

Stanisław **JURA**  
Roman **BOGUCKI**

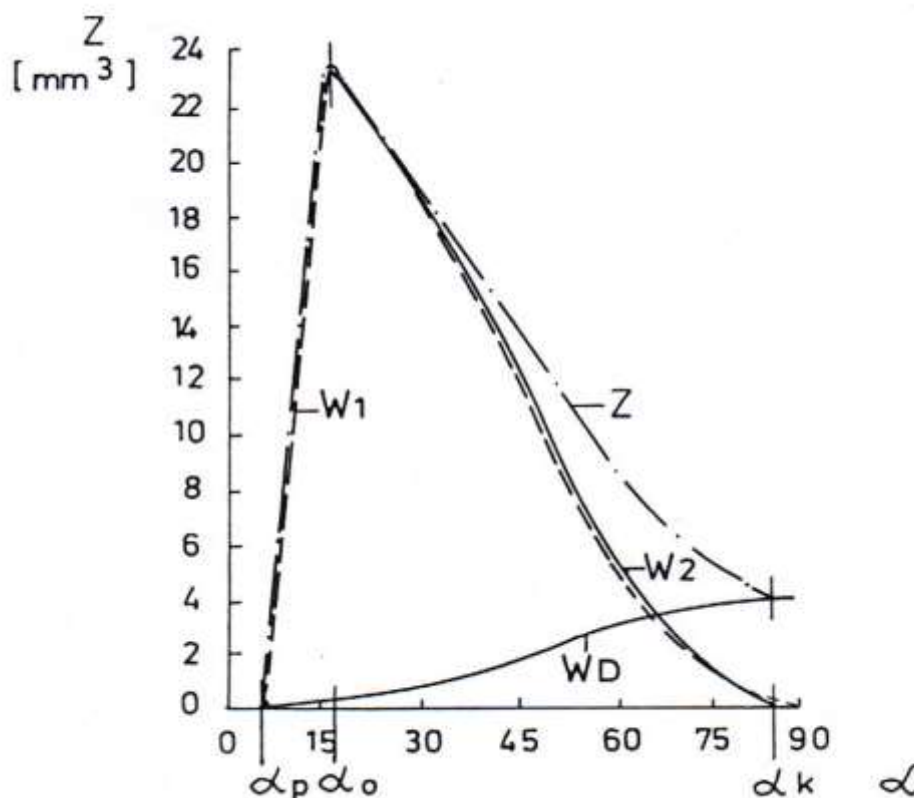
## ODPORNÓŚĆ STALIWA NA ZUŻYCIE EROZYJNE CZĘŚĆ II. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

**Streszczenie:** W części I w oparciu o teorię Bittera określono metodykę badania parametrów energetycznych i materiałowych staliwa L20HGSNM. W części II dla optymalizacji stosowania staliwa L20HGSNM wyznaczono związki pomiędzy parametrami energetycznymi i materiałowymi a jego składem chemicznym, obróbką cieplną i twardością.

### 1. WYKRESY ZUŻYCIA EROZYJNEGO NISKOSTOPOWEGO STALIWA

Analizując wykresy zużycia erozyjnego różnych gatunków staliw niskostopowych, które na przykładzie przedstawia rys. 1 dla badanego staliwa L20HGSNM można zauważyć, że posiadają one dwie charakterystyki:

- rosnącą dla niskich kątów oddziaływania strumienia piasku od  $\alpha_p$  do  $\alpha_o$



Rys. 1. Zużycie erozyjne niskostopowego staliwa L20HGSNM[1].

