

Opracowanie staliwa chromowego na tuleje ciężkich maszyn

J. Kilarski, A. Studnicki*, J. Suchoń

Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska,
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Polska

*Kontakt korespondencyjny. E-mail: andrzej.studnicki@polsl.pl

Otrzymano 26.07.2010; zaakceptowano do druku 10.08.2010

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań twardości, udarności, zużycia ściernego i odporności na korozję wybranych gatunków staliwa chromowego z przeznaczeniem na tuleje ciężkich maszyn. Na zakończenie omówiono pierwsze wyniki badań eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: Staliwo chromowe, Własności mechaniczne, Zużycie ścierne, Korozja

1. Wprowadzenie

Tuleje ślizgowe ciężkich maszyn roboczych są przykładem elementów, od których wymaga się zarówno wysokich właściwości mechanicznych, dużej odporności na ścieranie jak i dobrej odporności na korozję np. w zasolonych wodach kopalnianych. Do tej pory na takie tuleje stosowano staliwo L20HGSNM, L25GNMF, L20H2N4 oraz żeliwo ADI. Z dotychczasowych doświadczeń najlepszym materiałem okazało staliwo L20H2N4A z warstwą nawęglaną. Np. trwałość tulei ślizgowej kombajnu górniczego wykonanej z takiego staliwa wynosi około pół roku, po czym z racji pojawiających się znacznych luzów lub nawet pęknięć tuleje muszą być wymienione na nowe. Wymianę dokonuje specjalna ekipa remontowa, co z kolei wiąże się z postojem kombajnu i znacznymi kosztami. Rozwiązaniem spełniającym wymagania byłaby trwałość eksploatacyjna odpowiadająca czasowi związanemu z wydobyciem jednej ściany, co w przybliżeniu szacuje się na jeden rok.

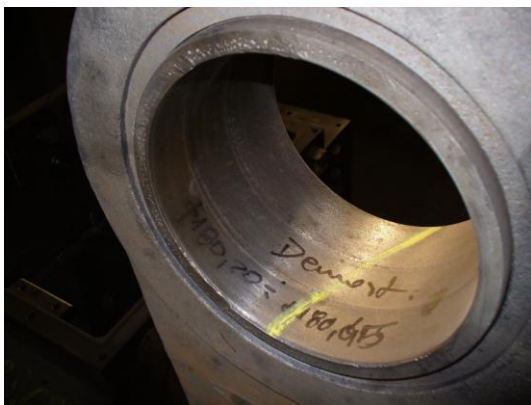
Na podstawie analizy warunków pracy ocenia się, że tuleje ciężkich maszyn górniczych powinny charakteryzować się dobrymi własnościami mechanicznymi: $R_m > 800$ MPa, udarnością w granicach 20 J/cm^2 , twardością rzędu 45 ± 5 HRC

oraz odpornością na korozję w zasolonych wodach kopalnianych. Należy również uwzględnić warunki ograniczonego smarowania. Typowy kombajn górniczy posiada 16 tulei ślizgowych po 8 na każdym ramieniu w trzech typoszeregach. Tuleje te zużywają się w różny sposób, na rysunkach 1 i 2 widać zużycie zarówno ściernego jak i korozyjnego oraz pęknięcia.

W Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej prace nad optymalizacją materiału na tuleje kombajnów górniczych rozpoczęto od przeanalizowania właściwości różnych gatunków



Rys. 1. Korozja wżerowa tulei
Fig. 1. Pitting corrosion of sleeve



Rys. 2. Zużycie ściernie tulei
Fig. 2. Abrasive wear of sleeve

staliwa głównie odpornego na ścieranie, odpornego na korozję i narzędziowego. Najbardziej zainteresowano się staliwem narzędziowym L35H17N2M stosowanym z powodzeniem na rozwłókniacze dla przemysłu papierniczego oraz staliwem 100H12 (wg patentu USA nr 3.330.651) wzorowanym na stali narzędziowej NC10 stosowanym na kule do cementu. Jednak z racji zapewnienia wcześniej przedstawionych wymogów wydaje się, że to pierwsze staliwo ma zbyt mało węgla, a drugie zbyt dużo. Postanowiono więc nieco zmodyfikować skład chemiczny obu materiałów przyjmując średnią zawartość węgla ok. 0,8% oraz uwzględnić ich odmiany bez niklu i z ok. 2% niklu. Wysoka zawartość chromu powinna zapewnić wymaganą odporność na korozję, a podwyższona zawartość węgla dobrą odporność na ścieranie. Dodatek niklu powinien nieco zwiększyć plastyczność stopu. Tak więc do badań wytypowano cztery staliwa różniące się głównie ilością chromu oraz dodatkiem niklu.

