

Ireneusz DZWONNIK

Ryszard GOROCKIEWICZ

Instytut Budowy Maszyn

Wyższej Szkoły Inżynierskiej - Zielona Góra

PRÓBA RENTGENOGRAFICZNEGO OKREŚLENIA ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIE ŚCIERNE ŻELIW STOPOWYCH

Streszczenie. Metodą aproksymacji określono fizyczne poszerzenie linii 110 α a metodą bezpośredniego porównania ilość austenitu szczątkowego w próbkach żeliw stopowych obrabionych cieplnie. Następnie wyniki badań strukturalnych skorelowano z wynikami badań zużycia ściernego. Stwierdzono, że jednym z mierników odporności na ścieranie martenzytu może być poszerzenie fizyczne linii interferencyjnych β . Odporność na ścieranie żeliw stopowych o podłożu martenzytyczno-austenitycznym jest w sposób odwrócony zależna od ilości i własności martenzytu. Wzrost ilości austenitu szczątkowego przy jednakowej odporności na ścieranie martenzytu powoduje zwiększone zużycie takiej struktury.

1. Wstęp

Procesowi badania odporności na zużycie ściernie stopów żelaza poświęcono wiele prac. Większość z nich obejmuje badania powiązania odporności na ścieranie z własnościami mechanicznymi materiału, jak twardością, modułem sprężystości podłużnej. Badania [1-3] potwierdziły taką zależność dla technicznie czystych metali i wyżarzonych stali węglowych. Prowadzone na szeroką skalę badania odporności na ścieranie stali węglowych i stopowych oraz żeliw po różnych rodzajach obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej [1, 4, 5, 6] pozwoliły stwierdzić, że nie występuje prosta korelacja między makroskopowymi własnościami mechanicznymi, a odpornością na ścieranie. Należy raczej poszukiwać korelacji między strukturą stopów, a odpornością na ścieranie.

Jedną z grup materiałów wykazujących najwyższą odporność na zużycie ściernie są żeliwa białe, których struktura złożona jest z twardych, niekiedy wieloskładnikowych węglików osadzonych w podłożu /ferrytycznym, perlitycznym, austenitycznym, martenzytycznym lub mieszanym/.

Dotychczasowe badania odporności na ścieranie żeliw białych pozwalają wnioskować, że o ich odporności decydują zarówno faza węglkowa jak i podłoże. Istnieje opinia [6-8], że najwyższą odporność na ścieranie wykazują żeliwa o podłożu martenzytycznym. Z praktyki wiadomo jednak, że nie zawsze można uzyskać strukturę podłoża czysto martenzytyczną. Najczęściej jest to struktura złożona z martenzytu i austenitu szczątkowego.

Celowym wydaje się więc ilościowe oszacowanie jednoczesnego wpływu ilości austenitu szczałkowego i własności martenzytu na zużycie ściernie.

W pracach [8-10] stwierdzono, że istnieje współzależność między twardością stali węglowej obrobionej cieplnie, a szerokością połówkową linii interferencyjnych uzyskanych w badaniach rentgenograficznych. W badaniach postanowiono wykorzystać fizyczne poszerzenie linii dyfrakcyjnych do określenia własności martenzytu i powiązania tych własności z odpornością na zużycie ściernie.

2. Materiał i metodyka badań

Badania wykonano na próbkach żeliwa stopowego o składzie chemicznym podanym w tabeli 1.

Tabela 1

Skład chemiczny badanych żeliw

Nr wytopu żeliwa	Zawartość w procentach wagowych								
	C	Mn	Si	P	W	V	Mo	Ni	Ti
II	2,25	1,02	0,56	0,039	10,90	0,68	3,22	0,01	0,08
IV	3,94	2,90	0,45	0,047	21,65	1,01	3,06	0,02	0,39
VIII	3,77	2,08	1,04	0,045	11,82	3,30	4,21	3,15	0,05

W celu przygotowania odpowiedniej struktury, próbki o wymiarach $\emptyset 20 \times 25$ mm obrobiono cieplnie. Do dalszych badań próbki zeszlifowano wzdłuż tworzącej na głębokość 3 mm. Następnie wykonano zgłady i wytrawiono 3% wodnym roztworem HNO_3 . Na tak przygotowanych próbkach wykonano pomiary ilościowe węglików, austenitu szczałkowego, połówkowego poszerzenia wybranej linii interferencyjnej i zużycia. Pomiary ilości węglików wykonano metodą analizy liniowej na mikroskopie optycznym Epiquant z automatycznym analizatorem obrazu.

