

Jerzy PIASKOWSKI, Leszek KRUPA

Instytut Odlewnictwa
MPMCiR, Kraków

BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH I PRÓBY
ZASTOSOWANIA W PRZEMYSLE ŻELIWA SFEROIDALNEGO
STOPOWEGO, ODPORNEGO NA ŚCIERANIE, PROWADZONE
W INSTYTUCIE ODLEWNICTWA W KRAKOWIE W LATACH -
1974-1977

Streszczenie: W artykule omówiono technologię topienia, własności mechaniczne, odporność na ścieranie oraz możliwości zastosowania żeliwa sferoidalnego nisko i średniostopowego.

Żeliwo sferoidalne znajduje coraz szersze zastosowanie w technice, zwłaszcza w przemyśle maszynowym. Szczególnie interesującą własnością tego tworzywa dotąd jeszcze nie dość wykorzystaną jest jego odporność na ścieranie. Dzięki korzystnej postaci grafitu przy podwyższonej odporności na ścieranie występuje także udarność wyższa, aniżeli dla innych gatunków żeliwa o podobnej strukturze osnowy.

Szczególnie wysoką odporność na ścieranie posiadają gatunki żeliwa sferoidalnego nisko- i średniostopowego, a także niektóre żeliwa sferoidalnego wysokostopowego.

Zastosowanie gatunków żeliwa sferoidalnego odpornego na ścieranie jest w krajowym przemyśle bardzo niewielkie. Częściowo jest to spowodowane brakiem doświadczeń, a także brakiem danych o podstawowych własnościach mechanicznych gatunków żeliwa sferoidalnego, odpornych na ścieranie, uzyskanych przy użyciu surowców krajowych.

Dla uzupełnienia tych danych prowadzone były w Instytucie Odlewnictwa MPMCiR w latach 1974-1977 badania, których wyniki przedstawione zostały w dalszej części tej pracy.

1. Żeliwo sferoidalne stopowe odporne na ścieranie w świetle zagranicznej literatury technicznej

W żeliwie sferoidalnym decydujący wpływ na własności mechaniczne m.in. na odporność na ścieranie posiada osnowa metaliczna. Z tego względu żeliwo sferoidalne stopowe, odporne na ścieranie można podzielić na trzy rodzaje:

- a/ żeliwo niskostopowe o osnowie perlityczno-ferrytycznej /lub perlitycznej/,
- b/ żeliwo średniostopowe o osnowie iglastej /bainitycznej lub martenzytycznej/,
- c/ żeliwo wysokostopowe o osnowie austenitycznej.

W świetle zagranicznej literatury technicznej żeliwo sferoidalne niskostopowe występuje w trzech podstawowych odmianach. Należy mianowicie rozróżnić żeliwo niskomiedziowe, zawierające 0,6 - 1,5 % Cu [1,2], żeliwo niskoniklowe, zawierające 0,45 - 2,5 % Ni i żeliwo niskomolibdenowe o zawartości 0,20 - 1,2 % Mo [3-7].

Poszczególne gatunki, obok podstawowego składnika, zawierają jeszcze inne dodatki stopowe. Na przykład żeliwo niskomiedziowe zawiera Ni, Mo, Cr, a żeliwo niskomolibdenowe - Ni, Cu i Cr, tak że różnice pomiędzy poszczególnymi odmianami zawierają się.

Odporność na ścieranie żeliwa sferoidalnego podnosi także dodatek 0,05 - 1,1% Sn [8]. W wyjątkowych przypadkach może znaleźć zastosowanie żeliwo sferoidalne z podwyższoną zawartością fosforu 0,2 - 0,35% P, np. jak wg normy radzieckiej GOST 1585-70 lub żeliwo sferoidalne niskowanadowe, 0,15 - 1,5% V [9,10]. Wprowadzenie tych dodatków do żeliwa sferoidalnego powoduje spadek własności plastycznych.