2. Badania własne

Celem badań było porównanie twardości, udarności, zużycia ściernego i odporności na korozję w roztworze soli wytypowanych staliw w stanie lanym oraz po hartowaniu i odpuszczaniu.

2.1 Wytopy i obróbka cieplna

Wytopy zostały przeprowadzone w piecu indukcyjnym tyglowym o pojemności 20 kg, mocy 70 kW oraz częstotliwości 8 kHz. Wykonano cztery wytopy, z czego dwa ze staliwa o zawartości chromu ok. 12% bez niklu oraz z dodatkiem ok. 2% Ni oraz dwa wytopy ze staliwa wysokochromowego o zawartości ok. 17% chromu również bez niklu i z ok. 2% dodatkiem niklu. Składy chemiczne wytypowanych staliw zestawiono w tabeli 1. Ciekłym metalem zalewano specjalnie przygotowane formy skorupowe z których otrzymano odlewy próbek o wymiarach 10x10x120 mm do badań twardości, udarności i zużycia ściernego oraz 40x40x6 mm do badań korozyjnych. Przeprowadzona obróbka cieplna polegała na hartowaniu z temperatury 920°C w sprężonym powietrzu i następnie

odpuszczaniu w temperaturach 450°C i 650°C. Otrzymane próbki poddano następnie badaniom twardości, udarności, ścieralności i odporności na korozję zarówno w stanie po odlaniu jak i po dwóch obróbkach cieplnych.

Tabela 1.
Skład chemiczny badanych staliw chromowych
Table 1.

Oznaczenie staliwa	Skład chemiczny, % wag.				
	C	Cr	Si	Mn	Ni
H12	0,85	12,8	1,41	0,50	0,39
H12N2	0,81	12,2	1,16	0,45	1,87
H17	0,80	17,5	1,08	0,43	0,31
H17N2	0,76	17,0	0,95	0,40	1,94

P = 0,07±0,09; S = 0,02±0,04%

2.2. Badania twardości, udarności oraz zużycia ściernego i korozyjnego

Do badania twardości zastosowano metodę Rockwella w skali C. Wykonano po 5÷7 odcisków na każdej badanej próbce. W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości. Na rysunku 3 pokazano wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na twardość badanego staliwa chromowego.

Badania udarności prowadzono na młocie Charpy'ego o zasobie energii 50 J i rozstawie podpór 40 mm. W badaniach stosowano próbki bez karbu o wymiarach 10x10x55 mm zarówno w stanie po odlaniu jak i po obróbkach cieplnych. Przeprowadzono po 5 prób, z czego dwa skrajne wyniki były odrzucone. Z pozostałych wyznaczono wartości średnie i przedstawiono w tabeli 3. Na rysunku 4 pokazano wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na udarność badanego staliwa chromowego.

Badania zużycia ściernego przeprowadzono zgodnie z normą PN-67/M-04306 na maszynie SKODA-SAVINE. Przeciwpórką było kółko wykonane z węgla spiekane o średnicy 30 mm chłodzone cieczą (K_2CrO_4). Obciążenie oddziałujące na próbkę wynosiło 91,8N. Ścieranie przeprowadzono wykonując po kilka pomiarów z czego trzy najbardziej zbliżone wymiarami brano pod uwagę. Każdy pomiar trwał 3 minuty. Długości wytarcia mierzono przy pomocy lupki z podziałką, a następnie wyznaczono wartość średnią. Z kolei z tablic ujętych w normach odczytywano objętość wytarcia. Wyniki średnich objętości wytarcia przedstawiono w tabeli 4. Na rysunku 5 pokazano wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na zużycie ściernie badanego staliwa chromowego.

