

FRAKTALNY OPIS ZMIAN TWARDOŚCI ŻELIWA WYKAZUJĄCEGO NA PRZEKROJU ODLEWU GRADIENT UDZIAŁU SKŁADNIKÓW STRUKTURY

CHMIELA Jerzy, CYBO Jerzy
Instytut Problemów Techniki, Uniwersytet Śląski,
ul. Śnieżna 2, 41-200 Sosnowiec
SŁOTA Damian
Instytut Matematyki, Politechnika Śląska
ul. Kaszubska 23, 44-100 Gliwice

Streszczenie

W pracy przedstawiono fraktalny opis zmian twardości żeliwa charakteryzującego się złożoną morfologią i gradientem udziału składników osnowy. Wyniki skonfrontowano z krzywą analitycznego opisu zmian HB(R), uzyskując identyczne rozwiązanie.

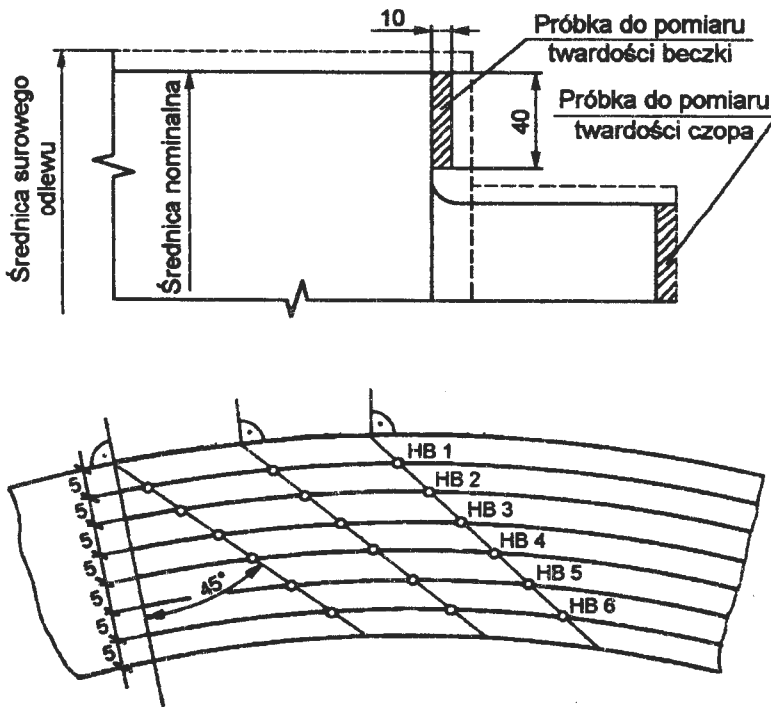
1. Wprowadzenie

Pojęcie struktury materiału obejmuje wzajemny układ składowych oraz związki między nimi zachodzące. Są one charakterystyczne dla danego systemu strukturalnego, określającego w końcowym efekcie własności tworzywa konstrukcyjnego. Występowanie gradientu udziału składników wzdłuż przekroju komplikuje ocenę jakości i wymaga ilościowego opisu zmian własności użytkowych. Przykładem wyrobów charakteryzujących się gradientem udziału składników strukturalnych są żeliwne walce hutnicze, których miarą jakości jest określona zmiana twardości wzdłuż przekroju poprzecznego. Wynikająca z technologii otrzymywania odlewu kokilowego walca niejednorodność budowy mikrostruktury, obejmująca przede wszystkim duże zróżnicowanie udziału objętościowego oraz form geometrycznych składników, wpływa na własności użytkowe, a tym samym decyduje o jakości wyrobu.