Szczególnie wysoką odporność na ścieranie wykazuje żeliwo sferoidalne średniostopowe o osnowie bainitycznej lub martenzytycznej. Są to przede wszystkim odmiany żeliwa średnoniklowego [11,5] i średnoniklowo-molibdenowego [12,13,14], a także zalecane przez The International Meehanite Metal Corp. gatunki średniomanganowo-molibdenowego [11]; najszersze zastosowanie znajduje żeliwo sferoidalne średnoniklowo-molibdenowe, zawierające niekiedy dodatkowo miedź.

Ponadto w ZSRR stosuje się kilka gatunków żeliwa sferoidalnego wysokomanganowego, zawierającego około 10% Mn [15,16,17,18], a w RFN opatentowano żeliwo sferoidalne wysokomanganowe /patent nr 2 401 138/, zawierające 2,3 - 4,2% C, 1,5 - 5,0% Si, do 10% Mn, 1,5-6,0% Ni, 0,2-2,0% Al, 0,1 - 1,0% Mo.

2. Żeliwo sferoidalne odporne na ścieranie w kraju. Stan badań i zastosowanie w przemyśle

Do gatunków żeliwa sferoidalnego niskostopowego odpornego na ścieranie można zaliczyć żeliwo zawierające około 1,5% Ni i około 0,1% Sn, stosowane przez odlewnię Fabryki Samochodów Ciężarowych w Lublinie i Fabryki Samochodów Małolitrażowych w Skoczowie na części do samochodu "Fiat" [19].

Niewielkie ilości żeliwa sferoidalnego niskomiedziowego wykonują m.in. Huta im. Lenina i Fabryka Maszyn Papierniczych "Fampa" w Cieplicach, a Zakł. Sprzętu Motoryzacyjnego Nr 2 w Łodzi wykonują pierścienie "AT" do licencyjnych amortyza-

torów teleskopowych z żeliwa sferoidalnego odpornego na ścieranie, zawierającego 0,4 - 0,6% P, 0,3 - 0,6% Cu, 0,2 - 0,4% Ti, 0,1 - 0,2% V [20].

Żeliwo sferoidalne średniostopowe jest stosowane jedynie na odlewy walców hutniczych. W Hucie im. M. Buczka w Sosnowcu walce wykonuje się także z żeliwa sferoidalnego niskostopowego [21].

Gatunki żeliwa sferoidalnego stopowego w tym także odpornego na ścieranie zostały omówione w kilku podręcznikach [7, 11, 17, 18, 22, 23].

Z prac badawczych prowadzonych poza Instytutem Odlewnictwa można wymienić właściwie jedynie badania J. Steca wykonane w ramach pracy doktorskiej [24]. Z przeprowadzonych badań wynika, m.in., że żeliwo sferoidalne niskoniklowo-molibdenowe o strukturze prawie czysto perlitycznej wykazuje około 250 razy mniejsze zużycie próbki, aniżeli żeliwo sferoidalne bez dodatków stopowych. Natomiast żeliwo sferoidalne średnioniklowo-molibdenowe wykazuje około 1,9 razy większą odporność na ścieranie posuwiste /na sucho/, aniżeli analogiczne żeliwo niskostopowe, perlityczne.

3. Prace nad żelivem sferoidalnym nisko- i średniostopowym odpornym na ścieranie prowadzone w latach 1974-1977 przez Instytut Odlewnictwa w Krakowie

Prace nad żelivem sferoidalnym nisko- i średniostopowym odpornym na ścieranie prowadzone w latach 1974 - 1977 przez Instytut Odlewnictwa obejmowały próby wytapiania wytypowanych gatunków, badania ich własności fizycznych i mechanicznych oraz próby eksploatacyjne, wykonywane przez instytucje współpracujące.

Prace te miały na celu opanowanie technologii oraz określenie podstawowych własności tych gatunków wytapianych przy użyciu surowców krajowych.

W ten sposób przeprowadzono próby wytapiania żeliwa nisko-miedziowego /także z dodatkiem molibdenu lub chromu/, niskoniklowego /także o podwyższonej zawartości krzemu i z dodatkiem chromu/ i średnioniklowo-molibdenowego.

