

Mariusz ŁABĘCKI,
Instytut Odlewnictwa
Politechniki Śląskiej

PRÓBA DOBORU TWORZYWA NA KULE DO MŁYNÓW

Streszczenie: W pracy zbadano cztery rodzaje żeliwa chromowego przeznaczonego na kule do młynów. Badania twardości, rozkruszalności, odporności na ścieranie i metalograficzne wykonano dla kul surowych i po różnych obróbkach cieplnych. Wyniki optymalne sprawdzono w próbach ruchowych.

1. Wstęp

Kwestia doboru materiałów na mielniki oraz produkcja ich przez przemysł krajowy nie jest do tej pory rozwiązana. Produkcja kul /lub cylpebsów/ przez nasz przemysł odlewniczy opiera się na zwykłym żelwie białym lub zabilonym i stanowi raczej produkcję uboczną. Jakość otrzymanych mielników jest bardzo niska, a poprawą ich jakości i zastosowaniem się do masowej produkcji przemysł nie jest zainteresowany. Z tego powodu główni użytkownicy mielników - przemysł cementowy oraz zakłady przeróbki rud metali - opierają się przede wszystkim na wyrobach importowanych z Bułgarii lub też /część-ciej/ w krajów kapitalistycznych /Belgia, Hiszpania/. Jak szacuje się, roczne zapotrzebowanie na mielniki przez nasz przemysł przekracza kilkadziesiąt tysięcy ton rocznie. Zużycie mielników krajowej produkcji, na przykładzie przemysłu cementowego, wynosi u nas przeciętnie ok. 800 G/t cementu, podczas gdy w krajach wysokoprzemysłowych wskaźnik ten wynosi ok. 20 G/t lub nawet i mniej. Wobec zużywania się mielników, ta ilość materiału jest bezpowrotnie stracona, gdyż nie da się tego zwrócić nawet w postaci złomu.

Z powyższego względu wszelkie prace nad wprowadzeniem do produkcji krajowej odlewania mielników o odpowiedniej jakości, mają swoje pełne uzasadnienie.

2. Wymagania i materiały na mielniki

Charakter pracy mielnika określa konieczność jego bardzo wysokiej odporności na ścieranie. W zależności od wielkości młyna /jego średnicy/ i ilości obrotów, mielniki bądź to zsuwają się kaskadowo, bądź też są wynoszone do pewnej wysokości, z której

spadając kruszą mielony materiał. Z analizy pracy młyników wynika, że są one narażone na duże obciążenia dynamiczne. Dlatego też materiał na odlewy powinien charakteryzować się nie tylko dobrą odpornością na ścieranie, ale również i wysoką odpornością na obciążenia udarowo-zmęczeniowe.

Te dwa zasadnicze warunki eksploatacyjne uzupełnić można warunkami technologicznymi i ekonomicznymi, jak np. łatwość masowej produkcji z możliwie tanich materiałów.

Dobry młynik nie może posiadać wewnątrz jam skurczowych lub rzadziny i zużywać się musi równomiernie. Dlatego też nie tylko dobranie materiału jest ważne, ale także opracowanie odpowiedniej technologii odlewania /nadlewy-zasilacze/ oraz odpowiedniej obróbki cieplnej.

Z powyższego krótkiego omówienia widać, że rozwiązanie tego problemu - szczególnie dla produkcji masowej nie jest łatwe.

Materiałów odpornych na zużycie, w chwili obecnej jest sporo [1-7,9], o czym świadczą przykładowo zebrane dane w tabelach 1-3.

Tabela 1

Niskochromowe żeliwa odporne na zużycie [5]

Nr	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
1	3,15	0,71	0,40	-	2,11	3,81	2,02
2	3,15	1,44	0,40	-	1,96	3,93	1,95
3	3,06	0,69	0,42	1,02	1,93	3,81	1,95
4	3,19	0,72	0,41	-	2,01	3,00	1,99
5	3,09	0,68	0,41	-	1,93	1,93	2,00
6	3,19	1,07	0,39	0,99	2,06	1,92	1,96
7	3,21	1,01	0,41	0,99	2,04	2,86	1,98
8	2,81	1,00	0,39	0,91	2,07	1,91	1,96

Podane składy chemiczne żeliwa typu 3Mo-2Cr-2Cu w tabeli 1 posiadają względnie niskie zawartości dodatków stopowych i mogą być otrzymywane z żeliwiaka - co stanowi ich zaletę. Wadą ich jest jednak to, że oprócz wysokiej twardości po odpowiedniej obróbce cieplnej, nie posiadają odpowiednio dobrych własności przy obciążeniach udarowych. Drugą wadą jest konieczność wprowadzenia niklu, który w znaczny sposób poprawia te własności.

