

Stanisław KORCYL, Stanisław PRZEWORSKI

Instytut Odlewnictwa
MPM CiR - Kraków

ŻELIWO FOSFOROWE P14 NA WSTAWKI HAMULCOWE POJAZDÓW SZYNOWYCH

Streszczenie. Podano charakterystykę metalograficzną żeliwa fosforowego P14, zawierającego 1,35-1,55% fosforu oraz jego własności mechaniczne ze szczególnym uwzględnieniem wskaźników tarciovo-żużyciowych. Badania własności tarciovo-żużyciowych przeprowadzono w skali laboratoryjnej, poligonowej i eksploatacyjnej. Opracowana technologia wytwarzania wstawek z tego gatunku żeliwa została dostosowana do warunków krajowych w odlewniach w ZNTK - Nowy Sącz i ZNTK - Bydgoszcz i wdrożona w pełnej skali produkcyjnej.

Wstęp

Powszechnie panująca opinia o szkodliwym oddziaływaniu fosforu na własności mechaniczne żeliwa jest słuszna, lecz tylko w tym przypadku, gdy do oceny brane są wskaźniki mówiące o podatności żeliwa na odkształcenia trwałe związane z obciążeniem statycznym, a w szczególności dynamicznym.

Natomiast badania wpływu fosforu na własności ciemno-żużyciowe żeliwa wykazują korzystny jego wpływ, w szczególności w odniesieniu do wskaźników zużycia. Dowodem powyższego jest zastosowanie żeliwa o zawartości fosforu w granicach 1,35-1,55% na wstawki i klocki hamulcowe pojazdów szynowych.

Celem pracy, której wyniki stanowią treść niniejszego referatu, było opracowanie technologii odlewów wstawek z żeliwa fosforowego oraz zbadanie ich własności użytkowych dla warunków krajowych.

Aktualnie zapotrzebowanie krajowe na wstawki i klocki hamulcowe tylko dla PKP określone jest wartością około 120 tys. ton/rok. Cyfra ta stanowi o wielkości zagadnienia, tym bardziej kiedy również uwzględnia się fakt, że prawie cała ta masa żeliwa zostaje zużyta bezzwrotnie, gdyż zostaje ona rozpylona na torowiskach w postaci produktów zużycia procesu tarcia, a tylko niewielka jej ilość ok. 10% wraca do odlewni jako złom.

Bardzo wysoki wskaźnik zużycia wstawek i klocków hamulcowych w naszym kraju w dużej mierze spowodowany jest niską jakością tworzywa, które dotychczas na tego rodzaju odlewy jest stosowane /żeliwo klas Z1X, Z1150, Z1200 i Z1250/.

Podjęcie pracy nad rozpoznaniem własności żeliwa fosforowego i opracowaniem technologii odlewów wstawek z tego tworzywa, obok aspektów poznawczych miało bardzo duże znaczenie techniczno-ekonomiczne, wyrażające się przede wszystkim dwukrotnym zwiększeniem trwałości użytkowej wstawek hamulcowych i podniesieniem wartości współczynnika tarcia, umożliwiając przy dotychczasowej sygnalizacji zwiększenie prędkości jazdy pociągów.

1. Żeliwo fosforowe P14

Mianem żeliwa fosforowego P14 przyjęto określać żeliwo szare z grafitem płatkowym o zawartości fosforu w granicach 1,35 - 1,55%. Żeliwo tego typu zostało opracowane w latach sześćdziesiątych i znalazło, jak dotychczas, głównie zastosowanie na wąski asortyment odlewów, jakie stanowią wstawki i klocki hamulcowe, jednak z dużymi efektami techniczno-ekonomicznymi [1].

Obok zawartości fosforu w granicach 1,35-1,55% dalszymi wymaganiami stawianymi w odniesieniu do struktury i własności mechanicznych żeliwa P14 określanymi z punktu widzenia własności użytkowych są:

- struktura osnowy metalowej żeliwa w odlewie użytkowym typu perlitycznego,
- twardość żeliwa 200 - 260 HB,
- rozmieszczenie wydzielen eutektyki fosforowej równomierne.

Dla stwierdzenia możliwości spełnienia tych wymagań wykonano wstępne wytopy żeliwa P14.

Skład chemiczny wykonanych próbných wytopów żeliwa fosforowego P14 oraz wyniki badań jego własności mechanicznych podano w tabeli 1.

