

Aneta MIKULSKA

Politechnika Radomska, Instytut Budowy Maszyn

WPLYW SKŁADU CHEMICZNEGO NA ZUŻYWANIE TRIBOLOGICZNE STALIWA TYPU Cr-Mo-V-Cu-Ni W NISKICH TEMPERATURACH

Słowa kluczowe

Niskie temperatury, zużycie, tarcie, staliwo stopowe.

Key words

Alloyed cast steel, friction wear, low temperature, hot-work cast steel.

Streszczenie

Przedstawiono stan, wyniki i perspektywy badawcze problemów odporności tribologicznej staliwa. Opisano ilościowy i jakościowy wpływ zawartości C, Cr i Mo na zużycie wyżarzono staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni w temperaturze 233 K w relacji z twardością i mikro-twardością struktury dendrytycznej. Stwierdzono wyższe zużycie tego staliwa w temperaturze 233 K niż w 293 K oraz, że twardość nie może być wskaźnikiem odporności na zużycie przez tarcie. Wysoka zawartość Cr i Mo w badanym staliwie jest niecelowa.

WPROWADZENIE

Awaryjność części i zespołów maszyn pracujących zimą – w niskich temperaturach jest wyższa niż analogicznego parku maszyn eksploatowanego w okresie letnim [1, 2, 3]. Szczególnych dowodów dostarcza eksploatacja urządzeń technicznych w warunkach Syberii, Skandynawii, Alaski. Problemy te występują także w klimacie Środkowej Europy. Również w Polsce spadki temperatury osiągały już nieraz poziom – 25 °C i niższy. Doświadczenia eksploatacyjne w warunkach syberyjskich wskazują, że awarie maszyn wydobywczych, transportowych, urządzeń przetwórstwa geologiczno – górniczego itp. w znacznej mierze są powodowane zużyciem części tych maszyn przez tarcia.

ISTOTA DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

W ostatnich latach opracowano liczną grupę gatunków staliwa odpornego na ścieranie zawierającego kompleks stopowy Cr-Mo-V-Cu-Ni. Wytapiano je w różnych kombinacjach ilościowych pierwiastków i różnej relacji Cr, Mo i V do udziału węgla. W pracach [4, 5, 6] przedstawiono wyniki badań struktury i właściwości tego typu staliwa w temperaturze pokojowej. Wynika z nich, że strukturą staliwa można – i należy – sterować w szerokim zakresie wartości wskaźników opisujących stereologię i heterogeniczność budowy dendrytycznej. Takie sterowanie strukturą jest skuteczną drogą w kształtowaniu właściwości tribologicznych staliwa.

W pracy [7] przedstawiono wyniki badań zużycia ściernego staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni w relacji z twardością i rozkładem mikrotwardości struktury dendrytycznej tego staliwa po ulepszeniu cieplnym. Wynika z nich, że zużycie tribologiczne badanego staliwa zależy przede wszystkim od parametrów stereologii struktury staliwa. Skład chemiczny wywiera wpływ na zużycie staliwa przez kształtowanie jakościowej i ilościowej heterogeniczności struktury dendrytycznej. Wyniki badań przedstawione w tej pracy dotyczą ścierania staliwa ulepszonego cieplnie w kontakcie z papierem ściernym nr „320”, w temperaturze otoczenia (293 K).

METODYKA I WARUNKI BADAŃ W TEMPERATURZE 233 K

W celu zbadania odporności staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni na zużywanie w warunkach tarcia suchego w niskiej temperaturze, badano zużycie 20 gatunków staliwa w próbie: 3 wałeczki – stożkowa przeciwpróbka w temperaturze otoczenia pary trącej 233 K. Analogiczne badania wykonano też w temperaturze 293 K, a w charakterze wzorca badano zużycie staliwa LH14 obrobionego cieplnie do twardości 46 HRC. Badania prowadzono według metodologii planowania doświadczeń, stosując pełnoczynnikową macierz ortogonalną 2^3 I stopnia. Intensywność zużycia $I_z(233)$ i $I_z(293)$ opisano ilościowo równaniami regresji w funkcji zawartości węgla, chromu i molibdenu w staliwie. Analogicznie opisany wpływ tych pierwiastków na twardość i rozkład mikrotwardości $S_{\mu HV}$ umożliwił ocenę ilościowej i jakościowej relacji: $I_z - HRC - S_{\mu HV}$.

