ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978

Seria: Mechanika z.65 Nr kol. 569

Zygmunt HADUCH, Jan RĄCZKA, Stanisław RUDNIK

Instytut Materiałoznawstwa i Technologii Metali
Politechnika Krakowska

WPŁYW SKŁADU CHEMICZNEGO NISKOSTOPOWEGO ŻELIWA SZAREGO NA ODPORNOŚĆ NA ŚCIERANIE

Streszczenie. O odporności żeliwa na ścieranie decyduje jego struktura wynikająca ze składu chemicznego i technologii otrzymywania odlewu. Dobierając odpowiednią kombinację dodatków stopowych otrzymano niskostopowe żeliwa szare, których odporność na ścieranie w założonych warunkach kilkakrotnie przewyższa dotychczas stosowane. Dokonano próby powiązania własności trybologicznych żeliwa ze strukturą a w szczególności cechami stereometrycznymi wydzieleń grafitowych. Analizy wyników badań dokonano w oparciu o program komputerowy.

1. Wstęp

Zagadnienie zużycia elementów maszyn w procesie tarcia jest problemem bardzo złożonym i wielokierunkowym. Jest niezwykle trudno wskazać uniwersalny system doboru materiału na elementy trące, szczególnie w odniesieniu do materiału o wielofazowej budowie strukturalnej, jakim jest żeliwo. Z tego względu doboru materiału na pary trące dokonuje się w oparciu o właściwie zaprogramowane badania trybologiczne.

Do najważniejszych problemów rozwiązywanych przez współczesnych badaczy można zaliczyć:

- sterowanie składem chemicznym i technologią wytopu żeliwa celem osiągnięcia zamierzonych własności mechanicznych i eksploatacyjnych
- dobór materiału na elementy trące w zależności od warunków ich eksploatacji
- określenie możliwości przewidywania własności eksploatacyjnych na podstawie cech możliwych do natychmiastowego określenia znanymi metodami.

W niniejszym referacie przedstawiono badania nad doborem optymalnej, z uwagi na odporność na ścieranie, kombinacji dodatków stopowych żeliwa poprzez ich wpływ na tworzenie struktury najodpowiedniejszej dla danych warunków eksploatacyjnych. Przedstawiono wyniki badań trybologicznych i strukturalnych oraz dokonano ich statystycznej analizy, co pozwoliło na wyciągnięcie wniosków.

2. Związek struktury żeliwa z odpornością na ścieranie

Praktyka potwierdza, że żeliwo jest odpowiednim materiałem do pracy w warunkach tarcia zarówno suchego, jak i ze smarowaniem. Spełnia ono zasadnicze wymagania stawiane materiałom na łożyska ślizgowe jak niski współczynnik tarcia, zdolność do docierania oraz właściwość utrzymywania ciągłej warstwy smaru na powierzchni. Jest przy tym tworzywem tanim.

Odporność żeliwa na ścieranie jest zależna od jego struktury, a to ilości, wielkości, kształtu i sposobu rozłożenia wtrąceń grafitowych, rodzaju osnowy metalicznej oraz od postaci eutektyki fosforowej. Osnowa metaliczna winna być perlityczna bez wydzieleń ferrytu. Istotną rolę odgrywa stopień dyspersji perlitu; perlit drobny o wyższej twardości podwyższa odporność na ścieranie żeliwa.

Niekorzystne jest natomiast występowanie wolnych węglików, które łatwo wykruszają się z osnowy. Wpływ eutektyki fosforowej zależy od postaci jej występowania; o ile tworzy ona drobne, równomiernie rozłożone wydzielenia, to podwyższa odporność na ścieranie, natomiast bardzo niekorzystne jest występowanie eutektyki w postaci dużych, łatwo wykruszających się wydzieleń. Zakładając, że osnowa metaliczna żeliwa będzie perlitem o określonym stopniu dyspersji, zwiększenie odporności na ścieranie można uzyskać na drodze takiego sterowania technologią wytapiania i odlewania żeliwa, aby uzyskać optymalny z punktu widzenia odporności na ścieranie kształt, wielkość i sposób rozłożenia grafitu.

