

**Ekologiczna i materiałoszczędna technologia wytwarzania wstawek hamulcowych
o stabilnych parametrach jakościowych
Cz. 2. Weryfikacja zmodernizowanej technologii w warunkach rzeczywistych**

**The ecological and material-saving technology for producing brake blocks with stable
parameters of quality
Part 2. Verification of modernized technology under real conditions**

Władysław Madej¹, Irena Izdebska-Szanda¹, Janusz Miklaszewski², Tadeusz Zdończyk²

¹*Instytut Odlewnictwa, Zakład Technologii, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*

²*Odlewnia Żeliwa i Metali Nieżelaznych „Spomel” s.p., ul. Abrahama 5, 84-300 Łębork*

¹*Foundry Research Institute, Department of Technology, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*

²*Odlewnia Żeliwa i Metali Nieżelaznych „Spomel” s.p., ul. Abrahama 5, 84-300 Łębork*

E-mail: wladyslaw.madej@iod.krakow.pl

Streszczenie

Abstract

Prezentowany artykuł jest drugim z cyklu omawiającym prace badawcze związane z udoskonaleniem technologii produkcji wstawek hamulcowych dla kolejnictwa w odlewni SPOMEL w Łęborku.

Współpraca z Instytutem rozpoczęła się od realizacji projektu modernizacji procesu wytwarzania odlewów nowej generacji nieiskrzących wstawek hamulcowych dla potrzeb kolejnictwa w latach 2000–2001. W ramach tego projektu opracowana została ekologiczna i materiałoszczędna technologia wytwarzania nieiskrzących wstawek hamulcowych o wysokich parametrach jakościowych. Wyniki badań nad opracowaniem tej technologii przedstawiono w niniejszym artykule.

Badania te obejmowały między innymi opracowanie metod zasilania odlewu, dobór składu mas formierskich i rdzeniowych zapewniających uzyskanie poprawy dokładności wymiarowej oraz jakości powierzchni odlewów, stabilizację parametrów technologicznych wykonywania form odlewniczych, badania struktury, właściwości mechanicznych i ścieralności tworzywa odlewów testowych, a także określenie parametrów technologicznych procesu odlewniczego.

Słowa kluczowe: odlewy wstawek klocków hamulcowych, poprawa jakości odlewu, masa formierska, obniżenie kosztów, oszczędność energii i materiałów, ochrona środowiska, zmniejszenie uciążliwości pracy

The presented article is the second in the series, which presents research related to the improvement of technology for producing brake blocks for the railway industry in the SPOMEL foundry in Łębork.

The cooperation with the Foundry Research Institute started with the implementation of a project which modernised the process for producing casts of a new generation of non-sparking brake blocks for the needs of the railway industry in the years 2000–2001. Within the framework of this project an ecological and material-saving technology was developed for producing non-sparking brake blocks with high quality parameters. The research results obtained from the development of the technology are presented in the present article.

The research included, among other things, the development of a method for feeding the cast, the selection of moulding and core sands which ensure improved dimensional accuracy and quality of surfaces of casts, stabilisation of technological parameters of produced casting moulds, the research of the structure, mechanical properties and abrasion of examined cast material, as well as determination of technological parameters for the casting process.

Key words: brake block casts, improving the quality of the cast, moulding sand, reducing costs, saving energy and material, environmental protection, decreasing work arduousness

1. Wykonanie testowego oprzyrządowania

Dla wszystkich trzech gabarytów (DO-250B, DO320B, DO-380B) produkowanych wstawek hamulcowych wytypowano po dwie optymalne pod względem zasilania odlewu i uzysku metalu zalewanego do wnętrza formy wersje konstrukcyjne oprzyrządowania testowego.



Rys. 1. Płyta modelowa górna i dolna wstawki hamulcowej DO-250B. Druga wersja z nadlewami czołowymi, belka wlewna przechodzi przez nadlewy

Fig. 1. Upper and lower pattern plate for the brake blocks DO-250B. The second version with front risers, the cross-runner goes through risers

1. The making of test equipment

For all three sizes (DO-250B, DO320B, DO-380B) of the produced brake blocks two optimal construction versions of test equipment were selected when it comes to feeding the cast and yield of metal poured to the mould cavity.