Do badań użyto próbek o średnicy 10 mm wykonanych metodą wytapianych modeli, które wyżarzano w temperaturze 1103 K w czasie 3 godzin, a następnie studzono z piecem. Takie wyżarzanie miało na celu usunięcie austenitu szczątkowego, pozostawiając podstawową, pierwotną istotę budowy dendrytycznej w staliwie.

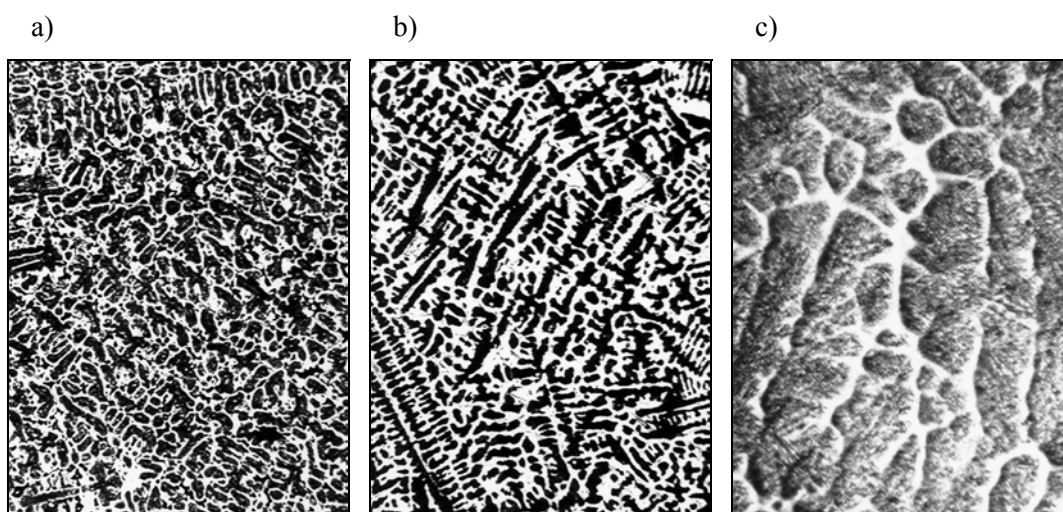
Po wyżarzeniu mierzono twardość, mikrotwardość μHV_d dendrytów i przestrzeni międzydendrytycznej μHV_{p-md} , a następnie obliczono stosunek mikrotwardości $S\mu\text{HV}$.

WYNIKI BADAŃ

Twardość staliwa po wyżarzeniu w temperaturze otoczenia wynosiła 38÷44 HRC, natomiast w temperaturze 233 K wzrastała o 3÷5 jednostek HRC.

Przykładowe, reprezentatywne struktury badanych gatunków staliwa pokazano na rys. 1.

W strukturze zaobserwować można charakterystyczne dla staliwa dendryty i wzbogacone w węgliki przestrzenie międzydendrytyczne.



Rys. 1. Struktura dendrytyczna staliwa. Traw. odcz. o składzie: 80 ml HCl, 80 g FeCl_3 , 6 g CuCl_2 , 1000 ml H_2O . Pow.: 50× (a, b), 100× (c):

- a) twardość: 43 HRC; $I_z/233 = 6,0 \cdot 10^{-2}$ mm/m; $S\mu\text{HV} = 0,75$;
- b) twardość: 42 HRC; $I_z/233 = 4,7 \cdot 10^{-2}$ mm/m; $S\mu\text{HV} = 0,67$;
- c) twardość: 39 HRC; $I_z/233 = 9,2 \cdot 10^{-2}$ mm/m; $S\mu\text{HV} = 0,77$.

