

Władysław Jerzy Sobczyk
Instytut Budowy Maszyn

WPLYW RÓŻNIC STRUKTURY ŻELIWA NA OPÓR WŁAŚCIWY SKRAWANIA

Streszczenie. Zmierzono opory właściwe skrawania żeliwa utwardzonego o stałym składzie chemicznym i różnej strukturze. Podjęto próby ilościowego scharakteryzowania różnic struktury oraz ustalenia zależności pomiędzy wielkościami charakteryzującymi strukturę a oporem właściwym skrawania żeliwa. Ustalono zależności matematyczne, uzyskane przez statystyczne opracowanie wyników, określające wpływ głównych składników struktury badanego żeliwa na opór właściwy skrawania.

Wstęp

Badania skrawalności materiałów konstrukcyjnych w większości przypadków sprowadzają się do poszukiwania wielkości najlepiej charakteryzujących materiał oraz na ustalaniu związków pomiędzy charakterystyczną wielkością a wskaźnikami skrawalności.

Skrawalność żeliwa zależy głównie od jego składu chemicznego, twardości i struktury, rzadziej natomiast od wytrzymałości na ściskanie lub własności ściernych. Skład chemiczny wpływa na skrawalność żeliwa poprzez oddziaływanie na proces grafityzacji oraz własności wytrzymałościowe osnowy. Jednocześnie wiadomo, iż proces grafityzacji nie zależy jedynie od składu chemicznego, ale również od parametrów technologicznych tj. szybkości odprowadzenia ciepła w czasie krystalizacji. Istnieje pogląd, że sama twardość żeliwa nie wystarcza dla określenia jego skrawalności. Natomiast zdania na temat związków między wytrzymałością żeliwa na ściskanie i jego skrawalnością są zróżnicowane. Do charakteryzowania skrawalności w okresie, kiedy przeważały poglądy, że proces zużywania się ostrzy skrawających jest procesem czysto mechanicznym, polegającym na ścieraniu i wykruszaniu cząstek materiału ostrza, wykorzystywane były własności ściernie żeliwa. Obecnie własności te nie są wykorzystywane w badaniach skrawalności.

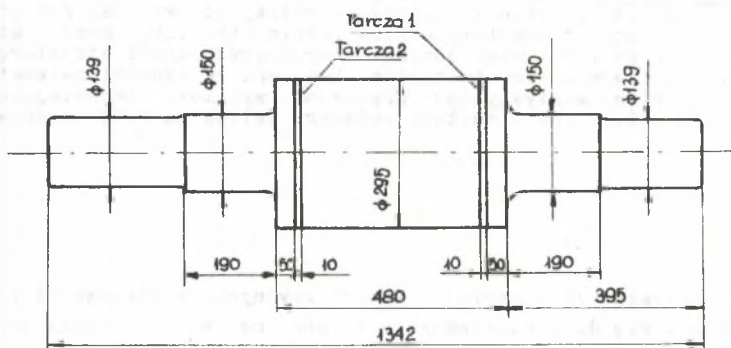
Według danych [1+10] o skrawalności żeliwa decyduje struktura, chociaż, z wyjątkiem prac [6, 9], brak jest ustaleń ilościowych. Moore i Lord [6] podali ilościową zależność pomiędzy wskaźnikiem skrawalności I_z a wielkością grafitu G_G i jego objętością V_G oraz objętością perlitu

V_p . Wskaźnikiem skrawalności w omawianej zależności jest objętość wiórów, skrojonych w jednostce czasu przy stałej sile posuwowej.

Celem niniejszej pracy jest ustalenie zależności ilościowych pomiędzy strukturą żeliwa utwardzonego a oporem właściwym skrawania.

Materiał skrawany

Badania przeprowadzono na odlewie z żeliwa utwardzonego (rys.1) o składzie chemicznym: 3,20 - 3,42% C_{og} węgla ogólnego; 1,35 - 2,92% C_{zw} węgla związanego; 0,30 - 0,325% Mn; 0,49 - 0,52% Si; 0,39 - 0,41% P; 0,027 - 0,032% S; 0,56 - 0,62% Cr; 2,65 - 2,78% Ni; 0,24 - 0,27% Mo.



Rys. 1. Odlew użyty do badań

Warstwy żeliwa leżące w różnej odległości od osi odlewu posiadają skład chemiczny różniący się głównie zawartością węgla związanego oraz niewiele zawartością węgla ogólnego. Na podstawie analiz chemicznych nie stwierdzono segregacji zarówno wzdłuż jak i w głąb odlewu, z wyjątkiem węgla (C_{og} i C_{zw}). Segregacja w głąb węgla ogólnego jest niewielka i wynosi $\pm 3\%$ wartości średniej C_{og} .

