64/2

Archives of Foundry,
Year 2001, Volume 1, № 1 (2/2)
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (2/2)
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

STALIWO L20HGSNM ODPORNE NA ZUŻYCIE ŚCIERNE

S. JURA[1], R. BOGUCKI[2].
[1]Katedra Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechniki Śląskiej
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice
[2]OBRUM Gliwice ul. Toszecka 102, 44-100 Gliwice

STRESZCZENIE

Przedstawiono wyniki badań zużycia erozyjnego staliwa L20HGSNM na bazie teorii Bittera. Opracowano programy komputerowe, które pozwalają wyznaczyć energię jednostkową zużycia erozyjnego. Wykorzystując prawo Kicka i przekształcenia Meyera uzyskano parametry materiałowe decydujące o zużyciu. Stosując wyniki doświadczalne opracowano zależności opisujące energię E i R zużycia oraz kąt α_o będący postawą do konstrukcji i optymalizacji maszyn i ich elementów roboczych.

Key words: crystallization, cast steel.

1. WPROWADZENIE

Problemy zużycia ściernego mechanizmów i elementów maszyn są jednymi z najważniejszych w gospodarce narodowej. Samo zjawisko zużycia tj. ubytku masy w parze trącej lub elementach roboczych i narzędziach jest bardzo złożone. Zużycie zależne jest od kąta oddziaływania ciał trących na siebie, sił oddziaływania, właściwości materiałów trących. Wpływ mają także temperatura, drgania a w układzie pary trącej metal-metal pojawiają się problemy środków smarujących i najbardziej niebezpiecznego zjawiska pojawienia się trzeciego ciała, będącego wyrwanymi elementami ciał trących. Prawdopodobnie najbardziej zbliżone do rzeczywistości są teorie energetyczne opisujące proces zużycia ściernego. Wyróżnić tu należy prace Sadowskiego[1] i Bittera[2]. Przyjmując te teorie jako spełniające podstawowe prawa fizyki postawiono przeanalizować wzory Bittera. Prace te odnoszą się do problemów zużycia erozyjnego. Teoria Bittera pozwala na uproszczenie wzorów na zużycie ścierne,

---

[1] *prof. dr hab. inż., sekrmt3@zeus .polsl.gliwice.pl*
[2] *dr inż.*

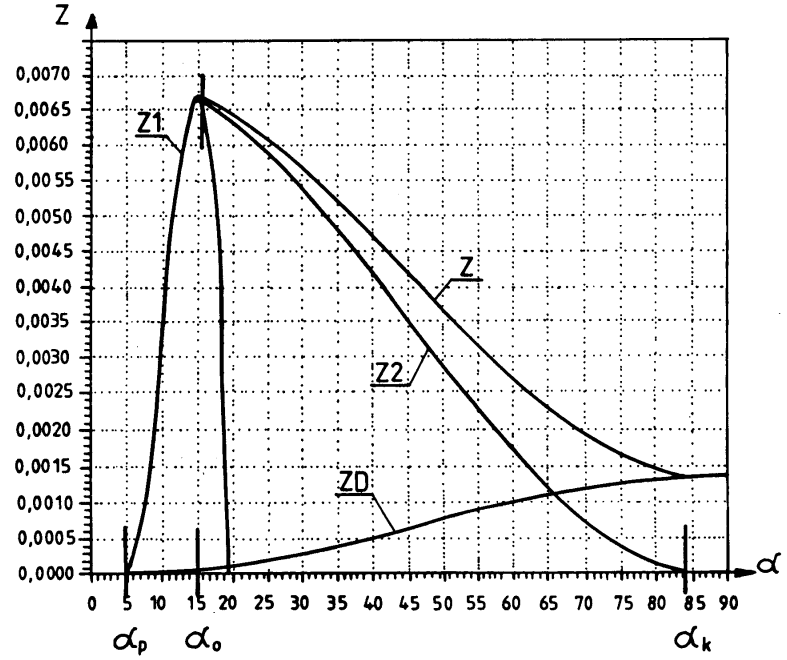
ponieważ w tego rodzaju oddziaływaniach pojawiają się tylko dwa ciała: cząstka uderzająca z prędkością V oraz ciało, na które padają cząstki. Wzory te mają następującą postać:

$$Z1 = \frac{2M \cdot C_m (V \cdot \sin\alpha - K)^2}{\sqrt{\sin\alpha}} \left[V \cdot \cos\alpha - \frac{C_m \cdot R (V \cdot \sin\alpha - K)^2}{\sqrt{V \cdot \sin\alpha}} \right] \quad [\mathrm{m}^3] \quad (1)$$

$$Z2 = \frac{M}{2R} [V^2 \cdot \cos^2\alpha - K_1 (V \cdot \sin\alpha - K)^{3/2}] \quad [\mathrm{m}^3] \quad (2)$$

$$ZD = \frac{M}{2E} (V \cdot \sin\alpha - K)^2 \quad [\mathrm{m}^3] \quad (3)$$

Dla przykładowego stopu badanego staliwa zużycie w funkcji kąta przedstawiono na rys.1. Przebieg tych funkcji zgodnie z wzorami (1÷3) oraz zakresy stosowalności przedstawiono na tym rysunku.