Zbliżony do poprzednich skład chemiczny posiadają żeliwa typu "3-2-1", których skład chemiczny podano w tabeli 2.

Tabela 2

Żeliwo typu "3-2-1-" [2]

Odmiana	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
zwykła	3,3-3,6	0,3-0,6	0,5-0,8	2,75-3,25	1,5-2,0	0,7-1,1
specjalna	3,4-3,65	0,25-0,5	0,5-0,8	1,50-2,25	1,0-1,5	0,4-1,0

Jak widać w tabeli 2 i tutaj nie udało się skutecznie wyeliminować niklu, a tylko obniżyć ilość molibdenu.

Żeliwa te zbliżone są składem chemicznym do popularnych żeliw typu Ni-Hard [7], do niedawna stosowanych na mielniki, a szczególnie na wykładziny do młynów.

Drugą grupę stanowią żeliwa średniochromowe, przeważnie martenzytyczne, których przykłady podano w tabeli 3.

Tabela 3

Martenzytyczne żeliwa średniochromowe [9, 5]

Oznaczenie	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Inne
15Cr-3Mo	1,2-3,6	0,5-1,0	14-16	0-1,0	2,0-3,0	0-1,0 Cr
12Cr-Mo	3,0-3,5	0,5-0,8	11-14	0-1,0	0,5-1,0	0-1,0 Cu
15Cr-5Mn	2,6-3,0	4,5-5,2	12-18	-	-	-
12Cr-2V	1,2-2,4	0,3-1,5	10-13	-	0-1,0	0-4,0V
15Cr-2Mo-Cu	2,8-3,5	0,6-0,9	14-16	-	1,9-2,2	0,8-1,2Cu

Żeliwa zestawione w tabeli 3 posiadają krzem w ilości nie przekraczającej 0,8%. Żeliwo "15-3" posiada cztery odmiany w zależności od ilości węgla

XHC - 3,6 - 4,2 %

HC - 3,2 - 3,6 %

MC - 2,8 - 3,2 %

LC - 2,4 - 2,8 %

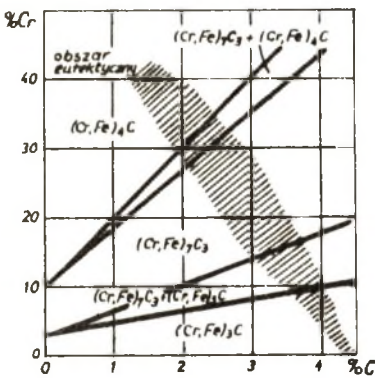
W Związku Radzieckim opatentowano szereg stopów odpornych na ścieranie - zebrano je w tabeli 4.

Tabela 4

Żeliwa odporne na ścieranie opatentowane w ZSRR

Nr patentu	C	Si	Mn	Cr	Mo	
388051 kl C22c	2,7-3,8	1,3-2,5	1,5-1,9	12-14	1,5-1,9	1,5-2,5 Cu
359294 kl C22c	2,2-2,7	0,9-1,5	-	4,5-5,5	-	1,7-2,3 Ni
378492 kl C22c	2,3-4,0	1,2-3,0	1,5-5,0	11-18	-	0,2-2,5 V
378488 kl C22c	3,4-3,8	0,8-1,2	0,8-1,5	0,6-1,0	-	0,3-0,4 Ti
377395 kl C22c	2,6-3,1	1,1-1,8	4,5-5,2	-	-	2,5-4,0 Al 0,2-0,5 Ti
361216 kl C22c	3,0-4,0	2,0-2,5	0,5-1,0	0,4-0,8	-	1,2-1,0 Ni 0,4-1,0 Cu do 0,2 B
378494 kl C22c	2,0-2,5	1,5-2,2	0,5-0,9	10-14	1,7-2,5	0,1-0,4 Cu
279666 kl C22c	2,2-3,9	0,3-1,5	0,8-2,5	12-20	-	1,0-3,0 W