Ilość austenitu szczałkowego określono metodą bezpośredniego porównania [11] na liniach o wskaźnikach 110α i 111β wg równania

$$V_{\beta} = \frac{\frac{R_{\alpha}}{R_{\beta}} \cdot \frac{I_{\beta}^*}{I_{\alpha}} (1 - V_w)}{1 + \frac{R_{\alpha}}{R_{\beta}} \cdot \frac{I_{\beta}^*}{I_{\alpha}}} \quad /1/$$

gdzie: V_w - udział objętościowy węglików

I - intensywność całkowita promieniowania ugięta na wybranych płaszczyznach krystalograficznych

R - stała, zależna od kąta Bragg'a, wskaźników płaszczyzn i rodzaju struktury

α, β - indeksy odpowiednio dla martenzytu i austenitu

Intensywność całkowitą linii 110ω i 111β wyznaczono z dyfraktogramów. Wartości R obliczono, przy czym wielkości potrzebne do ich wyliczenia wyznaczono eksperymentalnie lub przyjęto z tablic [11-12]. Szerokość połówkową wyznaczono z pomiaru poszerzenia linii 110ω , które określono dzieląc powierzchnię pod krzywą intensywności przez jej wysokość. Do obliczeń stosowano metodę aproksymacji Łyssaka [13] opisując profil linii wzorca i badanych próbek funkcją analityczną $H/(1+ax^2)^2$. Rozdzielenie dubletu $K\alpha$ promieniowania oraz wyznaczenie fizycznego poszerzenia β dokonano przy pomocy wykresów zamieszczonych w pracach [12, 14]. Poszerzenie spowodowane aparaturowymi czynnikami oszacowano przez użycie próbki wzorcowej nie posiadającej zaburzeń w sieci przestrzennej. W tym celu próbkę żeliwa z wytopu II zahartowaną w temp. 940°C na powietrzu załadowano do szczelnego pojemnika wypełnionego suchym piaskiem i węglem drzewnym ponownie nagrzewano do temperatury 940°C , wygrzano przez 2 godziny, następnie wolno ostudzano do temp. 800°C i w tej temperaturze wygrzewano przez 12 godzin. Wyżarzanie zakończono wolnym ostudzeniem próbki do temperatury otoczenia. Tak przygotowaną próbkę zeszlifowano na głębokość 3 mm, przygotowano zgląd, a następnie strawiono warstwę grubości 300 μm w 20% wodnym roztworze HNO_3 .

Badania rentgenograficzne próbek wykonano na dyfraktometrze rentgenowskim TUR M-61 przy użyciu promieniowania $\text{CrK}\alpha$. Stosując układ analizująco-przelicznikowo-drukujący metodą krokowego zliczania impulsów zarejestrowano linie dyfrakcyjne 111β i 110ω . Po odjęciu tła i rozdzieleniu częściowo nakładających się linii 110ω i 111β planimetrowano pola pod krzywymi i mierzono maksymalną wysokość linii. Uzyskane w ten sposób dane służyły do wyznaczenia ilości austenitu szczątkowego i poszerzenia fizycznego. Po wykonaniu badań strukturalnych próbki zostały poddane badaniom zużycia na stanowisku, w którym realizowane jest zużycie ścierno-udarowe. Próbki do badań zużycia przygotowano podobnie jak do badań strukturalnych, z tym, że przed badaniem zużycia i po badaniach próbki przemywano i odtłuszczano, a następnie ważono. Różnica ubytków wagowych stwierdzona po 1200 s tarcia przy prędkości $V = 6 \text{ m/s}$ przyjęto jako miernik zużycia. Na każdej próbce wykonano po 5 pomiarów zużycia.

Celem znalezienia korelacji między ilością austenitu szczątkowego oraz poszerzeniem fizycznym linii 110ω a zużyciem zastosowano metodę regresji wielokrotnej [15]. Wybrano następujące zmienne niezależne

$$X_1 = \frac{V\omega}{V\alpha + V\beta} - \text{ilość martenzytu w podłożu}$$

$$X_2 = \beta - \text{poszerzenie fizyczne linii } 110\alpha \text{ w rad}$$

$$X_3 = \frac{V_{\alpha}}{V_{\alpha} + V_{\delta}} \cdot \text{ - współdziałanie zmiennych } x_1 \text{ i } x_2 \text{ w rad}$$

Wyniki pomiarów ilości martenzytu, austenitu szczątkowego, poszerzenia fizycznego 110, ilości węglików i zużycia są zamieszczone w tabeli 2.