Żeliwo wytapiane było w piecu indukcyjnym IMSK, a gatunki żeliwa niskostopowego także w żeliwiaku. Sferoidyzację przeprowadzano bądź w kadzi szczelnej JPK przy pomocy prętów magnezowych, bądź przy użyciu zapraw, wprowadzanych metodą "Sandwich". Stosowano zwykle niskomagnezową zaprawę żelazokrzemową /5-10% Mg/, dla żeliwa miedziowego - zaprawę miedziowo-magnezową /około 16 % Mg/ i dla żeliwa niklowego - zaprawę niklowo-magnezową /około 16 % Mg/.

Przykładowo w tabeli 1 zestawiono skład chemiczny i podstawowe własności mechaniczne dla wytypowanych gatunków żeliwa sferoidalnego nisko- i średniostopowego [25, 26, 27].

Dodatkowe badania przeprowadzono dla żeliwa sferoidalnego niskoniklowego, także z dodatkami miedzi i molibdenu lub chromu, przy czym uzyskano szczególnie wysokie własności mechaniczne /wytrzymałość na rozciąganie ok. 900 MPa-/ok. 92 kG/mm²-/tabela 2.

Tabela 1

Skład chemiczny i własności mechaniczne^{x/} żeliwa sferoidalnego niskostopowego /Lp. 1-7/ o średniostopowego /Lp.8-10/
25,26,27

| Lp. | Gatunek żeliwa | Skład chemiczny, % | | | | | | | | | Wytrzymałość na rozciąganie R _m MPa /kG/mm ² / | Wydłużenie A ₅ % | Twardość HB |
|-----|----------------------------|--------------------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|---|-----------------------------------|----------------|
| | | C | Si | Mn | P | Ni | Cu | Mo | Cr | Mg | | | |
| 1 | niskomiedziowe | 3,73 | 2,32 | 0,47 | 0,072 | - | 1,04 | - | - | 0,06 | 694,5 /70,8/ | 2,1 | 273 |
| 2 | niskomiedziowo-chromowe | 3,22 | 2,89 | 0,20 | 0,063 | - | 0,86 | - | 0,55 | 0,05 | 606,3 /61,8/ | 0,86 | 294 |
| 3 | niskomiedziowo-molibdenowe | 3,40 | 2,85 | 1,08 | 0,08 | - | 0,47 | 0,46 | - | 0,06 | 670 /68,3/ | 1,53 | 277 |
| 4 | niskomolibdenowe | 3,63 | 1,90 | 0,25 | 0,054 | 0,20 | 0,17 | 0,26 | 0,17 | 0,11 | 690,6 /70,4/ | 5,6 | 255 |
| 5 | niskoniklowo-krzemowe | 3,09 | 4,04 | 0,50 | 0,069 | 1,13 | - | - | - | 0,07 | 634,7 /64,7/ | 4,33 | 247 |
| 6 | niskoniklowo-molibdenowe | 3,58 | 2,51 | 0,41 | 0,034 | 0,92 | 0,20 | 0,53 | 0,10 | 0,13 | 739,7 /75,4/ | 3,1 | 267 |
| 7 | niskoniklowo-chromowe | 3,84 | 2,55 | 0,72 | 0,083 | 1,05 | - | - | 0,93 | 0,12 | 591,5 /60,3/ | 0,6 | 430 |
| 8 | średniklowo-molibdenowe | 3,67 | 3,02 | 0,33 | 0,085 | 2,25 | - | 0,65 | - | 0,11 | 966,7 /101,6/ | 0,5 | xx/ |
| 9 | średniklowo-molibdenowe | 3,48 | 2,85 | 0,31 | 0,094 | 2,80 | - | 0,70 | - | 0,075 | 833,9 /85,0/ | 0,7 | xx/ |
| 10 | średniklowo-molibdenowe | 3,36 | 2,61 | 0,02 | xx/ | 3,27 | - | 1,10 | 0,04 | 0,074 | 985,9 /100,5/ | 2,9 | xx/ |

x/ średnia z co najmniej trzech pomiarów, xx/ nie oznaczono

Tabela 2

Skład chemiczny, struktura i własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego niskoniklowo - miedziowego