Badania odporności na korozję przeprowadzono w oparciu o normę PN-EN ISO 11130. Próbkami były płytki o wymiarach 40x40x6 mm (0,00416 m²) oszlifowane i zważone z dokładnością 0,001 grama. Cały zestaw próbek w ilości 48 (po 3 z każdego

rodzaju staliwa i obróbki cieplnej) umieszczono w kuwecie w pozycji pionowej tak by się nie stykały i całkowicie zalano je roztworem NaCl o stężeniu 50g/litr wody. Czas trwania badania wynosił 30 dni, po czym próbki wyciągnięto, umyto, wysuszono i ponownie zważono. Wyniki badań w postaci ubytku masy Δm , jednostkowego ubytku korozyjnego K_m (równanie 1) i szybkości korozji V_c (równanie 2) przedstawiono w tabeli 5. Na rysunku 6 pokazano wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na zużycie korozyjne badanego staliwa chromowego.

$$K_m = \frac{m_1 - m_2}{s} = \frac{\Delta m}{s} \left[\frac{g}{m^2} \right] \quad (1)$$

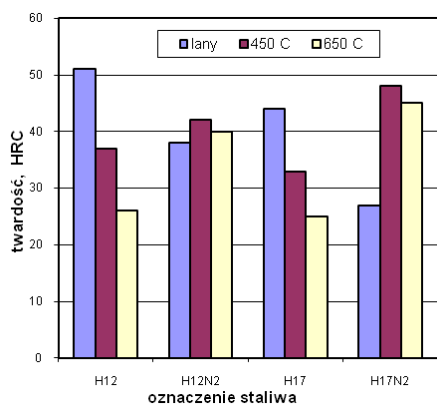
$$V_c = \frac{\Delta m}{s \cdot d} \left[\frac{g}{m^2 \cdot doba} \right] \quad (2)$$

gdzie: m_1, m_2 - masy próbki odpowiednio przed i po badaniu,
 s - powierzchnia próbki w m^2 ,
 d - czas badania w dobach.

Tabela 2.
Twardość badanych staliw chromowych po odlaniu i odpuszczaniu

Table 2.
Hardness of investigated chromium cast steels in initial state and after heat treatment

Oznaczenie staliwa	Twardość, HRC		
	stan lany	odpuszczanie w 450°C	odpuszczanie w 650°C
H12	51	37	26
H12N2	38	42	40
H17	44	33	25
H17N2	27	48	45



Rys. 3. Wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na twardość badanego staliwa chromowego

Fig. 3. The influence of chemical composition and heat treatment on hardness of chromium cast steel

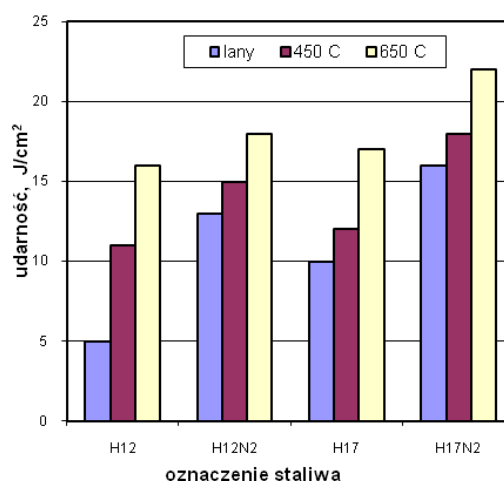
Tabela 3.

Udarność badanych staliw chromowych po odlaniu i obróbce cieplnej

Table 3.