Tabela 2

Wyniki pomiarów strukturalnych próbek żeliw stopowych

Nr próbki	Ilość martenzytu	Ilość austenitu	Szerokość połówkowa	Ilość węglików	Zużycie Z
	V_{α} %	V_{δ} %	β 110 rad $\times 10^{-3}$	V_w %	kg $\times 10^{-5}$
IV - 1	57,2	0,0	3,04	42,8	5,020
IV - 2	57,0	0,0	3,45	43,0	4,685
IV - 3	60,0	2,0	10,50	38,0	1,500
IV - 4	60,0	3,2	10,23	36,8	1,967
IV - 5	62,2	2,8	11,17	35,0	1,646
IV - 6	32,8	27,2	11,22	40,0	5,010
IV - 7	57,5	3,5	12,0	39,5	0,9965
IV - 8	34,0	25,5	12,20	40,5	3,850
IV - 9	41,0	19,3	12,10	39,7	2,700
VIII - 1	30,3	28,8	13,04	40,9	3,925
VIII - 2	47,3	17,2	10,14	35,5	2,844
VIII - 3	58,4	3,2	5,87	38,4	3,547
VIII - 4	54,3	6,5	8,01	39,2	3,090
VIII - 5	56,1	5,0	8,93	38,9	2,196
VIII - 6	46,5	16,0	11,75	37,5	2,430

3. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań zamieszczone w tabeli 2 wskazują, że w badanych próbkach występują zróżnicowane ilości martenzytu, austenitu szczątkowego, gdy ilość węglików jest w przybliżeniu stała. Również poszerzenie fizyczne linii 110 α wykazuje znaczne różniące się wartości.

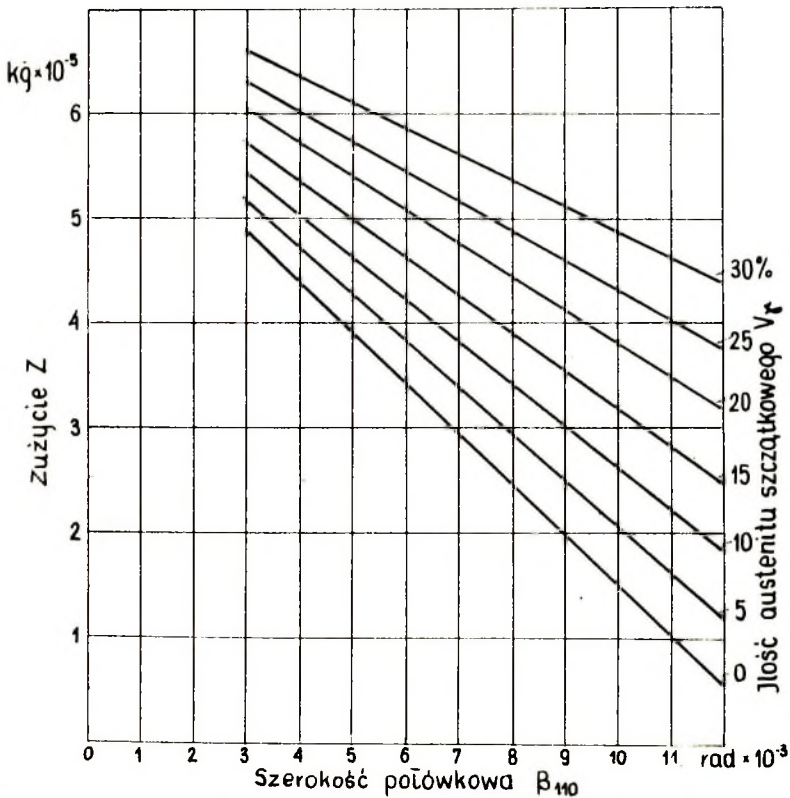
Uzyskane wyniki pomiarów pozwoliły obliczyć współczynniki regresji oraz otrzymać następujące równanie regresji

$$y = 8,35254 \cdot 10^{-5} - 2,0178 \cdot 10^{-5} \frac{V_{\alpha}}{V_{\alpha} + V_{\beta}} - 0,484055 \cdot 10^{-2} \frac{V_{\alpha} \cdot \beta}{V_{\alpha} + V_{\beta}} \quad /2/$$

Błędy w oznaczeniu współczynników regresji wynoszą

$$\begin{aligned} S^2(\hat{y}) &= 0,215224 \cdot 10^{-10} & \text{dla } t_{0,05,72} &= 2,000 [16] \\ S^2(b_1) &= 0,1001135 \cdot 10^{-10} & b_1 &= (-2,0178 \pm 0,6328) \cdot 10^{-5} \\ S^2(b_2) &= 0,0005263 \cdot 10^{-4} & b_2 &= (-0,484055 \pm 0,04588) \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

Współczynnik korelacji $R = 0,9357$, a istotność współczynnika korelacji $F = 253,31$ /wartość krytyczna $F_{0,05,2,72} = 3,13 [16]$. Graficzne rozwiązanie równania /2/ w podanym zakresie badań jest przedstawione na rys.1.