| Gatunek żeliwa | Skład chemiczny, % | | | | | | | | | Wytrzymałość na rozciąganie R_m /kG/mm ² / MPa | | Wydłużenie A_5 % |
|--------------------------------------|--------------------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|---|--------|--------------------------|
| | C | Si | Mn | P | Ni | Mo | Cu | Cr | Mg | | | |
| niskoniklowo-miedziowe | 3,61 | 2,28 | 0,48 | 0,051 | 1,66 | - | 1,57 | - | 0,108 | 908,4 | /92,6/ | 1,5 |
| niskoniklowo-miedziowe | 3,86 | 2,71 | 0,47 | 0,023 | 1,69 | - | 1,54 | - | 0,099 | 914,3 | /93,2/ | 1,2 |
| niskoniklowo - miedziowo-molibdenowe | 3,33 | 2,34 | 0,54 | 0,052 | 1,22 | 0,48 | 1,13 | - | 0,06 | 899,6 | /91,7/ | 1,2 |
| niskoniklowo-miedziowo-molibdenowe | 3,62 | 2,49 | 0,48 | 0,053 | 1,36 | 0,48 | 1,27 | - | 0,102 | 932 | /95,0/ | 0,8 |
| niskoniklowo-miedziowo-molibdenowe | 3,60 | 2,73 | 0,47 | 0,055 | 1,34 | 0,53 | 1,22 | - | 0,088 | 874,1 | /89,1/ | 2,6 |
| niskoniklowo-miedziowo-chromowe | 3,80 | 2,80 | 0,44 | 0,052 | 1,60 | - | 1,60 | 0,38 | 0,075 | 884,9 | /90,2/ | 1,0 |

Dla żeliwa sferoidalnego niskoniklowo-chromowego i średnioniklowo-molibdenowego przeprowadzono ścisłą próbę rozciągania przy użyciu zrywarki uniwersalnej "Instron" TT-DM. Wyniki tych badań będą oddzielnie opracowane, tu ograniczono się do zestawienia: naprężeń umownych $/R_{0,02}; R_{0,05}; R_{0,10}$; wytrzymałości zmęczeniowej w próbie zginania obrotowego $/Z_{go}/$, granicę akomodacji $/R_a/$, moduł sprężystości $/E_0/$ w zakresie naprężeń ekstrapolowanych do 0 kg/mm^2 oraz liczbę Poissona oznaczone według zasad, które opracował A. Karamara [28, 29].

Z prób przemysłowych należy wymienić prace nad zastosowaniem żeliwa sferoidalnego, zawierającego 2,4 - 3,7 % C, 2,3 - 2,8 % Si, 0,35 - 0,7 % Mn, poniżej 0,1 % P i poniżej 0,02 % S oraz dodatki niklu, molibdenu, chromu i miedzi, odporne na ścieranie na części pomp kopalnianych /wirniki, kierownice i pierścienie/. Badania próbek w postaci płytek przeprowadzone zostały przez Zakład Doświadczalny Maszyn Przepływowych w Zabrze /ZFMG "Powen"/ przy użyciu urządzeń imitujących warunki występujące w kopalniach; materiałem porównawczym było staliwo narzędziowe L21OH21, hartowane w oleju.

Najmniejsze zużycie wykazało żeliwo sferoidalne niskoniklowo-chromowe, a zwłaszcza średnioniklowo-molibdenowe /tabela 5/; z tych gatunków odlane zostały odlewy części pomp, przeznaczone do prób eksploatacyjnych.

Podobne wyniki uzyskano przy próbach zastosowania żeliwa sferoidalnego nisko- i średniostopowego na części pompy PLG-20 do gorącego lepiku, stosowane w budownictwie.

Doświadczenia przeprowadzone przez Biuro Projektów Konstrukcji Maszyn Budowlanych "ZREMB" w Warszawie, na urządzeniach prototypowych wykazały, że pompa z częściami z żeliwa sferoidalnego stopowego pracowała około 10 razy dłużej, aniżeli pompa w której części te wykonane były ze stali 18HGT i stopu aluminium AlSi7Ni2 i około 2,5 raza dłużej, aniżeli pompa z częściami ze stali szybko tnącej SW18 i brązu aluminiowego Ba1044 /tabela 6/ [31].