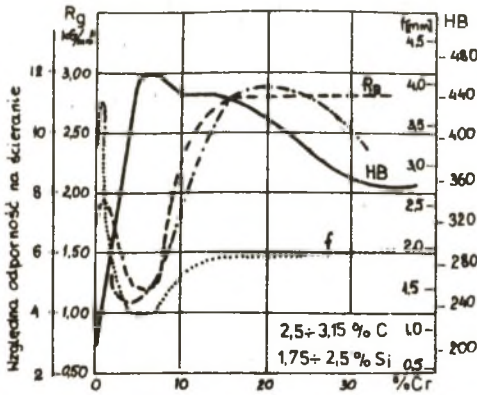
Na mielniki stosuje się obecnie żeliwa o średniej zawartości chromu /około 12%/, gdyż dopiero ta ilość przy odpowiedniej ilości węgla, gwarantuje uzyskanie węglików typu Me_7C_3 . Węgliki te charakteryzują się bardzo wysoką twardością, a przez to i dobrą odpornością na ścieranie. Zależność występowania typu węglików od % zawartości chromu i węgla pokazano na rys.1. Stwierdzono również [8], że obecność węglików nad-eutektycznych /niezależnie od typu/ powoduje uzasadnioną kruchość stopu, dlatego też obszar stopów na mielniki /wg rys.1/ nie może przekraczać zakresu eutektyki. Uzasadnienie określonej ilości chromu znajduje się również na rys.2, na którym pokazano zmianę niektórych własności stopu w zależności od % Cr.



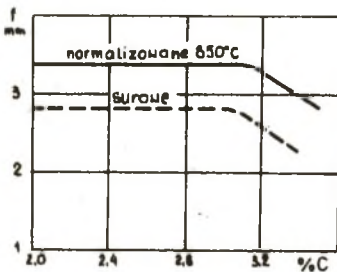
Rys.1 Zakres występowania węglików w żeliwach chromowych ²

Ilość węgla nie może przekroczyć zawartości eutektycznej, w zależności od ilości chromu dochodzi ona do około 3%. Wzrost zawartości

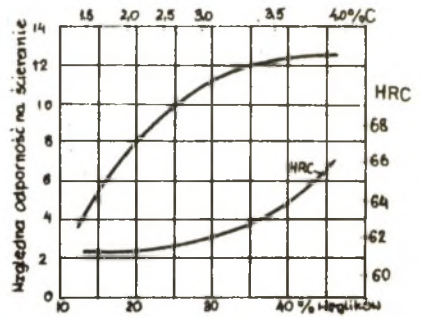
węgla powoduje wzrost twardości żeliwa, a przez to wzrost odporności na ścieranie, pokazano to na rys.3. Duże ilości węgla są również korzystne ze względów odlewniczych. Natomiast obserwuje się spadek własności plastycznych np. strzałki ugięcia /rys.4/.



Rys.2 Wpływ chromu na zmianę niektórych własności żeliwa [2,3]



Rys.4 Wpływ ilości węgla na strzałkę ugięcia żeliwa Cr-Mn [3]



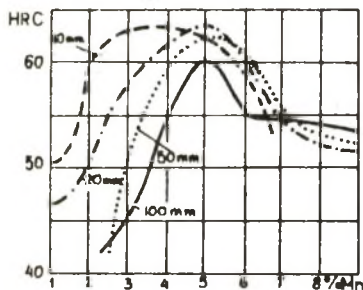
Rys.3 Wpływ ilości węgla i węglików na zmianę własności żeliwa Cr-Mo [3]

Niewątpliwie niekorzystny wpływ na własności mechaniczne, szczególnie przy obciążeniach uderowych ma krzem. Pierwiastek ten przeciwdziała węglilotworczemu działaniu chromu, powoduje większą stabilizację ferrytu, dlatego też ilość krzemu jest zawsze poniżej 1%. Widać to chociażby z tabeli 1-4.

Bardzo ważną rolę odgrywają dodatkowe pierwiastki stopowe, które stabilizują austenit i pozwalają uzyskać w żeliwie osnowę martenzytyczną lub bainityczną.

Pierwiastkiem takim jest mangan, nikiel, miedź oraz molibden. Nikiel, jako pierwiastek deficytowy na ogół nie jest stosowany, natomiast w jego miejsce stosuje się miedź. Jak wiadomo, pierwiastek ten może być zamiennikiem niklu tylko w pewnym ograniczonym zakresie /do około 2 %/, a działanie jego jest znacznie słabsze. Z tego względu, niezależnie od miedzi, zwiększa się zawartość procentową manganu. Istnieje także typ żeliwa 15Cr-5Mn /tabela 3/ o stosunkowo wysokiej zawartości manganu.