W żeliwie stopowym istotny wpływ zarówno na wydzielenia grafitu jak i osnowy metalicznej wywierają zawarte w nim składniki stopowe. Z tego też względu istotne są badania wpływu rodzaju i ilości pierwiastków stopowych na budowę strukturalną żeliwa, a tym samym jego odporność na ścieranie.

3. Dobór materiału badawczego

Literatura dotycząca wpływu dodatków stopowych na odporność na ścieranie żeliwa jest obszerna, jednakże wnioski jakie można z niej wyciągnąć dla krajowej praktyki w zakresie budowy maszyn są bardzo ograniczone [1].

Opierając się na wcześniejszych badaniach własnych [2-4] materiał badawczy dobrano tak, aby były reprezentowane różne dodatki stopowe, zaś ich dobór uwzględniał optymalne kombinacje dla uzyskania możliwie wysokiej odporności na ścieranie. Do badań przygotowano łącznie 32 odmiany żeliwa, w których zawartość pierwiastków podstawowych wahała się w granicach:

C = 2,9 - 3,3%; Si = 0,9 - 1,7%; Mn = 0,85 - 0,95%; P = 0,06 ÷ 0,12%;
S = 0,035 - 0,05%.

Dodatki stopowe: Ni, Cu, Al, Cr, Ti, V, Mo, B, kojarzone były zależnie od kierunku i stopnia oddziaływania na strukturę żeliwa.

Badaniom trybologicznym poddano 23 gatunki żeliwa, zestawione w tabeli 1.

Wytopu żeliwa dokonano w piecu elektrycznym średniej częstotliwości IMSK-250, o wykładzinie kwaśnej. Przy temperaturze 1420-1440°C żeliwo modyfikowano wapniokrzemem w ilości 0,7% ciężaru ciekłego metalu. Przy temperaturach 1450° i 1500°C wprowadzano dodatki stopowe i po ich rozpuszczeniu w żeliwie odlewano próbki w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 120 x 120 x 300 mm do form z masy na szkle wodnym. Z bloków próbnych wycinano próbki do badań ścieralności. Próbki miały kształt walca o średnicy 20 mm i wysokości 15 mm. Z jednego czoła próbki wyfrezowano walcowe wgłębienie o promieniu 15 mm odpowiadające kształtem pobocznicy współpracującej próbki. Powierzchnia trąca próbki wynosiła 2,72 cm^2. Własności mechaniczne wszystkich gatunków żeliwa były zbliżone. Wytrzymałość na rozciąganie wahała się w granicach 250-300 N/mm^2, twardość 250-340 HB.

4. Badania trybologiczne

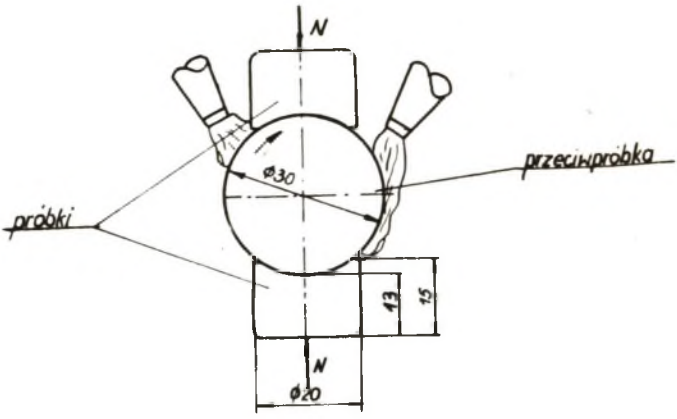
Badania trybologiczne przeprowadzono na urządzeniu MBT-PK w Politechnice Krakowskiej. Urządzenie pozwala na ciągłą zmianę prędkości obrotowej przeciwpróbki w granicach 200-6000 obr/min i stosowanie nacisków normalnych na próbkę do 1600 N.