Rys.1 Funkcje składowe zużycia erozyjnego wg Bittera dla badanego staliwa
Fig. 1. Standard Bitter's function of erosion for steel

W zakresie kątów $\alpha_p \div \alpha_o$ stosuje się zależność:

$$Z = Z1 + ZD \tag{4}$$

W zakresie kątów $\alpha_o \div \alpha_k$ stosuje się zależność:

$$Z = Z2 + ZD \tag{5}$$

W zakresie kątów $\alpha_k \div \alpha_o$ stosuje się zależność:

$$Z = ZD \tag{6}$$

Współczynniki zastosowane we wzorach mają następującą postać:

$$Cm = \frac{0{,}288}{Y}\left[\frac{D}{Y}\right]^{0{,}25} \qquad [m^{3/2} \cdot s^{1/2} \cdot N^{-1}] \tag{7}$$

$$K = 1{,}56 Y^{2{,}5} \cdot D^{-0{,}5} \cdot H^{2} \qquad [m/s] \tag{8}$$

$$K_1 = 0{,}82 \cdot Y^{2}\left[\frac{Y}{D}\right]^{0{,}25} \cdot H^{2} \qquad [m/s^{1/2}] \tag{9}$$

$$H = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \qquad [1/MPa] \tag{10}$$

gdzie: D - gęstość cząstek, Y – dynamiczna granica sprężystości, μ_1, μ_2 - liczby Poissona dla obu ciał, E_1, E_2 – moduł Younga dla obu ciał, M – masa całkowita cząstek ścierających, V – szybkość cząstek, α – kąt uderzenia cząstek, E – energia niezbędna do zużycia przez wykruszanie jednej jednostki objętości, R – energia niezbędna do zeskrawania jednej jednostki objętości.

2. WYZNACZENIE PARAMETRÓW ENERGETYCZNYCH ZUŻYCIA ŚCIERNEGO ORAZ WŁAŚCIOWOŚCI MECHANICZNYCH (TWARDOŚCI) BADANEGO STALIWA

Szczególną trudnością w zastosowaniu wzorów Bittera jest problem określenia energii zużycia R i E oraz dynamicznej granicy sprężystości Y. Stąd wzory te nie znalazły szerokiego zastosowania.

W Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej zajmowano się problemami zużycia materiałów od wielu lat. Opracowano metodykę badania ścieralności według teorii Bittera. Uzyskiwano eksperymentalne wykresy zużycia w całym przedziale kątów

$$10 < \alpha < 90 \quad [deg]$$

Zastosowano technikę komputerową do aproksymacji funkcji Bittera wyznaczając wielkości *E, R, Y, H*. Tak określone charakterystyki energetyczne zużycia *E* i *R* oraz właściwości materiałów *Y* i *H* mogą służyć do opracowania konstrukcji oraz doboru materiału o dużej trwałości.

Dla określenia cech materiałów odpornych na ścieranie przyjęto prawo Kicka, [4]:

$$P = C_m \cdot a^n \tag{11}$$

które po zlogarytmowaniu wzoru stanowi opis twardości w funkcji Meyera[4]:

$$lg\, P = lg\, C_m + n lg\, a \tag{12}$$

gdzie: P - siła obciążająca, C_m - siła powodująca jednostkowe odkształcenie $(a=1)$, a – prze-kątna odcisku, n – współczynnik intensywności odkształcenia.

W toku obliczeń wyznaczono również twardość badanych próbek według zależności:

$$HV(30) = 0{,}1891 \frac{P}{a^2} \tag{13}$$

Obliczone wielkości energetyczne ścieralności oraz właściwości mechaniczne(Meyer) a także skład chemiczny staliwa i technologia obróbki cieplnej stały się podstawą obliczeń eksperymentalnych ścieralności.

3. WYZNACZENIE PARAMETRÓW ENERGETYCZNYCH ZUŻYCIA WG WZORÓW BITTERA

Do wyznaczenia zależności eksperymentalnych opisujących energię niezbędną do zużycia erozyjnego jednej jednostki objętości zastosowano metodę regresji krokowej. Wielkości zależne to energia zużycia materiału przez wykruszanie *E* oraz energia zużycia materiałów przez skrawanie *R*.

Natomiast zmienne niezależne stanowiły: skład chemiczny, temperatura obróbki cieplnej (normalizacji *Tn*, hartowania *Th* i odpuszczania *To*), twardość *HV(30)* oraz parametry funkcji Meyera - siły *Cm* dla odkształcenia jednostkowego oraz współczynnika *n* intensywności odkształcenia. Wyniki takie zebrano dla 76 próbek ze staliwa L20HGSNM.

