

Tadeusz Warochala, Barbara Wierzbicka, Zbigniew Piłkowski
Instytut Technologii Metali Politechniki Częstochowskiej

DOBÓR TWORZYWA NA WARSTWĘ ROBOCZĄ DWUWARSTWOWEGO ODLEWU ŻELIWNEGO ^{*)}

Streszczenie: W pracy przedstawione wyniki badań nad doborem żeliwa na prowadnice obrabiarek. Przebadano określone własności czterech gatunków żeliwa niskostopowego z dodatkami: Cr, Cu, Bi, Ni, Mo i Sn. Wytypowano tworzywo spełniające wymagania, określone warunkami technicznymi odbioru.

Wstęp

Podjęcie tematu ma na celu polepszenie jakości prowadnic łoż obrabiarkowych poprzez wyeliminowanie jednej z bardzo częstych wad, a mianowicie mikrowykruszeń. Wstępne stadium zagadnienia pozwoliło ustalić, że:

- przyczyną mikrowykruszeń jest głównie niewłaściwa struktura odlewu, a nie wadliwie przeprowadzone operacje obróbki wykańczającej.

Wprowadzenie niewielkich ilości składników stopowych (Cr, Cu, Mo, Ni, Sn, B) do żeliwa powinno wyeliminować tę wadę i przyczynić się do wzrostu jakości odlewu. Należało zatem rozwiązać dwa zagadnienia:

- określić właściwy skład chemiczny żeliwa,
- dobrać technologię zapewniającą uzyskanie wymaganych własności użytkowych prowadnic, przy możliwie niewielkim wzroście kosztów ich wytwarzania.

Zdecydowano się na technologię ciężkiego odlewu dwuwarstwowego, zakładając zróżnicowanie tworzyw: w strefie prowadnic - niskostopowe żeliwo szare, zaś w pozostałej części łoża żeliwo szare niestopowe.

Do badań wytypowano żeliwa stopowe chromowo-miedziowe, miedziowo-borowe, chromowo-niklowo-molibdenowe, oraz cynowe. Skład chemiczny wybranych

^{*)} W realizacji pracy uczestniczyli także: doc. dr inż. Tadeusz Wachelko, doc. dr inż. Stefan Pieprznik, dr inż. Barbara Mika i mgr inż. Stanisław Borkowski.

gatunków żeliwa zawiera tablica 1. W pracy pominięto techniczne szczegóły procedury wytwarzania odlewu dwuwarstwowego, poświęcając przede wszystkim uwagę badaniom mającym na celu ocenę własności wytypowanych tworzyw i ich przydatności w odlewach dwuwarstwowych łoż obrabiarek. Oceny żeliw dokonano w oparciu o wyniki badań: twardości, odporności na zużycie ściernie, skrawalności, hartowności oraz długości wydzieleni grafitu.

Tablica 1

Skład chemiczny badanych żeliw

Żeliwo	C%	Si%	Mn%	Cr%	Cu%	B%	Ni%	Mo%	Sn%
A	2,8÷ 3,4	1,4÷ 2,0	0,5÷ 1,0	0,0÷ 0,4	1,0÷ 2,0	-	-	-	-
B	2,8÷ 3,4	1,4÷ 2,0	0,5÷ 1,0	-	0,5÷ 1,0	0,05÷ 0,10	-	-	-
C	2,8÷ 3,4	1,4 2,0	0,5 1,0	0,1 0,6			0,2÷ 0,8	0,1÷ 0,7	-
D	2,8÷ 3,4	1,4÷ 2,0	0,5÷ 1,0	-	-	-	-	-	0,05÷ 0,10

Metodyka badań

Badania nad doborem optymalnego składu żeliwa stopowego przeprowadzone w oparciu o analizę czynnikową, przyjmując do planu badań powtarzanie ułamkowe typu 2^{7-4} [1]. Kolejność realizacji poszczególnych pomiarów ustalono drogą losowania za pomocą tablic liczb przypadkowych. Na skutek wahań składu chemicznego złożu stalowego oraz wpływu innych czynników niekontrolowanych, uzyskany skład chemiczny badanych gatunków żeliwa odbiegał nieco od założeń, co wymagało korekty danych do obliczeń.