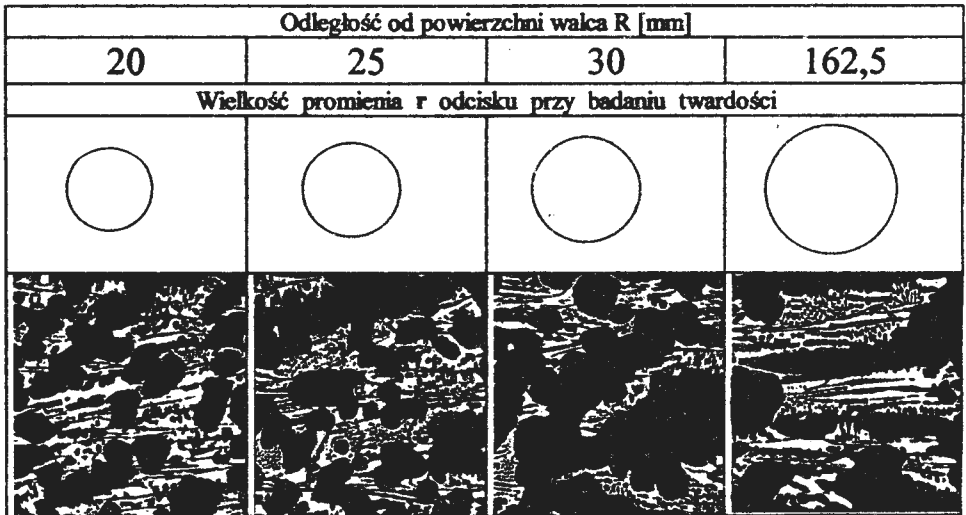
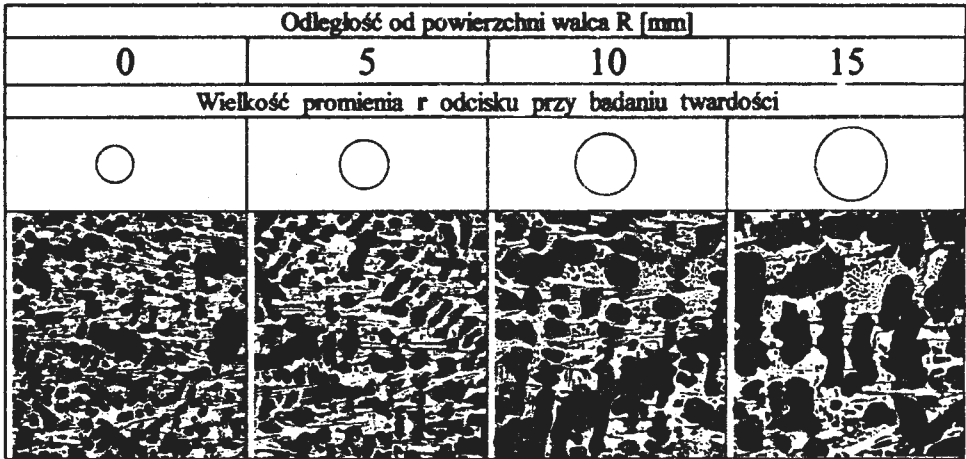
Celem pracy jest dokonanie opisu zmian twardości kokilowego odlewu walca hutniczego w oparciu o fraktalną analizę składników struktury.

2. Fraktalna charakterystyka morfologii struktury w opisie zmian twardości stopu wykazującego gradient udziału składników

Materiał badań pobrano z kokilowego odlewu walców hutniczych $\varnothing 320$, dla których szczegółowe dane dotyczące składu chemicznego, technologii wytapiania, odlewania, wyników pomiarów twardości oraz struktury, przedstawiono w pracach [1,2]. Zmiana intensywności krzepnięcia odlewu kokilowego, powoduje powstawanie struktury o złożonej morfologii, zmieniającej się wraz z odległością od powierzchni walca. Obserwacje mikroskopowe potwierdzają występowanie zmiennej formy geometrycznej oraz gradientu udziału grafitu, perlitu i cementytu, co decyduje o rozkładzie twardości wzdłuż promienia walca. Ponieważ twardość stopu jest funkcją twardości osnowy [3], analizie fraktalnej poddano perlit i cementyt, a skalowanie przeprowadzono w przedziałach zmienności promienia r odcisku twardości określonej metodą Brinella. Schemat pomiarów twardości oraz odpowiadający tym pomiarom zmiany morfologii składników strukturalnych osnowy przedstawiono na rys. 1 i 2



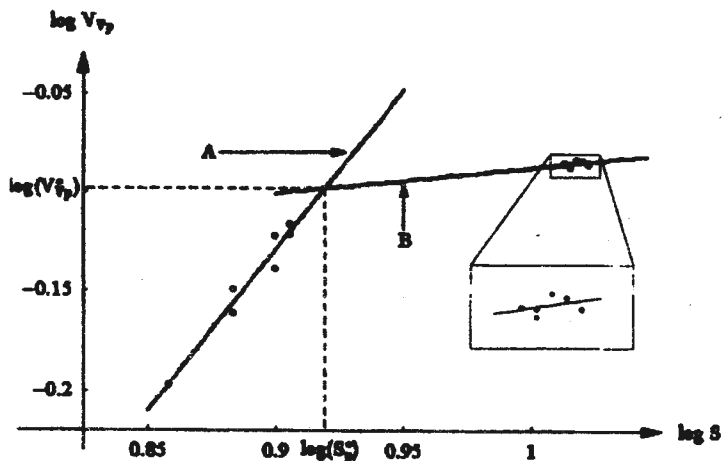
Rys . 1. Schemat pomiarów twardości wzdłuż promienia R walca