Wytopów dokonano w żeliwiaku, a próbki do badań wykonano w kształcie bloków o wymiarach i ciężarze podobnych do wstawek hamulcowych.

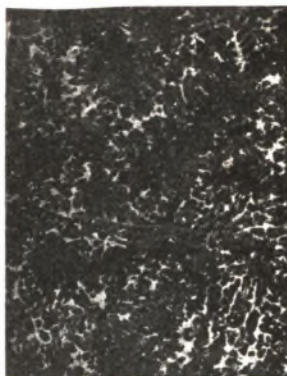
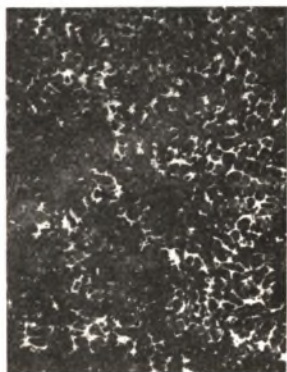
Na rys.1 przedstawiono zdjęcia mikrostruktury żeliwa P14 z próbných wytopów oraz dla porównania strukturę żeliwa Z1250, również odlanego do podobnej formy jak żeliwo P14.

Jak widać z porównania zdjęć mikrostruktury, istotne różnice występują przede wszystkim przy ocenie wydzielen eutektyki fosforowej i to pod względem wszystkich cech morfologicznych, jakie przyjęto oceniać w klasyfikacji żeliwa szarego.

W przypadku żeliwa P14 typ wydzielen eutektyki fosforowej należy zaliczyć do eutektyki pseudo-podwójnej oznaczonej wg PN.75/H-04661 symbolem F1, natomiast w przypadku żeliwa Z1250 wydzielenia eutektyki fosforowej należy zaliczyć do typu potrójnej z cementytem oznaczonej symbolem F4. Wielkość wydzielen oraz ich ilość różnią się również w sposób istotny w porównaniu z żeliwem Z1250, co oczywiście jest logiczną konsekwencją bardzo małej, wynoszącej zaledwie 0,02% rozpuszczalności fosforu w że-

Rys.1. Struktura żeliwa badanych wstawek wstawek hamulcowych

1.1. Mikrostruktura wydzieleni eutektyki fosforowej. Pow. 22x, traw. 4% HNO₃



Żeliwo szare, obecnie stosowane

Żeliwo szare, zaw. P = 1,34%

Żeliwo szare, zaw. P = 1,55%

1.2. Mikrostruktura wydzieleni grafitu. Pow. 100x, nietraw.



Żeliwo szare, obecnie stosowane

Żeliwo szare, zaw. P = 1,34%

Żeliwo szare, zaw. P = 1,55%

1.3. Mikrostruktura osnowy metalowej. Pow. 100x, traw. 4% roztworem HNO_3



Żeliwo szare, obecnie stosowane



Żeliwo szare, zaw. P = 1,34%



Żeliwo szare, zaw. P = 1,55%

1.4. Mikrostruktura osnowy metalowej. Pow. 500x, traw. 4% roztworem HNO_3



Żeliwo szare, obecnie stosowane



Żeliwo szare, zaw. P = 1,34%



Żeliwo szare, zaw. P = 1,55%

lazię. Praktycznie można przyjąć, że cała zawartość fosforu w żeliwie znajduje się w wydzieleniach eutektyki fosforowej.

Na proces tarcia i zużycia, jak wykazały wcześniejsze badania [2], najsilniejszy wpływ z określonych cech morfologicznych wydzieleni eutektyki fosforowej posiada ilość wydzieleni, co można z dużym przybliżeniem utożsamiać z zawartością fosforu w składzie chemicznym żeliwa.

Typ wydzieleni eutektyki fosforowej występujący jako dominujący w żeliwie P14, określonej jako eutektyka pseudo-podwójna ze względu na swoją dużą niejednorodność w mikrobudowie, z punktu widzenia przebiegu procesu tarcia jest najmniej odporny na zużycie w porównaniu do innych typów wydzieleni eutektyki fosforowej, jednak w przypadku żeliwa P14, ilość wydzieleni eutektyki fosforowej jest tak wielka, że tworzą one szczelną siatkę ograniczając w dużym stopniu ujemne cechy wydzieleni typu pseudopodwójnego.