Rys. 2. Płyta modelowa górna i dolna wstawki hamulcowej DO-320B. Czwarta wersja z nadlewami bocznymi

Fig. 2. Upper and lower pattern plate for the brake blocks DO-320B. The fourth version with side risers



Rys. 3. Płyta modelowa górna i dolna wstawki hamulcowej DO-380B. Czwarta wersja z nadlewami bocznymi

Fig. 3. Upper and lower pattern plate for the brake blocks DO-380B. The fourth version with side risers

Na fotografii (rys. 1) przedstawiono drugą wersję konstrukcyjną wykonanego oprzyrządowania do świadczenia do formowania nieiskrzących wstawek hamulcowych DO-250B, a na fotografiach – rysunki 2 i 3 – czwartą wersję oprzyrządowania z nadlewami bocznymi, dla wstawek DO-320 i DO-380.

2. Określenie parametrów technologicznych zmodernizowanego procesu odlewniczego

W zakresie mas formierskich stosowanych w odlewni przyjęto, w oparciu o badania, następujące założenia:

- do wykonywania form należy stosować masę jednolitą (bez masy przymodelowej),
- w miejsce oddzielnie stosowanego bentonitu i pyłu węglowego, należy stosować mieszankę bentonitu oraz zamiennika pyłu węglowego o zdolności do tworzenia węgla błyszczącego na poziomie 18%.

Z uwagi na możliwość wystąpienia zwiększonej ilości wad typu jamy skurczowe i obciągnięcia zaleca się zawężenie dopuszczalnego składu chemicznego żeliwa ($C = 3,2-3,6\%$ wag., $Si = 1,8-2,2\%$ wag., $Mn = 0,5-0,8\%$ wag., $P = 0,9-1,3\%$ wag., $S_{max} = 0,16\%$ wag.), z równoczesnym przestrzeganiem, aby eutektyczny równoważnik zawierał się w przedziale $C_e = 4,1-4,65\%$ (eutektyczny równoważnik powyższego zakresu składu chemicznego zawarty jest w przedziale $C_e = 4,1-4,8\%$).

Przy ustalonym zakresie składu chemicznego a przy przekroczeniu $C_e > 4,65\%$ może wystąpić niedopuszczalny w strukturze metalograficznej wstawek hamulcowych wzrost ilości ferrytu. Z tego powodu w zaleceniach dotyczących składu chemicznego żeliwa P10 do odlewania wstawek hamulcowych ograniczyć należy maksymalną wartość eutektycznego równoważnika węgla do wartości $C_e = 4,65\%$.

Przedstawiony powyżej, zalecany w warunkach produkcyjnych Odlewni Żeliwa SPOMEL, skład chemiczny mieści się w zakresie składu chemicznego żeliwa P10 do odlewania wstawek hamulcowych przedstawionego w Polskiej Normie PN-92/K-88151 dotyczącej taboru kolejowego (obsady, wstawki i kliny klocków hamulcowych) [1].

Mając na uwadze uzyskanie prawidłowego zasilania odlewów, obniżenie temperatury masy formierskiej, skrócenie czasu wybicia odlewów i dobrą jakość powierzchni odlewów, należy ściśle przestrzegać, aby temperatura żeliwa nie przekraczała temperatury zawartej w przedziale 1280–1350°C.

In Figure 1 is presented the second construction version of experimental test equipment for moulding non-sparking brake blocks DO-250B, and in photographs – Figures 2 and 3 – the fourth version of equipment with side risers, for brake blocks DO-320 and DO-380.

2. The determination of technological parameters for the modernised casting process

Within the scope of moulding sands utilised in the foundry, on the basis of the research, the following assumptions were made:

- homogenous moulding sand should be used for preparing moulds (without facing sand),
- instead of separately used bentonite and coal dust, a mixture of bentonite and coal dust equivalent with the ability to create lustrous carbon at the level of 18% should be used.

Due to the possibility of an increased number of defects occurring such as shrinkage cavities and sinks it is recommended to narrow the allowed chemical composition of cast iron ($C = 3.2-3.6$ wt.%, $Si = 1.8-2.2$ wt.%, $Mn = 0.5-0.8$ wt.%, $P = 0.9-1.3$ wt.%, $S_{max} = 0.16$ wt.%), and observe that the eutectic equivalent is within the range $C_e = 4.1-4.65\%$ (the eutectic equivalent of the above-mentioned range of the chemical composition is within the range $C_e = 4.1-4.8\%$).