Pomiary twardości metodą Brinella wykazały twardość od 255 do 476 HB/10/3000, zmniejszającą się w sposób ciągły ku środkowi odlewu. Rozrzuty twardości wzdłuż odlewu nie przekraczały ± 13 HB, co stanowi około $\pm 3\%$ twardości średniej. Zmiana twardości w głąb odlewu potwierdziła wyniki analiz chemicznych, dotyczące rozkładu węgla związanego na przekroju odlewu użytego do prób.

Żeliwo badane posiada strukturę połowiczną. Podstawowymi jej składnikami są: perlit i wolny strukturalnie cementyt oraz grafit, a także lokalnie eutektyka fosforowa. Ilości perlitu, grafitu i wolnego cementytu zmieniały się ze zmianą odległości od powierzchni odlewu. Wraz ze zwiększaniem się tej odległości zmniejszała się ilość węgla związanego, zatem zwiększała się ilość grafitu i perlitu, a zmniejszała ilość wolnego ce-

mentytu. Ilość eutektyki fosforowej na przekroju różniła się minimalnie.

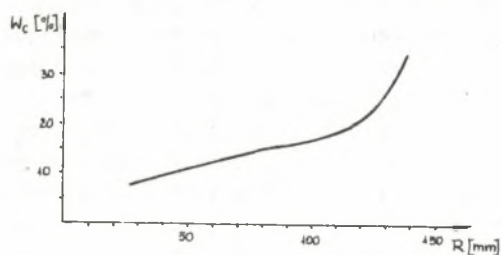
Pomiary mikrotwardości (μHV_{100}) ziarn perlitu i wolnego cementytu wykazały, iż ich twardość na przekroju prostopadłym do osi odlewu różni się niewiele. Mikrotwardość ziarn perlitu wynosiła w granicach od 216 do 256 HV_{100} , a ziarn wolnego cementytu w granicach od 750 do 827 HV_{100} .

Na podstawie przeprowadzonych badań uznano, że struktura badanego żeliwa na przekroju odlewu w istocie różni się ilościami głównych jej składników, przy niezmienionej postaci węgla związanego. Tę właściwość odlewu wykorzystano dla badania wpływu struktury żeliwa na opór właściwy skrawania.

Objęściowy udział perlitu w strukturze oznaczono P , grafitu G , a wolnego cementytu W_c . Udział ilościowy wymienionych faz struktury określano w procentach metodą planimetrowania punktowego. Do pomiarów użyto elektrycznego urządzenia całkującego firmy VEB Rathenower Optische Werke-Rathenow typ ELTINOR, zamocowanego na mikroskopie metalograficznym. Ilość głównych składników struktury ustalono dla różnych warstw żeliwa, położonych w dwunastu odległościach od osi odlewu, wynoszących od 31 do 140 mm. Ilość pomiarów dla poszczególnych warstw określano na podstawie rachunku prawdopodobieństwa, przyjmując jako podstawę rozkład Gaussa, przy założonym poziomie ufności $p = 0,95$ oraz poziomie istotności $s < 0,15$.

Na podstawie wyników pomiarów ustalono dla badanego odlewu zależności pomiędzy odległością od osi walca a ilością grafitu i wolnego cementytu. Do obliczeń zależności matematycznych wykorzystano EMC Odra 1204. Związek pomiędzy ilością wolnego cementytu a odległością od osi walca $W_c = f(R)$ najlepiej odzwierciedla równanie regresji o postaci wielomianu potęgowego:

$$W_c = 17,29 - 0,7984 \cdot R + 2,288 \cdot 10^{-2} \cdot R^2 - 2,322 \cdot 10^{-4} \cdot R^3 + 8,281 \cdot 10^{-7} \cdot R^4 \quad (1)$$



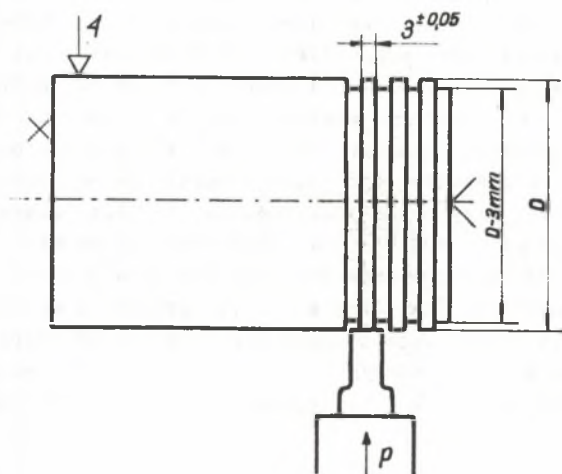
Rys. 2. Ilość wolnego cementytu na przekroju odlewu $W_c = f(R)$