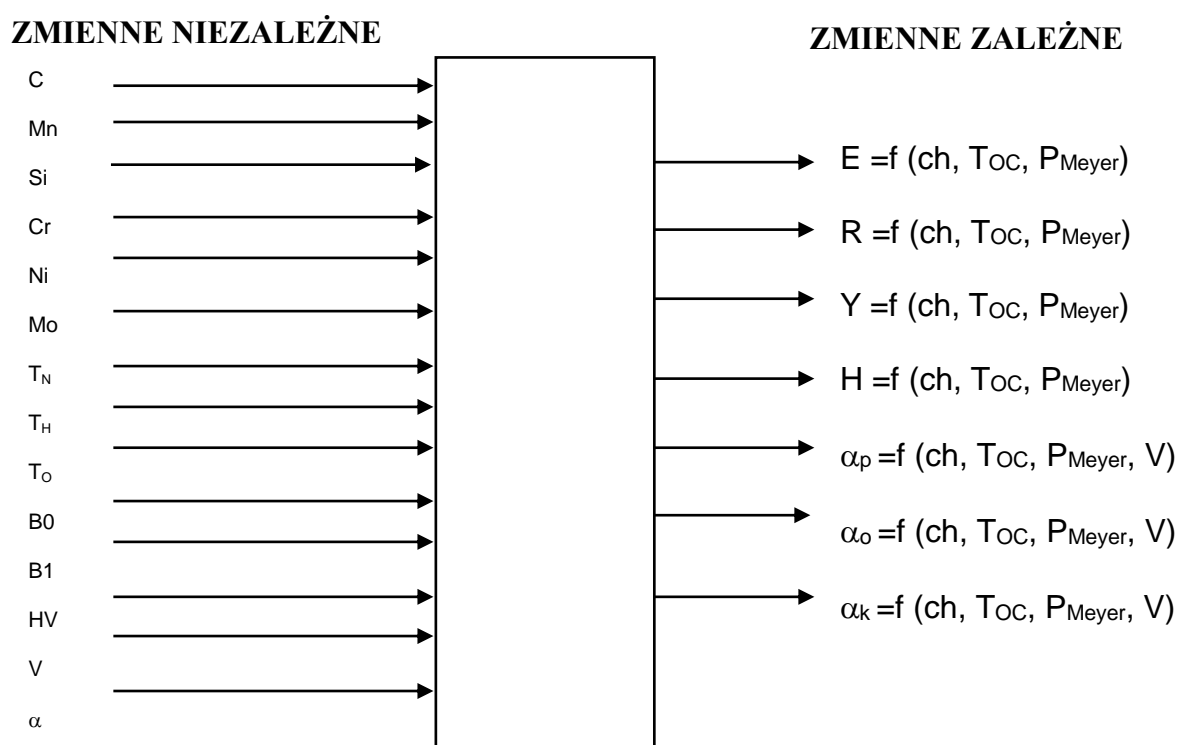
- malejącą dla wysokich kątów oddziaływania strumienia piasku od  $\alpha_o$  do  $\alpha_k$ .

Dla wyznaczenia granic stosowalności staliwa ważnym jest określenie położenia charakterystycznych punktów funkcji Bittera [3]. Punktami charakterystycznymi są kąt rozpoczęcia zużycia erozyjnego  $\alpha_p$ , graniczny kąt zużycia  $\alpha_o$  i kąt zakończenia zużycia przez skrawanie  $\alpha_k$ , zależne od parametrów energetycznych i materiałowych tworzywa. Parametry są funkcją oddziaływania wielu czynników. Dla określenia wpływu tych czynników na rys. 2 przedstawiono schemat ogólny obiektu badań[4].

Badano wpływ:

- pierwiastków składu chemicznego staliwa
- parametrów obróbki cieplnej staliwa
- twardości staliwa w postaci funkcji Meyera

na parametry energetyczne i materiałowe staliwa oraz charakterystyczne kąty funkcji Bittera.



Rys. 2. Schemat ogólny obiektu badań [4].

Zmiennymi niezależnymi były:

- ze składu chemicznego: węgiel C, krzem Si, mangan Mn, chrom Cr, nikiel Ni i molibden Mo,
- z parametrów obróbki cieplnej: temperatura normalizowania  $T_N$ , temperatura hartowania  $T_H$  i temperatura odpuszczania  $T_O$ ,
- z własności mechanicznych: twardość HV i parametry funkcji Meyera obciążenie jednostkowego odkształcenia B0 i intensywność zmian odkształceń od obciążenia B1.

Analizę przeprowadzono dla 72 próbek [6].