With the established range of the chemical composition and exceeded $C_e > 4.65\%$ there might occur an inadmissible, in the metallographic structure of brake blocks, increase in the quantity of ferrite. For this reason in the recommendation regarding the chemical composition of P10 cast iron for casting brake blocks we should limit the maximum value of the eutectic carbon equivalent to $C_e = 4.65\%$.

The above-presented, recommended for the production conditions of the SPOMEL foundry, chemical composition stays within the range of the chemical composition of P10 cast iron for casting brake blocks, which is presented in the Polish Standard PN-92/K-88151 regarding rolling stock (cast, brake blocks and wedges) [1].

Bearing in mind the achievement of proper casts' feeding, the decrease in the temperature of moulding sand, the reduction of casts' knock-out time and good quality of casts' surfaces we should closely observe the requirement that the temperature of cast iron selected for tests should not exceed the temperature within the range 1280–1350°C.

3. Próby technologiczne i ocena doświadczalnych odlewów wstawek hamulcowych w warunkach zmodernizowanej technologii

Dla potwierdzenia opracowanych wersji technologicznych przeprowadzone zostały próby wykonywania doświadczalnych odlewów wstawek hamulcowych w warunkach zmodernizowanej technologii.

W pierwszej fazie przeprowadzono próby odlewania wstawek hamulcowych DO-250B i DO-320B zgodnie z pierwszą wersją technologiczną – bez zasilania odlewów oraz według drugiej wersji z pełnym zasilaniem. W próbach zastosowano również filtry piankowe oraz filtry ceramiczne do odżużlenia ciekłego metalu zalewanego do form.

Odlewy wykonywano na linii formowania maszynowego (formierki FKT 65B) w skrzynkach stalowych o wymiarach 600 × 500 × 150 mm, materiał wykonywanych odlewów: żeliwo szare niskostopowe P10.

1. Wstawka hamulcowa DO-250B – pierwsza wersja technologiczna bez nadlewów:

- $C_e = C + 0,5 P + 0,25 Si = 4,495\%$
- temperatura zalewania: 1330°C
- czas zalewania: około 14 s
- masa układu wlewowego (w przeliczeniu na jeden odlew):
 - w dotychczasowej technologii 3,68 kg
 - w technologii doświadczalnej 2 kg.

W tym przypadku samozasilanie odlewu, związane z niwelowaniem skurczu odlewniczego, dzięki wykrystalizowaniu grafitu z ciekłej fazy krzepnącego żeliwa, nie zrekompensowało w pełni zmniejszenia objętości zachodzącego w procesie stygnięcia i krzepnięcia ciekłego metalu zalanego do formy. Wykonane odlewy posiadały na powierzchni roboczej wady odlewnicze typu obciążenia. Wady te całkowicie eliminują odlew jako dobry. Ze względu na występowanie dużych ilości wad odlewniczych nie wykonano katarowych prób wytrzymałościowych.

2. Wstawka hamulcowa DO-250B – druga wersja technologiczna z nadlewami usytuowanymi od czoła wstawek:

- $C_e = C + 0,5 P + 0,25 Si = 4,17\%$
- temperatura zalewania: 1300°C
- czas zalewania: około 17 s
- masa układu wlewowego (w przeliczeniu na jeden odlew):
 - w dotychczasowej technologii 3,68 kg
 - w technologii doświadczalnej 3,70 kg
- wyniki katarowych prób wytrzymałościowych: 265–335 J.

3. Technological tests and the assessment of experimental casts of brake blocks under the conditions of the modernised technology

In order to prove the developed technological version attempts to make experimental casts of brake blocks under the condition of the modernised technology were made.

In the first phase attempts to cast brake blocks DO-250B and DO-320B were made according to the first technological version – without feeding the casts and according to the second version with full feeding. For the attempts foam filters and ceramic filters were utilised to remove slug from the molten metal poured to moulds.

Casts were made on the machine moulding line (moulding machine FKT 65) in cast steel moulding boxes 600 × 500 × 150 mm, material for casts: P10 low alloy grey cast iron.