Zależność (1) przedstawiona graficznie na rys. 2 wykazuje silną korelację ($r=0,906$) pomiędzy położeniem warstwy żeliwa a ilością wolnego cementytu w jego strukturze. W podobny sposób ustalono zależność pomiędzy odległością warstwy żeliwa od osi walca i objętością grafitu. Zależności $W_c = f(R)$ oraz $G = f(R)$

umożliwiły obliczanie dla dowolnej warstwy odlewu ilości wolnego cementytu i grafitu, którymi scharakteryzowano strukturę.

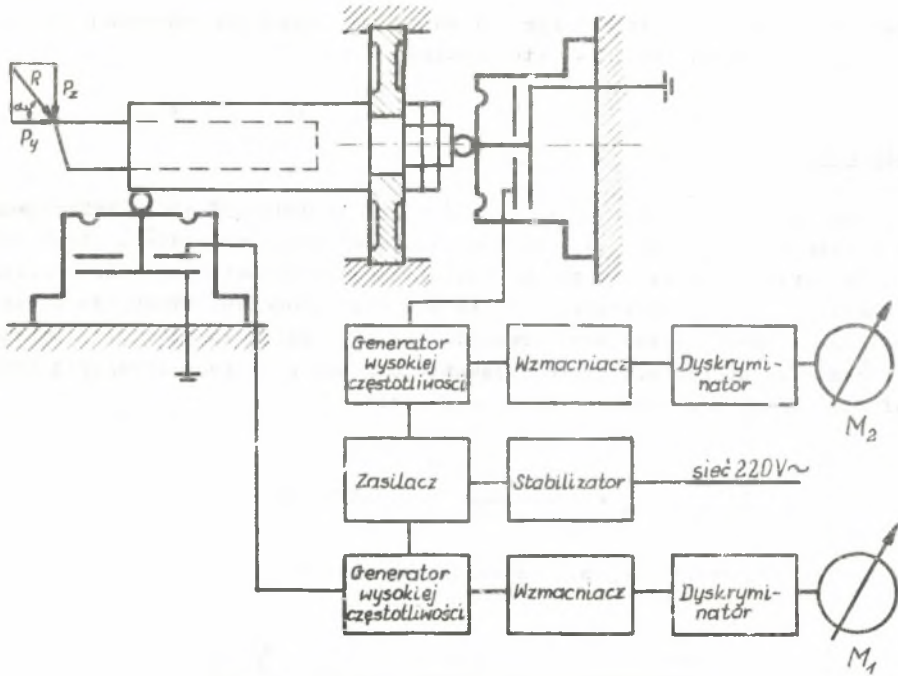
Badania wpływu struktury na opór właściwy skrawania

Opór właściwy skrawania wyznaczono przez pomiar siły skrawania P_z przy swobodnym toczeniu poprzecznym ze stałą szerokością warstwy i posuwem $p = 0,065$ mm/obr oraz przy czterech szybkościach skrawania 0,167; 0,267; 0,417 i 0,667 m/s. Na poszczególnych warstwach żeliwa przygotowywano uprzednio paski materiału o szerokości $3^{+0,05}$ mm i wysokości nie przekraczającej 1,5 mm (rys. 3). Mała wysokość pasków miała na celu ograni-