Tak wysoka zawartość tego dodatku stopowego jest uzasadniona dużym wzrostem twardości. Wpływ manganu na wzrost twardości w zależności od grubości ścianki odlewu /po hartowaniu/ pokazano na rys.5. Niewątpliwie najcenniejszym dodatkiem stopowym jest molibden. Pierwiastek ten stabilizuje węgliki, wchodząc w niewielkiej ilości do



Rys.5 Wpływ manganu na twardość żeliwa Cr o różnych grubościach ścianki 3

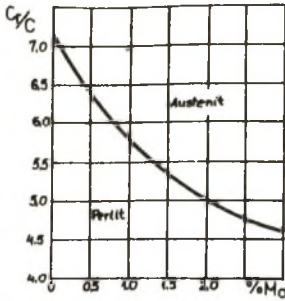
zmniejszyć rozkruszalność pod wpływem obciążeń dynamicznych. Istotną sprawą w projektowanej obróbce jest uzyskanie martenzytycznej /z ew. niewielką ilością austenitu szczątkowego/ struktury osnowy, w której są osadzone węgliki. Podczas obróbki cieplnej węgliki w zasadzie pozostają bez zmiany, natomiast osnowa w zależności od szybkości studzenia /a więc i od grubości odlewu/ może mieć różną strukturę. Jednym z mierników stabilizacji austenitu jest stosunek Cr/C. Im jest on większy, tym większe jest prawdopodobieństwo otrzymania austenitu. Stabilność tę można znacznie zwiększyć przez dodatek takich pierwiastków jak mangan, nikiel, miedź i molibden. Zwiększenie tej stabilności jest szczególnie ważne i korzystne przy dużych grubościach odlewu. Przykład zwiększenia stabilności austenitu pod wpływem molibdenu pokazano na rys.6, a uwzględniając dodatkowo wpływ grubości ścianki odlewu - na rys.7 podczas chłodzenia na powietrzu. Przy stygnięciu odlewu w formie często otrzymuje się perlityczną strukturę osnowy, ale wystarczy próbkę ogrzać i wytrzymać w temperaturze około 900 - 950°C a następnie ochłodzić na powietrzu, aby otrzymać austenit lub struktury hartowania. Zjawisko to łatwo uzasadnić na podstawie wykresów CTP_c. Dla przykładu na rys.8 pokazano taki wykres dla żeliwa chromowego bez molibdenu i z dodatkiem około 1,5 % Mo.

Celem obróbki cieplnej jest zmiana struktury osnowy na martenzytyczną z ewentualnymi niewielkimi ilościami austenitu szczątkowego. Niezależnie od martenzytu mogą pojawić się bardzo dobre i liczne wtórne węgliki. Idealnym przypadkiem będzie możli-

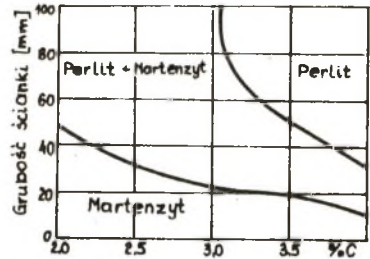
węglików Me_7C_3 , a dzięki obniżeniu krytycznej szybkości hartowania pozwala na uzyskanie struktury martenzytycznej /lub austenitycznej/ w surowym odlewie. Jednocześnie powoduje on widoczną poprawę własności plastycznych osnowy żeliwa oraz zwiększa odporność na uderzenia cieplne.

Jednym z podstawowych warunków otrzymania mielników wysokiej jakości oraz właściwego wykorzystania możliwości wieloskładnikowego żeliwa, jest obróbka cieplna. Pozwala ona bowiem podwyższyć ogólną twardość materiału, a tym samym zwiększyć odporność na zużycie oraz

wość hartowania na powietrzu, co możliwe jest na ogół dla mniejszych grubości odlewu. Przy dużych odlewach zachodzi konieczność hartowania np. w oleju.



