

## CHARAKTERYSTYKA STRUKTURALNA WARSTWY WIERZCHNIEJ W STALIWIE Cr – Mo W WARUNKACH ŚCIERANIA

GRZEGORZ TĘCZA\*, MIECZYŚLAW ŻURAWIK\*\*

\*Katedra Odlewnictwa Staliwa, Wydział Odlewnictwa AGH, ul Reymonta 23,  
30-059 Kraków

\*\* Zakład Doświadczalny Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, ul. Zakopiańska 73,  
30-418 Kraków

### STRESZCZENIE

Niskostopowe staliwo Cr-Mo stosowane jest między innymi na odlewy odporne na ścieranie w przemyśle górnictwym, w przemyśle naftowym oraz w przemyśle maszynowym. Cechą charakterystyczną tych odlewów jest wysoka twardość ich powierzchni, przy równoczesnej dobrej plastyczności osnowy stopu.

Wykonane badania obejmują zmiany składu chemicznego, struktury oraz twardości tego staliwa w stanie lanym, po obróbce cieplnej oraz badania odporności na zużycie ściernie w środowisku wody i węgla krzemu.

*Key words: Cr-Mo steel, cast steel, abrasion resistance, weight losses.*

### 1.WSTĘP

Staliwo niskostopowe Cr-Mo należy do grupy stali konstrukcyjnych do ulepszenia cieplnego. Najczęściej wykorzystywane jest do produkcji elementów podlegających dużym obciążeniom mechanicznym (wały, koła zębate, sworznie, korbowody, elementy przenośników i maszyn wydobywczych, głowice wiertel), gdyż łączy w sobie możliwie dużą wytrzymałość, z dużą plastycznością i odpornością na pękanie przy obciążeniach dynamicznych [4]. Mając po hartowaniu i odpuszczaniu

---

\* mgr inż. Grzegorz Tęcza, [sumik@interia.pl](mailto:sumik@interia.pl)

\*\* mgr inż. Mieczysław Żurawik

strukturę martenzytu wysokoodpuszczonego, stale te stanowią podstawowy materiał konstrukcyjny [1].

Głównymi dodatkami stopowymi w stalach tych jest chrom i mangan. Zwiększając hartowność i opóźniając przemiany martenzytu podczas odpuszczania, chrom zapewnia stalom dużą wytrzymałość i ciągliwość. Dodatek Mo, oprócz zwiększenia hartowności, dodatkowo zapobiega zjawisku kruchości odpuszczania [1,4].

Żądane własności użytkowe elementów konstrukcyjnych wykonanych z tych stali uzyskuje się po odpowiedniej obróbce cieplnej: hartowaniu w zakresie  $880 \div 950$  °C w oleju i odpuszczaniu w zakresie  $600 \div 650$  °C w powietrzu [2]. Po ulepszeniu cieplnym strukturę stali stanowi wysokoodpuszczony martenzyt. Niektóre elementy konstrukcyjne, od których wymaga się dużej wytrzymałości i dopuszcza się ich obniżoną udarność, można wykonać ze stali o stężeniu węgla  $0,4 \div 0,5$  % (po ich zahartowaniu i niskim odpuszczaniu). Elementy konstrukcyjne, od których wymaga się dużej twardości w warstwie wierzchniej oraz wystarczająco wytrzymałego i plastycznego rdzenia, można poddać hartowaniu powierzchniowemu [1].

Wymienione własności są powodem, dla którego z tego właśnie materiału wykonuje się, metodą odlewania precyzyjnego, elementy wiertel górnictwowych do wiercenia otworów strzałowych.

## **2.MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ**

Próbki do badań odcięto z dwóch odlewów wiertel górnictwowych, prostopadle do krawędzi roboczej (jeden zestaw w stanie lanym - próbka oznaczona jako 2o-1, drugi po obróbce cieplnej - próbka oznaczona jako 1o-1).

Skład chemiczny wyciętych próbek zbadano za pomocą spektrometru. Pomiar twardości wykonano za pomocą twardościomierza Vickersa przy obciążeniu 30 kG. Wykonane zglądy poddano obserwacji w mikroskopie optycznym. Rozkład mikrotwardości warstwy wierzchniej zbadano w funkcji odległości w kierunku prostopadłym do powierzchni, przy obciążeniu 1,5kG. Przygotowane próbki poddano obróbce cieplnej, zgodnie z danymi w tabeli1. Badania ścieralności wykonano na maszynie Millera, która służy do porównania odporności na ścieranie materiałów konstrukcyjnych o różnej twardości. Metoda pomiaru polega na pomiarze ubytku masy próbki w środowisku ściernym. Próbka o standardowych wymiarach 24,5 x 12,7 x 11 mm, obciążona obciążeniem 22,24N, przesuwana jest ruchem posuwisto-zwrotnym po dnie rynny, wypełnionej mieszaniną wody i węgla krzemowego w proporcjach wagowych 1:1. Badanie polega na wykonaniu co najmniej trzech biegów o czasie nie krótszym niż 2 godziny. Wielokrotne badania dają serię wyników umożliwiających wyznaczenie krzywej zużycia w czasie. Zaleca się wykonanie czterech czterogodzinnych serii. Po każdej serii, próbki należy zważyć [3]. W celu określenia charakteru zużycia powierzchni próbek w czasie badania odporności na ścieranie, próbki poddano obserwacji w mikroskopie skaningowym.

