty z zaproponowanego przez IO tworzywa zamontowano w najbardziej trudnych warunkach, gdzie dodatkowym czynnikiem niszczącym była temperatura około 300°C. Zgodnie z oficjalnym oświadczeniem zakładu IX płyty z nowego tworzywa wytrzymały w tych warunkach średnio 5 miesięcy, a nawet więcej.
2. Zamknięcia zasobników rudy i spieku także w aglomerowni zakładu IX. Dotychczas stosowano w tym miejscu również staliwo Hadfielda i żywotność jego była 8-9 mie-

sięcy. Żeliwo wysokochromowe pracuje od 24 miesięcy i próby trwają nadal.

3. Wyłożenie do zrzutni koksu gaszonego w postaci płyt o wadze 30 kg. Zrzutnia koksu znajduje się obok komór koksowniczych i na nią zsypywany jest koks po wyjeździe wozu gaśniczego z wieży gaśniczej. Dotychczas stosowane tworzywo na wyłożenie tej zrzutni wykazywało żywotność około 4-5 miesięcy. Płyty wykładzinowe z tworzywa trudno ścieralnych zaproponowanych przez IO pracują od 26 miesięcy i próby trwają nadal, a obserwacja płyt nie wykazuje większego zużycia, przy czym zauważono dodatkowo, że koks łatwiej zsypuje się z nich niż z dotychczas stosowanego tam wyłożenia z żeliwa  $Z1Cr1,3$ .

### 3. Żeliwa nisko i średniostopowe, które obok odporności na ścieranie wykazywać muszą odporność na wstrząsy cieplne i korozję

Tą grupą zagadnień IO interesuje się od 1975 r., kiedy HiL zgłosiła swe zapotrzebowanie na dobór materiału na wyłożenie wozów gaśniczych w koksowni.

Warunki pracy wyłożenia wozów gaśniczych w koksowni HiL są wyjątkowo trudne, gdyż narażone jest ono nie tylko na znaczną ilość wstrząsów cieplnych /144 cykli w ciągu 1 doby/ lecz także na bardzo szkodliwe korozyjne działanie wody używanej do gaszenia koksu, /która pracuje w obiegu zamkniętym i wykazuje znaczne ilości szkodliwych zanieczyszczeń/ oraz na ścieranie. Jednorazowo bowiem na wozie gaśniczym znajduje się około 14 ton koksu, który po ugaszeniu transportowany jest i zsypywany na zrzutnię koksu. Dodać należy, że w tych korozyjnie szkodliwych warunkach praca nie tylko wyłożenie, lecz cała konstrukcja nośna wozu gaśniczego, która również dość często ulega uszkodzeniu.

Dotychczas na wyłożenie wozów gaśniczych w HiL używano żeliwa niskochromowego  $Z1Cr1,3$ . Średnia żywotność tego wyłożenia obliczona na podstawie analizy danych wydziałowych wszystkich baterii koksowniczych wynosi 3,44 miesiąca i różni się znacznie dla poszczególnych baterii.

Na podstawie dokonanego przeglądu piśmiennictwa oraz wniosków z dyskusji, uwzględniając również zasadnicze założenie tzn. konieczność odpowiednio niskiej ceny tworzywa /wobec koniecznych ciągłych zmian wyłożenia/, wytypowano [14] 10 gatunków tworzyw, których proponowane granice składów chemicznych, materiały wsadowe i wskaźniki technologiczne przedstawiono w tabeli 6.

Własności wytrzymałościowe zaproponowanych tworzyw mierzono w postaci doraźnej wytrzymałości na rozciąganie i twardości. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tabeli 7. Ponadto wykonano również analizę metalograficzną badanych materiałów zarówno w stanie przed próbami eksploatacyjnymi jak i po ich zakończeniu.

Próby eksploatacyjne doświadczalnych partii wyłożenia wykonano w dwóch seriach na wozach gaśniczych obsługujących najgorszą partię baterii, gdzie średnia żywotność wyłożenia wynosiła 2,96 miesiąca oraz w innej partii baterii, gdzie średnia żywotność wyłożenia dotychczas stosowanego wynosiła 3,8 miesiąca.

Płyty wykładzinowe wyłożenia doświadczalnego zamontowane były każdorazowo w najbardziej narażonych na zużycie, środkowych partiach wozu gaśniczego.