Rys.6 Wpływ ilości molibdenu i stosunku Cr/C na strukturę żeliwa [3]



Rys.7 Wykres strukturalny żeliwa Cr-Mo chłodzonego na powietrzu [3]

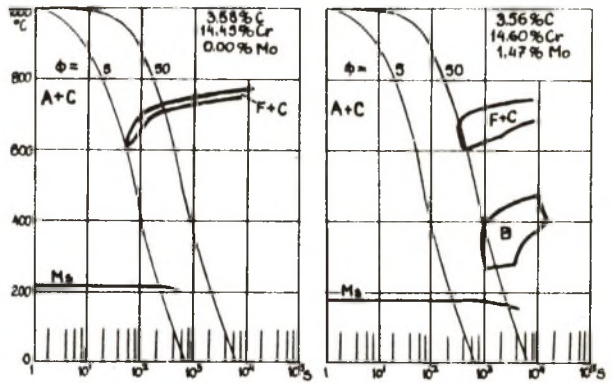
Po hartowaniu nieodzowne jest odpuszczenie. Powoduje ono likwidację naprężeń hartowniczych oraz spadek twardości. Spadek ten nie powinien być znaczny /do około 600 HV/, natomiast własności sprężyste i plastyczne znacznie się zwiększają.

Przykładowo dla żeliwa typu "15-3" jest następujący przebieg obróbki cieplnej [2]:

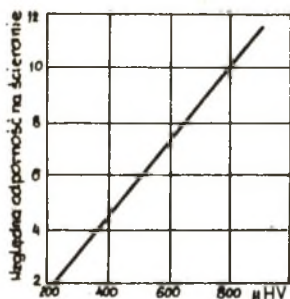
- powolne ogrzanie do temperatury 950°C
- wytrzymanie w czasie 1 godziny na każde 25 mm grubości
- ochłodzenie na powietrzu
- odpuszczenie w temperaturze 200-260°C

Tak obrobione przedmioty powinny mieć twardość 58 - 67 HRC.

Obecnie odporność na ścieranie koreluje się z twardością na ogólną lecz mikrotwardością osnowy. Przykład takiej zależności pokazano na rys.9.



Rys.8 Krzywe CTP_c dla żeliwa Cr z różną zawartością Mo 10,11



Rys.9 Wpływ mikrotwierdości osnowy żeliwa Cr-Mo na odporność na ścieranie [11]

3. Badania własne

3.1. Dobór stopów i założenia pracy

W doborze materiałów na mielniki oparto się na tworzywach dotychczas stosowanych w przemyśle, bądź też na podstawie badań wcześniejszych, przeprowadzonych w Instytucie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej. Do badań wybrano cztery stopy:

1. Z1Cr15CuSb - żeliwo niskostopowe podobne do dotychczas stosowanego na cylpebsy przez przemysł krajowy lecz wzbogacone w antymon - składnik zwiększający odporność na zużycie.

2. Z1Cr15MoV - żeliwo średniostopowe, analogiczne do "15-3", w którym częściowo zredukowano molibden a wprowadzono wanad. Skład chemiczny zbliżony jest do mielników produkcji hiszpańskiej.

3. Z1Cr15Mn2,5 - żeliwo średniostopowe, w którym stabilizatorem austenitu jest mangan. Żeliwo zbliżone do "15Cr-5Mn" /tabela 3/.

4. Z1Cr25Cu - żeliwo wysokochromowe opracowane w Instytucie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej i sprawdzone w przemyśle na elementy części maszyn szybko zużywających się.

Powyższe cztery żeliwa badano na rozkruszalność, twardość, ścieralność oraz strukturę w stanie surowym po odlaniu i po różnych obróbkach cieplnych.

3.2. Wykonanie próbek

Ze względu na możliwość sprawdzenia ww. materiałów w próbach ruchowych w młynach kulowych, materiał do badań odlano w postaci kul o średnicach 40, 60 i 70 mm. Wszystkie badania laboratoryjne oraz obróbkę cieplną przeprowadzono na kulach o średnicy 40 mm. Metal topiono w piecu łukowym o pojemności 250 kg, a następnie rozlewano do form płaskowych /na mokro/. Widok gotowego odlewu pokazano na rys.10.

3.3. Analiza chemiczna i obróbka cieplna

Wyniki analizy chemicznej czterech badanych żeliw zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Skład chemiczny badanych żeliw

Oznaczenie	Żeliwo	Skład chemiczny %							
		C	Si	Mn	Cr	Cu	Mo	V	Sb
A	Cr15CuSb	2,55	1,25	0,92	2,49	1,04	-	-	0,2
B	Cr15MoV	2,19	1,23	2,42	15,6	-	0,52	0,71	-
C	Cr15Mn2,5	2,15	2,39	2,80	15,0	-	-	-	-
D	Cr25Cu	2,76	1,17	0,86	25,3	1,02	0,28	-	-

