

Feliks WOJTKUN*

PROBLEM ZUŻYWANIA TRIBOLOGICZNEGO STALIWA W NISKICH TEMPERATURACH

THE PROBLEM OF TRIBOLOGICAL WEAR OF CAST STEEL IN LOW TEMPERATURES

Słowa kluczowe:

kruche pękanie, niskie temperatury, staliwo, zużycie tribologiczne

Key words:

cold – shortnes, low temperatures, cast steel, tribological wear

Streszczenie

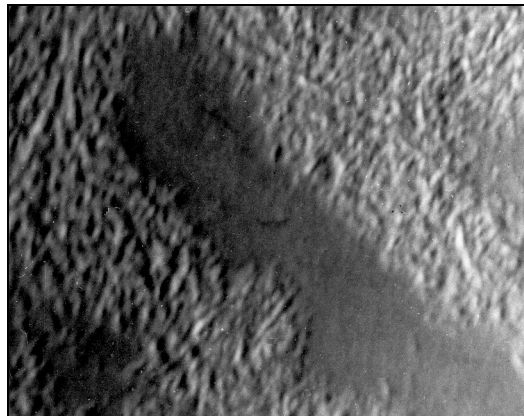
Opisano specyfikę eksploatacji maszyn w warunkach zużycia tribologicznego w niskich temperaturach. Na tym tle zestawiono wymagania strukturalne, tribologiczne i mechaniczne. Przedstawiono podstawowe grupy gatunków staliwa stosowanych w produkcji koparek eksploatowanych w niskich temperaturach, ich właściwości oraz prognozy badawcze. Stwierdzono możliwość uzyskania wysokiej odporności tribologicznej i niskiej kruchości niskotemperaturowej staliwa stopowego przez wytworzenie zadanej, korzystnej dla warunków pracy, struktury dendrytycznej.

* Wydział Mechaniczny Politechniki Radomskiej

ISTOTA ZAGADNIENIA

Odporność na ścieranie części maszyn i urządzeń często stanowi o żywotności, awaryjności, kosztach eksploatacji i skali szkodliwości urządzeń technicznych wobec środowiska naturalnego. Tak jest w eksploatacji maszyn i urządzeń wydobywczych, geologicznych, budowlanych, inżynierskich, transportowych itd. Powszechnie znane są problemy zużycia zębów koparek, koronek sprzętu wiertniczego, ogniw gąsienic, rolek, kół biegowych itp. Wszystkie te części są z zasady wykonywane ze staliwa, co nadaje tym problemom pewną charakterystyczną specyfikę.

Jak wiadomo, odmienne właściwości eksploatacyjne stali i staliwa, o porównywalnym składzie chemicznym, mają swoje źródło w fundamentalnych różnicach strukturalnych. Staliwo, z charakterystyczną budową dendrytyczną, segregacją pierwiastków i faz, posiada jemu tylko właściwą naturalną heterogeniczność struktury. Jest ona korzystna m.in. w warunkach termicznego osłabienia i zużycia przez tarcie, zwłaszcza w podwyższonych temperaturach. Niestety, struktury eksploatacyjnie korzystne w temperaturach dodatnich najczęściej nie spełniają wymagań, jakie stawiane są materiałom do pracy w niskich temperaturach. Chodzi tu przede wszystkim o tę heterogeniczność, z którą wiąże się odporność tribologiczna [L. 1÷6, 10]. Charakterystyczną topografią struktury dendrytycznej w staliwie pokazano na **Rys. 1**.



Rys. 1. Topografia zglądu staliwnego, 500×

Fig. 1. The topography of polished surface of cast steel, ×500

Wymagania strukturalne wobec materiałów do pracy w warunkach niskich temperatur są surowsze niż każde inne [L. 1÷3]. W pierwszym rzędzie materiały takie powinny być odporne na kruche niskotemperaturowe pękanie. W strukturze nie mogą zatem występować koncentratory naprężeń, a w heterogenicznej budowie wewnętrznej staliwa ich udział jest znaczny. Najlepsze pod tym względem są stopy jednofazowe, ale te nie odznaczają się odpowiednią odpornością na ścieranie. Przykładem mogą być stale i staliwa 18-8 oraz staliwo Hadfielda. Pierwsze z nich, przy wysokiej odporności na kruche pękanie, intensywnie zużywają się w każdych warunkach tarcia. Drugie zaś nie może pracować w kontakcie z luźnym ścierniwem, np. w piasku. Stopy odporne na ścieranie mają w niskich temperaturach niedostateczną ciągliwość.

