

Jerzy KILARSKI

Instytut Odlewnictwa  
Politechniki Śląskiej

## STALIWA I ŻELIWA CHROMOWE ODPORNE NA ŻUŻYCIĘ ŚCIERNE

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono krótką charakterystykę wybranych staliw i żeliw chromowych odpornych na zużycie erozyjne oraz praktyczne wskazówki konstrukcyjno - technologiczne pozwalające na szersze wykorzystanie ich na odlew elementów maszyn i urządzeń dla potrzeb energetyki.

### 1. Wstęp

Spśród wielu materiałów charakteryzujących się wysoką odpornością na zużycie erozyjne poczesne miejsce zajmują staliwa i żeliwa chromowe. Ich pozycja wynika głównie z dostępności, możliwości ulokowania zamówień, łatwości wykonania dowolnie skomplikowanych kształtów, własności mechanicznych, a także pewnej reklamy, tradycji i dotychczasowych doświadczeń w ich stosowaniu.

Niestety stopy te cechuje niska wytrzymałość na obciążenie dynamiczne, ponadto są trudno obrabialne i trudno spawalne. To sprawia, że mają ograniczone zastosowanie. Pewne złagodzenie tych niekorzystnych cech możliwe jest do osiągnięcia na drodze rozwiązań konstrukcyjno - technologicznych.

### 2. Staliwa chromowe

Staliwa chromowe odporne na ścieranie w zasadzie klasyfikowane są w dwóch grupach, a mianowicie: 2 - 6% Cr oraz 11 - 15% Cr /tablica 1/.

Stopy te charakteryzują się wysoką odpornością na zużycie erozyjne przy jednocześnie dobrych własnościach mechanicznych, przy czym własności te można w pewnym zakresie regulować obróbką cieplną.

Sprowadza się ona zwykle do hartowania odlewów w powietrzu lub oleju z temperatury ok. 950°C. Uzyskane twardości dochodzą do 64 HRC, a struktura metalograficzna przedstawia mortenzyt z pewną ilością węglików uzależnioną od ilości węgla. Staliwa uzyskują wówczas najwyższą odporność na ścieranie lecz równocześnie zwiększa się ich kruchość. To niekorzystne zjawisko można częściowo usunąć stosując odpuszczanie. Przez odpuszczanie odlewów w 200°C twardość spada do ok. 60 HRC, w 300°C do ok. 57 HRC, a w 400°C do ok. 55 HRC.

Staliwa te można również wyżarzać zmiękczająco do twardości 220 - 280 HB umożliwiając tym samym przeprowadzenie obróbki mechanicznej.

Zasadniczym problemem w produkcji odlewów jest duża skłonność do segre-

gacji węgla, co w konsekwencji prowadzi do spadku własności sprężystych. Stąd ograniczenie grubości odlewów do ok. 80 mm i zawartości węgla do 1,5%. Dalszy wzrost zawartości węgla powoduje wprawdzie wzrost odporności na ścieranie lecz równocześnie pojawiają się w strukturze ledybryt, a staliwa nabierają cech żeliw chromowych.

### 3. Żeliwa chromowe

Do stopów o najwyższej odporności na zużycie erozyjne zaliczamy żeliwa chromowe, wśród których najczęściej wymienia się:

- żeliwa chromowo-niklowe /ni-hard/,
- żeliwa chromowo-molibdenowe /climax Molibdenum/,
- żeliwa chromowo-wolframowe
- żeliwa wysokochromowe.

Wybrane stopy przedstawiono w tabelicy 1.

Oprócz wymienionych żeliw w literaturze spotyka się ponad 50 gatunków reklamowanych przez różne firmy i najczęściej stosowanych do określonych warunków pracy.

Struktura tych stopów przedstawia węgliki pierwotne i wtórne w osnowie martenzytu i niewielkiej ilości austenitu szczątkowego. Otrzymuje się ją w wyniku obróbki cieplnej o parametrach zbliżonych do staliw chromowych. Uzyskane twardości wahają się w granicy 55 - 64 HRC. Stopy te są bardzo kruche niż staliwa chromowe ponadto są trudno obrabialne i niespawalne.

Wady te znacznie ograniczają zastosowanie żeliw stąd poszukuje się różnych rozwiązań konstrukcyjno - technologicznych umożliwiających szersze ich zastosowanie na odlewy części maszyn.

### 4. Problemy konstrukcyjno - technologiczne staliw i żeliw chromowych

Dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne potwierdzają wysoką odporność na zużycie erozyjne staliw i żeliw chromowych.

Wyjaśniamy to również teoria Bittera [17]. Według której zużycie erozyjne spowodowane jest dwoma procesami:

- erozją przez deformację wywołaną uderzeniami cząstek pod kątami bliskimi  $90^{\circ}$ ,
- erozją przez skrawanie wywołaną uderzeniami cząstek pod kątami ostrymi.

