

Franciszek BINCZYK, Eugeniusz KRZEMIEN

Institut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska

WPŁYW STRUKTURY ŻELIWA SFEROIDALNEGO NA JEGO ODPORNOŚĆ NA ZUŻYCIE ŚCIERNE. BADANIA PORÓWNAWCZE

Streszczenie. W artykule omówiono wpływ struktury zarówno w stanie lanym jak i po obróbce cieplnej na niektóre własności i zużycie ściernie żeliwa sferoidalnego stosowanego na elementy obrabiarek.

1. Wstęp

Od obrabiarek stanowiących zespół ściśle współpracujących z sobą elementów wymaga się wysokich dokładności i precyzji działania. Z tego względu w warunkach eksploatacyjnych koniecznym staje się zachowanie dokładności wymiarów elementów obrabiarek, tak aby sumaryczny błąd spowodowany postępującym zużyciem ściernym utrzymać możliwie długo w wąskich tolerancjach. Przy doborze tworzywa na elementy obrabiarek należy kierować się względami technicznymi i ekonomicznymi.

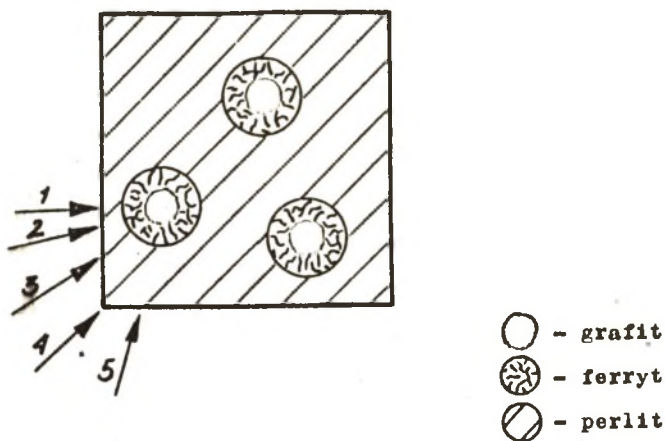
Żeliwo sferoidalne ze względu na korzystny zespół własności użytkowych i wytrzymałościowych oraz opanowaną technologię wytwarzania znajduje coraz szersze zastosowanie w przemyśle obrabiarkowym. W stanie lanym, odlewy wykonane z niestopowego żeliwa sferoidalnego, posiadają ferrytyczną, ferrytyczno-perlityczną i perlityczną osnowę metaliczną.

Rodzaj osnowy metalicznej decyduje o własnościach żeliwa oraz o jego zastosowaniu. W przypadku osnowy perlitycznej, żeliwo sferoidalne cechuje się wysokimi własnościami wytrzymałościowymi i dobrą odpornością na zużycie ściernie, natomiast obecność ferrytu w osnowie, podwyższa własności plastyczne żeliwa i obniża odporność na zużycie ściernie. Istotne znaczenie przy doborze tworzywa na ścierające się elementy obrabiarek na znajomość mechanizmu ścierania, które najczęściej odbywa się w ruchu posuwisto-zwrotnym. Hipotetyczny mechanizm ścierania żeliwa sferoidalnego, porównanie własności użytkowych różnych żeliw sferoidalnych oraz propozycje zastosowań wybranych gatunków żeliwa na elementy obrabiarek, to poszczególne etapy niniejszego opracowania.

2. Hipotetyczny model ścierania żeliwa sferoidalnego

Żeliwo sferoidalne szare jako stop wielofazowy w stanie surowym składa się z perlitu, ferrytu i grafitu kulkowego. Udział eutektyki fosforowej /ze względu na niską zawartość P/ jest bardzo mały, jak również przy prawidłowej technologii wytapiania i odlewania żeliwo sferoidalne nie zawiera cementytu eutektycznego.