Uzyskane wyniki badań eksploatacyjnych to w pierwszym przypadku wzrost żywotności wyłożenia z dotychczasowego 2,96 miesiąca na 4,8 miesiąca, z tym zaznaczeniem, że ten wóz gaśniczy został wycofany z obiegu nie ze względu na zużycie wyłożenia, lecz z uwagi na uszkodzenie konstrukcji nośnej wozu. Z wyników pomiarów zużycia wyłożenia, które zamieszczono w tabeli 8 /I seria badań eksploatacyjnych/ wnosić należy, że wyłożenie to mogłoby pracować znacznie dłużej.

Druga seria przeprowadzonych badań eksploatacyjnych, której wyniki także przedstawiono w tabeli 8 obejmuje dalszą partię wytypowanych materiałów, która pozwoliła na wzrost żywotności wyłożenia z dotychczasowego /przy tradycyjnym wyłożeniu/ wynoszącego 3,87 miesiąca na 7 miesięcy. W tej serii jednak wóz gaśniczy wycofany został z użycia ze względu na znaczne pęknięcia płyt wykładzinowych, które zaobserwowano szczególnie w niektórych materiałach doświadczalnych /tabela 8/.

Analiza dotychczasowych uzyskanych wyników pozwala zauważyć, że spośród 10 wytypowanych gatunków materiałów wybrać można co najmniej 4 gatunki, które charakteryzują się znacznie lepszymi wynikami od dotychczasowych, a także od pozostałych badanych gatunków jeśli chodzi o zmniejszenie stopnia zużycia.

Zaznaczyć należy, że prace nad doбором najbardziej odpowiedniego wyłożenia wozów gaśniczych w koksowni trwają nadal i wnosić należy, że uda się po ich zakończeniu wytypować bardziej jednoznacznie jakiś gatunek materiału, który znacznie zwiększy dotychczasową niską żywotność wyłożenia wozów gaśniczych w koksowni HiL.

Tabela 1

Skład chemiczny i parametry procesu metalurgicznego dla badanych gatunków żeliwa

Gatunek żeliwa	Założona skład chemiczny							Materiały wadowe	Modyfikacja	Temperatura
	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Inne %			
I	2,70- 2,90	0,50- 0,75	0,65- 0,80	do 0,09	do 0,03	28,5- 30,5	Mo: 1,30- 1,65	1. Złom stalowy: szyny, odpady 45L 2. Surówka 3. Żelazostopy 4. Złom elektrod grafit	CaSi28 + Ti	1. Przegrzania: 1460-1480°C 2. Zalewania: 1380-1390°C
II	2,40- 2,70	0,50- 0,75	0,90 1,60	do 0,10	do 0,03	26,0- 28,0	Mo: 0,95- 1,25 V: 0,3- 0,45	1. Złom stalowy szyny 2. Surówka 3. Żelazostopy 4. Złom elektrod grafitowych	CaSi28 + Ti	1. Przegrzania: 1460-1480°C 2. Zalewania: 1390-1400°C
III	3,40- 4,00	0,50- 0,90	0,60- 0,90	do 0,10	do 0,05	14,0- 18,0	Mo: 2,9-3,2 V: do 0,2	1. Złom stalowy odpady 45L 2. Surówka 3. Żelazostopy 4. Krytol	CaSi28 + Ti + V	1. Przegrzania: 1430-1450°C 2. Zalewania: 1370-1380°C
IV	3,80- 4,00	0,60- 0,90	0,40- 0,60	do 0,08	do 0,08	14,0- 16,0	Ni: 0,8 1,2 Mo: 4,0 5,0 V: 1,5 2,5 W: 1,4 1,6 Ti: 0,2-0,6	1. Surówka 2. Żelazostopy 3. Nikiel granulowany 4. Złom elektrod grafit.	CaSi28 + Ti	1. Przegrzania: 1450-1480°C 2. Zalewania: 1380-1390°C
V	3,30- 3,50	3,10- 3,40	10,0- 11,0	do 0,10	do 0,10	-	W: 0,15 0,80	1. Złom stalowy szyny 2. Surówka 3. Żelazostopy 4. Złom elektrod grafitowych	CaSi28 + Ti	1. Przegrzania: 1480-1500°C 2. Zalewania: 1380-1400°C



Zestawienie średnich wyników badań twardości, wytrzymałości  
na rozciąganie, lejności