Podstawowymi składnikami eutektyki fosforowej są: fosforek żelaza, cementyt oraz produkty przemiany austenitycznej. Ze względu na wielkość udziału poszczególnych składników własności mechaniczne wydzieleni eutektyki fosforowej określane są zasadniczo własnościami fosforunku żelaza, który charakteryzuje się wysoką twardością rzędu 500 - 600 HB i dużą kruchością.

Przeprowadzone badania udarności żeliwa fosforowego o zawartości fosforu w granicach 1,45 - 2,19% wykazały wskaźniki udarności od 1,2 do 1,12 daj.

W odniesieniu do żeliwa szarego Z1250 wskaźniki te są około dwukrotnie niższe /żeliwo Z1250 - udarność 2,3 daj/.

Badania wykonano na próbkach \emptyset 20 x 120 mm przy zastosowaniu młota udarowego o maksymalnej energii 5 daj i rozstępie podpór próbki 100 mm.

Wytrzymałość na rozciąganie żeliwa P14 określona na próbkach \emptyset 20 mm wyciętych z próbnych prętów \emptyset 30 mm wynosi 264 - 282 MPa. Wskaźniki te świadczą, że wydzielenia eutektyki fosforowej nie obniżają wytrzymałości na rozciąganie, a w pewnym stopniu nawet ją podwyższają, co szczególnie ma miejsce w przypadku, gdy tworzą one ciągły szkielet w postaci szczelnej siatki.

2. Własności tarciovo-zużyciowe żeliwa P14

Podstawowymi wskaźnikami mówiącymi o przydatności żeliwa P14, z uwagi na jego zastosowanie na trące elementy układów hamulcowych, są wskaźniki charakteryzujące współczynnik tarcia i odporność na zużycie przy tarcu.

Tworzywo na elementy hamulcowe winno wykazywać odpowiednio wysoką wartość współczynnika tarcia, zapewniającą uzyskanie określonej drogi hamowania, możliwie wysoką stabilność tej wartości współczynnika tarcia przy różnych prędkościach ślizgu i zmiennej temperaturze powierzchni trących.

Z punktu widzenia odporności na zużycie wskutek tarcia, od tworzywa wstawek hamulcowych wymagane jest, aby cechowało się ono możliwie największą trwałością z tym, że należy mieć na uwadze fakt oddziaływania ściernego na element współpracujący, które to oddziaływanie winno wykazywać możliwie najniższą intensywność.

Dla umożliwienia oceny żeliwa P14 pod względem własności cierno-zużyciowych przeprowadzono badania laboratoryjne oraz badania poligonowe na użytkowych wstawkach.

Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone na maszynie typu Amsler oraz na stanowisku bezwładnościowym, na których to urządzeniach przy zastosowaniu próbek wyciętych z wstawek hamulcowych odlanych z żeliwa P14 o składzie i własnościach jak podano w tabeli 1, dokonano oznaczeń wskaźników tarcio-zużyciowych. W tabeli 2 zestawiono wyniki uzyskane w badaniach na maszynie Amsler, a w tabelach 3, 4 i 5 w badaniach na stanowisku bezwładnościowym. Badania na stanowisku bezwładnościowym zostały wykonane w laboratorium Instytutu Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej [3].

Dla uzyskania bazy odniesienia przy ocenie własności cierno-zużyciowych żeliwa P14, identyczne badania przeprowadzono na próbkach wyciętych ze wstawek hamulcowych dotychczas stosowanych /żeliwa klasy Z1250/ oraz wstawek wykonanych z żeliwa sferoidalnego w przypadku badań na maszynie typu Amsler.

Z analizy wyników badań laboratoryjnych własności cierno-zużyciowych /tabela 2, 3, 4 i 5/ wynika, że żeliwo fosforowe P14 wykazuje wielokrotnie wyższą odporność na ścieranie w porównaniu z żeliwem szarym klasy Z1250, a nieco ustępuje żeliwu sferoidalnemu. Również stwierdzono mniej intensywne ścieranie materiału współpracującego /przeciwpróbki/ w porównaniu z żeliwem Z1250 i nieco bardziej intensywne w odniesieniu do żeliwa sferoidalnego.

Wyniki badań na maszynie Amsler zostały uzyskane w warunkach próby bardziej ostrych /nacisk 2 MPa, prędkość ślizgu 0,8 m/sek/, niż w przypadku badań na stanowisku bezwładnościowym.