Przeciwpróbkę wykonano w kształcie wałka o średnicy 30 mm ze stali 55 zahartowanej i odpuszczonej do twardości około 55 HRC. Próbki żeliwne miały kształt walca o średnicy 20 mm z wyfrezowanym z jednego czoła wgłębieniem o promieniu 15 mm. Powierzchnia trąca próbki wynosiła 272 mm^2. Docisk próbki do przeciwpróbki realizowany w systemie hydraulicznym można zmieniać w granicach 42 - 255 N/cm^2. W prezentowanych badaniach stosowano względną prędkość ślizgania próbka - przeciwpróbka, zmienną od 0,9 do 3,14 m/s.

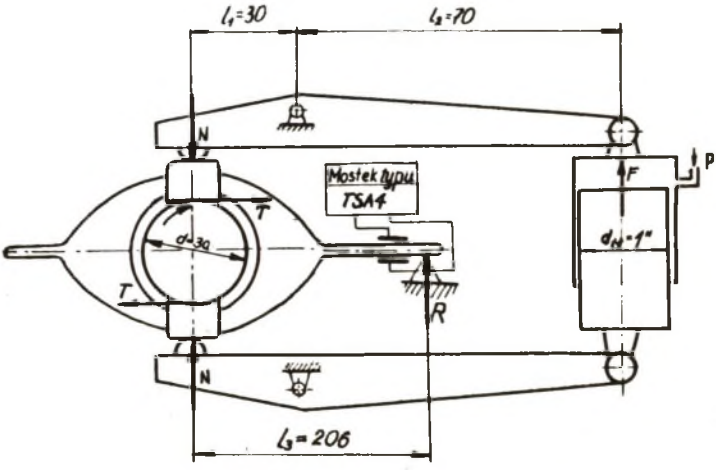
Powierzchnie trące próbek smarowano strumieniem oleju Lux-10. Schemat współpracy pary trącej pokazano na rys.1.

Zużycie próbek określano wagowo przez mierzenie ubytku masy próbki po określonym czasie ścierania, z dokładnością do 0,0001 grama.

Pomiaru współczynnika tarcia dokonywano mierząc siłę styczną i normalną wg schematu przedstawionego na rys.2.



Rys.1. Schemat współpracy pary trącej



Rys.2. Schemat pomiaru sił na urządzeniach MBT-PK

W y n i k i p o m i a r ó w z u ż y c i a zgodnie z tabelą 1 wykazały wyraźnie mniejsze zużycie żeliwa z różną kombinacją następujących dodatków stopowych: Cr, Cu, Mo, Ni, V, Ti. Z powyższego można wysnuć wniosek, że kompleksowego doboru dodatków stopowych należy szukać wśród tych pierwiastków, przy czym nie zawsze górna zawartość dodatku stopowego odpowiada najmniejszemu zużyciu, co jest ważnym spostrzeżeniem z uwagi na koszty produkcji żeliwa stopowego. Stosunkowo duże zużycie