Sposób wytapiania żeliwa i odlewania prób

Żeliwo wytapiano w piecu indukcyjnym o średniej częstotliwości o pojemności tygla kwarcytowego 60 kg. Do wytopów używano: złoże stali niskowęglowej, żelazostopy (żelazomangan, żelazochrom, żelazobor), miedź elektrolityczną, nikiel w granulkach i cynę w bloczkach. Jako nawęglacz zastosowano karburety mielony. Temperatura przegrzania wytopów wynosiła 1400 do 1500°C. Modyfikację kąpieli metalowej przeprowadzono za pomocą FeSi175 o granulacji 2 + 5mm. Modyfikator dodawano w ilości 0,0-0,7%. Formy wykonane z ciekłej masy samoutwardzalnej zalewano żeliwem, uzyskując odlewy próbne w kształcie płyty o wymiarach 300x200x50 mm, odpowiadających sprawdzonej grubości ścianki prowadnicy średniej tokarki.

Sposób przeprowadzenia badań

W celu określenia przydatności poszczególnych żeliw na prowadnice łoż tokarek przeprowadzono badania:

- pomiar odporności na zużycie ściernie przeprowadzono wg PN-67/H-04306 na maszynie Skoda-Savin, przy prędkości obrotowej $n = 1000$ obr/min. obciążeniu $p = 15$ kG w czasie 5 minut;
- twardość żeliwa określono metodą Brinella wg PN-57/H-4350, zaś długość wydzielenia grafitu oceniono wg PN-64/H-04663;
- skrawalność badano metodą posuwu obciążonego. Metoda ta polega na pomiarze czasu przewiercania otworu o określonej długości [2]. Badaniom poddano próbki prostopadłościenne o wymiarach $90 \times 45 \times 18$ mm pobrane z odlewu próbnego w ten sposób, aby dolna płaszczyzna próbki pozostała nieobrobiona. Grubość próbek wynosiła $18 \pm 0,1$ mm. Pomiarzy skrawalności przeprowadzono na wiertarce słupowej. Jako miarę skrawalności materiału przyjęto stosunek czasu wiercenia otworu przelotowego do grubości próbki nawierconej; skrawalność podano w s/mm;
- hartowność żeliwa określono wg PN-57/H-04402. Próbki austenitizowane w 900°C przez 1 godzinę oziębiono od czoła wodą o temperaturze 15°C przez okres 15 min. Wyznaczono średnicę "Dn" dla twardości 48 HRC, wymaganej warunkami technicznymi dla prowadnic łoż obrabiarek hartowanych powierzchniowo.

Wyniki badań

W oparciu o przyjętą metodę i uzyskane wyniki badań obliczono modele własności badanych rodzajów żeliwa. Modele te, w postaci wielomianów liniowych, ujmują zależność badanych własności od czynników zmiennych niezależnych. Z opracowania modeli wyłączone nieobrabialne żeliwo "C".

Żeliwo "A"

Twardość Brinella:

$$HB_{p\dot{z}} = 358,57 - 89,974 C - 3,571 Si + 22,100 Mn + 10,000 Cr - 6,854 Cu + 0,088 \\ Tp + 22,844 Mod, \text{ kG/mm}^2.$$

Hartowność:

$$D_n = 77,4744 - 21,2499C - 5,1020Si + 11,5384Mn + 10,8333Cr - 1,9608Cu + \\ + 0,0049 T_p, \text{ mm}$$

Skrawalność:

$$L = 3,7102 - 0,8125C + 0,1161Si + 0,6031Mn + 0,1529Cu - 0,0009Tp + \\ + 0,2811Mod, \text{ s/mm.}$$

Odporność na zużycie ściernie:

$$R_t = 8,531 - 1,762C - 0,419Si - 0,228Mn + 0,704Cr + 0,053Cu + \\ + 0,0006T_p + 0,032 Mod \times 10^{-3}, \text{ 1/mm}^3.$$

Maksymalna długość wydzieleni grafitu:

$$Gd_{max} = 158,704C + 148,443Si - 97,048Mn - 215,002Cr + 18,115Cu + \\ + 0,097Tp - 173,471 Mod - 404,977, \text{ } \mu\text{m.}$$

Żeliwo "B"

Twardość Brinella:

$$HB_{p\dot{x}} = 452,56 - 30,606C + 0,379Si + 12,500Mn - 6,742Cu + 455,000B + \\ + 0,144Tp + 24,621 Mod, \text{ kg/mm}^2.$$

Hartowność:

$$D_H = 76,023 - 4,371C - 1,250Si + 11318Mn - 4,689Cu + 145,000B - \\ - 0,042Tp + 6,780 Mod, \text{ mm.}$$

Skrawalność:

$$L = 0,89569 - 0,2265C + 0,0884Mn + 0,2562Cu + 3,7483B - 0,00000T_p + \\ + 0,0952 Mod, \text{ s/mm.}$$