Całkowite zużycie materiału  $W$  jest więc sumą zużycia przez erozję deformacyjną  $W_D$  oraz erozję skrawającą  $WC_1$  lub  $WC_2$  rys.1

$$W = W_D + WC_1$$

Tabelle 1

## Wybrane staliwa i żeliwa chromowe

	skład chemiczny, %								Mn	Cr	Ni	Mo	inne
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V					
staliwa:													
6 Cr	0,7 - 1,2	0,4 - 0,6	0,5 - 0,8	5,0 - 6,5	-	0,4 - 1,2							
12 Cr	0,8 - 2,0	0,5 - 0,8	0,6 - 1,0	11,0 - 15,0	0,1	0,5 - 1,5	V-0,5						
żeliwa:													
ni-hard													
1	3,0 - 3,6	0,3 - 0,5	0,3 - 0,7	1,5 - 2,6	2,7-3,3	-							
2	2,9	0,3 - 0,5	0,3 - 0,7	1,5 - 2,6	2,7-3,3	-							
4	2,6 - 3,2	1,8 - 2,0	0,4 - 0,6	8,0 - 9,0	5,0-6,5	-							
olimax													
15 - 3	2,4 - 3,6	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8	14,0 - 16,0	-	2,5 - 3,0							
20 - 21	2,6 - 2,9	0,4 - 0,9	0,6 - 0,9	18,0 - 21,0	-	2,4 - 2,0							
Ju													
4	2,8 - 3,0	0,8 - 1,0	0,6 - 1,0	22,0 - 25,0	-	-	W 2,5						
Ju													
5	3,0 - 3,2	0,8 - 1,0	0,6 - 1,0	14,0 - 16,0	-	-	W 2,5-3,5						
26Cr													
	2,3 - 3,0	0,3 - 0,8	0,5 - 1,2	25,0 - 28,0	0,5	0,5	-						

lub

$$W = W_D + WC2$$

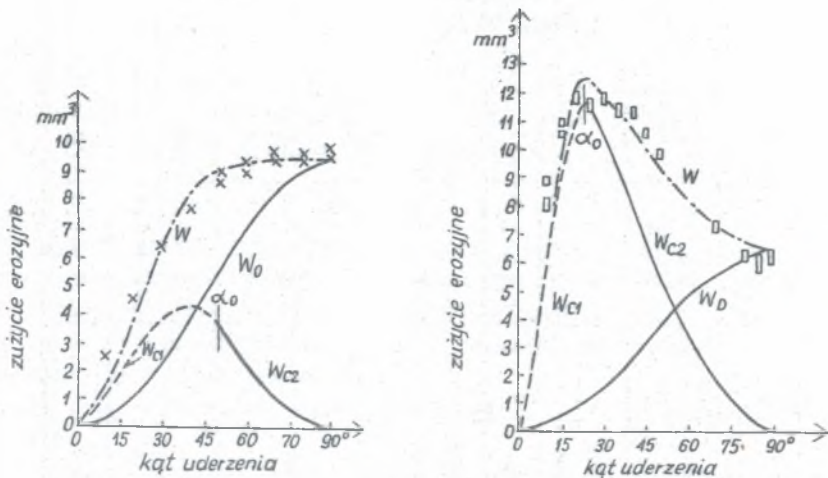
gdzie:  $W_D$  - zużycie przez erozję deformacyjną,

$WC1$  - zużycie przez erozję skrawającą w przypadku, gdy cząstka odbija się od powierzchni,

$WC2$  - zużycie przez erozję skrawającą w przypadku, gdy cząstka straci całkowicie swoją prędkość,

$\alpha_c$  - graniczny kąt uderzenia cząstki, przy którym styczna prędkości staje się równa 0.

Na podstawie rys. 1. można stwierdzić, że materiały twarde i kruche a do takich zaliczamy staliwa i żeliwa chromowe są odporne na erozję w zakresie małych kątów do ok.  $30^\circ$ . W miarę wzrostu kąta uderzenia ich odporności na ścieranie maleje. W takich przypadkach należałoby stosować materiały miękkie i plastyczne. Przy uderzeniu pod kątem  $90^\circ$  najbardziej odpowiednia jest guma.



Rys.1. Zależność zużycia erozyjnego od kąta uderzenia cząstek dla materiałów twardych i kruchych /a/ oraz dla materiałów miękkich i plastycznych /b/.

Fig.1. Dependence of erosion wear on the angle of particle impact for hard and brittle materials /a/ and for soft and plastic materials /b/.