Na podstawie wstępnych prób przeprowadzono obróbki cieplne kul \emptyset 40 dla wszystkich rodzajów żeliwa z wyjątkiem stopu A, który wykazał najlepsze własności w stanie surowym po odlaniu. Poszczególne żeliwa i obróbki cieplne oznaczono symbolami wg następującego klucza:

- A - żeliwo Z1Cr1,5CuSb - surowe
- B - żeliwo Z1Cr15MoV - surowe
- B1 - 950°C /1 godz./ powietrze
- B2 - 950°C /1 godz./ mgła wodna
- B3 - 900°C /1 godz./ woda
- B4 - 900°C /1 godz./ woda + 250°C /0,5 godz./ powietrze
- B5 - 900°C /1 godz./ woda + 300°C /0,5 godz./ powietrze
- B6 - 900°C /1 godz./ woda + 350°C /0,5 godz./ powietrze
- B7 - 900°C /1 godz./ woda + 300°C /0,5 godz./ powietrze
- C - żeliwo Z1Cr15Mn1,5 - surowe
- C1 - 950°C /0,5 godz./ powietrze
- C2 - 900°C /1 godz./ powietrze
- C3 - 900°C /8 godz./ powietrze
- C4 - 950°C /2 godz./ powietrze + 900°C /0,5 godz./ powietrze
- C5 - 950°C /1 godz./ olej
- C6 - 950°C /1 godz./ olej + 300°C /0,5 godz./ powietrze
- D - żeliwo Z1Cr25Cu - surowe
- D1 - 950°C /2 godz./ powietrze
- D2 - 950°C /3 godz./ powietrze

3.4. Wyniki badań

Badania rozkruszalności przeprowadzono pod kafarem o ciężarze $Q = 432 \text{ N} / 50 \text{ kg}$ w ten sposób, że w przypadku pęknięcia kuli, dla następnej wysokości spadku "h" zmniejszono, a w przeciwnym zwiększano. użytą energię obliczano każdorazowo ze wzoru

$$E_r = Q \cdot h$$

lub w odniesieniu do objętości kuli

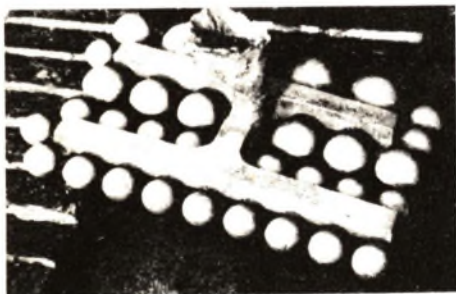
$$E_v = \frac{Q \cdot h}{V}$$

Do prób rozkruszalności użyto co najmniej 10 kul każdego rodzaju, a z otrzymanych wyników obliczono średnie zestawione w tabeli 6.

Badania twardości wykonano na odłamkach kul po próbie rozkruszalności w różnych miejscach na przekroju dla zbadania zmian w zależności od odległości od brzegu. Stwierdzono bardzo niewielkie zmiany. Pomiar twardości wykonano metodą Vickersa przy obciążeniu 491N /50 kG/. Średnie wyniki z co najmniej pięciu pomiarów zestawiono w tabeli 6.

Badania ścieralności wykonano na urządzeniu Skoda-Savine zgodnie z PN-67/M-04306. Próby przeprowadzono przy obciążeniu 49N /5 kG/, 1000 obr/min, czasie 3 min, oraz w mokro /roztwór chromianu potasu/. Długość wytarcia mierzono okularzem $m = 2,75$. Wyniki odczytano z tabeli normy jako objętościowe zużycie V_L w $1/\text{mm}^3$. Wartości średnie z czterech pomiarów podano w tabeli 6.

Badania strukturalne wykonano na odłamkach kul po próbie rozkruszalności. Badaniom poddano wszystkie kule, a wybrane struktury pokazano na rys.11-17.