W wyniku prowadzonych obliczeń statystycznych wpływu zmiennych funkcji obiektu badań otrzymano następujące zależności statystyczne[1]:

$$E = ( 6,018 - 20,808C + 10,14Mn + 0,0093T_N - 0,0077T_H - 0,0011T_O - 0,0047B_0 - 0,0037HV(30) ) * E + 11 \quad [J/m^3] \quad (1)$$

$$R = ( 2,553 - 4,863Mn - 0,0028T_O - 0,0118B_0 + 1,894B_1 + 0,0107HV(30) ) * E + 11 \quad [J/m^3] \quad (2)$$

$$H = ( 4,628 + 1,864C - 0,00115T_N - 0,00215B_0 - 0,212B_1 ) * E - 11 \quad [1/MPa] \quad (3)$$

$$Y = ( - 0,859 - 2,513C + 3,99Mn + 0,000878HV(30) ) * E + 03 \quad [MPa] \quad (4)$$

$$\alpha_p = 0,047 - 0,25C + 0,24Mn + 0,028B_1 - 0,0021V \quad [rad] \quad (5)$$

$$\alpha_o = 0,0087 - 0,16Si + 0,67Mn + 0,025B_1 - 0,0032V \quad [rad] \quad (6)$$

$$\alpha_k = 1,47 + 0,078C - 0,098Mn + 0,000013T_N + 0,00002T_H + 0,000022T_O - 0,000011HV(30) + 0,00027V \quad [rad] \quad (7)$$

## 2. WPLYW SKŁADU CHEMICZNEGO

Badania wpływu zmian zawartości sześciu podstawowych pierwiastków stopowych staliwa L20HGSNM w zakresie określonym przez Polską Normę wykazują, że zmianą zawartości węgla, manganu i krzemu możemy w istotny sposób wpływać na odporność staliwa na parametry energetyczne i materiałowe odnośnie zużycia erozyjnego.

Wzrost zawartości węgla od 0,19 do 0,24 % C powoduje obniżenie średnio o 12% energii zużycia przez wykruszanie E, w niewielkim stopniu podwyższenie współczynnika maksymalnych naprężeń kontaktowych H i obniżenie dynamicznej granicy sprężystości Y materiału ścieranego. Zmiana zawartości węgla w badanym zakresie nie ma istotnego wpływu na zmianę energii skrawania R. Ze wzrostem zawartości węgla obniża się o 10% charakterystyczny kąt  $\alpha_p$  rozpoczęcia zużycia erozyjnego a nieznacznie podwyższa kąt  $\alpha_k$  zakończenia zużycia przez skrawanie. Zwiększa się o 8% zużycie erozyjne dla granicznego kąta  $\alpha_o$  i o 4% dla wysokich kątów padania strumienia ściernego.

Zmiana zawartości manganu od 0,79 do 0,85% natomiast powoduje podwyższenie energii zużycia przez wykruszanie E i obniżenie energii skrawania R o 10%, podwyższenie o 11% dynamicznej granicy sprężystości Y. O 11% podwyższa się charakterystyczny kąt  $\alpha_p$  rozpoczęcia i o 13% kąt  $\alpha_o$  maksymalnego zużycia erozyjnego. Nieznacznie obniża się wartość kąta  $\alpha_k$  zakończenia zużycia przez skrawanie. Mangan obniża o 6-8% zużycie

erozyjne staliwa L20HGSNM w zakresie niskich i wysokich kątów padania strumienia piasku.

Podwyższenie zawartości krzemu od 0,74 do 0,88% obniża o 8% wartość granicznego kąta  $\alpha_0$  maksymalnego zużycia erozyjnego. Na pozostałe parametry funkcji Bittera krzem nie ma wpływu. Reszta pierwiastków składu chemicznego z uwagi na małą zmienność zawartości w warunkach badań nie wykazywała istotnego wpływu na zmianę parametrów staliwa L20HGSNM.

Uzyskane wyniki potwierdzają teorię Grinberga, że o procesie zużywania decyduje poziom energetyczny układu ciała stałe-strumień luźnego ścierniwa[5].

### 3. WPLYW OBRÓBKI CIEPLNEJ

Badania wpływu parametrów obróbki cieplnej na zużycie erozyjne wykazują, że temperatura normalizowania, temperatura hartowania i temperatura odpuszczania mają istotny wpływ na parametry energetyczne i materiałowe staliwa. Wzrost temperatury normalizowania w zakresie od 900°C do 960°C powoduje podwyższenie o 7% energii zużycia przez wykruszanie E, w niewielkim stopniu obniżenie współczynnika naprężeń kontaktowych H oraz podwyższenie wartości charakterystycznego kąta  $\alpha_k$  końca zużycia przez skrawanie. Normalizowanie staliwa w temperaturze 960°C obniża o 6% wartość zużycia dla kąta  $\alpha_k$ .

Badania wpływu zmian temperatury hartowania w zakresie od 900°C do 960°C na zużycie erozyjne wykazują tylko obniżenie o 5% energii zużycia przez wykruszanie E. W niewielkim stopniu zwiększa się także wartość kąta  $\alpha_k$ .