Tabela 1

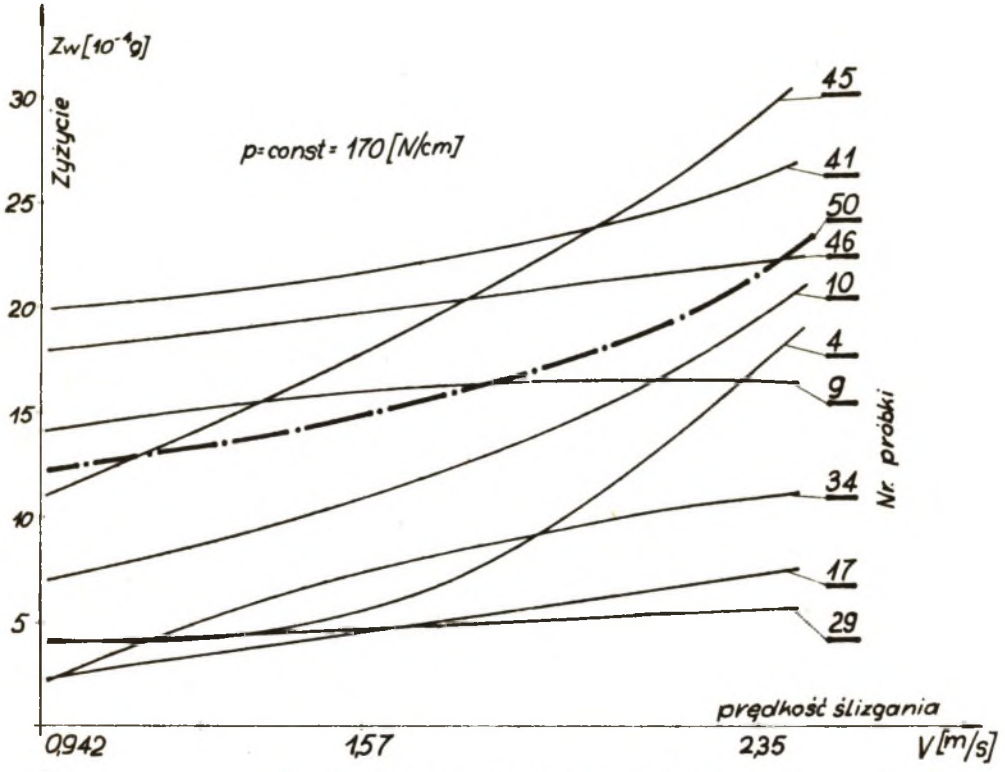
Zależność składu chemicznego żeliwa i średniego ubytku wagowego próbki:

Parametry badań: $p = 170\ N/cm^2$; $v = 1,57\ m/s$

Lp.	Symbol żeliwa	Nr próbki	Skład chemiczny %													Zużycie /g/
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Ni	Cu	V	Mo	B	Al	
1	A 3	2	3,15	1,65	0,86	0,09	0,05	0,31	0,14	0,98	0	0	0	0	0	0,0019
2	A 4	3	3,15	1,65	0,86	0,09	0,05	0,31	0,14	1,5	0	0	0	0	0	0,0012
3	A 5	4	3,15	1,65	0,86	0,09	0,05	0,31	0,14	1,85	0	0	0	0	0	0,0005
4	C 2	9	3,09	1,44	0,87	0,07	0,04	0,24	0,07	0	0,47	0	0	0	0	0,0016
5	C 3	10	3,09	1,44	0,87	0,07	0,04	0,24	0,07	0	1,05	0	0	0	0	0,0011
6	C 5	12	3,09	1,44	0,87	0,07	0,04	0,24	0,07	0	1,7	0	0	0	0	0,0006
7	D 2	17	3,07	1,42	0,91	0,06	0,034	0	0	0,48	0	0,205	0	0	0	0,0006
8	D 3	18	3,07	1,42	0,91	0,06	0,034	0	0	0,98	0	0,205	0	0	0	0,0011
9	D 5	20	3,07	1,42	0,91	0,06	0,034	0	0	2,01	0	0,205	0	0	0	0,0017
10	G 2	29	3,09	1,52	0,92	0,10	0,04	0,27	0	0	0,6	0	0,22	0	0	0,0005
11	G 3	30	3,09	1,52	0,92	0,10	0,04	0,27	0	0	1,06	0	0,22	0	0	0,0021
12	G 5	32	3,09	1,52	0,92	0,10	0,04	0,27	0	0	1,87	0	0,22	0	0	0,0020
13	H 2	33	3,06	1,56	0,92	0,1	0,036	0,25	0,088	0,48	0	0	0	0,01	0	0,0012
14	H 3	34	3,06	1,56	0,92	0,1	0,036	0,25	0,088	0,96	0	0	0	0,01	0	0,0011
15	H 4	35	3,06	1,56	0,92	0,1	0,036	0,25	0,088	1,46	0	0	0	0,01	0	0,0013
16	H 5	36	3,06	1,56	0,92	0,1	0,036	0,25	0,088	2,03	0	0	0	0,01	0	0,0023
17	K 2	41	2,92	0,94	0,85	0,12	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0,70	0,0023
18	K 3	42	2,92	0,94	0,85	0,12	0,04	0	0	0	0	0	0	0	1,23	0,0065
19	K 5	44	2,92	0,94	0,85	0,12	0,04	0	0	0	0	0	0	0	2,43	0,0014
20	L 2	45	3,03	1,41	0,93	0,06	0,042	0,25	0,085	0,46	0	0	0	0	0	0,0024
21	L 3	46	3,03	1,41	0,93	0,06	0,042	0,25	0,085	0,91	0	0	0	0	0	0,0020
22	L 5	48	3,03	1,41	0,93	0,06	0,042	0,25	0,085	2,1	0	0	0	0	0	0,0015
23	Gr 17	50	3,27	2,24	0,76	0,022	0,093	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0,0015