Odporność na zużycie cierne:

$$R_t = 0,250C + 0,015Si - 0,901Mn + 0,689Cu - 3,894B + 0,002T_p + \\ + 0,098 Mod - 0,9318 \times 10^{-3}, \text{ 1/mm}^3.$$

Maksymalna długość wydzieleni grafitu:

$$Gd_{\max} = 274,39C - 4,54Si - 91,13Mn + 277,57 Cu - 705,00B + 0,295T_p - \\ + 17,50 Mod - 964,62, \mu m.$$

Żeliwo "D"

Twardość Brinella:

$$HB_{p\dot{k}} = 315,80 - 42801C + 4,564Si - 16,846Mn + 245,343Sn + -0,007Tp + \\ + 4,638 Mod, \text{ kG/mm}^2.$$

Hartowność:

$$D_n = 11,98 - 3,284C - 2078Si + 15,603Mn - 13,878Sn + 0,007Tp - \\ - 4,638 Mod, \text{ mm}.$$

Skrawalność:

$$L = 5,0742 - 0,4638C - 0,0093Si - 0,0835Mn + 1,5287Sn - 0,018Tp - \\ - 0,1762Mod, \text{ s/mm}.$$

Odporność na zużycie cierne:

$$R_t = 0,909C - 0,111Si - 0,445Mn + 4,397 Sn + 0,002Tp - 1,076 Mod \times \\ 10^{-3}, \text{ 1/mm}^3.$$

Maksymalna długość wydzieleni grafitu:

$$Gd_{\max} = 182,70 + 10471C - 85,10Si + 110,40 Mn - 1791,40Sn + \\ + 0,03Tp - 8,21 Mod \mu m.$$

Dla sprawdzenia przydatności ustalonych zależności wykonano po kilka wytopów kontrolnych, zbadano niektóre własności żeliwa oraz obliczono je w oparciu o podane wzory. Uzyskano zadowalającą zgodność wyników.

Wybór żeliwa

W celu dokonania ostatecznej selekcji i wytypowania najkorzystniejszego gatunku żeliwa niskostopowego dla potrzeb przemysłu obrabiarkowego przyjęto następujące warunki:

w stosunku do kryteriów: R_t , HB i D_n żądano maksymalnych wartości, natomiast dla pozostałych: Gd_{max} i L - wartości minimalnych. Podstawę do oceny stanowiły względne odchylenia średnich kryterialnych (\bar{X}_i) od średnich ogólnych (\bar{X}), wyrażone w procentach:

- dla odporności na ścieranie:
$$\frac{R_{ti} - R_t}{R_t} \cdot 100,$$

- dla twardości:
$$\frac{HB_i - HB}{HB} \cdot 100,$$

- dla długości wydzielań grafitu:
$$\frac{\bar{Gd}_{max} - \bar{Gd}_{max}}{\bar{Gd}_{max}} \cdot 100,$$

- dla skrawalności:
$$\frac{\bar{L} - \bar{L}_i}{\bar{L}} \cdot 100,$$

- dla hartowności:
$$\frac{\bar{D}_{ni} - \bar{D}_n}{\bar{D}} \cdot 100.$$

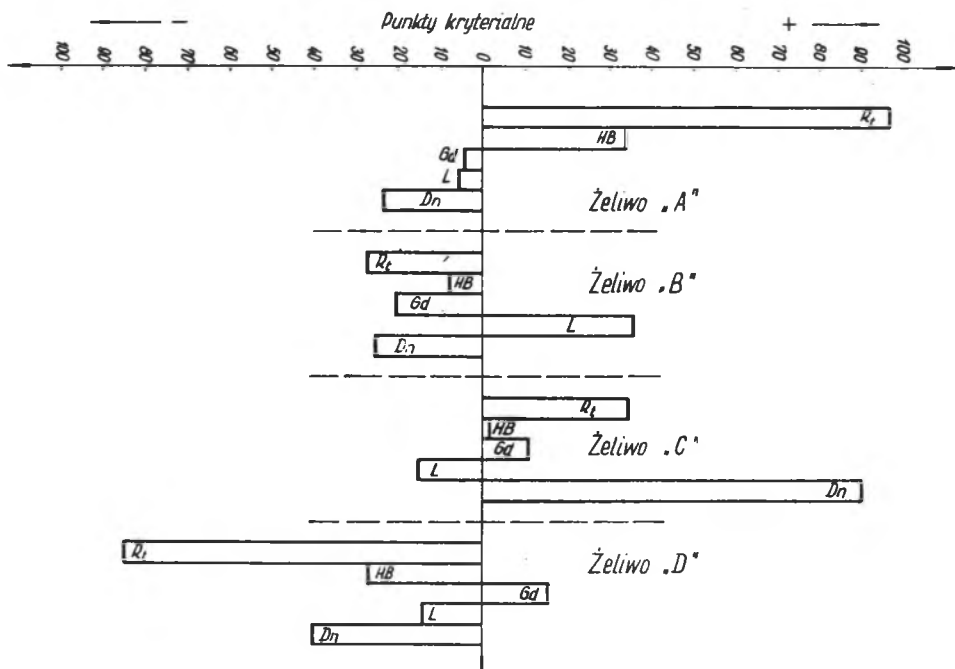
Dla uwypuklenia stopnia ważności poszczególnych kryteriów przyporządkowano im mnożniki od 5 do 1. Wyniki obliczeń podano na rys. 1. Najkorzystniejsze własności wykazało żeliwo "C", a w dalszej kolejności "A", "B" i "D".