Do rozważań nad mechanizmem ścierania przyjęto uproszczony model budowy żeliwa sferoidalnego, przedstawiony na rys.1 [1] oraz założono, że:



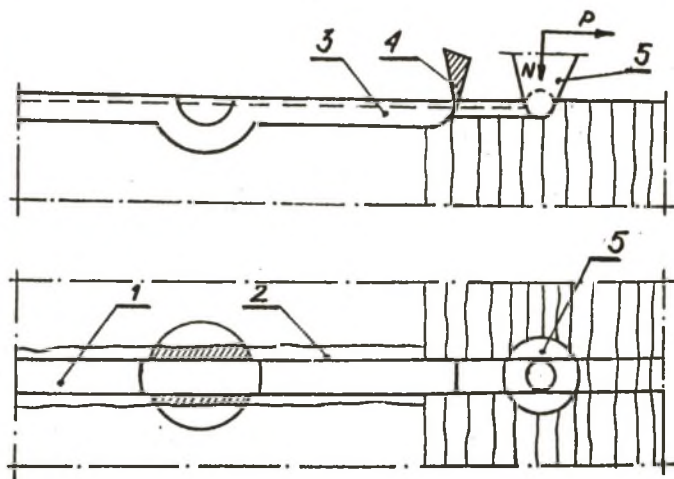
Rys.1. Uproszczony model struktury żeliwa sferoidalnego oraz możliwe kierunki przejścia ścierającego ziarna modelowego

- występ nierówności elementu ścierającego ma kształt stożka ściętego, zakończonego powierzchnią kulistą,
- między ciałami trącymi nie ma warstwy pośredniej w postaci filmu olejowego, czyli że zachodzi tarcie technicznie suche,

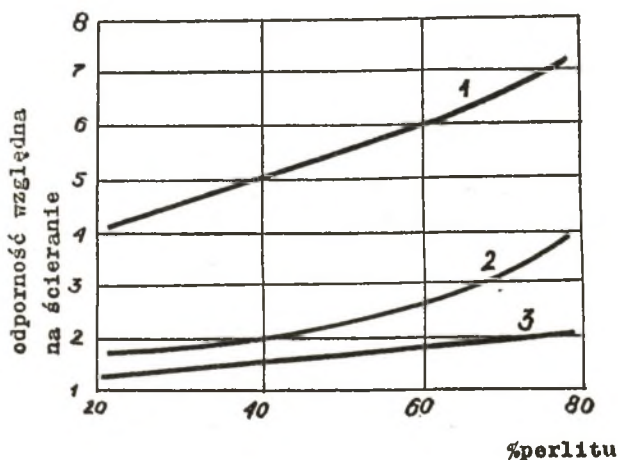
Pominięto także wpływ ciepła na proces ścierania.

Na rys.1 strzałkami oznaczono możliwe kierunki przejścia ziarna elementarnego poprzez składniki struktury. Odnaczające się wysoką twardością ziarno elementarne napotyka na swojej drodze na składniki o różnej twardości /perlit, ferryt, grafit/ i powoduje w strukturze odkształcenia sprężyste i plastyczne z wyciśnięciem materiału na boki /bruzdowanie/, całkowite wylupywanie ziarn grafitu oraz rysowanie i ścinanie krawędzi granic perlitu, w miejscu przejścia z ferrytu do perlitu /rys.2/. Przyjmując, przy jednorazowym przemieszczeniu ziarna modelowego wzdłuż elementarnego wycinka strukturalnego, za miernik zużycia liczbę przejść Z przez granice pól składników struk-

turalnych oraz pole pod funkcją $P = f / \alpha /$ za miernik całkowitego zużycia, można udowodnić, że odporność na ścieranie w warunkach tarcia suchego jest tym większa im większy jest udział perlitu w strukturze i im mniejsze są elementarne komórki strukturalne, co przedstawia rys.3.



Rys.2. Schematyczny obraz efektu przejścia elementarnego ziarna ściernego po powierzchni żeliwa ferrytyczno-perlitycznego.
 1 - bruzda po przejściu ziarna, 2 - spęczony i częściowo zeskrwany ferryt, 3 - wyłamanie po perlicie, 4 - ścięty perlit, 5 - ziarno modelowe dociskane z siłą "P"



Rys.3. Zależność odporności na ścieranie od perlitu w strukturze oraz ilości komórek eutektycznych
 1 - jedna komórka eutektyczna, 2 - cztery komórki eutektyczne, 3 - dziewięć komórek eutektycznych

Na uwagę zasługuje również powiązanie odporności na ścieranie żeliwa z strukturą i twardością, przy czym w tym celu wprowadzono pojęcie tzw. twardości obliczonej H_o :

$$H_o = \frac{\alpha H_{\alpha} + \beta H_{\beta} + \delta H_{\delta}}{100},$$

gdzie: α, β, δ - objęściowy udział perlitu, ferrytu i grafitu

$H_{\alpha}, H_{\beta}, H_{\delta}$ - mikrotwardość perlitu, ferrytu i grafitu

W wyniku przeprowadzonych pomiarów oraz obliczeń na maszynie matematycznej Odra 1204 uzyskano następujące zależności:

- dla twardości obliczonej

$$J_o = 0,008 H_o^2 - 2,076 H_o + 146,332, \text{ przy odchyleniu standardowym } \delta = 9,311$$

- dla twardości zmierzonej

$$J_z = 0,008 H_z^2 - 3,234 H_z + 355,983, \text{ przy } \delta = 9,885$$

- dla udziału perlitu w osnowie [%P/

$$J_p = 0,008 P^2 + 0,464 P - 7,460, \text{ przy } \delta = 5,329$$

- dla udziału ferrytu w osnowie [%F/

$$J_f = 0,011 F^2 - 2,033 F + 100,573 \text{ przy } \delta = 5,491,$$

przy czym

$$J = \frac{1}{z} \cdot 10$$

z - zużycie próbki w g

Dokładna analiza przyjętego modelu hipotetycznego ścierania żeliwa sferoidalnego przedstawiona została w pracach^{1,2}.

3. Badania porównawcze własności wytrzymałościowych i odporności na zużycie ścierne żeliw sferoidalnych

Do badań wytypowano żeliwo sferoidalne o osnowie całkowicie perlitycznej, perlityczno-ferrytycznej i ferrytycznej z wydzieleniami cementytu eutektycznego. Żeliwa wytopiono w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości, w tyglu o pojemności 200 kg i kwaśnym wyłożeniu. Sferoidyzację przeprowadzono metodą zalewania umieszczonej na dnie kadzi zaprawy FeSiMg /42%Si, 6%Mg/ w ilości 3,5% masy żeliwa w kadzi. Temperatura sferoidyzacji 1460°C, a temperatura zalewania 1320°C. Żeliwo odlewane do form ceramicznych o wymiarach wnek 35x120x300 mm. Skład chemiczny badanych żeliw przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Skład chemiczny badanych żeliw sferoidalnych

Nr	Rodzaj żeliwa	Zawartość w %						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg
1	żeliwo sferoidalne perlityczne	3,36	2,01	0,78	0,08	0,05	-	0,045
2	żeliwo sferoidalne perlityczno-ferrytyczne	3,48	2,52	0,55	0,065	0,045	-	0,048
3	żeliwo sferoidalne ferrytyczne z Fe_3C	2,40	4,28	0,12	0,040	0,038	0,14	0,058

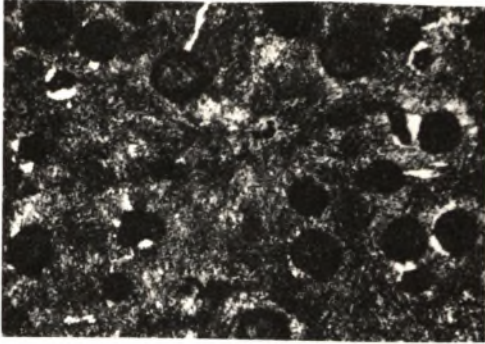
Z odlewów wykonano próbki do badań własności wytrzymałościowych, uduarności i odporności na ścieranie. Średnie z wyników badań własności mechanicznych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

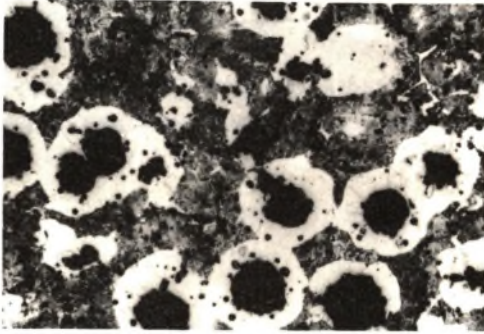
Numer żeliwa	R _m MPa	U kJ/m ²	A ₅ %	HB
1	742	320	2,0	245
2	485	552	4,2	193
3	525	137	1,5	250