1. Brake block DO-250B – the first technological version without risers:

- $C_e = C + 0.5 P + 0.25 Si = 4.495\%$
- the temperature of pouring: 1330°C
- the time of pouring: approx. 14 s
- the mass of the gating system (calculated per one cast):
 - in the previous technology 3.68 kg
 - in the experimental technology 2 kg.

In this case self-feeding of the cast related to reducing the casting shrinkage, thanks to crystallisation of graphite from the liquid phase of solidifying cast iron, did not fully compensate the decrease in the volume which occurs in cooling and solidification processes of molten metal poured to the mould. The casts had on their working surface casting defects – sinks. These defects completely exclude a cast as a good cast. Due to the occurrence of a number of casting defects drop weight tear tests were not conducted.

2. Brake block DO-250B – the second technological version with risers situated at the front of brake blocks:

- $C_e = C + 0.5 P + 0.25 Si = 4.17\%$
- the temperature of pouring: 1300°C
- the time of pouring: approx. 17 s
- the mass of the gating system (calculated per one cast):
 - in the previous technology 3.68 kg
 - in the experimental technology 3.70 kg.
- results of drop weight tear tests: 265–335 J.

Wykonane z zastosowaniem oprzyrządowania testowego wersji II odlewy nie posiadały wad odlewniczych (rys. 4). Odlewy pozytywnie przeszły badania na wytrzymałość (próby kafarowe), powierzchnia wewnętrzna po przełamaniu była jednolita bez wad.

Wyniki prób wykazały, że jest to technologia stwarzająca najkorzystniejsze warunki zasilania odlewu, zapewniająca dla wstawek DO-250B łatwość oddzielania układów wlewowych.

Casts made with the application of test equipment version II did not have casting defects (Fig. 4). The casts positively went through strength tests (drop weight tear tests), the internal surface in the fracture was homogenous and without defects.

The results of tests proved that it is a technology the most favourable for feeding the cast, which makes it easy to separate brake blocks DO-250B from gating systems.



Rys. 4. Wykonane z zastosowaniem oprzyrządowania testowego wersji II odlewy wstawek DO-250B. Po próbie kafarowej przełomy odlewów były bez wad

Fig. 4. Casts of brake blocks DO-250B made with the application of test equipment version II. After drop weight tear tests the fractures of casts were without defects

Omawiana technologia może mieć zastosowanie do odlewania wstawek hamulcowych DO-250B z zalecanego żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,1-4,65$.

Ze względu na dobre wyniki przeprowadzonych prób, prace nad modernizacją technologii odlewania wstawki hamulcowej DO-250B zakończono na etapie omawianej drugiej wersji technologicznej.

The discussed technology can be applied to casting brake blocks DO-250B made of the recommended P10 cast iron with $C_e = 4.1-4.65$.

Due to good results of the conducted tests, works over the modernisation of the technology for casting the brake block DO-250B were finished at the stage of the described second technological version.

3. Wstawka hamulcowa DO-320B – pierwsza wersja technologiczna bez nadlewów:

- $C_e = C + 0,5 P + 0,25 Si = 4,39\%$
- temperatura zalewania: $1320^{\circ}C$
- czas zalewania: około 19 s
- masa układu wlewowego (w przeliczeniu na jeden odlew):
 - w dotychczasowej technologii 3,65 kg
 - w technologii doświadczalnej 2,65 kg.

Wykonane odlewy, w efekcie niewłaściwego zasilania, posiadały na powierzchni roboczej obciążenia (jamy skurczowe). Wady te, dyskwalifikujące odlewy jako dobre, wystąpiły w około 65% odlewów wyprodukowanych z zastosowaniem tej technologii. Ze względu na występowanie dużych ilości wad odlewniczych nie wykonano kafarowych prób wytrzymałościowych.

Z uwagi na negatywne wyniki uzyskane z zastosowaniem oprzyrządowania wersji I wstawek hamulcowych DO-250B i DO-320B w dalszym etapie tę

3. Brake block DO-320B – the first technological version without risers:

- $C_e = C + 0.5 P + 0.25 Si = 4.39\%$
- the temperature of pouring: $1320^{\circ}C$
- the time of pouring: approx. 19 s
- the mass of the gating system (calculated per one cast):
 - in the previous technology 3.65 kg
 - in the experimental technology 2.65 kg.