3. WYNIKI BADAŃ

Próbki odcięte z odlewów wiertel górniczych poddano badaniu na skład chemiczny. Wyniki zamieszczono w tabeli 1.

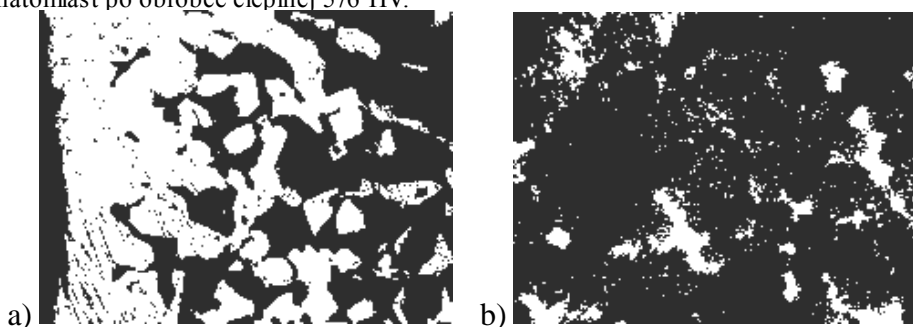
Tabela 1. Oznaczenie, skład chemiczny i obróbka cieplna badanych próbek

Table 1. Designation, chemical composition and heat treatment of investigated samples

Oznaczenie próbki	Obróbka cieplna								
<b>2o-2</b>	hartowanie: 920°C + odpuszczanie: 350°C								
<b>2o-3</b>	hartowanie: 920°C + odpuszczanie: 450°C								
<b>2o-4</b>	hartowanie: 920°C + odpuszczanie: 550°C								
<b>2o-7</b>	hartowanie: 920°C + odpuszczanie: 600°C								
<b>2o-C</b>	hartowanie: 920°C + odpuszczanie: 650°C								
	Skład chemiczny staliwa [% wag.]								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
<b>Wymagany wg DIN</b>	0,38 0,45	0,60	0,60 1,00	0,02	0,015	0,80 1,20	–	0,20 0,30	–
<b>Badanego staliwa</b>	0,42	0,47	0,71	0,01	0,016	0,98	0,06	0,25	0,10

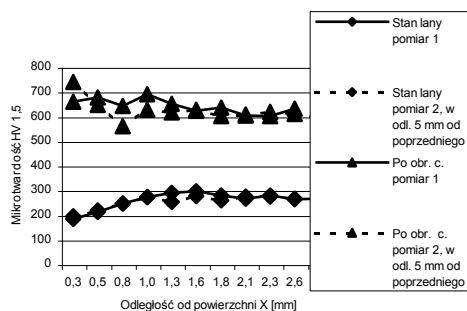
Badane staliwo sklasyfikowano wg [2] jako GS42CrMo4 o składzie chemicznym jak w tabeli 1.

Twardość badanego staliwa w stanie lanym wynosiła średnio 279 HV, natomiast po obróbce cieplnej 576 HV.

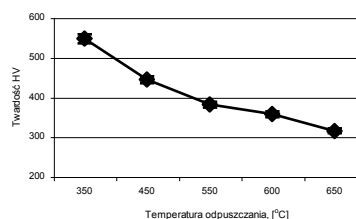


Rys. 1. Mikrostruktura staliwa w stanie lanym (a) i po ulepszeniu cieplnym (b). Pow. 100x; traw. nital

Fig. 1. Microstructure of cast steel in as-cast conditions (a) and after quenching and tempering (b). Magn. 100x; Nital etching.

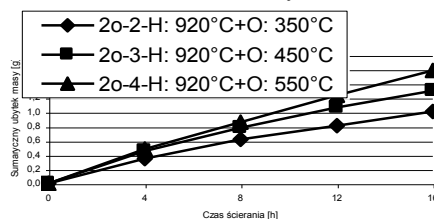


Rys. 2. Rozkład mikrohardności w funkcji odległości od powierzchni  
Fig.2. Hardness profile as the function of distance from the surface.



Rys. 3. Wykres zależności twardości od temperatury odpuszczania  
Fig. 3. The effect of tempering on the hardness.