Struktury badanych żeliw przedstawiono na rys.4,5 i 6. W celu wyznaczenia odporności na zużycie ściernie, wykonano próbki /rys.7a/ z wytopionych żeliw oraz przeciwpróbki /rys.7b/ z żeliwa nr 3, brązu B663, stali LH15, stali 14HG, z żeliwa Z125 w stanie surowym i ulepszonym cieplnie. Doboru tworzywa na przeciwpróbki dokonano na podstawie analizy materiałowej elementów obrabiarek pracujących w skojarzeniach ciernych. Badania odporności na zużycie prowadzono na urządzeniu do badania zużycia podczas tarcia w ruchu posuwisto-zwrotnym /rys.8/ w następujących warunkach:

- nacisk 88,3 MPa
- czas trwania próby 1 i 3 godz.
- droga tarcia 6500 i 19500 m
- tarcie na sucho



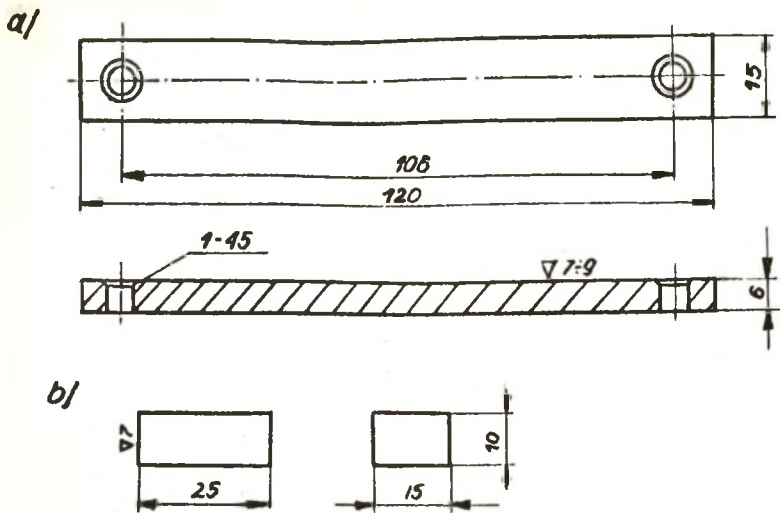
Rys.4. Struktura żeliwa sferoidalnego Nr 1, pow.100x, traw.Mi1Fe



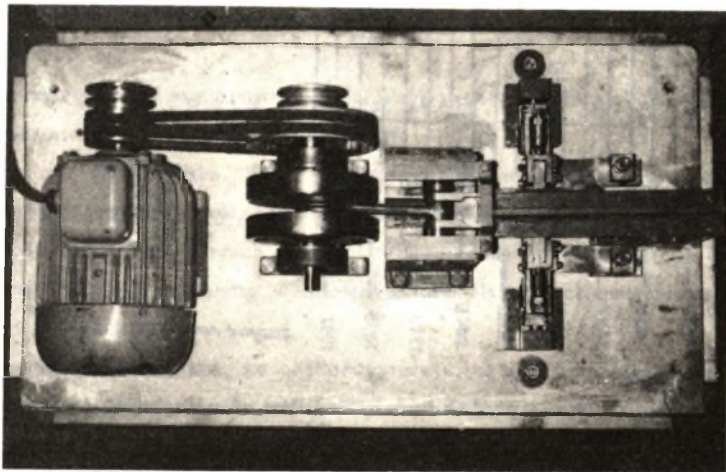
Rys.5. Struktura żeliwa sferoidalnego Nr 2, pow.100x, traw.Mi1Fe