Fig. 1. Dendritic structure of cast steel:

- a) hardness: 43 HRC; $I_z/233 = 6,0 \cdot 10^{-2}$ mm/m; $S\mu\text{HV} = 0,75$;
- b) hardness: 42 HRC; $I_z/233 = 4,7 \cdot 10^{-2}$ mm/m; $S\mu\text{HV} = 0,67$;
- c) hardness: 39 HRC; $I_z/233 = 9,2 \cdot 10^{-2}$ mm/m; $S\mu\text{HV} = 0,77$.

Wyniki badań intensywności zużycia, po opracowaniu statystycznym, testowaniu istotności w oparciu o kryterium t – Studenta i adekwatności wg F – Fishera, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ opisano zależnościami (1) i (2):

- zużycie w temperaturze 293 K:

$$Iz(293) = 6,3 - 1,44x_1 + 0,14x_2 - 0,31x_1x_3 / \cdot 10^{-2} \text{ mm/m} \quad (1)$$

- zużycie w temperaturze 233 K:

$$Iz(233) = 7,3 - 2,51x_1 + 0,33x_2 + 0,14x_1x_3 - 0,25x_2x_3 / \cdot 10^{-2} \text{ mm/m} \quad (2)$$

gdzie:

$$x_1 = \frac{C-0,4}{0,2}; \quad x_2 = \frac{Cr-8}{5}; \quad x_3 = \frac{Mo-0,5}{0,2} \quad (3)$$

C, Cr, Mo – zawartość, odpowiednio: węgla, chromu i molibdenu w staliwie, %.

Zużycie wzorcowego staliwa LH14 wynosiło $7,8 \div 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ mm/m}$.

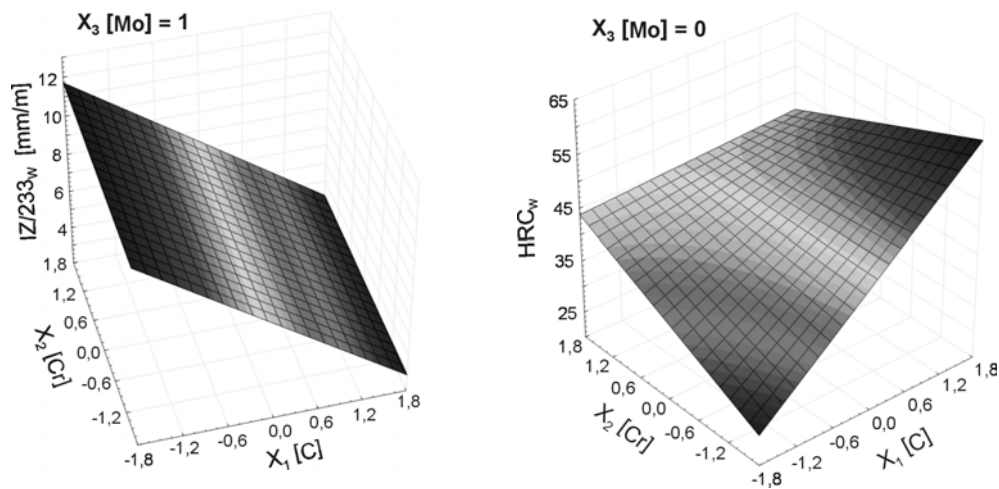
Wpływ zawartości węgla, chromu i molibdenu na twardość staliwa po wyżarzaniu przybiera postać (4):

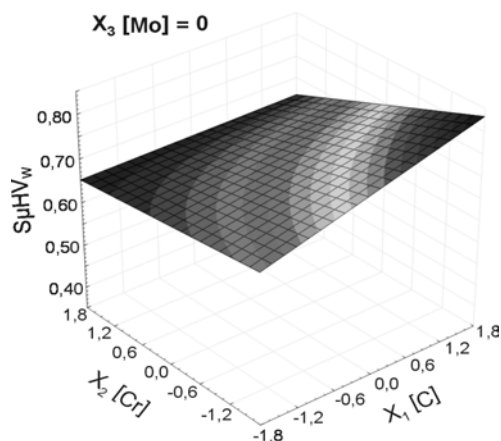
$$\text{HRC}_w = 44,3 + 5,3x_1 + 0,5x_2 + 0,5x_3 - 2,5x_1x_2 - x_1x_3 \quad (4)$$