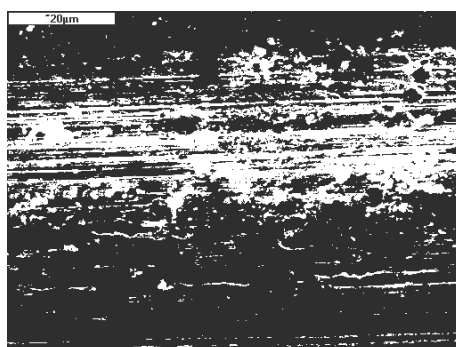
Z próbek przygotowano zglądy i poddano je obserwacji w mikroskopie optycznym. Struktury staliwa w stanie lanim i po obróbce cieplnej przedstawiono na rysunkach 1a i 1b. Zbadany rozkład mikrohardności warstwy wierzchniej w funkcji odległości w kierunku prostopadłym do powierzchni obrazuje rysunek 2. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji stwierdzono, że staliwo w stanie lanim posiada strukturę perlityczno-ferytyczną, z powierzchnią odwęgloną na głębokość ok. 1 mm. Potwierdza to mikrostruktura na rysunku 1a oraz pomiar mikrohardności – rys.2. Staliwo po obróbce cieplnej ma jednorodną strukturę martenzytyczną z niewielką ilością austenitu szczałkowego. Przygotowane próbki poddano obróbce cieplnej zgodnie z tabelą 1 i zmierzono ich twardość. Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykres zależności twardości próbek od temperatury odpuszczania. Stwierdzono silne zmniejszenie twardości badanego staliwa wraz z temperaturą odpuszczania – rysunek 3. Próbki 2o-2, 2o-3, 2o-4 poddano badaniu odporności na ścieranie na maszynie Millera. Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykres zależności sumarycznego ubytku masy w zależności od czasu ścierania – rysunek 4.



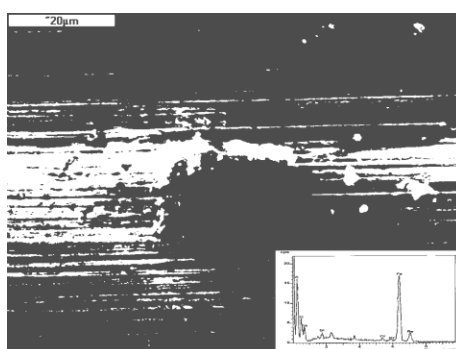
Rys. 4. Wykres zależności sumarycznego ubytku masy w zależności od czasu ścierania

Fig.4. Total weight losses during abrasion time

Po pełnym cyklu ścierania powierzchnię ścieraną poddano obserwacji w mikroskopie skaningowym. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono topografię powierzchni zużycia próbek.



Rys. 5. Obraz skaningowy próbki po H: 920°C+O: 350°C po pełnym cyklu ścierania, pow.1500x  
 Fig. 5. Surface of sample after Q 920 °C + T 350°C and after finished abrasion test, magn 1500x



Rys. 6. Obraz skaningowy i widmo energetyczne cząstki; próbki po H: 920°C+O: 550°C po pełnym cyklu ścierania, pow. 1500x  
 Fig.6. Surface and X-ray spectra of the sample after Q 920 °C + T 550°C and after finished abrasion test, magn 1500x

Stwierdzono, że wraz ze wzrostem temperatury odpuszczania próbek zmniejsza się ich odporność na ścieranie. Zmienia się również charakter zużywania badanych powierzchni. Dla próbek twardych zużycie jest równomierne, na badanej powierzchni nie obserwuje się wbitych cząstek SiC. Wraz ze zmniejszeniem twardości badanego staliwa, charakter zużycia powierzchni staje się coraz bardziej nierównomierny – na powierzchni zaczynają tworzyć się bruzdy, pojawiają się cząstki

SiC wbite w badaną powierzchnię, co potwierdzają obrazy skaningowe na rysunkach 5 oraz 6.

#### **4. WNIOSKI**

1. Badane staliwo w stanie lanym posiada strukturę perlityczno-ferrytyczną, z powierzchnią odwęgloną, co sugeruje stosowanie atmosfer ochronnych.
2. Po obróbce cieplnej posiada jednorodną strukturę martenzytyczną z niewielką ilością austenitu szczątkowego, twardość na przekroju odlewu jest jednakowa, jednak jej wartość silnie maleje po zastosowaniu zbyt wysokiego odpuszczania.
3. Wraz ze wzrostem temperatury odpuszczania badanego staliwa zmniejsza się jego odporność na ścieranie.
4. Zmienia się charakter zużywania badanych powierzchni. Dla próbek twardych zużycie jest równomierne, ze spadkiem twardości na powierzchni zaczynają tworzyć się bruzdy, oraz zwiększa się ilość wbitych cząstek SiC.

#### **LITERATURA**

- [1] Dobrzański L.: „*Metaloznawstwo z podstawami nauki o materiałach*” – WNT, Warszawa 1998.
- [2] DIN 17 205/1992.
- [3] Głownia J., Kalandyk B., Młynarczyk L.: „*Badanie odporności na zużycie ściernie staliwa Mn-N*”i.
- [4] Głownia J.: „*Odlewy ze stali stopowej zastosowanie*” – Fotobit, Kraków 2002.

#### **STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF SURFACE IN Cr-Mo CAST STEEL IN ABRASION CONDITIONS**

#### **ABSTRACT**

Low alloyed Cr-Mo cast steel is applied for abrasion resistant castings used in mining, petrol and machine industries. Such castings have very high hardness at the outer surface and good plasticity of the matrix. Provided investigations contain the effect of chemical composition, structure, hardness and heat treatment on the abrasion resistance of cast steel in the environment of water + SiC.

Recenzował: prof. dr hab.inż. Jerzy Kubicki