Ponadto należy stwierdzić, że w obu przypadkach badań laboratoryjnych warunki próby ze względu na to, że próby były przeprowadzone na niewielkich próbkach o wymiarach 10 x 15 x 25 mm, uzyskane wyniki były obarczone pewnym błędem i nie mogą być bezkrytycznie przenoszone na warunki panujące w realnej eksploatacji wstawek. Z tego powodu następnym etapem badań własności użytkowych wstawek wykonanych z żeliwa fosforowego P14 były badania poligonowe przeprowadzone na doświadczalnym wagonie. Badania tego typu zostały wykonane przez Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej [3].

Wartości drogi hamowania oznaczone przy różnych początkowych prędkościach wagonu zestawiono w tabeli 6.

W tabeli 7 podano względne wartości dróg hamowania oraz zużycia wstawek wyrażone w procentach przy przyjęciu jako podstawy 100% wartości oznaczonych dla wstawek z żeliwa Z1250.

Wyniki prób poligonowych potwierdzają uzyskane wskaźniki w badaniach laboratoryjnych, szczególnie prób przeprowadzonych na stanowisku bezwładnościowym.

Przed ostatecznym wdrożeniem żeliwa P14 do produkcji wstawek hamulcowych zostały dokonane próby eksploatacyjne na różnych trasach. Głównym celem tych badań było oznaczenie żywotności wstawek z żeliwa fosforowego P14 oraz bezpośrednia ocena przydatności tych wstawek przez użytkownika tj. PKP.

Wyniki tych badań oraz ogólne warunki ich prowadzenia podano w tabeli 8.

Obok stwierdzenia średnio dwukrotnie dłuższej trwałości eksploatacyjnej wstawek z żeliwa P14 w stosunku do żeliwa szarego Z1250, w badaniach eksploatacyjnych nie stwierdzono żadnych ujemnych skutków ich współpracy z obręczą koła.

3. Zakończenie

Pozytywne wyniki badań prowadzonych zarówno w skali laboratoryjnej, a szczególnie w eksploatacji były podstawą podjęcia dalszych prac badawczych o charakterze technologicznym, których celem było opracowanie technologii produkcyjnej wstawek hamulcowych z żeliwa fosforowego P14. Prace tego typu zostały podjęte przez Instytut Odlewnictwa przy współpracy z ZNTK - Nowy Sącz [4]. Uwzględniając wymagania UIC /Międzynarodowa Unia Transportu Kolejowego/ stawiane wstawkom hamulcowym z żeliwa P14 oraz krajowe warunki wyposażenia technicznego odlewni i możliwości surowcowe, został opracowany skład chemiczny żeliwa fosforowego P14 oraz technologia odlewów wstawek, których własności spełniają podstawowe wymagania tego rodzaju typowi odlewów [5-7].

W tabeli 9 podano skład chemiczny żeliwa fosforowego P14 oraz zakres twardości i cechy strukturalne jakie wykazuje to żeliwo w odlewie wstawek.

W latach 1976-1977 z żeliwa P14 w odlewniach w ZNTK - Nowy Sącz i ZNTK - Bydgoszcz wyprodukowano 20 tys. ton wstawek, które były przekazane do eksploatacji w PKP, a wybrane pociągi wyposażone w tego typu wstawki były w dalszym ciągu nadzorowane w celu zebrania danych dla wydania ostatecznej decyzji o powszechnym wprowadzeniu tego rodzaju wstawek do użytkowania przez PKP.

Pozytywne wyniki badań w latach 1976-1977 były podstawą decyzji Ministerstwa Komunikacji o podjęciu w roku 1978 pełnej i ciągłej produkcji w ilości 30 tys. Mg/rok przez ZNTK - Bydgoszcz wstawek z żeliwa fosforowego P14.

Tabela 1

Skład chemiczny i własności mechaniczne próbných wytopów
żeliwa fosforowego P14

| Gatunek żeliwa | Zawartość w % | | | | | HB | R _m MPa | U daj |
|-------------------|----------------|------|------|------|-------|-----|-----------------------|----------|
| | C _c | Si | Mn | P | S | | | |
| P14 | 3,30 | 1,58 | 0,53 | 1,34 | 0,112 | 250 | 264 | 1,20 |
| P14 | 3,13 | 1,24 | 0,47 | 1,55 | 0,091 | 244 | 282 | 1,12 |
| Z1250 | 3,27 | 1,36 | 0,68 | 0,18 | 0,106 | 187 | 254 | 2,3 |