Przeprowadzono także doświadczenia nad zastosowaniem żeliwa sferoidalnego stopowego na odlewy matryc i tłoczników. Przy tłoczeniu komór zlewozmywaków z blachy ze stali nierdzewnej OH18N9 w Olkuskiej Fabryce Naczyń Emaliowanych matryce z żeliwa niskoniklowo-molibdenowego pozwoliły uzyskać 6000 tłoczeń /do regeneracji/ z żeliwa sferoidalnego niskomiedziowochromowego 4000 tłoczeń, podczas gdy na matrycach z żeliwa szarego Z120 osiągnęto tylko około 200 tłoczeń.

Tłocznik z żeliwa niskomiedziowego stosowany do tłoczenia korpusów aluminiowych umożliwił wykonanie około 3000 detali, podczas gdy podobny tłocznik z żeliwa szarego Z125 - tylko około 1000 [32].

Tabela 3

Skład chemiczny i struktura żeliwa sferoidalnego niskostopowego i średniostopowego niklowo-molibdenowego

| Gatunek żeliwa /nr wytoku/ | Skład chemiczny, % | | | | | | | | |
|---|--------------------|------|------|-------|------|------|------|----|-------|
| | C | Si | Mn | P | Mo | Ni | Cr | Cu | Mg |
| żeliwo niskoniklowo-chromowe /wytok nr 1/ | 3,31 | 3,24 | 0,51 | 0,1 | - | 1,39 | 0,58 | - | 0,07 |
| żeliwo średniklowo-molibdenowe /wytok nr 2/ | 3,13 | 3,26 | 0,17 | 0,1 | 0,6 | 2,16 | - | - | x/ |
| żeliwo średniklowo-molibdenowe /wytok nr 3/ | 3,67 | 3,02 | 0,33 | 0,085 | 0,65 | 2,25 | - | - | 0,11 |
| Żeliwo średniklowo-molibdenowe /wytok nr 4/ | 3,57 | 3,13 | 0,33 | 0,080 | 0,72 | 3,20 | - | - | x/ |
| żeliwo średniklowo-molibdenowe /wytok nr 5/ | 3,49 | 2,83 | 0,33 | 0,077 | 0,68 | 3,05 | - | - | 0,075 |
| żeliwo średniklowo-molibdenowe /wytok nr 6/ | 3,54 | 2,70 | 0,31 | 0,085 | 0,58 | 2,35 | - | - | x/ |

x/ nie oznaczono

Tabela 4

Napężenie umowne, własności wytrzymałościowe, granica akomodacji, moduł sprężystości oraz liczba Poissona żeliwa sferoidalnego z wytopów o składzie chemicznym podanym w tabeli 3

| Gatunek żeliwa /nr wytopu/ | Napężenie umowne MPa /kG/mm ² / | | | | | Oceniona wartość Z _{go} MPa /kG/mm ² / | Granica akomoda- cji P _a MPa /kG/mm ² / | Moduł sprężys- tość E _o MPa /kG/mm ² / | Liczba Poissona o |
|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|---|--|-------------------------|
| | R _{0,02} | R _{0,05} | R _{0,10} | R _{0,20} | R _m | | | | |
| Żeliwo niskoniklowo- chromowe /wytop nr 1/ | 536,12 /54,65/ | 566,92 /57,79/ | 589,78 /60,12/ | 711,91 /72,57/ | 711,91 /72,57/ | 249,37 /25,42/ | 191,10 /19,48/ | 135,389 /15,36/ | 0,329 |
| Żeliwo średniklowo- molibdenowe /wytop nr 2/ | 458,13 /46,7/ | 533,57 /54,39/ | 605,08 /61,68/ | 664,33 /67,72/ | 786,76 /80,20/ | 257,32 /26,23/ | 250,74 /25,59/ | 140018 /14273/ | - |
| Żeliwo średniklowo- molibdenowe /wytop nr 3/ | - | - | - | - | 899,28 /91,67/ | 312,84 /21,89/ | 249,27 /25,41/ | 181073 /18458/ | 0,290 |
| Żeliwo średniklowo- molibdenowe /wytop nr 4/ | - | - | - | - | 891,73 /90,80/ | 325,69 /33,20/ | 185,61 /18,92/ | 145688 /14851/ | 0,230 |
| Żeliwo średniklowo- molibdenowe /wytop nr 5/ | - | - | - | - | 799,32 /81,48/ | 268,50 /27,37/ | 249,76 /25,46/ | 193875 /19763/ | 0,360 |
| Żeliwo średniklowo- molibdenowe /wytop nr 6/ | 452,05 /46,08/ | 510,81 /52,07/ | 541,71 /55,22/ | 589,68 /60,11/ | 649,52 /66,21/ | 210,43 /21,45/ | 249,08 /25,39/ | 182319 /18585/ | 0,380 |