Tabela 2

Rodzaj stopu	Badania lejności /ilość karbów/ <sup>x</sup>	Średnie własności mechaniczne	
		HRC	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>
I. Cr - 28-30% Mo - 1,3-1,5%	22	47,1	445
II. Cr - 26-28% Mo - 0,95-1,25% V - 0,3-0,45%	19,5	53,4	479
III. Cr - 14-18% Mo - 2,9-3,5%	23	40,47	228
IV. Cr - 14-16% Ni - 0,8-1,2% Mo - 4,0-5,0% V - 1,5-2,5% W - 1,4-1,5%	10	45,5	223
V. Mn - 10-11% W - 0,15-0,8%	12	49,0	143

Tabela 3

## Wyniki prób ścieralności

Oznaczenie gatunku badanego żeliwa	Materiał przeciw-próbki	Obciążenie P = 400 N			Obciążenie P = 600 N		
		Intensywność zużycia $J=dZ/dL$ g/m		Współczynnik tarcia	Intensywność zużycia $J=dZ/dL$ g/m		Współczynnik tarcia
		próbki	p. próbki		próbki	p. próbki	
I	Stal 45 HRC 55	$16,4 \times 10^{-6}$	$14,24 \times 10^{-6}$	0,479	$26,0 \times 10^{-6}$	przyrost $0,1 \times 10^{-6}$	0,400
II	"-	$9,9 \times 10^{-6}$	$14,20 \times 10^{-6}$	0,436	$14,8 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-6}$	0,408
III	"-	$10,08 \times 10^{-6}$	$30,88 \times 10^{-6}$	0,435	$28,10 \times 10^{-6}$	$17,7 \times 10^{-6}$	0,447
IV	"-	$8,3 \times 10^{-6}$	$4,10 \times 10^{-6}$	0,441	$18,4 \times 10^{-6}$	przyrost $7,5 \times 10^{-6}$	0,371
V	"-	$18,8 \times 10^{-6}$	przyrost $7,0 \times 10^{-6}$	0,445	$29,6 \times 10^{-6}$	przyrost $12,6 \times 10^{-6}$	0,369
Z120	"-	$13800 \times 10^{-6}$		0,645			
Z130	"-	$12416 \times 10^{-6}$		0,600			
Z140	"-	$11232 \times 10^{-6}$		0,590			

Tabela 4

## Mikrostruktura żeliwa odpornego na ścieranie

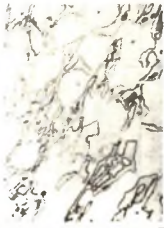
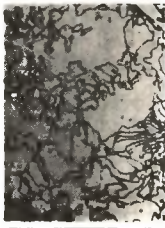



Charakterystyka stopu	Rodzaj stopu				
	I. Cr - 28-30% Mo - 1,3-1,5% C - 2,70-2,90%	II. Cr - 26-28% Mo - 0,95-1,25% C - 2,40-2,70%	III. Cr - 14-18% Mo - 2,9-3,5% C - 3,40-4,0%	IV. Cr - 14-16% Ni - 0,8-1,2% Mo - 4,0-5,0% V - 1,5-2,5% W - 1,4-1,6% C - 3,8-4,0%	V. Mn - 10-11% W - 0,15-0,80% C - 3,3-3,50%
Cr	10,54	10,59	4,32	3,84	-
Mo	0,54	0,37	0,88	1,15	-
Obraz Mikrostruktury					
Odcz. Pow.	Vilella 500x	Vilella 500x	Vilella 500x	Vilella 500x	Vilella 500x
Opis mikrostruktury	ferryt stopowy i głównie węgliki typu /Fe, Cr/ <sub>23</sub> C <sub>6</sub> rozmieszczone międzycytrycznie	ferryt stopowy i węgliki typu /Fe, Cr/ <sub>23</sub> C <sub>6</sub> /Fe, Cr/ <sub>7</sub> C <sub>3</sub> oraz węgl. Mo typu Me <sub>2</sub> C o charakter. kształt. eutektyki.	ferryt stopowy, perlit, węgliki pierwotne, węgliki eutektyczne	ferryt stopowy, węgliki pierwotne, węgliki eutektyczne, węgliki molibdenu	austenit, węgliki typu /Fe, Mn/ <sub>3</sub> C
Mikroanaliza /I przybliżenie/ wykazała:					
w węglkach:	Fe-25-30,5% Cr-43,0-64,0% Mo-0,75-1,30% C-5,25-6,30%  w osnowie: Fe-64-78% Cr-14-26% Mo-0,5-1,0% C-ok.0,30%	Fe-25,0-37,0% Cr-48,0-60,0% Mo-0,5-1,05% C-7,12-8,15%  w osnowie: Fe-64-80% Cr-16-18,5% Mo-0,5-1,6% C-ok.0,6%	pierwotnych: Fe-44,4-52,2% Cr-37,4-42,3% Mo-1,70-1,95% C-5,4-6,2%  eutektycznych: Fe-44,5-53,5% Cr-28,5-35,0% Mo-2,5-4,6% C-5,4-6,3%  w innych: Fe-51,2-68,5% Cr-28,5-40,7% Mo-1,6-4,8% C-5,4-6,5%  w osnowie: Fe-75-96% Cr-9-12% Mo-0,8-1,7% C-ok.1,0%	pierwotnych: Fe-42,0-43,0% Cr-37,5-38,2% Mo-3,0-6,0% V-6,25-7,30%  w innych: Fe-43-54% Cr-28-37% Mo-2,6-4,0% V-6,2-7,4%  w węglkach Mo: Mo-29,3-34,7% Cr-8,9-9,3% V-2,8-13,4%  zawartość węgla w węglkach była: 5-3-5,9%  w osnowie: Fe-85,9-87,8% Cr-6,5-6,8% Mo-1,2-1,9% V-0,6-0,8% C-0,4-0,6%	większych: Fe-68,0-98,0% Mn-8,8-10,0% W-0,25-1,20%  drobnych: Fe-78-90% Mn-6,6-11,5% W-0,3-0,4%  w osnowie: Fe-80-90% Mn-6,5-11,5% W-0,15-0,28%