Impact resistance of investigated chromium cast steels in initial state and after heat treatment

Oznaczenie staliwa	Udarność, [J/cm ²]		
	stan lany	odpuszczanie w 450°C	odpuszczanie w 650°C
H12	5	11	16
H12N2	13	15	18
H17	10	12	17
H17N2	16	18	22



Rys. 4 Wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na udarność badanego staliwa chromowego

Fig. 4. The influence of chemical composition and heat treatment on impact resistance of chromium cast steel

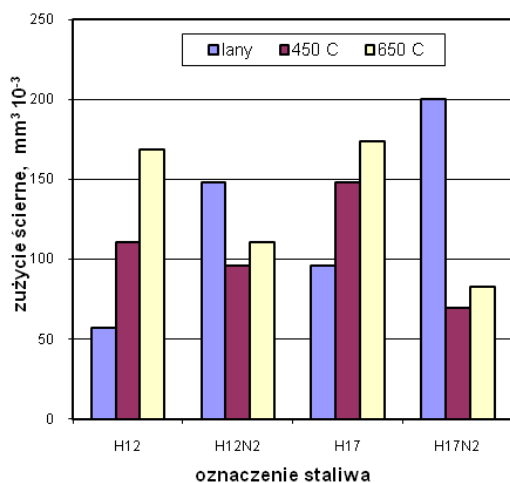
Tabela 4.

Zużycie ściernie badanych staliw chromowych po odlaniu i obróbce cieplnej

Table 4.

Abrasive wear of investigated chromium cast steels in initial state and after heat treatment

Oznaczenie staliwa	Objętościowe zużycie ściernie, [mm ³ · 10 ⁻³]		
	stan lany	odpuszczanie w 450°C	odpuszczanie w 650°C
H12	57	111	169
H12N2	148	96	111
H17	96	148	174
H17N2	200	70	83



Rys. 5. Wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na zużycie ściernie badanego staliwa chromowego

Fig. 5. The influence of chemical composition and heat treatment on abrasive wear of chromium cast steel

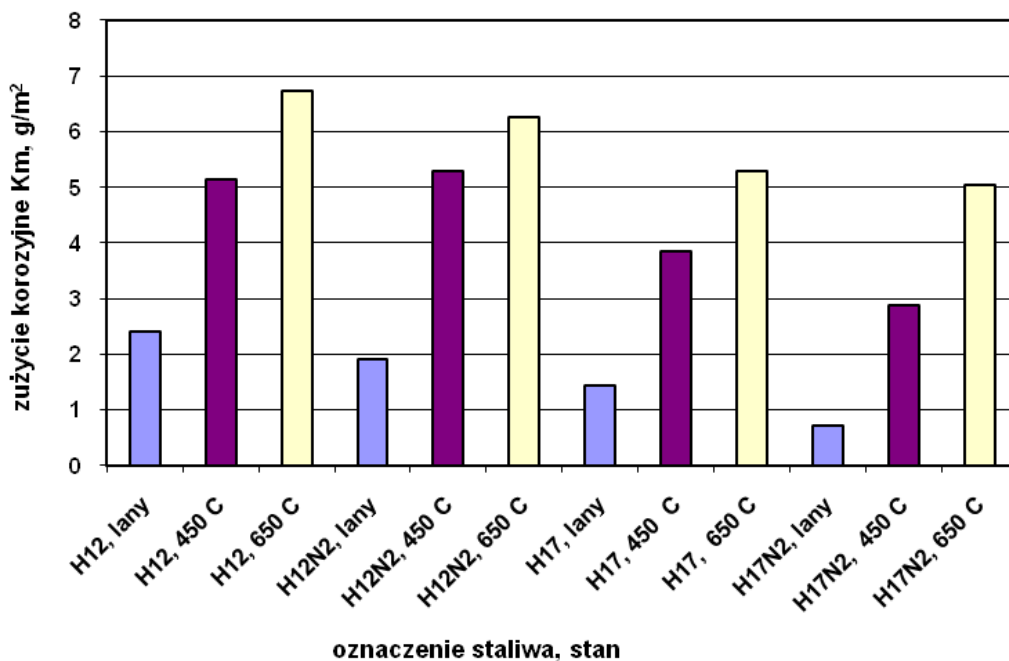
Tabela 5.

Wyniki badań korozji staliw chromowych po odlaniu i obróbce cieplnej

Table 5.