Rys.6. Struktura żeliwa sferoidalnego Nr 3, pow.100x, traw.Mi1Fe



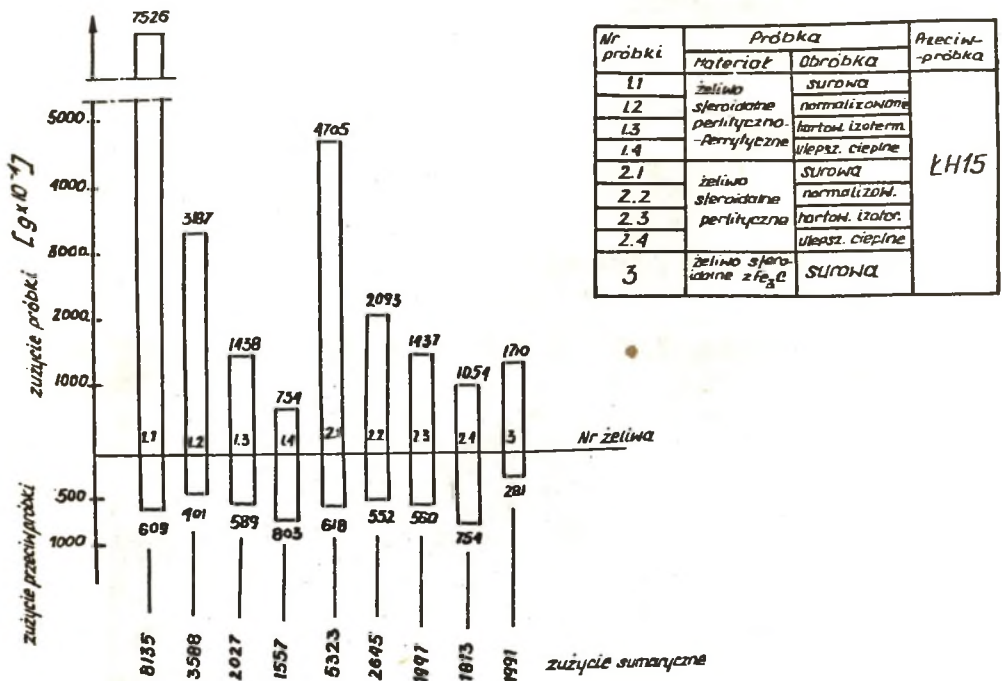
Rys.7. Kształt i wymiary próbki /a/ i przeciwpróbki /b/ do badania odporności na zużycie ścierne



Rys.8. Urządzenie do badania odporności na zużycie ścierne w ruchu posuwisto zwrotnym: widok z góry

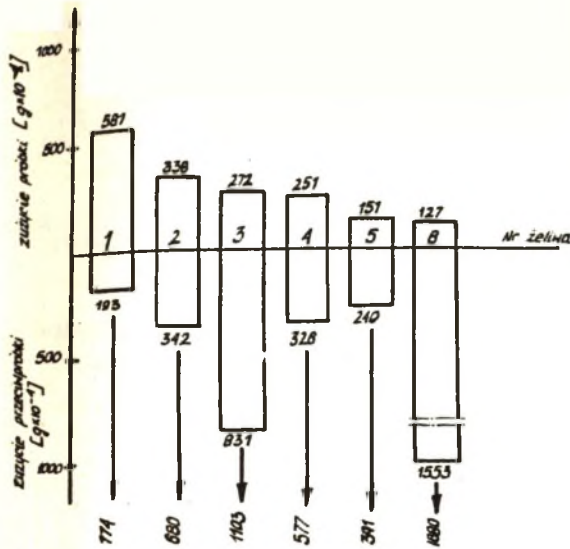
Wartości zużycia próbek i przeciwpróbek określono na podstawie ubytku masy przed i po próbie ścierania, poprzez ważenie na wadze analitycznej z dokładnością do 0,0001 g.

Pierwszą serię badań przeprowadzono dla próbek z wytopionych żeliw oraz przeciwpróbek ze stali ŁH15. Żeliwo 1 i 2 poddano dodatkowo obróbce cieplnej poprzez normalizowanie, hartowanie izotermiczne i ulepszanie cieplne. Wyniki opracowane w formie histogramu /rys.9/ wykazują, iż zużycie żeliwa sferoidalnego ferrytycznego z cementytem /nr 3/ w ilości 11,6% jest około sześciokrotnie niższe od zużycia żeliwa sferoidalnego Nr 2, zawierającego w osnowie około 50% perlitu oraz czterokrotnie niższe od żeliwa sferoidalnego nr 1 o osnowie całkowicie perlitycznej. Niewiele wyższe jest zużycie ściernie badanego żeliwa nr 3 od zużycia żeliw 1 i 2 hartowanych izotermicznie i ulepszonych cieplnie.