Tabela 5

Porównanie odporności na ścieranie odlewów łożysk płytek z żeliwa sferoidalnego nisko- i średniostopowego oraz staliwa narzędziowego L210H21 obrabianego cieplnie [30]

| Lp. | Rodzaj żeliwa | Ubytek masy próbki | | | | | |
|-----|---|--------------------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| | | po 6 h | | po 12 h | | po 18 h | |
| | | g | cm ³ | g | cm ³ | g | cm ³ |
| 1 | Niskostopowe perlityczne /0,6 - 0,9 % Cu 0,25 - 0,45 % Cr/ | 15,650 | 2,08 | 31,085 | 4,20 | 45,140 | 6,40 |
| 2 | Niskostopowe perlityczno-baolityczne: /0,45-0,65 % Cr, 1,1 - 1,4 % Ni/ | 10,685 | 1,42 | 21,535 | 2,90 | 31,330 | 4,24 |
| 3 | Średniostopowe bainityczne /1,6-1,8% Ni, 0,6 - 0,8 % Mo/ | 21,745 | 2,89 | 43,660 | 5,90 | 64,120 | 8,66 |
| 4 | Średniostopowe bainityczne /2,3 - 2,6 % Ni, 0,6 - 0,8 % Mo/ | 10,015 | 1,33 | 20,200 | 2,73 | 29,560 | 3,99 |
| 5 | Staliwo narzędziowe L210H21-hartowane w oleju /20-2,20% C, 20 - 23 % Cr/ | 4,000 | 0,51 | 7,310 | 0,94 | 10,580 | 1,43 |

Tabela 6

Wyniki prób pracy pompy do lepiku gorącego PLG20 przy zastosowaniu na jej części żeliwa sferoidalnego stopowego [3]

| Nr próby | Materiał kół zębatych | Materiał łożysk | Materiał korpusu | Ciśnienie pracy kG/cm ² | Ilość godz. pracy |
|----------|---|---|---|------------------------------------|---|
| I | 18HGT | AlSn7Ni2 | AK52 | 6 - 8 | koła zębate - 25 łożyska - 25 korpus - 65 |
| II | SW18 | łożysko BA1044A płytką uszczelniającą 40H | PA9 | 3 - 4 | 93 |
| III | żeliwo sferoidalne niskoniklowo-molibdenowe - po hartowaniu izotermicznym | żeliwo sferoidalne niskoniklowo-molibdenowe-po hartowaniu izotermicznym | 40H | 18 - 20 | 237 |
| IV | żeliwo sferoidalne średniklowo-molibdenowe | żeliwo sferoidalne średniklowo-molibdenowe | żeliwo sferoidalne średniklowo-molibdenowe | 17 - 20 | 247 |
| V | żeliwo sferoidalne niskoniklowo-chromowe, ulepszone cieplnie | żeliwo sferoidalne niskoniklowo-chromowe, ulepszone cieplnie | żeliwo sferoidalne niskoniklowo-chromowe, ulepszone cieplnie | 17 - 20 | 258 |
| VI | żeliwo sferoidalne niskoniklowo-molibdenowe, ulepszone cieplnie | żeliwo sferoidalne niskoniklowo-molibdenowe, ulepszone cieplnie | żeliwo sferoidalne niskoniklowo-molibdenowe, ulepszone cieplnie | 17 - 20 | 247,65 |