Tabela 5

Wyniki badań eksploatacyjnych elementów śrutownic wykonanych z nowych gatunków żeliwa odpornego na ścieranie

Rodzaj przeprowadzonych prób eksploatacyjnych	Czas pracy w godzinach										
	Czyszczenie konstrukcji stalowych Śrut bez piasku kwarcowego o granulacji			Oczyszczarki zainstalowane w odlewniach. Śrut o zmiennej granulacji 2,5-6,5 mm z różną zawartością piasku kwarcowego							
	0,6-1,2 mm	2,0-3,0 mm		10 - 40% piasku						10-14% piasku	0% piasku
Rodzaj tworzywa	Zakład I	Zakład II	Zakład III	Zakład IV	Zakład V	Zakład VI	Zakład VII	Zakład VIII	Zakład IX	Zakład X	Zakład X Stanowisko doświadczal
I. Cr - 28-30% Mo - 1,3-1,5%	Łopatk 2000		Łopatk 261 Tuleje 151	Łopatk 126-228	Łopatk 170		Łopatk 18-40	Łopatk 30 Tuleje 144		Łopatk 12-25 Tuleje 50 Wirniki 40	Łopatk 45-66
II. Cr - 26-28% Mo - 0,95-1,25%		Łopatk 300	Łopatk 211 Tuleje 151 Wkłady proste 82	Łopatk 930-1060	Łopatk 160	Łopatk 57-63	Łopatk 24-40	Łopatk 36 Tuleje 144	Łopatk 42-70	Łopatk 8-21 Tuleje 60 Wirniki 40	Łopatk 45-66
III. Cr - 14-18% Mo - 2,9-3,5%				Łopatk 36-42						Łopatk 3-21	Łopatk 45
IV. Cr - 14-16% Ni - 0,8-1,2% Mo - 4,0-5,0% V - 1,5-2,5% W - 1,4-1,6%				Łopatk 126							
V. Mn - 10-11% W - 0,15-0,8%				Łopatk 50-90						Łopatk 4,0	Łopatk 8,3
Tworzywo dotychczas stosowane przez poszczególne zakłady na łopatk oraz jego żywotność w godzinach	Tworzywo zachodnio europejskie około 1000	Żeliwo niskostopowe 5-6% Cr, 0,3-0,5% Ni obrabiane cieplnie żywotność łopatk 20-30, tulei, wirnika i wkładów 50		Żeliwo sferoid. żywotność około 20	Żeliwo niskostopowe 5-6% Cr, 0,3-0,5% Ni obrabiane cieplnie o żywotności: 20-30    10-20    12    6			Żeliwo wysokostopowe 25-30% Cr 20	Żeliwo 13% Cr, 3,0% Mo obrabiane cieplnie żywotność 15-25		