wykazało żeliwo z dodatkiem aluminium. Dla większości badanych gatunków żeliwa krytyczna maksymalna prędkość ślizgania wynosiła około 2,5 m/s przy nacisku powierzchniowym p = 110 N/cm^2, natomiast maksymalny nacisk nie powinien przekraczać 250 N/cm^2. Przekroczenie tych parametrów powoduje gwałtowny wzrost zużycia.

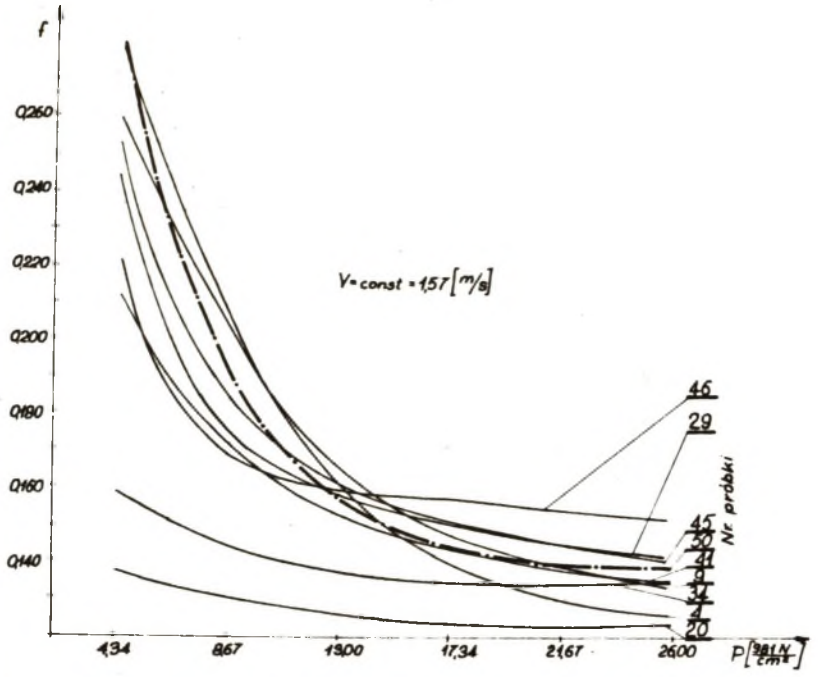
Wybrane krzywe przebiegu zużycia dla różnych gatunków żeliwa pokazano na rys.3.



Rys.3. Zużycie w funkcji prędkości ślizgania

Próbka nr 50 wykonana została z żeliwa licencyjnego "Grade" stosowanego na odlewy korpusów silników wysokoprężnych. Porównując krzywe zużycia nasuwa się wniosek o możliwościach zastąpienia żeliwa licencyjnego nowymi gatunkami żeliwa o podwyższonych własnościach eksploatacyjnych.

Wyraźną tencencję spadku wartości współczynnika tarcia ze wzrostem nacisku powierzchniowego zauważyć można na rys.4.



Rys.4. Zależność współczynnika tarcia od nacisku powierzchniowego

Zjawisko to należy tłumaczyć fizykalnymi cechami powierzchni trących. Na skutek ścierania się i odkształcania nierówności powierzchni nacisk rozkłada się na większych mikroobszarach na skutek czego siła tarcia nie rośnie proporcjonalnie do nacisku, a więc i współczynnik tarcia nie zmienia się liniowo.