Staliwa i żeliwa chromowe coraz częściej stosowane są również na elementy pracujące w warunkach udarowo - ściernych np. wykładziny młynów kulowych. Problem jednak w tym przypadku stanowi odporność na pęknięcie. Z teorii rozdrabniania wiadomo, że praca kruszenia materiału wydatkowana na jednostkę objętości rośnie w miarę, jak maleje średnica kruszonej bryły 2. Konieczne zatem staje się dążenie do możliwie najmniejszych wymiarów gabarytowych odlewów i zwartej konstrukcji.

Wymogi te dość dobrze odzwierciedla tzw. wskaźnik zawartości  $W_z$  wyrażający się zależnością:

$$W_z = \frac{V_o}{V_K},$$

gdzie:  $V_o$  - objętość odlewu,

$V_K$  - objętość kuli opisanej na odlewie,

dla staliw i żeliw chromowych  $W_z = 0,1 - 0,15$ , przy czym dolna wartość odpowiada staliwom, natomiast górna żeliwom chromowym, eutektycznym. Maksymalny wymiar odlewów nie może jednak przekraczać 400 - 450 mm.

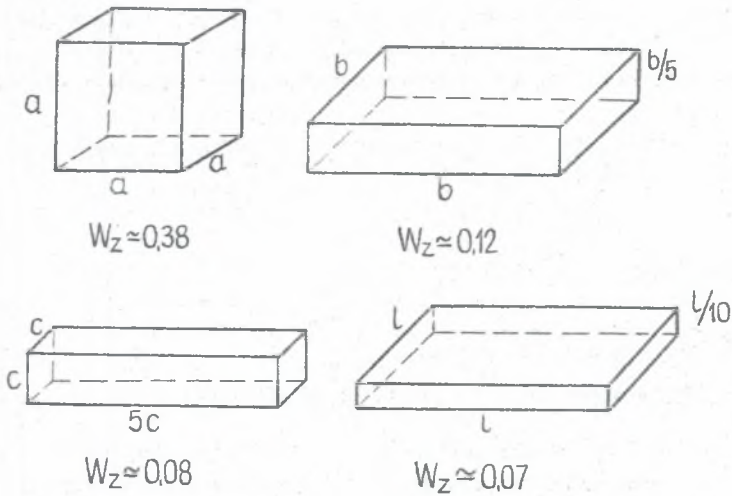
Żeliwa eutektyczna, a tym bardziej nadeutektyczne nie nadają się na odlewy pracujące w warunkach udarowo - ściernych. Mogą natomiast z powodzeniem być zastosowane na odlewy odporne na erozję lub hydroerozję.

Zależność wskaźnika  $W_z$  od wymiarów geometrycznych przedstawiono na rys.2.

W przypadku kiedy elementu nie można sprowadzić do zwartej konstrukcji, wówczas odlewy należy zbroić prętami lub siatką stalową rys.3.

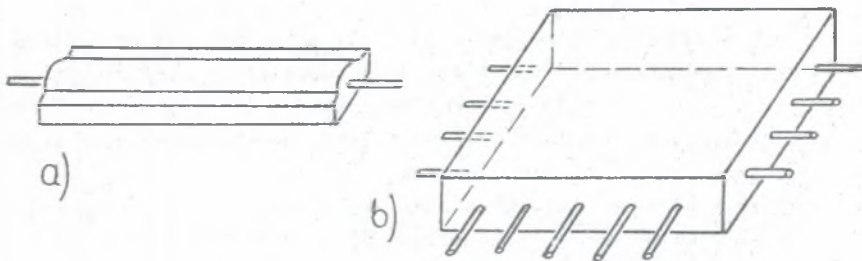
Wprawdzie nie zabezpieczą to przed pękaniem, ale skutecznie zapobiega wypadnięciu odlewu. Nieco inne rozwiązanie stosuje się na wszelkiego rodzaju przewody pyłowo - powietrzne. Obudowa stalowa przenosi obciążenie i zapewnia szczelność układu, natomiast wkładki zapobiegają nadmiernemu ścieraniu (rys.4).

Poważne trudności sprawia obróbka mechaniczna oraz łączenie odlewów. Generalnie zagadnienie to rozwiązać można przez stosowanie wszelkiego rodzaju wkładek stalowych wtopionych w odlew /tuleje, wałki, pręty śruby itp./rys.5/lub konstrukcji warstwowych/rys.6/.