Skład chemiczny, materiały wsadowe i wytyczne topienia 10 gatunków materiałów przeznaczonych na wyłożenie wozów gaźniczych w koksowni

Tabela 6

Gatunek żeliwa	Złożony skład chemiczny						Materiały wsadowe	Modyfikacja	Temperatura
	C	Si	Mn	P	S	Inne			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	0,15-0,25	0,20-0,50	0,50-0,80	max. 0,06	max. 0,06	Cr-4,0-6,0 Al-2,0-3,0	1. Złom stalowy 2. Fe-armco 3. Żelazostopy 4. Aluminium	Ce-w kadzi lub w piecu	1. Przegrzania 1600-1620°C 2. Zalewania 1520-1540°C
2.	0,30-0,40	0,17-0,37	0,50-0,80	max. 0,04	max. 0,04	Cr-0,6-0,9 Ni-1,3-1,8 Cu-do 0,3	1. Złom stalowy 2. Żelazostopy 3. Nikiel 4. Armco 5. Nawęglacz	-	1. Przegrzania 1660-1680°C 2. Zalewania 1580-1600°C
3.	3,20-3,50	2,10-2,30	0,60-0,80	max. 0,25	max. 0,10	Cu-1,2-1,6 Mo-0,25-0,60 Ti-0,08-0,12	1. Złom stalowy 2. Surówka 3. Żelazostopy 4. Nawęglacz 5. Miedź	Ti-w modyfi- katorze CaSi28+Ti w kadzi	1. Przegrzania 1440-1450°C 2. Zalewania 1360-1380°C
4.	3,20-3,50	2,10-2,30	0,60-0,80	max. 0,25	max. 0,10	Cu-1,2-1,6 Ti-0,08-0,12	1. Złom stalowy 2. Surówka 3. Żelazostopy 4. Nawęglacz 5. Miedź	Ti-w modyfi- katorze CaSi28+Ti w kadzi	1. Przegrzania 1440-1450°C 2. Zalewania 1360-1380°C
5.	3,30-3,50	3,10-3,40	10,0-11,0	do 0,10	do 0,10	W-0,50-0,80	1. Surówka 2. Żelazostopy	CaSi28+Ti w kadzi	1. Przegrzania 1480-1500°C 2. Zalewania 1380-1400°C
6.	3,40-3,60	3,45-3,65	9,0-11,0	max 0,18	max 0,028	Cu-1,20-1,80	1. Surówka 2. Żelazostopy 3. Miedź	Mg+Ce w kadzi	1. Przegrzania 1480-1500°C 2. Zalewania 1380-1400°C
7.	3,40-3,60	2,70-3,20	0,0-11,0	max 0,18	max 0,028	Cu-0,8-1,20	1. Surówka 2. Żelazostopy 3. Miedź	Al+CaSi28 w kadzi	1. Przegrzania 1400-1450°C 2. Zalewania 1380-1400°C
8.	3,20-3,40	2,20-2,50	0,60-0,80	max 0,25	max 0,10	Cu-1,5-1,8 Cr-0-4-0,60	1. Złom stalowy 2. Surówka 3. Żelazostopy 4. Nawęglacz 5. Miedź	CaSi28 +Si75 w kadzi	1. Przegrzania 1450°C 2. Zalewania 1380-1400°C
9.	3,20-3,40	2,5-3,0 po modyfi- kacji	0,60-1,10	max 0,25	max 0,10	Ca-1,5-1,8 Cr-0,8-1,20 Mo-0,30-0,50	1. Surówka 2. Złom stalowy 3. Żelazostopy 4. Nawęglacz 5. Miedź	CaSi28+Si75 w kadzi	1. Przegrzania 1480°C 2. Zalewania 1400-1380°C
10.	3,20-3,40	2,40-2,70	0,60-0,80	max 0,25	max 0,25	Cu-1,5-1,8 Cr-0,4-0,6	1. Surówka 2. Żelazostopy 3. Miedź	MgCu+Si75+ CaSi28+Ce w kadzi	1. Przegrzania 1480°C 2. Zalewania 1400-1380°C

Żeliwa stopowe odporne na ...