5. Badania strukturalne

Dla przeprowadzenia oceny wpływu struktury na odporność na ścieranie przeprowadzono badania metalograficzne, które polegały na obserwacji osnowy metalicznej i szczegółowej ocenie ilościowej cech grafitu. W wyniku stwierdzono, że osnowa metaliczna jest czysto perlityczna za wyjątkiem gatunków z wyższą zawartością dodatków stopowych, w których obserwowano śladowe ilości cementytu, ferrytu i eutektyki fosforowej. Stopień dyspersji perlitu i jego mikrotwardość są zróżnicowane w zależności od ilości pierwiastków stabilizujących. Największą ilość grafitu w strukturze wykazało żeliwo z dodatkiem aluminium, a najmniejszą żeliwo zawierające: 0,52% V; 0,045% Ti; 0,52-2% Ni. Oceny grafitu dokonano dwoma sposobami: w oparciu o normę PN-75/H-04661 oraz wykorzystując telewizyjny analizator obrazu Quantimet 720 [5-6].

Ponieważ ocena grafitu metodą porównawczą jest mało dokładna i subiektywna, analizę wydzieleń grafitu oparto na zaproponowanej przez K.Sękowskiego i K.Hübnera nowej metodzie określania cech grafitu w strukturze żeliwa [5-6].

Wspomniana metoda wykorzystuje wyniki pomiarów telewizyjnego analizatora obrazu i pozwala określać następujące parametry:

N_A - liczba cząstek grafitu w jednostce powierzchni /mm^{-2}/

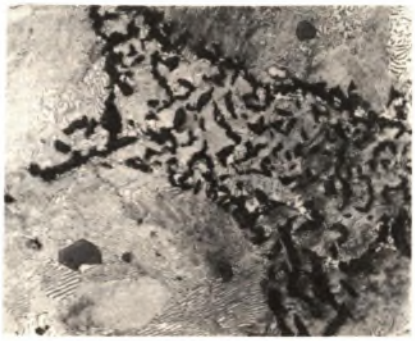
A_A - udział powierzchniowy grafitu /%/

L_A - długość obwodów cząsteczek grafitu mm/mm^2

S_v - wielkość powierzchni grafitu w jednostce objętości stopu mm^2/mm^3

S_w - wskaźnik rozwinięcia powierzchni mm^2/mm^3.

Szczególnie uzasadnione jest użycie parametru S_w, dla scharakteryzowania własności stopu, ponieważ dekohezja żeliwa w większości przypadków zachodzi po powierzchni grafit/osnowa. Liczba wydzieleń grafitu na jednostkę powierzchni dla badanego zbioru próbek zawarta była w granicach 195 wydzieleń dla próbki nr 44 /żeliwo z dodatkiem 2,4% Al/ - fot.1. - do 1788 wydzieleń dla próbki nr 2 /żeliwo z dodatkiem 0,31% Cr, 0,14% Ti, 0,98% Ni/ - fot.2.



Rys.5. Przykładowe struktury żeliwa

Próbka nr 44 wykazywała najmniejsze wartości współczynników S_v i S_w. Natomiast maksymalny wskaźnik S_v = 66,3 mm^2/mm^3 stwierdzono dla próbki nr 2.

Zestawienie wyników pomiarów zgodnie ze wzrastającą wielkością grafitu podano w tabeli 2.