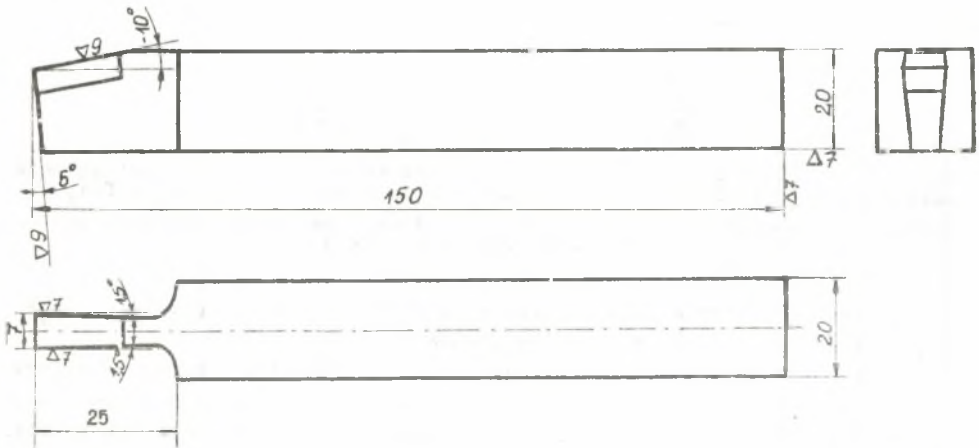


Rys. 3. Przedmiot przygotowany do pomiaru sił skrawania

czenie wpływu zmian struktury przy powtarzaniu pomiarów na tym samym pasku. Do pomiarów użyto siłomierza pojemnościowego. Błąd względny przy pomiarze siłomierzem, z uwzględnieniem graficznego interpretowania wykresów wzorcowania, wg badań Wójcikowskiego [11] wynosi $\pm 4\%$. Siłomierz, którego schemat przedstawiono na rys. 4, jest opisany w pracy [11]. Pomiarów siły P_z dokonano na warstewkach materiału położonych w dwunastu różnych odległościach R od osi odlewu. Skrawano nożem o ostrzu nie wykazującym oznak zużycia na powierzchni przyłożenia (rys. 5). Podczas badań mierzono równocześnie siłę obwodową P_z oraz siłę promieniową P_y . Dla poszczególnych odległości R wykonano po kilka pomiarów na różnych paskach, położonych wzdłuż osi odlewu. Z zależności $W_c = f(R)$ oraz $G = f(R)$ dla poszczególnych warstw obliczono ilości wolnego cementytu oraz grafitu. Uzyskano w ten sposób 44 punkty, odzwierciedlające wpływ ilości wolnego



Rys. 4. Schemat stosowanego siłomierza



Rys. 5. Nóż użyty do pomiaru sił skręcania

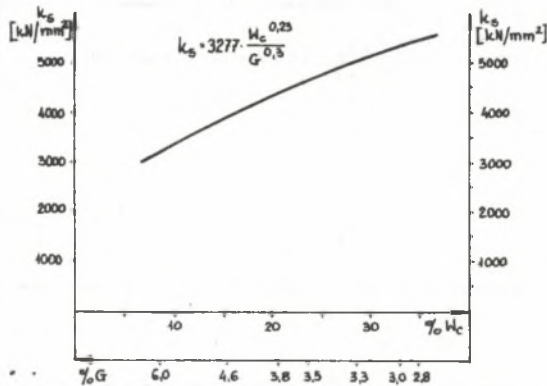
cementytu i grafitu w strukturze żeliwa na opór właściwy skrawania. Wyniki pomiarów poddano analizie matematycznej.

Analiza wyników

Wyniki pomiarów potraktowano jako reprezentatywną próbę dla zbioru punktów zależności $k_s = f(W_c, G)$, przedstawiającej wpływ składników struktury na opór właściwy skrawania żeliwa połowicznego o osnowie perlitu. Analiza matematyczna pozwoliła stwierdzić, iż pomiędzy ilościami składników strukturalnych a oporem właściwym skrawania istnieje silna korelacja. Zależność pomiędzy oporem właściwym skrawania a ilością wolnego cementytu oraz grafitu w badanym żelwie opisuje zależność:

$$k_s = \frac{3277 \cdot W_c^{0,23}}{G^{0,3}} \quad (\text{kN/mm}^2), \quad (1)$$

którą w wersji graficznej przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Zależność pomiędzy oporem właściwym skrawania a ilościami wolnego cementytu W_c i grafitu G w strukturze badanego żeliwa, $k_s = f(W_c, G)$. (Parametry skrawania: $p = 0,065$ mm, $g = 3$ mm, geometria ostrza: 5/-10/0/90, węgiel spiekany HO3)

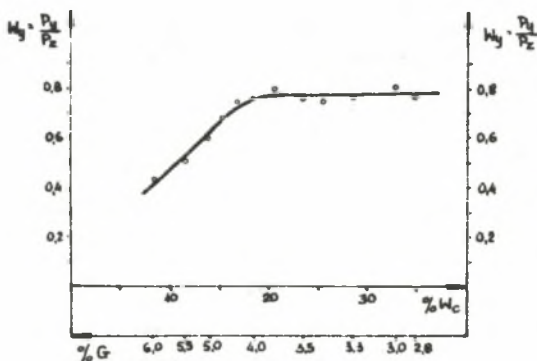
Współczynnik korelacji wielokrotnej w równaniu (1) pomiędzy k_s oraz W_c i G wynosi $r = 0,94$, a odchyłka standartowa $s = 0,0568$.