W przypadku pominięcia kryterium hartowności, na pierwszym miejscu należałoby wymienić żeliwo "A". Taka interpretacja wydaje się słuszna ponadto z następujących względów:

- głębokość warstwy zahartowanej ($HRC_{min} = 48$) do 15 mm wydaje się wystarczającą dla odlewów łoż, a żeliwo "A" wykazało hartowność średnią 19,7 mm,
- skrawalność żeliwa "A" przy wyższej twardości i odporności na zużycie ścierne jest nieco lepsza niż żeliwa "C".

Kontynuując rozważania nad optymalnym składem chemicznym żeliwa dla odlewów obrabiarkowych należy bliżej sprecyzować warunki techniczne odbioru (choć nie wszystkie kryteria mają ilościowe ujęcie). I tak w odniesieniu do twardości prowadnic w stanie surowym żąda się, by mieściła się w granicach 183 do 262 HB, a niekiedy 240 ± 20 HB. Długość wydzielań grafi-

tu nie powinna przekraczać $150 \mu\text{m}$ z uwagi na niebezpieczeństwo mikrowykruszeń. Odporność na zużycie ścierne oraz skrawalność nie znajduje dotychczas ilościowego ujęcia w warunkach odbioru. m.in. z uwagi na brak jednoznacznych i dostatecznie prostych metod oznaczania. Mimo to na podstawie wyników badań można przyjąć orientacyjnie, że R_t winno być nie mniejsze niż $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/mm}^3$, a L nie większe niż $1,5 \text{ s/mm}$.



Rys. 1. Zestawienie badanych własności żeliwa gatunku A,B,C i D

Opierając się na podanych wcześniej modelach zależności można dokonać odpowiedniego doboru składu chemicznego żeliwa spełniającego te wymagania. Z uwagi na pracochłonność, obliczenia wskazane jest przeprowadzać przy pomocy maszyny cyfrowej.

Przykładowym żeliwem "A" może być tworzywo modyfikowane 0,7% FeSi175 zawierające: C = 2,80%, Si = 1,40%, Mn = 1,00%, Cr = 0,50%, Cu = 2,00%. Żeliwo to winno wykazywać w przybliżeniu: $HB = 258 \text{ kg/mm}^2$, $Gd_{\text{max}} = 98 \mu\text{m}$, $R_t = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/mm}^3$, $L = 1,49 \text{ s/mm}$.

LITERATURA

1. Nalimow W.W., Czernowa N.A.: Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych. WNT, Warszawa, 1967.
2. Dagnell J.: Werstattstechnik 10, 1970, 561.

ПОДБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ДВУХСЛОЙНОЙ
ЧУГУННОЙ ОТЛИВКИ

Р е з ю м е

В работе даются результаты исследований по подбору чугуна для направляющих металлорежущих станков. Были испытаны определенные свойства четырех сортов низколегированного чугуна с присадками: Cr, Cu, B, Ni, Mo и Sn. Подобрали чугуны отвечающий техническим требованиям и техническим условиям приемки.

SELECTION OF MATERIAL FOR THE WORKING LAYER OF A TWO-LAYER CAST
IRON CASTING

S u m m a r y

Results of investigations on the selection of cast iron for machine tool ways have been presented in the elaboration. Definite properties of the four kinds of low-alloyed cast iron with Cr, Cu, B, Ni, Mo and Sn additions have been tested a material fulfilling technical requirements defined by the technical conditions of acceptance has been selected.