Rys.10 Odlew kul

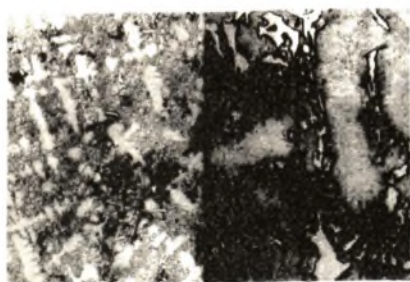


Rys.11 Struktura kuli z żeliwa
ZiCr1,5CuSb w stanie surowym
po odlaniu. Traw. HNO_3 Pow.
100x i 500 x

Tabela 6

Wyniki badań kul

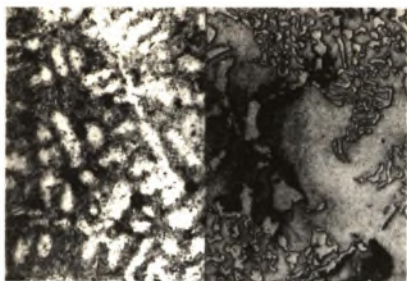
Próbka	Rozkruszalność		Twardość HV50	Ścieralność V_L
	E_r	E_v		
A	89,5	2,57	483	14,69
B	128,8	3,82	474	20,36
B1	162,1	4,77	740	11,43
B2	157,3	4,65	766	9,78
B3	124,5	3,85	831	7,85
B4	211,6	6,24	761	10,59
B5	202,2	5,98	753	11,03
B6	208,1	6,19	744	11,28
B7	139,0	4,16	713	13,10
C	196,6	5,73	368	21,01
C1	95,5	2,80	628	13,35
C2	110,9	3,24	696	12,23
C3	144,0	4,26	680	11,31
C4	144,6	4,29	570	10,51
C5	153,7	4,58	502	9,00
C6	156,9	4,68	494	9,87
D	234,3	6,98	593	12,02
D1	176,2	5,22	693	9,56
D2	134,2	4,00	741	7,73



Rys.12 Struktura kuli z żeliwa ZrCr15MoV w stanie surowym po odlaniu. Traw. kw.pikr. Pow.100x i 500x



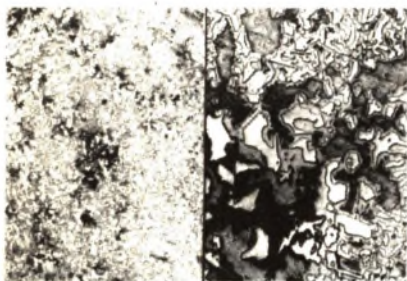
Rys.13 Struktura kuli z żeliwa ZrCr15MoV po optymalnej obróbce cieplnej. Traw.kw.pikr. Pow.100x i 500x



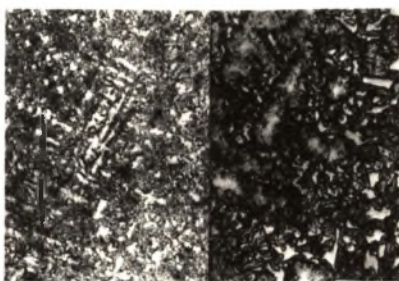
Rys.14 Struktura kul z żeliwa Z1Cr15Mn2,5 w stanie surowym po odlaniu. Traw. HNO_3 Pow.100x i 500x



Rys.15 Struktura kul z żeliwa Z1Cr15Mn2,5 po optymalnej obróbce cieplnej. Traw. HNO_3 Pow.100x i 500x



Rys.16 Struktura kul z żeliwa Z1Cr25Cu w stanie surowym po odlaniu. Traw.kw.pikr. Pow.100x i 500x



Rys.17 Struktura kul z żeliwa Z1Cr25Cu po optymalnej obróbce cieplnej. Traw.kw.pikr. Pow.100x i 500x

3.5. Próby eksploatacyjne

Kule z badanych żeliw po optymalnej obróbce cieplnej poddano badaniom eksploatacyjnym w młynie doświadczalnym. Miarą trwałości kul było ich zużycie przypadające na 1 t mielonego materiału. W efekcie tych badań stwierdzono, że zużycie wynosiło:

0,27 G/t - dla kul Z1Cr15MoV /B4/

0,34 G/t - dla kul Z1Cr15Mn2,5 /C4/

4. Omówienie wyników i podsumowanie

Przedstawione wyniki badań laboratoryjnych pozwalają w dostatecznym stopniu ocenić materiały na kule do młynów. Otrzymane wyniki potwierdzają zależność, że wzrost twardości powoduje zmniejszenie zużycia, a to z kolei znajduje uzasadnienie w strukturze. Zmiany rozkruszalności nie da się powiązać z twardością, gdyż na ogół materiały tward-

sze posiadają większą kruchość. Zaprzeczeniem tego jest żeliwo Z1Cr15MoV, które w stanie surowym po odlaniu posiada najgorsze własności. Dopiero po obróbce cieplnej poprawia się rozkruszalność, twardość i odporność na ścieranie.