Rys.1. Zależność zużycia od ilości austenitu szcztatkowego i poszerzenia fizycznego linii 110 α

Analizując otrzymane równanie regresji 2 oraz wykres na rys.1 stwierdza się, że wzrost ilości austenitu szcążkowego przy stałym poszerzeniu fizycznym linii 110 α powoduje proporcjonalny wzrost zużycia. Natomiast wzrostowi wielkości poszerzenia fizycznego, przy stałej ilości austenitu szcążkowego towarzyszy proporcjonalne zmniejszanie się zużycia.

4. Podsumowanie

Przyjęta metoda rentgenograficznego określania zmian właściwości i ilości martenzytu żeliw stopowych pozwala na skolerowanie liniowe odporności na zużycie ścierne ze strukturą żeliwa. Jednym z mierników odporności na ścieranie martenzytu może być poszerzenie fizyczne linii interferencyjnych β_{110} . Ze wzrostem wielkości poszerzenia fizycznego β_{110} linii martenzytu wzrasta jego odporność na zużycie ścierne. Odporność na ścieranie żeliw stopowych o podłożu martenzytyczno-austenitycznym jest w sposób addytywny zależna od ilości i właściwości martenzytu. Wzrost ilości austenitu szcążkowego przy jednakowej odporności na ścieranie martenzytu powoduje zwiększone zużycie.

LITERATURA

1. Chruszczow M.M.: Soprotiwlenie metallov abraziwnomu iznasziwaniu w zawisimosti od ich twierdosti. Merzd.konf.po Smazke i Iznosu.Maszgiz, Moskwa 1962.
2. Chruszczow M.M., Babiczew M.A.: Issledowanie wlijania twerdosti abraziwa na iznos metallov. Trenie i Iznos sb.XI, Moskwa 1957
3. Spurr R.T., Newcomb T.P.: Friction and Wear of variaus materials sliding against unlubricated surfaces of defferent types and degrees of roughness. Conf.Lubric. and Wear, London 1957, s.269.
4. Solski P.: Zagadnienia odporności stali na ścieranie. Zagadnienia tarcia zużycia i smarowania, Wyd.PAN, Warszawa 1965
5. Kilarski J.: Wpływ pierwiastków stopowych na zużycie ścierne żeliw wysokochromowych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1975
6. Röhrling K.: Giesserei 58, 23, 1971, s.697.
7. Kitajgora N.I.: Lit. proizw. 2 i 8, 1972
8. Garber M.E.: Met. i term. obr. metallov, 2, 1969, s.11.
9. Bojarski Zb., Barcik J.: Z.N. WSP w Katowicach. Sekcja Fizyki Nr 5, Katowice 1966
10. Marburger R.E., Koistinen D.P.: Transactions of the ASM, 53, 1961, 743
11. Borik F., Chapman R.D.: Transactions of the ASM, 53, 1961, 447.
12. Cullity B.D.: Podstawy dyfrakcji promieni rentgenowskich, PWN, Warszawa 1964
13. Mirkin L.I.: Sprawocznik po rentgenostrukturnomu analizu polykrystallow. Moskwa 1961

14. Łyssak Ł.: Wopr.fiz.mietall.Metallowied. 6, 1955, 40.
15. Bojarski Z., Bold T.: Prace Instytutu Hutnictwa, 22, 1970, 115
16. Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1965
17. Zieliński R.: Tablice statystyczne. WNT, Warszawa 1972
18. Dzwonnik I., Gorockiewicz R.: Zeszyty Naukowe nr 34, Techniki wytwarzania, 1, WS Inż., w Zielonej Górze, 1976.

AN ATTEMPT TO DETERMINE WEAR RESISTANCE OF ALLOY CAST IRONS BY X-RAY METHODS

Summary

A method of approximation was used to determine physical broadening of the 110α line whereas retained austenite in heat-treated alloy cast iron specimens was determined by the direct comparison method. The results of metallographic investigations were correlated with wear tests. It was found that physical broadening of β interference lines could be used as one of the measures of wear resistance of martensite. Wear resistance of alloy cast irons with martensite-austenite matrix was additively controlled by the amount and properties of martensite. At constant wear resistance of martensite an increase in the amount of retained austenite resulted in a decrease of wear resistance of the structure.

ПОПЫТКИ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ

Резюме

С помощью аппроксимационного метода определено физическое уширение линии 110α а с помощью метода прямого сравнения количество остаточного аустенита на подвергнутых термической обработке образцах из легированного чугуна. Результаты структурных исследований были скоррелированы с результатами исследований износостойкости. Убедились в том, что из параметров износостойкости мартенсита может быть физическое уширение интерференционных линий β . Износостойкость легированных чугунов с мартенситно-аустенитной основой аддитивно зависит от количества и свойств мартенсита. Повышение количества остаточного аустенита при той же самой износостойкости мартенсита вызывает повышенный износ такой структуры.