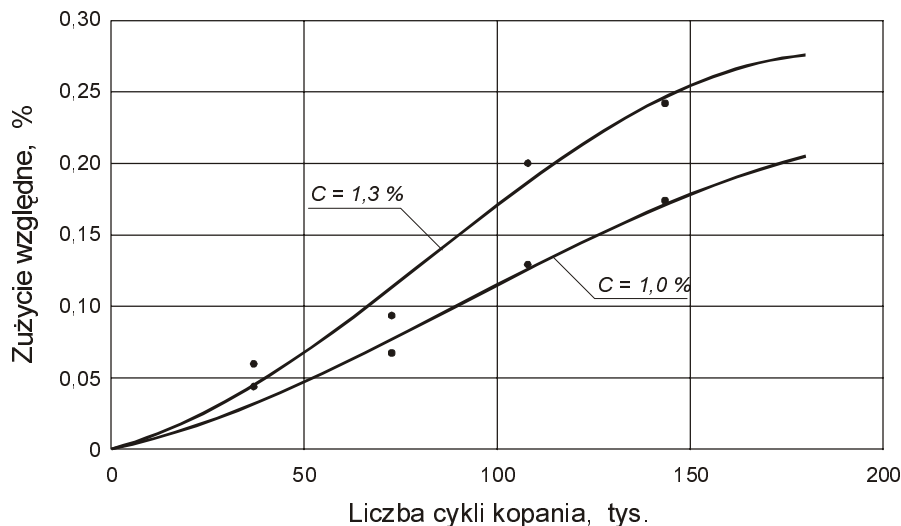
Jak widać, zapewnienie odporności tribologicznej materiałów w niskich temperaturach wiąże się z koniecznością połączenia (pogodzenia) dwóch przeciwstawnych, a nawet wykluczających się wymagań strukturalnych. Doświadczenie naukowo-badawcze i praktyka eksploatacyjna dowodzą, że poszukiwanie wysokiej odporności na ściernej materiałów jednofazowych odpornych na kruche, niskotemperaturowe pękanie, jest na obecnym etapie wiedzy niecelowe. Dlatego wydaje się racjonalną odwrotną koncepcją, a mianowicie maksymalne zmniejszenie wrażliwości na kruche pękanie materiałów – stopów z uprzywilejowaną tribologicznie naturalną strukturą, jaką charakteryzuje się staliwo. Dotychczasowe wyniki badań pozwalają twierdzić, że to pozornie nierealne zadanie jest w znacznej mierze wykonalne [L. 5÷10].

Strukturą staliwa można bowiem sterować i konstruować szerokie zestawy wartości charakterystyk jakościowej i ilościowej stereologii oraz heterogeniczności budowy dendrytycznej [L. 11]. Jednym z najważniejszych celów tego procesu jest uzyskanie odpowiednio wysokiej ciągliwości i odporności na kruchość niskotemperaturową kosztem niewielkiej straty na właściwościach tribologicznych.

STALIWO W BUDOWIE KOPAREK

Najbardziej charakterystycznymi przykładami pękających i zużywających się części maszyn pracujących w warunkach złożonych obciążeń i tarcia są zęby koparek, a także bijaki i szczęki kruszarek. Szerokie zastosowanie na te części znajduje nadal staliwo Hadfielda i różne jego współczesne modyfikacje. Jest ono jednak w produkcji i spawaniu szkodliwe

ekologicznie, a jego żywotność silnie zależy od składu chemicznego, zwłaszcza od zawartości węgla. Zmiana zawartości pierwiastków, mieszcząca się w granicach norm, może spowodować 1,5-krotną zmianę odporności na zużycie (**Rys. 2**) [**L. 8**].