Z przebadanych żeliw niewątpliwie najgorsze własności posiada żeliwo Z1Cr1,5CuSb. Wskutek wydzielenia grafitu /rys.11/ jakości jego nie da się poprawić obróbką cieplną. W pozostałych żeliwach ocena może być różna, w zależności od przyjętego kryterium. Jeżeli przyjmować za kryterium różne własności, to stopy można uszeregować, jak zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7

Kolejność najlepszych wyników

Rozkruszalność	Twardość	Ścieralność
D - 6,98	B3 - 831	D2 - 7,73
B4 - 6,24	B2 - 766	B3 - 7,85
B6 - 6,19	B4 - 761	C5 - 9,00
B5 - 5,98	B5 - 753	D1 - 9,56
C - 5,73	B6 - 744	B2 - 9,78

Przyjęta próba ścieralności w warunkach laboratoryjnych tylko w przybliżeniu odpowiada warunkom w jakich pracują kule. Z tego względu próbę tą należy traktować jako wstępne przybliżenie. Dlatego też w klasyfikacji tworzyw oparto się przede wszystkim na rozkruszalności i twardości. Wg tego kryterium za najlepsze należy uznać żeliwo Z1Cr15MoV po obróbce cieplnej /B4/. Wyniki laboratoryjne potwierdziły próby eksploatacyjne.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań wybranych tworzyw można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Najlepszym tworzywem na kule jest żeliwo klasy Z1Cr15MoV obrobione cieplnie: 900°C /1 godz./ woda + 250°C /0,5 godz./ powietrze.
2. Tak obrobione cieplnie żeliwo zapewnia stosunkowo dobrą odporność na rozkruszanie wysoką twardość i względnie dobrą odporność na ścieranie.
3. Wysoką jakość tworzywa potwierdzają próby ruchowe w młynie doświadczalnym.

LITERATURA

1. SAKWA J., Dobór tworzyw odpornych na ścieranie. Wybr. Zag. z Œdlewnictwa. Wyd. Inst. Odł. Pol. Śl. i STOP, Gliwice 1976.
2. RÖHRIG K. i D. WALTERS - Legiertes Gusseisen. Giesserei-Verlag Düsseldorf 1970.
3. HENKE F. - Verschleissbeständige weisse Gusseisen. Giesserei-Praxis Nr 1-4, 1973.
4. MARATRAY F. - Auswahl geeigneter Zusammensetzungen für weisse Chrom-Molibdän - Gusseisensorten. Giesserei-Praxis Nr 6, 1973.
5. FAIRHURST W. i STOLK D. - Chrom-Molibdän-legierte weisse Gusseisensorten für verschleissbeanspruchte Bauteile. Giesserei-Praxis Nr 3, 1972.
6. HOFFMAN K. - Hochverschleissfeste Mahlkörper. Zement-Kalk-Gips Nr 12, 1972.
7. Die verschleissfesten Ni-Hard-Werkstoffe. Untern. Nickel 1967.
8. KILARSKI J. - Wpływ pierwiastków stopowych na zużycie ściernic żeliw wysokochromowych. Praca doktorska Inst. Odł. Pol. Śl. Gliwice 1975.
9. NORMAN T. i RÖHRIG K.: Verschleissfeste martensitische Chromgusseisen. Aufbereitungs-Technik Nr 6, 1970.
10. MARATRAY F. i R. USSEGLIO-NANOT - Courbes de transformation de fontes blanches au chrome et au chrome-molibdene. Climax-Molibdenum. Paris
11. RÖHRIG K. - Die verschleissfesten martensitischen Chrom-Molibdän-Gusseisen. Giesserei-Praxis Nr 2, 1971.
12. Patenty radzieckie.

SELECTION OF MATERIALS FOR GRINDING MILL BALLS

Summary

The tests covered four grades of chromium cast iron and included determination of hardness, crushing strength and wear resistance as well as metallographic examinations of as-cast and variously heat-treated balls. The optimum results were checked in industrial scale tests.

ПОПЫТКА ПОДБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ МЕЛЬНИЧНЫХ ШАРОВ

Резюме

Были проверены четыре типа хромового чугуна, предназначенного для мельничных шаров. Исследования твердости, размельчения, износостойкости, а также металлографические исследования были проведены для мельничных шаров в сыром состоянии и после разнообразных термических обработок. Оптимальные результаты были проверены в производственных испытаниях.