Stosunek mikrotwardości dendrytów do mikrotwardości strefy międzydendrytycznej w wyżarzonym staliwie $S_{\mu\text{HV}}$, można opisać równaniem (5):

$$S_{\mu\text{HV}} = 0,71 + 0,02x_1 - 0,03x_2 - 0,04x_2x_3 \quad (5)$$

Wybrane elementy graficznych postaci zależności (1), (2), (4) i (5) pokazano na rys. 2.





Rys. 2. Wpływ zawartości C i Cr na intensywność zużycia (a), twardość HRC (b) oraz stosunek twardości $S_{\mu}HV$ (c) staliwa w jednostkach kodowanych
 Fig. 2. Influence of C and Cr content on the intensity wear (a), hardness HRC (b) and $S_{\mu}HV$ (c)

ANALIZA WYNIKÓW

Z analizy równań (1) i (2) wynika, że intensywność zużycia badanego staliwa w temperaturze 233 K jest wyższa niż w temperaturze 293 K. Przy czym zużycie to jest przynajmniej o 10 % niższe niż staliwa LH14. Decydujący, najsilniejszy wpływ na zużywanie wyżarzzonego staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni wywiera węgiel. Wzrost jego udziału w staliwie – zgodnie z przewidywaniem – powoduje zmniejszenie zużycia tego stopu. Analizując wpływ węgla na twardość i wartość $S_{\mu}HV$ można sądzić, że korzystne oddziaływanie węgla na właściwości tribologiczne wyraża się przez wzrost twardości i zmniejszanie różnic mikroztwardości dendrytów w stosunku do węglkowej strefy międzidendrytycznej w staliwie. Świadczą o tym ujemne wartości współczynników regresji b_1 w zależnościach (1) i (2), dodatnie znaki tego współczynnika w równaniach (4) i (5) oraz rys. 2. Jest to słuszne tylko w odniesieniu do węgla i nie należy oceniać wpływu chromu i molibdenu na zużycie staliwa przez ich wpływ na twardość i rozkład mikroztwardości w strukturze dendrytycznej. Analiza znaków współczynników regresji w równaniach (1), (2), (4) i (5) wskazuje, że wzrost twardości staliwa spowodowany chromem lub molibdenem, a zwłaszcza ich współdziałaniem ($x_i x_j$), wywiera niekorzystny wpływ na zużycie. Jest prawdopodobne, że źródło takiego zjawiska tkwi we wpływie Cr i Mo na kształtowanie wskaźników stereologii struktury i rozkładu mikroztwardości, który dla danych warunków

tarcia może okazać się tribologicznie niekorzystny [1, 4÷7]. Problem ten pozostaje w najbliższej perspektywie badawczej. Zmiana obróbki cieplnej i warunków tarcia w stosunku do badań przedstawionych w pracy [7], spowodowała bowiem istotne, jakościowe i ilościowe zmiany we wpływie pierwiastków stopowych na zużycie, twardość i rozkład mikrotwardości w staliwie. Trudne do uogólnienia są też wzajemne relacje między mierzonymi w tych pracach wielkościami. W miarę obniżania temperatury, wytrzymałość i twardość staliwa wzrastają, zmieniając warunki powierzchniowej i mikroobjętościowej destrukcji. Zmiany te w nierównej mierze dotyczą dendrytów i bogatej w węgliki strefy międzydendrytycznej [3]. Wyższej twardości staliwa w niskiej temperaturze towarzyszyło większe zużycie. Twardość w ograniczonym stopniu charakteryzuje odporność tribologiczną materiału [1, 5, 7]. Potwierdzają to również niniejsze badania porównawcze ze staliwem LH14, którego zużycie okazało się wyższe mimo większej twardości niż staliwa podstawowego.