Tabela 2

Uszeregowanie próbek zgodnie ze wzrastającą wielkości grafitu

Uszeregowanie zgodnie ze wzrastającą wielkością grafitu	Nr próbki	S_w xxx/ mm^2/mm^3	Klasy długości obwodu pasemek grafitu							
			1	2	3	4	5	6	7	8
			Udział procentowy w klasach x/							
1	3	823	23	21	24 xx/	16	9	2	6	0
2	2	693	14	17	23	18	14	13	1	0
3	4	655	11	17	23	22	17	8	1	0
4	38	614	8	10	20	26	22	12	2	0
5	37	565	8	8	15	29	26	12	2	0
6	50	557	4	7	18	27	27	15	3	0
7	36	557	5	7	16	23	24	15	9	1
8	18	536	4	7	15	22	18	16	12	5
9	12	502	4	7	14	26	22	18	9	0
10	46	469	2	6	13	22	24	20	9	5
11	40	458	4	5	13	22	31	17	7	0
12	33	457	4	8	16	20	19	20	9	3
13	48	446	3	5	11	17	22	21	16	0
14	30	442	3	5	12	25	28	18	9	0
15	8	424	2	4	9	22	28	22	13	0
16	35	424	4	6	12	20	24	18	11	5
17	45	410	3	3	10	16	20	24	16	7
18	29	401	2	3	10	17	22	23	15	10
19	32	390	2	5	10	23	23	22	12	5
20	17	387	3	4	10	15	25	20	13	5
21	34	370	2	3	8	18	25	25	12	9
22	7	362	2	3	8	17	21	22	17	5
23	42	357	3	4	9	15	18	20	20	12
24	10	354	2	3	10	17	24	25	16	2
25	20	346	2	4	9	18	21	30	16	0
26	9	334	3	4	7	17	22	18	19	13
27	41	326	2	4	9	18	23	25	16	5
28	44	296	2	3	9	21	25	19	17	5

x/ w zaokrągleniu do 1%
xx/ podkreślono najwyższe wartości udziału w klasach
xxx/ zaokrąglone do wartości całkowitych

6. Statystyczna analiza wyników badań

Wyniki badań trybologicznych stanowiły podstawę do obliczeń statystycznych mających na celu ilościowe określenie korelacji pomiędzy zużyciem a składem chemicznym żeliwa. Matematyczne ujęcie problemu polegało na optymalnym doborze zmiennych niezależnych tj. procentowej zawartości pierwiastków w stopie, wpływających na wartość zmiennej zależnej, tj. zużycia. Obliczeń optymalizacyjnych dokonano w oparciu o współczynnik Hellwiga. Współczynnik ten jest kryterium optymalności doboru predyktant w równaniu regresji [8].

$$H = \sum_{j=1}^{k} \frac{r_j^{\,2}}{\sum_{i=1}^{k} |r_{ij}|},$$

gdzie: r_j - współczynnik korelacji zmiennej zależnej z j-tą zmienną niezależną,

r_{ij} - współczynnik korelacji między i-tą i j-tą zmienną niezależną.

Obliczenie współczynnika H wykazało, że optymalnymi z uwagi na zużycie kombinacjami dodatków stopowych są następujące skojarzenia: C,V; C,V,B; C,V,Al; C,Si,V,Al; C,Ni,V.

Obliczenie współczynników regresji dla powyższych kombinacji pierwiastków pozwoliło na napisanie następujących równań regresji opisujących zużycie w funkcji składu chemicznego stopu:

$z_1 = 0{,}0244 - 0{,}00739C - 0{,}00292\ V$

$z_2 = 0{,}0247 - 0{,}00748\ C - 0{,}00332\ V - 0{,}0414\ B$

$z_3 = 0{,}0220 - 0{,}00661\ C - 0{,}00275\ V + 0{,}00016\ Al$

$z_4 = 0{,}256 - 0{,}00801\ C - 0{,}00046\ Si - 0{,}0026\ V + 0{,}00018\ Al$

$z_5 = 0{,}240 - 0{,}00725\ C - 0{,}0000942\ Ni - 0{,}00268\ V$

Obliczenia numeryczne przeprowadzono na maszynie ODRA 1325.

7. Dyskusja wyników badań i wnioski

Wszystkie użyte w badaniach gatunki żeliwa niskostopowego wykazały kilkakrotnie mniejsze zużycie niż żeliwo szare niestopowe. Analiza statystyczna wyników badań potwierdziła tezę o możliwości ilościowego powiązania odporności na ścieranie z zawartością składników stopowych, co pozwala na dobór składu chemicznego zapewniającego optymalną odporność na ścieranie. Ponieważ istnieje związek pomiędzy cechami struktury i odpornością na ścieranie można dobrać tworzywo o najlepszych własnościach trybologicznych w oparciu o badania strukturalne. Przy zastosowaniu telewizyjnego analizatora struktury można powiązać stereometryczne cechy grafitu z odpornością na

ścieranie przy pomocy współczynnika rozdziału powierzchni S_v i wskaźnika rozwinięcia powierzchni S_w.