Rys.9. Porównanie zużycia próbek badanych żeliw sferoidalnych oraz wartości zużycia sumarycznego

W kolejnym etapie badań przeprowadzono pomiary zużycia żeliwa nr 3 w pozostałych skojarzeniach ciernych [3]. Wyniki tych badań zamieszczono na rys.10. Stwierdzono najniższe zużycie próbki z żeliwa nr 3 przy współpracy z przeciwpróbkami z żeliwa Z125-ulepszanego cieplnie oraz brązu B663. Najwyższą wartość zużycia wykazało skojarzenie z przeciwpróbką ze stali ŁH15 i 14HG. Duże znaczenie z punktu widzenia doboru materiału na elementy maszyn ma ich zużycie sumaryczne. Z rys.10 wynika, iż najniższą



Nr skojarzenia	Problema	Przeciwpółka
1	Żeliwo Nr 3	LH15
2		14HG
3		Żeliwo Nr 3
4		B663
5		ZL 25 ulepszone cieplnie
6		ZL 25 - surowca

Rys.10. Zużycie próbek z żeliwa Nr 3 /feryt + Fe₃C/ oraz przeciwpółek z różnych materiałów i zużycie sumaryczne

wartość zużycia sumarycznego stwierdza się dla skojarzenia: żeliwo nr 3 /próbka/ - żeliwo Z125, ulepszone cieplnie /przeciwpółka/.

Natomiast identyczne skojarzenie, ale z przeciwpółką nie poddaną ulepszeniu cieplnemu, wykazuje najwyższe sumaryczne zużycie. Wysoką wartość zużycia sumarycznego wykazuje skojarzenie tych samych materiałów, co potwierdza pogląd, iż błędem jest dobór na współpracujące elementy w skojarzeniach ślizgowych materiałów o jednokowej strukturze i twardości.

Z przeprowadzonych badań wynika, że najkorzystniejszym zespołem własności użytkowych spośród badanych żeliw cechuje się żeliwo sferoidalne o całkowicie ferrytycznej osnowie metalicznej z wydzieleniami cementytu eutektycznego w ilości 10-12% /na powierzchni zglądu przy powiększeniu 100x/ oraz równomiernie rozłożonym grafitem sferoidalnym.

Podstawową zaletą tego gatunku żeliwa, to:

- wysoka odporność na zużycie ściernie oraz minimalne oddziaływanie ściernie na element współpracujący,
- dobre własności wytrzymałościowe, dobra obrabialność,

- szczególnie niska wartość zużycia sumarycznego przy współpracy z elementami wykonanymi z Z125 i ulepszonego cieplnie.

Wady to:

- niska udarność,
- maksymalna grubość ścianki odlewanych elementów do 60 mm, co wynika z określonej prędkości krzepnięcia i stygnięcia.

4. Przykłady doboru w w. żeliw na elementy obrabiarek w FOC-PONAR Zawiercie [4,5,6]

4.1. Zęb atki śli makowe

Zęb atki śli makowe stanowią integralną część obrabiarek, a w szczególności strugarek, frezarek bramowych i tokarek ciężkich. Jako elementy zamieniające ruch obrotowy śli maka na ruch postępowy narażone są na częste działanie zmiennych obciążeń dynamicznych, co przy niedostatecznym smarowaniu, niewłaściwym doborze współpracujących tworzyw, a przede wszystkim przy zmieniających się twardościach zęb atek, staje się powodem intensywnego zużycia ściernego i wycofania obrabiarek z produkcji /co najmniej na czas wymiany wadliwych zęb atek/.

Do roku 1975 zęb atki śli makowe bez względu na typ obrabiarki wykonywane były z żeliwa niskostopowego o składzie: C-3,3%; Si-1,4%; Mn-0,6%; P-0,20%; S-0,10%; Cr-0,4%; Ni-1,2% o $R_m = 240$ MPa.

Jak wykazały badania laboratoryjne i eksploatacyjne, powodem niskiej odporności na ścieranie w w. żeliwa jest niska twardość /195-205 HB/ oraz wysoki rozrzut twardości w poszczególnych wytopach /od 195 do 240 HB/. Na podstawie badań [4,5], jako tworzywo na zęb atki śli makowe wytypowano żeliwo sferoidalne perlityczne nr 1 o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 1. Żeliwo to posiada dobrą odporność na ścieranie, dobrą udarność i wysoką wytrzymałość oraz twardość ok. 240 HB, mieszczącą się w granicach ustalonych normą zakładową FOC-PONAR.

Obecnie wszystkie zęb atki wykonywane są z tego gatunku żeliwa, przy czym wytop odbywa się w piecu indukcyjnym sieciowej częstotliwości i pojemności tygla 4 t. Sferoidyzacji - dokonuje się mieszanką zapraw FeSiMg i CuMg w stosunku 3 : 1.