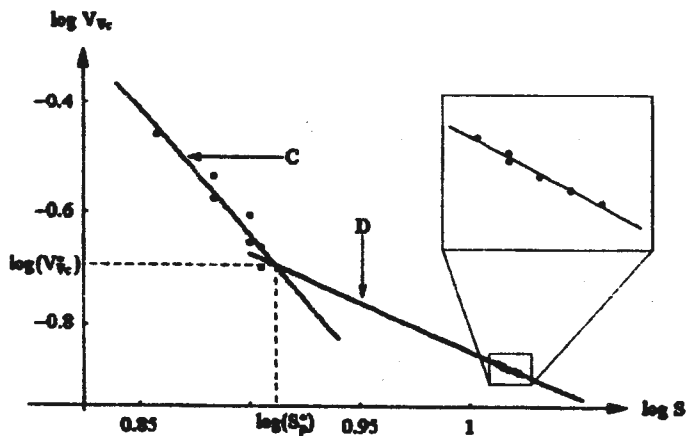
Rys. 2. Zmiana morfologii perlitu i cementytu wzdłuż promienia R walca

Wyniki skalowania udziału objętościowego perlitu i cementytu dla przykładowego walca przedstawiono na rys. 3 a, b. Charakter wykresów wskazuje proporcjonalność zmian między promieniem r odcisku przy badaniu HB, a udziałem objętościowym składników osnowy ($V_P \sim r^D$); ($V_C \sim r^{D_2}$), gdzie D jest wymiarem fraktalnym

a)



b)



Rys. 3. Wykresy fraktalne: a - dla perlitu; b - dla cementytu
proste „A” i „C” - beczka walca
proste „B” i „D” - czop walca
 $S = \pi r^2$ - pole powierzchni odcisku twardości

Przekształcenie zależności logarytmicznych przedstawionych w formie graficznej na rys. 3a, b pozwala uzyskać funkcje potęgowe, określające zależność promienia r odcisku twardości jako funkcję udziału objętościowego składników osnowy:

$$\text{dla perlitu} \quad r(V_p) = r_p^* \left(\frac{V_p}{V_p^*} \right)^{D_p} \quad (1)$$

$$\text{dla cementytu} \quad r(V_c) = r_c^* \left(\frac{V_c}{V_c^*} \right)^{(D_c-2)} \quad (2)$$

gdzie: r_p^* , r_c^* , V_p^* , V_c^* - współrzędne punktów zmiany prawa skalowania
 D_p , D_c - wymiary fraktalne

Z połączenia zależności (1) i (2) uzyskuje się wyrażenie (3) ujmujące związek między złożoną morfologią i zmiennymi wartościami udziału objętościowego składników a wielkością promienia r odcisku twardości:

$$r(V_p, V_c) = \sqrt{r_p^* \cdot r_c^*} \cdot \left(\frac{V_p}{V_p^*} \right)^{\frac{D_p}{2}} \cdot \left(\frac{V_c}{V_c^*} \right)^{\frac{D_c-2}{2}} \quad (3)$$

Podstawiając zależność (3) do wzoru (4) opisującego twardość HB:

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - 4r^2} \right)} \quad (4)$$

gdzie: P - siła obciążająca,
 D - średnica kulki,
 r - promień odcisku,

otrzymuje się:

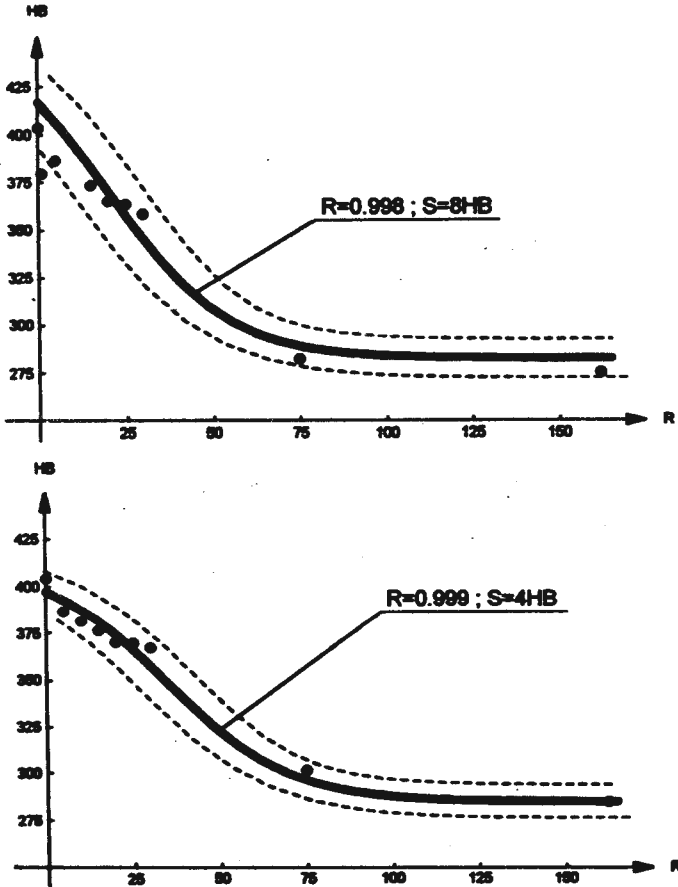
$$HB(V_p, V_c) = \frac{2P}{\pi D \left[D - \sqrt{D^2 - 4 \left(r_p^* \cdot r_c^* \cdot \left(\frac{V_p}{V_p^*} \right)^{\frac{D_p}{2}} \cdot \left(\frac{V_c}{V_c^*} \right)^{\frac{D_c-2}{2}} \right)} \right]} \quad (5)$$

Zależność (5) stanowi podstawę fraktalnego opisu zmian twardości kokilowego odlewu walca hutniczego, która pozostaje funkcją udziału składników osnowy oraz wymiarów fraktalnych charakteryzujących morfologię badanej fazy. Poprawność uzyskanego rozwiązania poddano weryfikacji na podstawie opisu funkcyjnego zmian HB (6):

$$HB(R) = \frac{R}{1 + \exp[Z(R - W)]} + HB_{cz} \quad (6)$$

gdzie U , W , Z - parametry wyznaczone na drodze aproksymacji,
 HB_{cz} - twardość czopa,
 R - promień walca.

Porównanie wyników uzyskanych z opisu fraktalnego i funkcyjnego [1, 4] przedstawiono na rys. 4, uzyskując praktycznie tożsamość rozwiązania.



Rys. 4. Przykładowy wykres zmian twardości
 • wartości obliczone wg. (5)
 - opis funkcyjny

2. Dyskusja wyników

Zmienna wzdłuż promienia walca struktura stopu wykazująca przeciwne gradienty udziału składników, poddana została ilościowemu opisowi przy wykorzystaniu metod geometrii fraktalnej. Skalowanie z zakresie zmienności promienia r odcisku twardości określonej metodą Brinella ujawniło zmienną wartość nachylenia linii wykresów, a tym samym zmienne wartości wymiarów fraktalnych (D_1 , D_2) charakteryzujących złożone formy geometryczne perlitu i cementytu.

Uzyskana na drodze analizy fraktalnej zależność (3) stanowi syntezę odmiennych praw skalowania wyrażonych zmiennymi wartościami wykładników skalujących, które są jednoznacznie związane z wymiarami fraktalnymi (D_b , D_j). Powiązanie fraktalnej charakterystyki morfologii struktury (3) z twardością (4) pozwoliło na wyznaczenie profilu zmian twardości (6). Uzyskane rezultaty - rys 4, są w bardzo dużej zgodności z rozwiązaniem funkcyjnym [1, 4]. Rozrzut wyników w obu przypadkach nie przekracza wartości odchylenia standardowego.

4. Podsumowanie

Fraktalna analiza morfologii struktury może stanowić podstawę ilościowego opisu związków budowy stopu z jego twardością wzdłuż przekroju walca. Uzyskane wyniki pokrywają się z analizą funkcyjną charakteryzującą się wysokimi parametrami statystycznymi opisu.

5. Literatura

1. J. Cybo, S. Jura, J. Chmiela, G. Służalek: Funkcyjny opis zmian twardości na przekroju beczki walców żeliwnych. Przegląd odlewnictwa (1991), 6, s. 209
2. J. Chmiela, J. Cybo, W. Wypart, J. Suchoń: Analiza multifraktalna struktury kokilowego odlewu walca hutniczego. Krzepnięcie metali i stopów PAN (1995) nr 22, s. 70-75.
3. Cz. Podrzucki: Żeliwo. Wyd. ZG STOP, Kraków 1991.
4. J. Suchoń, J. Cybo, S. Jura, G. Służalek: Profil twardości w funkcji zmian stereologicznych struktury na przekroju walców żeliwnych. Krzepnięcie metali i stopów PAN (1996) nr 27, s. 63-68.