Tabela 2

Wyniki badań tarciovo-zużyciowych uzyskanych na maszynie typu Amsler

| Gatunek żeliwa | Warunki próby | | | Zużycie w g | | Wartość współcz. tarcia |
|-------------------|----------------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------|-------------------------------|
| | Droga tarcia m | Prędkość m/s | Nacisk MPa | Próbki | Przeciw- próbki | |
| PKP / zl. 250/ | 4x300 | 0,8 | 2 | 4,983 | 0,642 | 0,36 |
| P14 1,34% P | 4x300 | 0,8 | 2 | 0,180 | 0,148 | 0,39 |
| P14 1,55% P | 4x300 | 0,8 | 2 | 0,386 | 0,219 | 0,42 |
| Zs | 4x300 | 0,8 | 2 | 0,098 | 0,164 | 0,24 |

Materiał przeciwpróbki: stal 45 w stanie normalizowanym

Rodzaj tarcia: tarcie ślizgowe, technicznie suche, przy ruchu jednostajnym

Tabela 3

Wyniki badań tarciovo-zużyciowych uzyskanych na stanowisku
bezwładnościowym

| Gatunek żeliwa | Średnie zużycie liniowe | | Średnie zużycie masy | |
|-------------------|-------------------------|------|----------------------|------|
| | mm | % | g | % |
| PKP | 0,25 | 100 | 1,538 | 100 |
| P14 1,34% P | 0,12 | 48,0 | 0,813 | 53,2 |
| P14 1,55% P | 0,13 | 51,1 | 0,903 | 59,0 |

Przeciw-próbka wykonana ze stali P70 w stanie normalizowanym
Wartość nacisku jednostkowego 0,68 MPa

Tabela 4

Wyniki badań wartości współczynnika tarcia przeprowadzonych na stanowisku
bezwładnościowym

| Gatunek żeliwa | Średnie wartości współczynnika tarcia u przy prędkości | | | |
|-------------------|---|---------|---------|---------|
| | 100 km/h | 75 km/h | 50 km/h | 25 km/h |
| PKP | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,25 |
| P14 1,34% P | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,24 |
| P14 1,55% P | 0,14 | 0,15 | 0,18 | 0,26 |

Przeciw-próbki wykonano ze stali P70
Wartość nacisku jednostkowego 0,68 MPa

Tabela 5

Srednie wartości dróg hamowania oznaczone na stanowisku
bezwładnościowym

| Gatunek żeliwa | Droga hamowania w m przy początkowej prędkości | | | |
|-------------------|--|---------|---------|---------|
| | 100 km/h | 75 km/h | 50 km/h | 25 km/h |
| PKP | 495,5 | 224,1 | 94,6 | 21,4 |
| P14 1,34% P | 397,1 | 224,1 | 102,0 | 22,4 |
| P14 1,55% P | 425,7 | 220,3 | 108,0 | 22,3 |

Przeciw-próbka wykonana ze stali P70
Wartość nacisku jednostkowego 0,68 MPa

Tabela 6

Wartości długości dróg hamowania w m oznaczone w badaniach poligonowych

| Gatunek żeliwa | Wartości drogi hamowania w m przy prędkości pojazdu | | |
|-------------------|---|---------|---------|
| | 100 km/h | 80 km/h | 60 km/h |
| PKP | 595 | 394 | 187 |
| P14 | 488 | 251 | 129 |
| P14 | 544 | 318 | 185 |

Tabela 7

Względne wartości długości dróg hamowania oraz zużycia wstawek
wyrażone w %

| Gatunek żeliwa | Względne drogi hamowania w % przy predkości jazdy | | | Względne zużycie wsta- wek w % |
|-------------------|--|---------|---------|---|
| | 100 km/h | 80 km/h | 60 km/h | |
| PKP | 100 | 100 | 100 | 100 |
| P14 | 82,0 | 63,7 | 69 | 66,8 |
| P14 | 91,5 | 80,7 | 99 | 74,5 |