Ponadto żeliwo sferoidalne średnoniklowo-molibdenowe wdrożono w Fabryce Maszyn Papierniczych "Fampa" w Cieplicach na odlewy tarczy mielnych i odlewy pokryw cylindra do superkalandra [33], rozpoczęto także prace nad zastosowaniem żeliwa sferoidalnego niskoniklowo-miedziowego /ewentualnie także z dodatkiem molibdenu/ na rolki prostujące do prostownicy rolkowej w Hucie im. Lenina.

Przeprowadzone w Instytucie Odlewnictwa badania przy uwzględnianiu publikacji zagranicznych pozwoliły na wstępne opracowanie projektu normy na gatunki żeliwa sferoidalnego niskostopowego /12 gatunków/ i średniostopowego /14 gatunków/. Zamieszczone w normie własności fizyczne i mechaniczne tych gatunków pozwolą konstruktorom częściej zastosować, a przez to w szerszym niż dotąd zakresie wprowadzić do krajowego przemysłu gatunki żeliwa sferoidalnego odporne na ścieranie.

LITERATURA

1. LJERNER Ju.S. i in.: Iznosostojkost magnievykh čugunov, legirovanykh miedju, Viestnik Mašinostrojenia 1971, nr 8, s.43 - 45
2. CARTER N., BARTON R.: Effect of copper in heavy-section nodular-iron castings. Foundry Trade Journal 1966, t.121, nr 2605, s.607-616
3. BRIGGS I., KRÖN M.: Molybdän in Gusseisen mit Kugelgraphit. Giesserei-Praxis 1965, z.2, s.25, z.3, s.47, z.4, s.72
4. MAYER H.: Beiträge zur Entwicklung von Gusseisen mit besonderen Werkstoffeigenschaften. Tl.2. Mechanische Eigenschaften von molybdän- und wolframlegierten Gusseisen. Giesserei 1967, t.54, z.20, s.522 - 526
5. OTT G.E.: Molybdänlegiertes Gusseisen im Motoren- und Fahrzeugbau. Giesserei 1961, t.48, z.8, s.223 - 233
6. MISKA K.G.: Modern trends in ductile iron. Materials Engineering 1972, nr 6
7. RÖHRIG K., GERLACH H.G., NICKEL O.: Legiertes Gusseisen. Band 2. Gusseisen mit Kugelgraphit. Düsseldorf 1974
8. PRYTHERCH J.C., GILBERT G.N.J.: Effect of tin on the mechanical properties of pearlitic nodular iron. Foundry Trade Journal 1962, t.110, s.2306, s.197
9. NECHTELBERGER E.: Einfluss von Vanadin auf das Gefüge und die mechanischen eigenschaften von Gusseisen mit Kugelgraphit. Giesserei-Praxis 1969, nr 1, s.1-8
10. ŽUKOV A.A. i in.: Kompleksnyje modyfikatory dlia počučenija legirovannogo čuguna s sarovidnym i viermikylarnym grafitom. Lit. Proizv. 1973, nr 6, s.17
11. PIASKOWSKI J., JANKOWSKI A.: Żeliwo sferoidalne. WNT, Warszawa 1974
12. CHURCH N.L., MESICA P.D.: Mo-Ni Ductile Irons with very High Strength and Hardness. Transactions of the American Foundrymen's Society 1971, t.79, s.371 - 376
13. SCHELLENG R.D.: Tensile and Fatigue Properties of Nickel - Molybdenium Bainitic Ductile Iron. Transactions of the American Foundrymen's Society 1969, t.77, s.223 - 228
14. GERLACH H.G.: Production and Use of Bainitic and Martensitic Spheroidal Irons. Metallurgia 1965, nr 11, s.215-219