Badania wykazały niecelowość stosowania aluminium jako dodatku stopowego. Żeliwo z dodatkiem Al zużywało się znacznie więcej od pozostałych gatunków. Wynika to ze znacznego wpływu aluminium na powstawanie grubych, nierównomiernie rozłożonych w osnowie wydzieleń grafitu i pojawianie się ferrytu w strukturze. Dodatek wanadu zmniejsza zużycie żeliwa poprzez wpływ na rozdrobnienie grafitu, zwiększenie stopnia dyspersji perlitu, podwyższenie własności wytrzymałościowych i twardości żeliwa bez pogorszenia obrabialności.

Pozytywny wpływ na odporność na ścieranie wykazuje również bor i nikiel.

Pobieżne wyliczenie kosztów produkcji stosowanych w badaniach gatunków żeliwa niskostopowego wskazuje, że są one tylko o około 30 - 40% wyższe w stosunku do żeliwa niestopowego, natomiast odporność na ścieranie wzrasta kilkakrotnie.

L ITERATURA

1. Rudnik St., Rączka J., Haduch Z.; Kraus E.: Opracowanie literaturowe i perspektywy zastosowania odpornego na ścieranie żeliwa szarego z dodatkami stopowymi. Praca nauk.-bad. z probl.węzłowego 0.2. Politechnika Krakowska, Kraków 1976.
2. Haduch Z.: Istraživanje niskolegiranog sivog lijeva kao materiala za klizne lezajeve". Referat wygłoszony na międzynarodowej konferencji Zupačanike i klizne ležajeve FSB, Zagreb 1976.
3. Haduch Z.: Pewne metody badań trybologicznych żeliwa szarego przeznaczonego na klocki hamulcowe. Referat na II Krajowej Konferencji "Pojazdy szynowe" SIMP, IPSz Politechnika Krakowska, Kraków 1977.
4. Haduch Z.: Wpływ składu chemicznego i struktury na odporność na ścieranie żeliwa szarego. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1977.
5. Sękowski K.: Nowa metoda określania kształtu, wielkości i ilości grafitu w strukturze żeliwa. Przegląd Odlewnictwa Nr 6,1975.
6. Hübner K.: Liczbowa charakterystyka kształtu grafitu w żeliwie sferoidalnym. Przegląd Odlewnictwa Nr 3, 1977.
7. Rudnik St., Rączka J., Haduch Z., Kraus E., Kowalski J., Tabor A.: Żeliwo niskostopowe przeznaczone na elementy maszyn budowlanych i silników wytypowane przez Zakłady Bumar-Stalowa Wola. Praca naukowo-badawcza z problemu węzłowego 02. Politechnika Krakowska, Kraków 1977.
8. Hellwig Z.: Problem optymalizacyjnego wyboru predyktant. Przegląd Statystyczny Nr 3,4, 1969.

THE EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION OF LOW-ALLOY GREY CAST IRON ON ITS WEAR RESISTANCE

Summary

By using a suitable combination of alloying elements a low-alloy cast iron was produced with wear resistance in given conditions several times better than that of existing cast irons. An attempt was made to correlate tribologic properties of cast iron with its structure and esp. stereometric features of graphite particles.

The analysis of the results was carried out by means of a computer program.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НИЗКОЛЕГИРОВАННОГО СЕРОГО ЧУГУНА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Резюме

Об износостойкости чугуна решает его структура, следующая из химического состава и технологии получения отливки. Подбирая соответствующую комбинацию легирующих прибавок получено низколегированный серый чугун, износостойкость которого в данных условиях несколько раз выше, чем применяемых до настоящего времени. Были сделаны попытки соединения трибологических свойств чугуна со структурой, а особенно со стереометрическими свойствами графитных выделений.

Анализ результатов исследований проведено с помощью компютерной программы.