W wyniku analiz statystycznych otrzymano następujące zależności eksperymentalne:

- energia wykruszania

$$E = (6{,}017 - 20{,}5C + 10{,}2Mn + 0{,}0089Tn - 0{,}00769Th - 0{,}0077Cm - 0{,}0037\,HV(30)) * (E+11)\ [\mathrm{J/m^3}] \quad (14)$$

o parametrach statystycznych:

odchylenie standardowe	dE = 0,32*(E+11)
wartość średnia	Es = 8,5*(E+11)
korelacja	R = 0,90
test F-S	F = 35
test wiarygodności	W = 4,94

- energia skrawania

$$R=(6{,}62-4{,}95Mn-0{,}00283To-0{,}0021Cm+0{,}0047HV(30))*(E+11)\ [\mathrm{J/m^3}] \quad (15)$$

o parametrach statystycznych:

dR = 0,12*(E+11); Rs = 2,9*(E+11); R = 0,89; F = 28; W = 4,2

Oczywiście im wyższa jest energia niezbędna do wykruszania *E* lub zeskrawania *R* jednostki objętości materiału tym większa odporność na zużycie erozyjne. W celu zwiększenia energii *E* należy zmniejszyć zawartość węgla oraz zwiększyć zawartość manganu. Celowym jest zwiększenie temperatury normalizacji i zmniejszenie temperatury hartowania. Zwiększenie tej energii uzyskuje się przez zmniejszenie siły *Cm* odkształcenia jednostkowego.

Natomiast jednostkową energię skrawania zmniejsza wzrost zawartości manganu (Mn), wzrost temperatury odpuszczania (To) oraz wzrost jednostkowej siły odkształcania (Cm). Wzrost twardości (HV(30)) korzystnie wpływa na wzrost energii skrawania.

Dla konstrukcji maszyn i urządzeń dużej trwałości potrzebna jest wielkość kąta α_o. Parametr ten pozwala na uniknięcie najbardziej niekorzystnych warunków pracy. W konstrukcjach i elementach narzędzi należy stosować kąty oddziaływania ciał różne od krytycznego kąta α_o. Zależność eksperymentalna określająca położenie tego kąta ma następującą postać:

$$\alpha_o = 0{,}0087 - 0{,}16Si + 0{,}67Mn + 0{,}025n - 0{,}32V\ \ [\mathrm{rad}] \quad (16)$$

o parametrach statystycznych:

d α_o=0,019; α_{os}=0,28[rad]; R=0,96; F=84; W=13

Dla zmniejszenia zużycia erozyjnego w całym przedziale kątów uderzenia celowym jest dążenie do większej wartości kąta α_o. Ma to szczególne znaczenie dla zużycia przez skrawanie dla niskich kątów $\alpha < \alpha_o$. Jak wynika z zależności (16) najistotniejsze znaczenie ma szybkość V cząstek uderzających. O przesunięciu kąta α_o do większych wartości decyduje również intensywność odkształcenia n (Meyer). Korzystnie działa również zawartość manganu w staliwie.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione wskaźniki energetyczne E i R zużycia ściernego zgodnie z teorią Bittera są istotne dla doboru tworzyw odpornych na ścieranie. Im wyższa energia niezbędna do zużycia jednostki objętości tym mniejsze zużycie. Trwałość elementów maszyn zależy również od konstrukcji. Podstawą do określenia konstrukcji jest wielkość kąta α_o.

Dla niskich kątów $\alpha < \alpha_o$ należy stosować materiały twarde o wysokim współczynniku n (Meyer'a), natomiast dla dużych kątów $\alpha \approx 90deg$ należy stosować materiały miękkie o niskiej sile odkształcenia jednostkowego. Zasadniczym jednak czynnikiem wpływającym na trwałość jest szybkość cząstek V.

Zastosowanie staliwa L20HGSNM wymaga różnej technologii obróbki cieplnej. Dla niskich kątów oddziaływania należy odlewy hartować natomiast dla wysokich stosować wysokotemperaturowe odpuszczanie.

Opracowana w Katedrze Odlewnictwa technologia badania stopów na zużycie erozyjne (wg teorii Bittera) oraz opracowanie odpowiednich programów komputerowych pozwala na prawidłową ocenę stopów odpornych na ścieranie oraz prawidłowe ich stosowanie w budowie maszyn.

LITERATURA

[1] Sadowski J.: Termodynamiczne aspekty procesów technologicznych, Wyd. Pol. Radomska, 1997, Radom.

[2] Bitter J.G.A.: A study of erosion phenomena, Parts I and II, Wear, 6 (1963), s. 5-21, 160-190.

[3] Finnie I.: The mechanism of erosion ductile metals, Wear, 3 (1960) 527-532.[4] Staub F., Adamczyk J. Cieślak Ł.: Metaloznawstwo, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1973.

[4] Bogucki R.: Zużycie erozyjne staliwa L20HGSNM, Pol. Śląska, rozprawa doktorska, Gliwice 1999.

L20HGSNM CAST STEEL ABRASIVELY WEAR-RESISTANT

SUMMARY

The results of investigations on erosion wear of L20HGSNM cast steel have been based on Bitter's theory. There has been elaborated special software which enables to calculate unit energy of erosion wear. Kick's law and Meyer's transformations used here allowed obtaining material parameters, which have a great influence on wear. Taking into account the results from investigations there could be elaborated relationships describing E and R wear energy as well as ^{o} angle which is the basis of construction and optimization of machines and its working elements.

Recenzował Prof. Józef Gawroński