Dla porównania wyznaczono również korelację pomiędzy oporem właściwym skrawania k_s a równoważnikiem węgla związanego C_{zw} proponowanym przez Artamonowa [1] dla scharakteryzowania skrawalności żeliwa. Na podstawie tych samych wyników pomiarów sił skrawania dla badanego żeliwa ustalono zależność:

$$k_{\alpha} = 2316 \cdot C_{zw}^{0,85} \quad (\text{kN/mm}^2) \quad (2)$$

Również i ta zależność wykazuje silną korelację ($r = 0,90$), a odchyłka standartowa od krzywej regresji wynosi 0,0792.

Poza ustaleniem wpływu różnic struktury żeliwa na opór właściwy skrawania przeprowadzone badania pozwoliły zaobserwować, iż zmiany w strukturze żeliwa różnie wpływają na siły działające na powierzchnię przyłożenia oraz na powierzchnię natarcia ostrza skrawającego. Wraz ze zmianą struktury żeliwa ulega zmianie również stosunek sił $W_y = \frac{P_y}{P_z}$, od $W_{y \min} = 0,40$ do $W_{y \max} = 0,87$. Wskazuje to na znaczną zmianę kierunku działania wypadkowej siły skrawania. Zależność współczynnika W_y od różnic struktury badanego żeliwa przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Zależność współczynnika W_y od ilości wolnego cementytu i grafity w strukturze badanego żeliwa
(Parametry skrawania: $p = 0,065$ mm, $g = 3$ mm, geometria ostrza: 5/-10/0/90, węgiel spiekany H03)

Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają wnioskować, iż pomiędzy oporem właściwym skrawania a składnikami struktury żeliwa istnieje ścisła zależność. Wpływ struktury na wielkość oporu właściwego badanego żeliwa z wystarczającą dokładnością charakteryzują zależności (1) i (2).

LITERATURA

- [1] Artamonow A.Ja.: Issledowanije obrabatywaemosti vysokopročnowo čuguna, MASZGIZ, Moskwa, 1955.
- [2] Cypin J.J., Garber M.E., Michajłowskaja S.S.: Westnik Mašinostrojenija 11, 1969, 62.
- [3] Feld M., Stancbury E.E.: Trans. Amer. Soc. Mech. Eng. 69, 1947, 665.
- [4] Gardin A.J.: Westnik Mašinostrojenia 9, 1948, 49.
- [5] Loria E.A.: Trans. Amer. Foundrym. Soc., 62, 1964.
- [6] Moore W.W., Lord K.O.: Modern Castings. 4, 1959, 35.
- [7] Patterson W., Opitz N., Coppetti P.: Zerspanbarkeit von Granguss. Forschungs des Landes Nordrhein. Westfalen, 1965, nr 1191.
- [8] Praca zbiorowa: Razwitie nauki o rezanii metałłow, Mašinostroenie, 1967.
- [9] Sobczyk W.J.: Praca doktorska, Gliwice 1971.
- [10] Szyrajew J., Sobczyk W.J., Smieja J.: Praca badawcza nieopublikowana, Katedra Obróbki Skrawaniem Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1967.
- [11] Wójcikowski J.: Praca doktorska, Gliwice, 1967.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧИЯ СТРУКТУРЫ ЧУГУНА НА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЗАНИЮ

Р е з ю м е

В описываемых исследованиях измерялись удельные сопротивления резанию твердого упроченного чугуна постоянного состава но при различных структурах. Были предприняты попытки количественного описания различия структуры исследуемого чугуна и определения зависимости между величинами определяющими структуру и удельным сопротивлением резанию. В результате исследований были установлены математические зависимости полученные путем статистической обработки результатов, определяющих влияние главных структурных составляющих исследуемого чугуна на удельное сопротивление резанию.

THE INFLUENCE OF CAST IRON STRUCTURE ON CUTTING
RESISTANCE

S u m m a r y

In the described experiments cutting resistance of hardened cast iron has been measured. The examined cast iron had constant chemical compound and various structure. The attempts for a quantitative characterisation of structure differences in the examined cast iron and determination of the dependence between the magnitudes characterizing the structure and cutting resistance have been undertaken. As a result of the experiments, a mathematical dependence based on statistic processing of the results has been evaluated which determines the influence of main components of examined cast iron on cutting resistance.