Tabela 7

## Właściwości wytrzymałościowe badanych materiałów

Nr materiału	Rodzaj tworzywa	Stan lany			Po wyżarzaniu			U w a g i		
		R <sub>m</sub> do N/mm <sup>2</sup>	HB			R <sub>m</sub> do N/mm <sup>2</sup>	HB			
1	Stalwo niskostopowe Cr, Al	42,6 39,0 34,7	213 219	222 219	219	48,2 46,8	255	252	252	Próbowane w I serii
2	Stalwo niskostopowe Cr, Ni, Cu	70,4 66,5 63,2	244 244	239 241	236 244	60,2 69,1	229	226	224	Próbowane w I serii
3	Żelwo niskostopowe Cu, Mo	29,5 36,5 34,1	241 239	234 231	234 226	27,8 29,0	167	172	172	Próbowane w I serii
4	Żelwo niskostopowe Cu	27,9 25,8 28,4	202 213	207 209	204 211	21,8 20,7 20,7	127	135	134	Próbowane w I serii
5	Żelwo wysokostopowe Mn, W	17,1 16,1 16,3	309 298	313 306	306 306					Nie stosowano wyżarzania
6	Żelwo wysokostopowe Mn, Cu /mod. Mg/	19,8 15,0 19,2	252 249	246 246	246 252					Nie stosowano wyżarzania
7	Żelwo wysokostopowe Mn, Cu	23,0 16,4 21,7	229 226	224 224	229 229					Nie stosowano wyżarzania
8	Żelwo niskostopowe Cr, Cu	25,6 24,4 25,5	209 200	202 211	211 211	24,1 26,8 22,4	187	191	191	Próbowano w I serii
9	Żelwo niskostopowe Cr, Cu, Mo	14,7 36,6 33,1	219 255	215 260	222 255	32,2 31,2 31,2	239	236	234	Próbowano w I serii
10	Żelwo niskostopowe Cu, Cr /Mg/	56,0 59,5 49,4	337 345	333 333	333 333	56,0 59,5 49,4				Nie stosowano wyżarzania

Wyniki prób eksploatacyjnych doświadczalnych płyt wykładzinowych do wozów gaśniczych

Tabela 8

Seria badań	Nr materiału	Średni pomiar grubości	Różnica grubości od nominalnej 25 mm	% zużycie w stosunku do grub. początk.	Opis i rodzaj zużycia oraz pęknięcia i ich usytuowanie	Waga płyt po oczyszczeniu kg	Różnica od wagi 41 kg	% zużycie na podstawie ubytku wagi	Średni proc. zużycia		
I seria badań eksploatacyjnych	1	16 14,5	9,2 11,5 10,25	41	Zużycie równomierne na całej powierzchni. Po trzy prostopadłe pęknięcia o długości 90-100 mm na każdej płycie	29,5 29,0	29,25	11,75	28,6	34,8	
	2	17,7 17,7	7,3 7,3	29,2	Zużycie równomierne bez pęknięć	31,0 31,5	31,25	9,0 8,5	9,75	23,7	26,45
	3	16,5 16,0	8,5 9,0	35,0	Zużycie równomierne. Trzy pęknięcia prostopadłe do krawędzi płyty o długości ok. 100 mm	29,2 29,9	29,55	10,8 10,1	11,45	27,9	31,45
	4	16,8 17,2	8,2 7,8	32	Zużycie równomierne. Po jednym pęknięciu prostopadłym na każdej płycie o długości ok. 120 mm	30,5 30,3	30,4	9,5 9,7	10,6	25,8	28,9
	8	18,25 18,75	6,75 6,75	27	Zużycie równomierne na całej powierzchni płyty. Brak pęknięć	35,5 33,5	34,5	4,5 4,5	6,5	15,8	21,4
	9	20,2 20,1	4,8 4,0	17,6	Nierównomierne zużycie, na środku płyty wgłębienie szerokości 50-60 mm i głębokości kilku milimetrów	25,5 28,0	28,75	14,5 12,0	14,25	34,0	25,8
	0	15,0 15,9	10,0 9,1	38,2	Nierównomierne wżery głębokości około 5-8 mm o polu 50x50mm. Brak pęknięć	29,0 29,5	29,55	11,0 10,5	11,45	21,9	30,1
II seria badań eksploatacyjnych	5	19,2 19,9	5,8 5,1	21,6	Widoczne wżłobienie w części środkowej płyt. 3 płyty popękane wzdłuż wżłobienia na pozostałych pęk. o długości 20-30 mm	40 39,81 42,0	śr. 40,6	Waga początkowa płyt 42 kg	3,3	12,55	
	6	17,1 18,5	7,9 6,5	28,8	Wżłobienia w części środkowej płyt. 7 płyt popękanych na 3-4 części, na pozostałych pęknięcia prostopadłe do kraw. o dług. 20-30 mm	32,0 32,0 29,0	30,5	11,5	27,4	28,1	
	7	19,7 19,5	5,3 5,5	21,6	W części środkowej 2 płyt wżłobienia głęb. 2 mm. 5 płyt popękanych. 2 płyty pęknięcia prostopadłe do krawędzi długości ok. 40 mm	40,8 32,2 34,0	39,0	3,0	7,14	14,31	
	10	18,5 17,9	6,5 7,1	26,6	Na kilku płytach pęknięcia prostopadłe do krawędzi płyty długości 40 mm	30,0 35,6 35,6	32,8	0,2	21,0	24,25	
	0 Hil	18,5 17,9	6,5 7,1	26,6	Wżłobienia na powierzchni płyt w środkowej ich części. Brak pęknięć	35,6 35,0 35,0	35,2	6,2	10,2	21,4	