Prowadzone są również aktualnie próby wykonania zęb atek z żeliwa sferoidalnego nr 3 o ferrytycznej osnowie metalicznej z cementytem eutektycznym.

4.2. Ło ża i sup orty obrabiarek

Elementy te wykonuje się obecnie z żeliwa szarego Z125 w stanie surowym /tokarki ciężkie/ i hartowanego indukcyjnie /tokarki średnie i lekkie/. Na łoża tokarek ciężkich instalowane są hartowane nakładki ze stali 15HG.

Dotychczasowa trwałość łoż obrabiarek jest stosunkowo niska, co wynika z niskiej odporności żeliwa Z125 na ścieranie oraz niewłaściwie prowadzonego hartowania indukcyjnego łoż i nakładek. Przeprowadzone badania laboratoryjne na próbkach z żeliw 1, 2 i 3 /tabela 1/ wykazały ich bezwzględną wyższość nad żeliwem szarym, jeżeli chodzi o własności wytrzymałościowe i odporność na ścieranie, natomiast żeliwa te cechują się niższą zdolnością tłumienia drgań. Ponadto żeliwo sferoidalne o osnowie perlityczno-ferrytycznej cechuje się zdolnością przejmowania koncentracji naprężeń w warunkach obciążeń dynamicznych. Można więc sądzić, że żeliwo sferoidalne nr 1 i 2, będzie nadawało się do produkcji łoż tokarek lekkich i średnich. Badania takie będą prowadzone w przyszłości. Natomiast z żeliwa nr 3 o osnowie ferrytycznej z cementytem zaleca się produkować nakładki na łoża tokarek ciężkich, które przy współpracy z suportem z żeliwa Z125 hartowanego, względnie ulepszanego cieplnie powinny zapewnić ich długotrwałą współpracę bez widocznych zmian wymiarowych.

4.3. Tarcze centrujące

W roku 1976 podjęto prace badawcze nad nastąpieniem tarcz centrujących wykonywanych dotąd ze staliwa, tarczami z żeliwa sferoidalnego perlitycznego o składzie chemicznym w tabeli 1 /poz.1/.

Odlane duże tarcze TGG 1600, zostaną zainstalowane do obrabiarki. Powyższe tarcze odlano w formach z masy CMS, nie stosując nadlewów, jak to miało miejsce w przypadku staliwa.

Ostateczne wyniki badań eksploatacyjnych będą podane w terminie późniejszym.

LITERATURA

1. Krzemień E.: Badania wpływu struktury i twardości żeliwa sferoidalnego na jego odporność na ścieranie. Rozprawa doktorska, Katowice 1972
2. Gierek A., Krzemień E.: Badanie wpływu struktury i twardości żeliwa sferoidalnego na jego odporność na ścieranie przy tarciu suchym. PAN - Oddział w Krakowie, Prace Komisji Metalurgiczno-Odlewniczej, Metalurgia 23, 1975
3. Gierek A., Bińczyk F., Mendera E.: Własności użytkowe i wytrzymałościowe nowego żeliwa sferoidalnego. Technik 6, 1977
4. Gierek A., Bińczyk F., Krzemień E.: Przykłady doboru żeliwa sferoidalnego na elementy obrabiarek, VII Zebranie Sprawozdawcze, Komitet Hutnictwa PAN, Krynica 1974
5. Gierek A., Bińczyk F.: Skład chemiczny i struktura żeliw przeznaczonych na trudnościeralne odlewy zębatek ślimakowych, Wybrane Prace Instytutu Inżynierii Materiałowej, ZG STOP, 1973
6. Bińczyk F.: Możliwości zastosowania żeliwa sferoidalnego z cementytem eutektycznym na elementy obrabiarek, Praca w toku dla PONAR-ZAWIERCIE

THE EFFECT OF STRUCTURE OF NODULAR CAST-IRON ON ITS WEAR
RESITANCE. COMPARATIVE STUDIES

S u m m a r y

The effect of structure in as-cast and heat-treated conditions on certain properties and wear of nodular cast-iron used for machine tool parts was discussed.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ШАРОВИДНОГО ЧУГУНА НА ЕГО ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ.
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Р е з ю м е

В статье рассматривается влияние структуры как в литом состоянии так и после термической обработки на некоторые свойства и износ шаровидного чугуна, применяемого для деталей станков.