Tabela 8

Warunki badań eksploatacyjnych oraz średnie uzyskane wskaźniki wzrostu
żywności wstawek z żeliwa P14 w odniesieniu do wstawek Z1250

| Lp. próby | Jednostka przepro- wadząca badania | Rodzaj wagonu | Typ wstawek | Rodzaj trasy | Przebieg w tys.km do pomia- ru | Średnie wskaźniki wzrostu żywności |
|--------------|--|-------------------------|----------------|-----------------|---|---|
| 1 | DOKP Gdańsk | osobowy | W8 | nizinna | 10 | 2,44 |
| 2 | WGW Nowy Sącz | osobowy 2-członowy | W1 | podgórska | 2-16 | 1,88 |
| 3 | WGW Nowy Sącz | towarowy do kruszywa | W8 | mieszana | 0,5-2 | 2,32 |

Tabela 9

Skład chemiczny, twardość i cechy strukturalne odlewów wstawek hamulcowych wykonanych wg opracowanej technologii żeliwa P14

Skład chemiczny:

$C_c = 3,00 \pm 3,40\%$ $Si = 1,30 \pm 1,80\%$ $Mn = 0,35 \pm 0,60\%$ $P = 1,35 \pm 1,55\%$ $S = 0,12\%$ max
twardość:

200 ± 260 HB

Struktura:

osnowa metalowa: perlityczna Pfl, min. P85, Pd 1,4,

wydzielenia grafitu: Gf1/Gf2, Gr1/Gr2, Gw 90/Gw 180,

wydzielenia eutektyki fosforowej: F1, Fr3/Fr2, Fd 650/Fd 1000, Fw 20000/Fw 25000

LITERATURA

1. Tymczasowe warunki dostaw wstawek z żeliwa fosforowego do wagonowych klocków hamulcowych. Kodeks U.J.C., norma nr 832 E z dnia 1.01.1962
2. Korcyl S.: Wpływ eutektyki fosforowej na proces tarcia i zużycia żeliwa szarego. Prace Instytutu Odlewnictwa, 1966, Zeszyt 4/66, s.317.
3. Broś J. i inni: Badania laboratoryjne na stanowisku bezwładnościowym oraz badania poligonowe wstępnych serii klocków hamulcowych. Opracowanie I.P.Sz. Polit.Krak. Wykonane na zlecenie Instytutu Odlewnictwa MPMCiR. Zl. 6085-1973.
4. Przeworski S.: Instrukcja ogólna wytwarzania żeliwa wysokosforowego w odlewni ZNTK - Nowy Sącz. Opracowanie Instytutu Odlewnictwa. Zl. 6085-1973.
5. Przeworski S.: Opracowanie technologii odlewania wstawek hamulcowych z żeliwa fosforowego. Opracowanie Instytutu Odlewnictwa, Zl. 6085 - 1974.
6. Korcyl S., Przeworski S.: Badania i próby nad zastosowaniem żeliwa fosforowego na wstawki hamulcowe dla pojazdów szynowych. Opracowanie Instytutu Odlewnictwa Zl. 6085 - 1974.
7. Przeworski S., Korcyl S., Wojciechowski M.: Pomoc autorska przy wdrożeniu do produkcji wstawek hamulcowych z żeliwa fosforowego P14 w ZNTK - Bydgoszcz. Cz.I. Sprawozdanie z prób wdrożeniowych w zakresie procesu metalurgicznego z żeliwa P14. Ramowa instrukcja wytapiania żeliwa P14. Wytyczne kontroli produkcji wstawek hamulcowych. Opracowanie Instytutu Odlewnictwa. Zl. 2703 - 1977.

P14 PHOSPHORUS CAST IRON RAIL VEHICLE BRAKE INSERTS

Summary

Metallographic characteristics of P14 cast iron containing 1.33-1.55% P are presented together with its mechanical properties with special reference to wear and friction data determined in laboratory, proving ground and operational scale. The technology of production of brake inserts from this type of cast iron was adapted to Polish conditions and fully implemented in rolling stock repair shops in Nowy Sącz and Bydgoszcz.

ФОСФОРНЫЙ ЧУГУН P14 ДЛЯ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК
РЕЛЬСОВЫХ ПОЕЗДОВ

Резюме

Представлено металлографическую характеристику фосфорного чугуна P14 с содержанием 1,35-1,55 % P, а также его механические свойства с особым учетом антифрикционных показателей. Исследования антифрикционных свойств проводились в лабораторном, полигонном и эксплуатационном масштабах.

Разработанная технология производства колодок из этого типа чугуна применена к отечественным условиям на литейных заводах ЗНТК - Н. Сонч и ЗНТК - Быдгощ и внедрена в полном производственном масштабе.