## LITERATURA

1. Praca zbiorowa: Prace studyjne w zakresie żeliwa stopowego na odlewy o wysokiej odporności na ścieranie, wysokiej żaroodporności oraz podwyższonej szczelności i jednorodności budowy wewnętrznej. Zebranie literatury cz.I. Sprawozdanie IO. 1972
2. Praca zbiorowa: Prace studyjne w zakresie żeliwa stopowego na odlewy o wysokiej odporności na ścieranie, wysokiej żaroodporności oraz podwyższonej szczelności i jednorodności budowy wewnętrznej. Zebranie literatury cz.II. Sprawozdanie IO, 1974
3. Bryniarska J., Gwiżdż A., Pstuś W., Rojek A., Machynia E.: Badania żeliwa stopowego na elementy śrutownic. Sprawozdanie IO, 1975
4. Bryniarska J., Gwiżdż A., Pstuś W.: Zastosowanie wysokochromowego żeliwa odpornego na ścieranie. Sprawozdanie IO, 1978
5. Solski P.: Zużycie ściernie metali. WNT, Warszawa 1968
6. Lamb A.D.: Wear resitance of cast iron. The British Foundryman. 1976. t.69, s.279.
7. Milgaard J.: A simulative wear study critically revieved. Wear. 1977. t.41, nr 1, s.57.
8. Czichos H.: A systems analysis data sheet for friction and wear tests and an outline for simulative testing. Wear. 1977. t.41, nr 1, s.45.
9. Henke F.: Verschleissbestendigkeit weisse Gusseisen. Giesserei-Praxis. 1973. nr 1, s.1.
10. Röhrig K.: Die verschleissfesten martensitischen Chrom.-Molybdän Gusseisen. Giesserei - Praxis. 1971. nr 2, s.21.
11. Maratray F., Useglio - Nanot R.: Factors affecting the structure of chromium and chromium - molybdenum white irons. Climax-Molybdenum SA. 1975.
12. Matsubara Y., Matsuda K.: Eutectic Structures of High Chromium Cast Iron. IMONO. 1976. t.48, nr 11, s.706.
13. Strizik P: Verschleissverhalten eutektischer Chromkarbide in Schlagbeanspruchten Chrom - Molybdän - legierten Gusswerkstoffen. Giesserei - Rundschau 1976. t.33, nr 12, s.129.
14. Bryniarska J., Gwiżdż A., Pstuś W.: Opracowanie tworzywa i technologii odlewów wykładzin wozów gaśniczych dla koksowni. Sprawozdanie IO. 1977.



## WEAR RESISTING ALLOYED CAST IRONS AND THEIR INDUSTRIAL USES

### Summary

The paper discusses two separate groups of problems, namely selection of materials for rapidly wearing parts of shot blasting equipment where wear processes predominate and selection of materials for coke quenching car linings where thermal shock resistance plays the leading role.

## ИЗНОСОСТОЙКИЙ ЛЕГИРОВАННЫЙ ЧУГУН И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### Резюме

В статье представляются две отдельные группы проблем, а именно, подбор материала для быстро изнашивающихся дробеметных деталей, процессы износа в которых доминирующие, а также подбор материала для покрытий тушильной поковки в коксохимических заводах, где первоочередную роль играет прежде всего стойкость материала к термическим ударам.