UWAGI KOŃCOWE

- Staliwo typu Cr-Mo-V-Cu-Ni po wyżarzeniu w temperaturze 1100 K, wykazuje większą intensywność zużycia podczas tarcia suchego w niskiej temperaturze niż w temperaturze pokojowej 293 K. Można sądzić, że po stosownym ulepszeniu cieplnym i skonstruowaniu odmiennych charakterystyk ilościowej, jakościowej i fazowej heterogeniczności struktury, zużywanie staliwa w niskotemperaturowym otoczeniu pary trącej przybierze odmienne wartości. Pierwsze doświadczenia potwierdzające taki pogląd są już wykonane w ramach pracy [8].
- Węgiel – ogólnie biorąc – wywiera korzystny wpływ na odporność tribologiczną badanego staliwa. Natomiast chrom i molibden przy wysokich udziałach i nieodpowiednich relacjach ilościowych z węglem, odporność tę w niewielkim stopniu zmniejszają.
- Wpływ C, Cr i Mo na twardość i rozkład mikrotwardości, a przez nie na intensywność zużycia staliwa w stanie wyżarzonym nieulepszonym cieplnie jest niejednorodny i – na obecnym etapie badań – trudny do uogólnienia. Można jedynie zarysować tendencję do zmniejszania intensywności zużycia w warunkach zacierania w niskich temperaturach ze wzrostem twardości staliwa i optymalnym stosunku $S_{\mu HV}$. Sądząc z badań [5÷8], wartość $S_{\mu HV}$ powinna przybierać wartość 0,65÷0,75.

LITERATURA

1. Wojtkun F., Sołncew Ju. P.: Materiały specjalnego przeznaczenia. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom, 2001. 500 s.
2. Wojtkun F.: Materiałoznawcze problemy eksploatacji urządzeń technicznych w niskich temperaturach. Problemy Eksploatacji, Wyd. ITE, Radom, nr 4, 2001, s. 337 ÷ 344.
3. Lebidiew W. W.: Разработка хладостойких литейных сталей для деталей крупных карьерных экскаваторов. Изд. СПбГТУ, Санкт – Петербург, 1999, 32 s.
4. Wojtkun F.: Staliwo w budowie maszyn. VIII Posiedzenie KBM PAN. Prace naukowe. Wydz. Mechaniczny. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom, 2002, s. 84 ÷ 106.
5. Wojtkun F., Mikulska A.: Twardość i heterogeniczność struktury a zużycie ściernie staliwa. Inżynieria Powierzchni, nr 2, 2002, s. 31 ÷ 35.
6. Wojtkun F., Mikulska A.: Wpływ C, Cr i Mo na stereologię struktury dendrytycznej w staliwie stopowym. Polska metalurgia 1998 ÷ 2002. Monografia KM PAN Kraków, Wyd. AKAPIT, Kraków 2002, s. 82 ÷ 86.
7. Mikulska A.: Wpływ C, Cr i Mo na zużycie tribologiczne staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni. XXV Szkoła Tribologiczna. Tribologia na progu III tysiąclecia. Prace naukowe Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, nr 87, 2002, s. 237 ÷ 242.
8. Wojtkun F., Mikulska A. i in.: Badania właściwości technologicznych i eksploatacyjnych staliwa do pracy w niskich temperaturach. Praca statutowa, nr: 2063/22/P, 2003 r. (Niepublikowane).

The influence of chemical constitution on tribological wear of cast steel Cr-Mo-V-Cu-Ni type in low temperatures

Summary

The state, results and foreseeable of research tribological resistance problems of cast steel are presented. Quantitative and qualitative influence of C, Cr and Mo contents on the friction wear of annealed cast steel Cr-Mo-V-Cu-Ni type at 233 K, and its relationship with hardness and micro – hardness of dendritic structure has been described. The greater intensity of friction wear this one cast at 233 K than 293 K, also that cast steel hardness cannot be as indicator of the friction resistance was found. It is not advisable a great Cr and Mo contents in annealed cast steel Cr-Mo-V-Cu-Ni type.