15. POGODJEV L.I., KLIMIENKO V.M.: Iznosostajkost austienitnogo margancievogo čuguna. Lit. Proizv. 1972, nr 6, s.33
16. LIADSKIJ V.B.: Iznosostojkost austienitnyh margancovistych čugunov pri trienii skolženija bez smazki čuguna po čugunu. Mietełłov. i Tierm. Obrabot. Mietełłov 1963, nr 11, s.36
17. SIERPIK N.M., KANTOR M.M.: Abrasionaja iznosostojkost čuguna. Mietełłov. i Tierm. Obrabot. Mietełłov 1964, nr 7, s.49
18. BOBRO Ju.G.: Legirovannyje čuguny. Metallurgija Moskwa 1976
19. BANAK S., KOZIARA T.: Żeliwo sferoidalne na wałki rozrządu do samochodu Fiat 125p. Przegląd Odlewnictwa 1973, nr 4, s.128 - 131
20. FAŁĘCKI Z., CHOJNACKI M., WAWRZEŃ K.: Żeliwo sferoidalne w zastosowaniu na pierścienie amortyzatorów samochodowych. Przegląd Odlewnictwa 1971, nr 12, s.413
21. RACZYŃSKI B., WACHELKO T.: Walce żeliwne. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1976
22. GIEREK A., BAJKA L.: Żeliwo stopowe jako tworzywo konstrukcyjne. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1976
23. SAKWA W.: Żeliwo. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1974
24. STEC J.: Wpływ składu chemicznego i szybkości stygnięcia na własności bainitycznego żeliwa sferoidalnego odlewu. Praca doktorska. AGH - ITIMO 1977
25. PIASKOWSKI J., KRUPA L.: Określenie podstawowych własności fizycznych i mechanicznych niskostopowego żeliwa sferoidalnego z dodatkiem niklu, molibdenu, chromu i miedzi. Prace Instytutu Odlewnictwa 1974, z.2, s.227
26. PIASKOWSKI J., GAJDA M.: Podstawowe własności fizyczne i mechaniczne niskostopowego żeliwa sferoidalnego z dodatkiem niklu, molibdenu, chromu i miedzi. Prace Instytutu Odlewnictwa 1976, nr 2, s.117
27. PIASKOWSKI J., KRUPA L.: Nowe gatunki żeliwa sferoidalnego stopowego dla przemysłu krajowego. Instytut Odlewnictwa 76. Materiały na sympozjum naukowo-techniczne pt. "Rola Instytutu Odlewnictwa w rozwoju postępu technicznego w odlewniach krajowych". Kraków 1976, s.123
28. KARAMARA A.: Stałe sprężyste żeliwa. Materiały Konferencji Naukowej Polskiej Akademii Nauk i Stowarzyszenia Technicznego Odlewników Polskich, Kraków 1966, s.47
29. KARAMARA A.: Granica akomodacji i rzeczywista granica sprężystości jako kryteria wytrzymałości zmęczeniowej stopów odlewniczych. Prace Komisji Metalurgiczno-Odlewniczej Oddziału Krakowskiego PAN, Metalurgia, 17, 1971, s.7.

MECHANICAL TESTING AND INDUSTRIAL TRIALS OF WEAR RESISTING ALLOYED NODULAR CAST IRON CARRIED OUT IN THE INSTITUTE OF CASTING IN CRACOW IN THE PERIOD 1974-1977

Summary

Melting techniques, mechanical properties, wear resistance and possible applications of low and medium alloyed nodular cast iron are discussed.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПОПЫТКИ ПРИМЕНЕНИЯ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИЗНОСОСТОЙКОГО ЛЕГИРОВАННОГО ШАРОВИД-
НОГО ЧУГУНА, ПРОВЕДЕННЫЕ ИНСТИТУТОМ ЛИТЕЙНОГО ДЕЛА
В КРАКОВЕ В ТЕЧЕНИЕ 1974-1977 гг.

Р е з ю м е

В статье обсуждается технология плавки, механические свойства, износостойкость, а также возможность применения шаровидного низко и средне-легированного чугуна.