Badania wpływu temperatury odpuszczania prowadzono w zakresie od 300 do 400°C. Energia zużycia przez wykruszanie E, energia skrawania R i dynamiczna granica sprężystości Y materiału ścieranego obniża się średnio do 9%. Wykonane zabiegi obróbki cieplnej: normalizowanie, hartowanie i odpuszczanie nie mają istotnego wpływu na zmianę charakterystycznych kątów zużycia erozyjnego  $\alpha_p$  i  $\alpha_0$ . Zabiegi obróbki cieplnej normalizowania, hartowania i odpuszczania tylko nieznacznie wpływają na zmianę wartości granicznego kąta  $\alpha_k$ . Temperatura odpuszczania w większym stopniu niż temperatura hartowania ma wpływ na zmianę zużycia erozyjnego staliwa.

### 4. WPLYW TWARDOŚCI

Twardość HV staliwa, która jest wynikiem przeprowadzonej obróbki cieplnej ma wpływ na parametry E, R, Y funkcji Bittera. Twardość staliwa w zależności od przyjętej obróbki cieplnej zmieniała się w zakresie od 270 do 450HV. Przeprowadzona analiza statystyczna wyników badań twardości HV(30) i parametru B0 funkcji Meyera wykazała ich liniowy związek o dobrych wynikach testu wiarygodności W, testu Fishera i współczynnika korelacji wielorakiej. Wzrost twardości staliwa powoduje wprost proporcjonalny wzrost parametru B0. Wzrost twardości staliwa w badanym zakresie powodował podwyższenie energii skrawania R o 48% i dynamicznej granicy sprężystości Y staliwa o 7%. Wartość energii wykruszania E obniżyła się o 8%. Obniżył się także nieznacznie charakterystyczny kąt  $\alpha_k$  zakończenia zużycia przez skrawanie. Twardość HV nie ma istotnego wpływu na

zużycie erozyjne dla granicznego kąta  $\alpha_0$  oraz na funkcję zużycia w zakresie wysokich kątów padania strumienia ściernego.

Zależności statystyczne (1÷6) opisujące parametry energetyczne i materiałowe oraz charakterystyczne kąty Bittera posiadają dobre wyniki testu wiarygodności, testu Fishera i współczynnika korelacji wielorakiej. Uzyskane wyniki parametrów energetycznych i materiałowych w funkcji badanych zmiennych pozwalają na dobór staliwa o określonych własnościach oraz na klasyfikowanie materiałów pod względem zużycia erozyjnego.

## 5. WNIOSKI

- Przez dobór staliwa o odpowiednim składzie chemicznym oraz wykonanie właściwej obróbki cieplnej można uzyskać staliwo o wysokich parametrach energetycznych i materiałowych odnośnie zużycia erozyjnego.
- Określenie parametrów energetycznych i materiałowych tworzyw umożliwia klasyfikowanie materiałów pod względem zużycia erozyjnego.

## 6. LITERATURA

- [1] BOGUCKI R.: Zużycie erozyjne staliwa L20HGSNM, Polit. Śląska, rozprawa doktorska, Gliwice 1999.
- [2] BITTER J.G.A.: A study of erosion phenomena, Parts I and II, Wear, 6 (1963) s. 5-21, 169-190.
- [3] JURA S.: Zasady doboru tworzyw odlewniczych odpornych na ścieranie, Konferencja Naukowa: Tworzywa odlewnicze odporne na zużycie ściernie, Kielce 1997.
- [4] POLAŃSKI Zb.: Podstawy metodyki badań doświadczalnych, Prace Instytutu Obróbki Skrawaniem, Kraków 1975.
- [5] JURA S.: Prace własne Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice 1989.
- [6] PN-82/N-01052.00 Statystyka matematyczna. Badania statystyczne. Zasady prowadzenia badań statystycznych.

## **EROSIVE WEAR RESISTANCE OF CAST STEEL. PART II. ANALYSIS OF FINDINGS.**

**Abstract:** In first part investigation method of material and energetic parameters of L20HGSNM cast steel are defined basing on Bitter's theory. In second part relations between material and energetic parameters of cast steel and its chemical constitution, heat treatment and hardness are determined for purposes of application optimisation.

Recenzent: prof. zw. J. GAWROŃSKI