Rys. 2. Wpływ zawartości węgla na zużycie ścierne staliwa Hadfielda

Fig. 2. Effect of carbon contents on the abrasive wear of Hadfield's cast steel

Firmy zagraniczne: Sumitomo (Japonia), Harnisfeger (USA), Marion (USA), Demag – Kamatsu (Niemcy), na zęby koparek zalecają staliwa niskostopowe typu Cr – Ni – Mo – Ti. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się staliwa CFE – SS (Japonia) i ESCO (USA), zawierające 0,25 ÷ 0,30 % C; 0,60 ÷ 0,80 % Mn; 0,30 ÷ 0,60 % Si; 0,50 ÷ 0,70 % Cr; 0,20 ÷ 0,60 % Mo; 0,60 ÷ 1,0 % Ni. Po ulepszeniu cieplnym staliwa te mają następujące właściwości: $R_m = 1050 \div 1580$ MPa; $R_{0,2} = 900 \div 1460$ MPa; $A_{10} = 10 \div 16$ %; twardość 32 ÷ 42 HRC, $KCV^{+20} = 27 \div 37$ J/cm²; $KCV^{-40} = 11 \div 40$ J/cm². Staliwa te są jednak trudnospawalne. Nie spełniają więc jednego z podstawowych kryteriów kwalifikacji materiału na części maszyn do pracy w niskich temperaturach [**L. 7, 8**]. Odporność tribologiczna stosowanych gatunków staliwa jest trudna do ilościowej, porównawczej oceny. Zwykle określa się ją liczbą cykli kopania, objętością urobku, częstotliwością wymiany części lub masą zużytych części za-

miennych itp. Zważywszy, że wydobywane, kopane lub przerabiane surowce i minerały dzieli się według Barona L.I. na 8 klas (kategorii) ścieralności [L. 8], podawane miary zużycia staliwa mają ograniczoną komunikatywność.

Wachlarz gatunków staliw stosowanych w technice niskich temperatur jest względnie szeroki [L. 7]. Jednak tylko nieliczne z nich, zresztą w ograniczonym stopniu, spełniają niektóre z niskotemperaturowych wymagań eksploatacyjnych. Najtrudniej jest połączyć odporność na ścieranie z udurowieniem i spawalnością staliwa. Nawet rosyjscy producenci koparek i pojazdów gaśnicowych, mający doświadczenie w syberyjskich warunkach eksploatacji swoich wyrobów, zadowolające rozstrzygnięcie tego problemu widzą jako jedno z poważniejszych zadań dla teorii, technologii i eksploatacji staliwa. Popularne w Rosji staliwo 110G13L i innej grupy staliwo 20GNMFL nie spełniają przynajmniej jednego z szerokiego zestawu wymagań.

NIEKTÓRE PROGNOZY I WYNIKI BADAŃ

Wskazanie lub opracowanie uniwersalnego gatunku staliwa do pracy w warunkach niskich temperatur jest nierealne. Niemożliwe jest bowiem ustabilizowanie następujących parametrów:

- 1) *szybkość chłodzenia odlewu* ze względu na różną grubość ścianki i ich kształt, np. zęb koparki i ogniwo gaśnic muszą mieć różne charakterystyki tribologiczne heterogeniczności struktury,
- 2) *środowisko ścierne* (skalne, piaskowe itp.),
- 3) *charakter obciążeń mechanicznych*,
- 4) *temperatura pracy*, zmieniająca się często z dodatniej na ujemną lub odwrotnie,
- 5) *stopień i rozmieszczenie w strukturze staliwa skutków zmieniających się w ujemnych temperaturach właściwości faz*. Powodują one zmianę stosunku mikrotwardości dendrytów do mikrotwardości stref międzydendrytycznych, zamocowanie węglików w osnowie itd. W miarę obniżania temperatury następuje umocnienie materiału i wzrost jego twardości. Jest zrozumiałe, że zmiany te są różne w osiach dendrytów i w węglikowej strefie międzydendrytycznej.

W Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Radomskiej prowadzone są prace naukowo-badawcze poświęcone problemom eksploatacji stali

i staliwa w niskich i kriogenicznych temperaturach. Realizuje się równolegle dwa kierunki badawcze:

- 1) opracowanie nowych gatunków staliw,
- 2) badania grupy staliw typu Cr – Mo – V – Cu – Ni o sprawdzonej i udokumentowanej wysokiej odporności na zużywanie tribologiczne [L. 2÷4] w celu maksymalnego ograniczenia ich skłonności do kruchości pęknięcia w niskich temperaturach.

W ramach pierwszego z kierunków opracowano niskostopowe staliwo do pracy w niskich temperaturach, odporne na ścieranie, zwłaszcza w warunkach pracy zębów koparek, ogniw gaśnic itp. [L. 3, 9]. Staliwo to, we współpracy z ośrodkiem naukowym i przemysłowym Sankt Petersburga, zostało wdrożone do produkcji przy wytwarzaniu koparek typu EKG pracujących na Syberii. Po obróbce cieplnej polegającej na normalizowaniu i ulepszaniu cieplnym staliwo to ma następujące właściwości: $R_m = 1100 \div 1200$ MPa; $R_{0,2} = 1030 \div 1050$ MPa; $A_{10} = 14$ %; $Z = 59$ %; twardość $35 \div 40$ HRC, $KCV^{+20} = 30 \div 35$ J/cm²; $KCV^{40} = 18 \div 24$ J/cm². Intensywność zużycia tego staliwa w próbie 3 wałeczkowej w temperaturze otoczenia $I_{Z(293)}$ i w temperaturze -40 °C (233 K) $I_{Z(233)}$ wynosi odpowiednio: $9,56 \cdot 10^{-2}$ mm/m i $9,35 \cdot 10^{-2}$ mm/m. Praktycznie nie zależy więc ono od temperatury otoczenia pary trącej. Przy hartowaniu opracowanego staliwa ze strefy temperatur $\alpha + \gamma$, zużycie $I_{Z(233)}$ jest przynajmniej o 50 % niższe niż $I_{Z(293)}$. Stosując różne procesy obróbki cieplnej, uzyskiwano różny stosunek mikrotwardości dendrytów do mikrotwardości strefy międzydendrytycznej $S_{\mu}HV$. Osiągał on trzy poziomy wartości:

- 1) $0,50 \pm 0,01$;
- 2) $0,70 \pm 0,01$;
- 3) $0,80 \pm 0,02$.

Przy stosunku $S_{\mu}HV$ z dwóch pierwszych poziomów wartości, intensywność zużycia I_Z nie zależy od temperatury lub obserwuje się jego nieznaczny wzrost po obniżeniu temperatury do 233 K. To uzyskane zmniejszenie zużycia w temperaturze -40 °C przynajmniej o 50 % przypada na wartość $S_{\mu}HV = 0,78 \div 0,82$.

W pracach [L. 5, 6] przedstawiono wybrane wyniki badań właściwości staliwa Cr – Mo – V – Cu – Ni w niskich temperaturach, w tym również zużywania w warunkach zacierania w temperaturze 233 K. Z badań [L. 5] wynika, że staliwo tej grupy, po wyżarzeniu w temperaturze 1100 K przez okres 3 godzin i studzeniu z piecem, wyka-

zuje w temperaturze 233 K o około 15 % wyższe zużycie niż w temperaturze otoczenia. Jest ono jednak niższe o 20 % niż w przypadku stali 3H13 o twardości 46 HRC. Twardość staliwa po wyżarzaniu wynosiła 38÷44 HRC, a w temperaturze 233 K wzrastała o 3÷5 jednostek HRC. Wyrażono pogląd, że ten wzrost twardości w niskiej temperaturze następuje w wyniku wzrostu twardości dendrytów [L. 5]. Zmienia to w zasadniczym stopniu stosunek ich mikrotwardości do węglkowej strefy międzydendrytycznej i z tribologicznego punktu widzenia staje się on w tych warunkach tarcia mniej korzystny.