Results of corrosion research of chromium cast steels in initial state and after heat treatment

Oznaczenie staliwa, stan	Δm , [g]	Km, [g/m ²]	Vc, [g/m ² .doba]
H12, lany	0,010	2,40	0,08
H12, 450°C	0,023	5,13	0,171
H12, 650°C	0,028	6,73	0,224
H12N2, lany	0,008	1,92	0,064
H12N2, 450°C	0,022	5,28	0,176
H12N2, 650°C	0,026	6,25	0,208
H17, lany	0,006	1,44	0,048
H17, 450°C	0,016	3,84	0,128
H17, 650°C	0,022	5,28	0,176
H17N2, lany	0,003	0,72	0,024
H17N2, 450°C	0,012	2,88	0,096
H17N2, 650°C	0,021	5,04	0,168

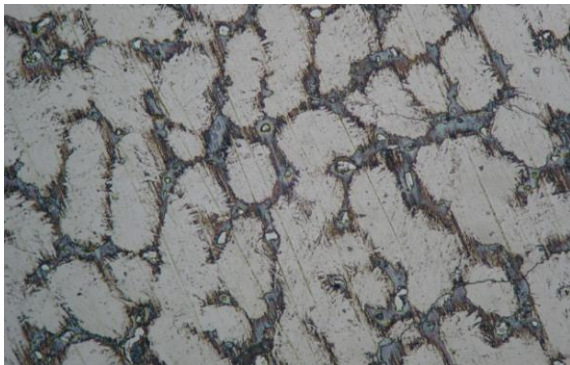


Rys. 6. Wpływ składu chemicznego i obróbki cieplnej na zużycie korozyjne badanego staliwa chromowego

Fig. 6. The influence of chemical composition and heat treatment on corrosive wear of chromium cast steel

2.3. Badania metalograficzne

Badania metalograficzne polegały na obserwacji mikrostruktury badanych staliw zarówno w stanie lanym jak i po przeprowadzonych zabiegach obróbki cieplnej. Najbardziej charakterystyczne struktury w stanie lanym, po hartowaniu i odpuszczaniu w 450°C oraz hartowaniu i odpuszczaniu w 650°C przedstawiono na rysunkach 7-9. W stanie lanym struktura we wszystkich staliwach składa się z reguły z austenitu i eutektyki węglkowej rozmieszczonej w przestrzeniach międzydendrytycznych (rys.7).



Rys. 7. Staliwo w stanie lanym (austenit i eutektyka węglkowa w przestrzeniach międzydendrytycznych)

trawienie FeCl₃ pow. x200

Fig. 7. Cast steel in initial state (austenite and carbide eutectic in interdendritic spaces)

etching FeCl₃ magnification x200



Rys. 8. Staliwo po hartowaniu i odpuszczaniu w 450°C (sorbite z poaustenitycznym układem dendrytycznym oraz węglki na granicach ziaren)

trawienie FeCl₃ pow. x200

Fig. 8. Cast steel after hardening and tempering in 450°C (sorbite with after-austenite dendrite system and carbide eutectic on grains boundaries)

etching FeCl₃ magnification x200



Rys. 9 Staliwo po hartowaniu i odpuszczaniu w 650°C (sorbite z poaustenitycznym układem dendrytycznym oraz węglki na granicach ziaren)

trawienie FeCl₃ pow. x200

Fig. 9. Cast steel after hardening and tempering in 650°C (sorbite with after-austenite dendrite system and carbide eutectic on grain boundaries)

etching FeCl₃ magnification x200

3. Analiza wyników badań

Z uwagi na fakt, że tuleje stosowane w maszynie muszą być wykonane z dużą dokładnością wymiarową, wobec czego wymagana jest obróbka mechaniczna zarówno wstępna jak i wykańczająca. To z kolei powoduje, że odlewane tuleje muszą przejść pewien cykl obróbki cieplnej od zmiękczenia po ulepszenie cieplne. Dlatego też w analizie końcowej oparto się głównie na wynikach badań próbek po ulepszeniu cieplnym, gdyż zabieg ten nadaje tulejom końcowe własności użytkowe. Dla porównania zamieszczono również wyniki badań w stanie lanym. Jeśli chodzi o twardość to po odlaniu najwyższą twardością rzędu 51 HRC charakteryzuje się staliwo z zawartością 12% Cr. Wzrost zawartości chromu, a szczególnie obecność niklu znacznie obniża twardość i w skrajnym przypadku dla staliwa H17N2 twardość ta wynosi 27 HRC. Po hartowaniu i odpuszczaniu zarówno w temperaturze 450°C jak i 650°C wyższymi twardościami charakteryzują się staliwa z niklem, przy czym najwyższą twardość, rzędu 48 HRC posiada staliwo z wysoką zawartością chromu odpuszczone w temperaturze 450°C. Odpuszczanie w temperaturze 650°C nieco obniża twardość do wartości 45 HRC. Natomiast staliwa bez niklu po obróbce cieplnej charakteryzują się znacznie niższą twardością.