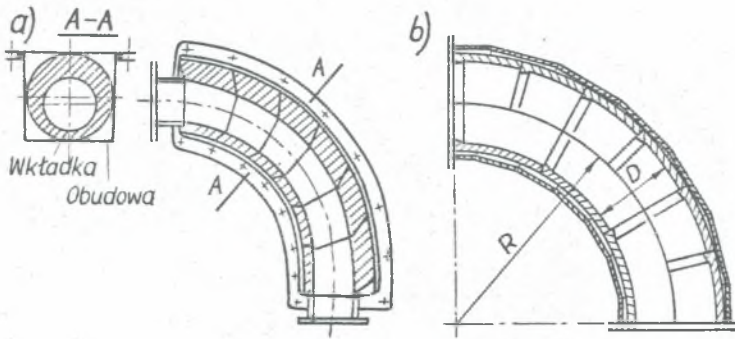
Rys.2. Zależność wskaźnika  $W_z$  od wymiarów geometrycznych.

Fig.2. Dependence of the  $W_z$  index on geometrical dimensions



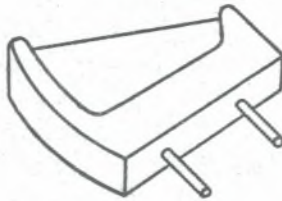
Rys.3. Odlew zbrojony prętem stalowym /a/, lub siatką stalową /b/

Fig.3. Casting reinforced with a steel rod a/ or a steel net b/



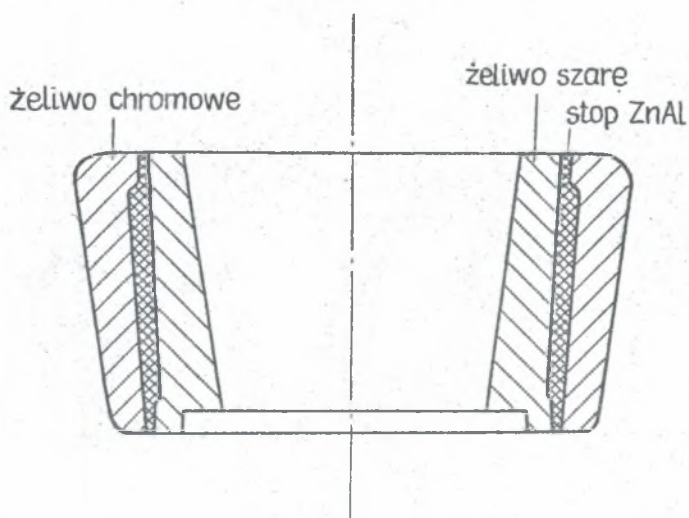
Rys.4. Kolana z wkładkami trudno ścieralnymi: obudowa skrzynkowa /a/  
obudowa z ciętych rur /b/

Fig.4. Knee with slow-abrasive inserts: box casing /a/, cut pipe casing /b/



Rys.5. Łopatką mieszadła z wtopionymi śrubami

Fig.5. Mixer paddle with fused-in screws



Rys.6. Konstrukcja rolki mielącej

Fig.6. Construction of the grinding roll

Omówione przykłady nie wyczerpują wszystkich możliwych przypadków. Zdarzają się również elementy o trwałości, których decyduje fragment odlewu lub jego powierzchnia. Wówczas wrażliwe miejsca odlewów wykonanych ze zwykłego żeliwa czy staliwa wzmacnia się wkładkami odpornymi na ścieranie lub nanosi się różnego rodzaju powłoki stosując w tym przypadku zarówno metody odlewnicze, jak też spawalnicze. Przedstawione przykłady już obecnie stosowane są z powodzeniem na różne elementy maszyn i urządzeń. Zaprezentowanie ich nie tylko pozwala poznać różnorodność rozwiązań, ale przede wszystkim ma być inspiracją tworzenia nowych konstrukcji znacznie szerzej wykorzystujących staliwa i żeliwa chromowe o wysokiej odporności na ścieranie dla potrzeb energetyki.

#### LITERATURA

- /1/ Bitter: J.G.A: A study of erosion phenomena. Wear, 1963, Vol. 6, No 3.
- /2/ Grzelak E: Maszyny i urządzenia do przeróbki mechanicznej surówców mineralnych, WNT, Warszawa 1975.



ХРОМОВЫЕ ЛИТЫЕ СТАЛИ И ХРОМИСТЫЕ ЧУГУНЫ  
ИЗНОСОСТОЙКИЕ НА ОБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС

Р е з ю м е

В статье представлена краткая характеристика некоторых литых хромистых сталей и чугуна устойчивых к эрозии, а также даны практические конструкционно-технологические указания, позволяющие использовать их в более широких масштабах для отливки элементов машин и оборудования, предназначенных для энергетики.

CHROMIUM CAST STEELS AND CHROMIUM CAST IRONS  
RESISTANT TO EROSION WEAR

S u m m a r y

In the paper is presented a short characteristic of some selected chromium cast steels and chromium cast irons resistant to erosion wear, as well as some practical constructional - technological instructions which permit their wider application in castings of machine and equipment elements for the needs of power engineering.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielnick

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1986 r.