W pracy [L. 6] podano wyniki badań właściwości tego typu staliwa charakteryzujące jego mechaniczne wartości i przydatność do pracy w niskich temperaturach. W stanie ulepszonym cieplnie uzyskano następujące właściwości badanego staliwa: $R_m = 780 \div 1010$ MPa; $R_{0,2} = 650 \div 820$ MPa; $A_{10} = 8 \div 18$ %; $KCV^{+20} = 50 \div 110$ J/cm²; $KCU^{40} = 42 \div 80$ J/cm².

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

- 1) Części maszyn i urządzeń pracujących w warunkach zużywania tribologicznego w niskich temperaturach muszą spełniać dwa podstawowe wymagania:
 - odporność na ścieranie w różnych warunkach tarcia,
 - odporność na kruche pękanie w niskich temperaturach.
- 2) Niezastąpione w budowie licznej grupy maszyn staliwo, pierwsze z wymagań w znacznej mierze spełnia dzięki naturze budowy wewnętrznej, ale budowa ta nie sprzyja osiągnięciu drugiego z wymagań.
- 3) Odpowiedni dobór składu chemicznego i obróbki cieplnej staliwa pozwalają na skuteczne sterowanie strukturą dendrytyczną, jej stereologią i wskaźnikami heterogeniczności.
- 4) Obecny stan badań i ich wyniki pozwalają uznać staliwo za materiał kwalifikujący się do pracy w warunkach charakterystycznych np. dla pracy zębów koparek, bijaków, rolek, szczęk kruszarek i elementów gąsienic eksploatowanych w niskich temperaturach.

LITERATURA

1. Wojtkun F., Sołncew Ju. P.: Materiały specjalnego przeznaczenia. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom, 2001. 500 s.
2. Wojtkun F.: Staliwo w budowie maszyn. VIII Posiedzenie KBM PAN. Prace naukowe. Wydz. Mechaniczny. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom, 2002, s. 84 ÷ 106.
3. Wojtkun F.: Materiałoznawcze problemy eksploatacji urządzeń technicznych w niskich temperaturach. Problemy Eksploatacji, Wyd. ITE, Radom, nr 4, 2001, s. 337 ÷ 344.
4. 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.
5. Mikulska A.: Износостойкость литейных сталей типа Cr-Mo-V-Cu-Ni при температуре 233 К. IX Конференция Международной Академии Холода (IAR): Прочность материалов и конструкций при низких температурах. Санкт – Петербург, 2003, s. 17-20.
6. Wojtkun F., Mikulska A.: Механические свойства износостойких литейных сталей типа Cr-Mo-V-Cu-Ni. IX Конференция Международной Академии Холода (IAR): Прочность материалов и конструкций при низких температурах. Санкт – Петербург, 2003, s. 21 ÷ 24.
7. Sołncew Ju. P., Andrejew A. K., Greczin R. I.: Литейные хладостойкие стали. Изд. Металлургия, Москва, 1991, 176 s.
8. Lebediew W. W.: Разработка хладостойких литейных сталей для деталей крупных карьерных экскаваторов. Изд. СПбГТУ, Санкт – Петербург, 1999, 32 s.
9. Wojtkun F., Sołncew Ju. P., Lebediew W. W.: Staliwo, zwłaszcza do pracy w niskich temperaturach, odporne na ścieranie. Biuletyn Urzędu Patentowego R. P. Warszawa, nr 14, 2002, s.14.
10. Wojtkun F., Mikulska A.: Twardość i heterogeniczność struktury a zużycie ścierne staliwa. Inżynieria Powierzchni, nr 2, 2002, s. 31 ÷ 35.
11. 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.

Recenzent:
Marian SZCZEREK

Summary

The specific of machines exploitation in tribological and low temperatures conditions has been described. In a such context structure, tribological, mechanical properties and exploitation requirements has been composed. The basic group of cast steel used in excavators for low temperatures exploitation their properties and research foresight are presented. Feasibility of high tribological also cold – shortness resistance of alloyed cast steel by the formation beneficial, specific for exploitation conditions of dendritic structure was found.