Kolejną badaną własnością była udarność, tu też napotykamy na pewną prawidłowość, a mianowicie staliwa z niklem charakteryzują się wyższą udarnością niż bez niklu, zarówno w stanie lanym jak również po przeprowadzonej obróbce cieplnej, przy czym najwyższe wartości dla danego staliwa są po wysokim odpuszczaniu. Najwyższą wartość 22 J/cm² uzyskano dla staliwa H17N2.

Wyniki badań ścieralności w zasadzie potwierdzają znaną zależność, że czym wyższa twardość tym mniejsze zużycie ścierne i to zarówno w stanie lanym jak i po obróbce cieplnej. Najmniejsze zużycie najczęściej uzyskiwano po odpuszczaniu w temperaturze 450°C.

Ostatnią analizowaną własnością była odporność na korozję. Tutaj najlepsze wyniki uzyskiwano dla staliwa wysokochromowego z niklem w stanie lanym, które charakteryzowało się strukturą austenityczną. Ogólnie obróbka cieplna zmienia strukturę, co objawiło się pogorszeniem odporności na korozję i to tym bardziej im wyższe stosowano temperatury odpuszczania. Najlepszym okazało się staliwo wysokochromowe z niklem H17N2, które w stanie lanym wykazywało najmniejszą szybkość korozji na poziomie 0,024 g/m²doła, po odpuszczeniu w temperaturze 450°C zwiększyła się do 0,096 g/m²doła, a w temperaturze 650°C wzrosła do 0,168 g/m²doła.

Reasumując wyniki badań można stwierdzić, że z pośród badanych staliw na tuleje kombajnów górniczych najbardziej nadaje się staliwo zawierające 17 % chromu i około 2 % niklu odpuszczane w temperaturze 450°C. Materiał ten charakteryzuje się twardością rzędu 48 HRC, udarnością rzędu 18,0 J/cm², małym zużyciem ściernym i dopuszczalną szybkością korozji. Ten najlepszy z badanych materiałów poddano badaniom eksploatacyjnym. Wykonano odlewy 16 tulei, które zostały odpowiednio obrabiane mechanicznie i cieplnie, a następnie zamontowane w kombajnie ścianowym. Po około pół roku

eksploatacji kombajn poddano wymaganej rutynowej kontroli, w wyniku której nie stwierdzono większych luzów na tulejach w związku z powyższym badane tuleje dopuszczono do dalszej eksploatacji. W efekcie tuleje przepracowały ponad rok do zakończenia eksploatacji ściany i zostały zdemontowane w ramach remontu kombajnu. Na zdemontowanych tulejach nie zaobserwowano wyraźnych oznak zużycia ściernego czy korozji.

Literatura

- [1] Sakwa W., Jura S., Sakwa J.: Odporne na ścieranie stopy żelaza. Wydawnictwo STOP, Kraków 1980
- [2] Kniagin G.: Staliwo, Metalurgia i Odlewnictwo. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1977,
- [3] Chojecki A., Telejko I.: Odlewnictwo Staliwa. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2003
- [4] Gierek A.: Zużycie ściernie metalowych elementów roboczych. Skrypt Pol. Śl., nr 1752, Gliwice 1993.

Developing of chromium cast steel on sleeves of heavy machines

Abstract

The results of investigations of hardness, impact resistance, abrasive and corrosive wear of selected chromium cast steel with destination on sleeves of heavy machines were introduced in the article. First results of exploational investigations talked over on the end.

Keywords: chromium cast steel, mechanical properties, abrasive wear, corrosion