The produced casts, as a result of improper feeding, had on their working surface sinks (shrinkage cavities). These defects, which disqualify casts as good, occurred in around 65% of casts produced with the application of this technology. Due to the occurrence of a number of casting defects drop weight tear tests were not conducted.

Because of negative results achieved with the application of equipment version I for brake blocks DO-250B and DO-320B in the further stage this version

wersję oprzyrządowania wycofano z zaplanowanego testowania wstawek DO-380B.

4. Wstawka hamulcowa DO-320B – druga wersja technologiczna z nadlewami usytuowanymi od czoła wstawek:

- $C_e = C + 0,5 P + 0,25 Si = 4,1675\%$
- temperatura zalewania: 1330°C
- czas zalewania: około 21 s
- masa układu wlewowego (w przeliczeniu na jeden odlew):
 - w dotychczasowej technologii 3,65 kg
 - w technologii doświadczalnej 5,70 kg
- wyniki kafarowych prób wytrzymałościowych: 405–475 J.

Wykonane z zastosowaniem oprzyrządowania testowego wersji II odlewy nie posiadały wad odlewniczych. Odlewy pozytywnie przeszły badania na wytrzymałość (próby kafarowe), powierzchnia wewnętrzna po przełamaniu była jednolita bez wad odlewniczych. Stwierdzono dobry efekt zasilania odlewu z zastosowaniem zaprezentowanego układu wlewowo-zasilającego. W przedstawionej wersji technologicznej zwiększono masę układu wlewowo-zasilającego o około 7 kg w odniesieniu do układu wlewowego dotychczas stosowanego.

Problem stanowił duży przekrój wlewów doprowadzających, przez co układ wlewowy nie odłamywał się od odlewu na kracie wstrząsowej. Po oddzieleniu wlewu doprowadzającego na odlewie pozostawały zbyt duże naddatki materiałowe, zwiększona była pracochłonność przy oczyszczaniu odlewów. Dlatego nie zakwalifikowano tej wersji do modernizacji odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych DO-320B.

5. Wstawka hamulcowa DO-320B – trzecia wersja technologiczna z nadlewami czołowymi o zmniejszonej masie:

- $C_e = C + 0,5 P + 0,25 Si = 4,26\%$
- temperatura zalewania: 1290°C
- czas zalewania: około 16 s
- masa układu wlewowego (w przeliczeniu na jeden odlew):
 - w dotychczasowej technologii 3,65 kg
 - w technologii doświadczalnej 3,40 kg
- wyniki kafarowych prób wytrzymałościowych: 335–405 J.

Wykonane według trzeciej wersji technologicznej odlewy wstawek DO-320B nie posiadały wad odlewniczych (rys. 5). Odlewy pozytywnie przeszły badania wytrzymałościowe (próby kafarowe), powierzchnia wewnętrzna po przełamaniu była jednolita, bez wad odlewniczych typu jama skurczowa czy obciążenie.

of equipment was withdrawn from the planned testing of brake blocks DO-380B.

4. Brake block DO-320B – the second technological version with risers situated at the front of brake blocks:

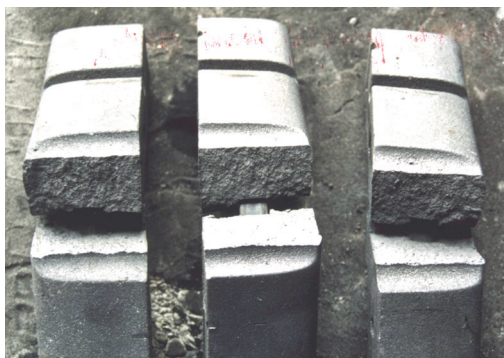
- $C_e = C + 0.5 P + 0.25 Si = 4.1675\%$
- the temperature of pouring: 1330°C
- the time of pouring: approx. 21 s
- the mass of the gating system (calculated per one cast):
 - in the previous technology 3.65 kg
 - in the experimental technology 5.70 kg.
- results of drop weight tear tests: 405–475 J.

Casts made with the application of test equipment version II did not have casting defects. The casts positively went through strength tests (drop weight tear tests), the internal surface in the fracture was homogenous and without casting defects. Stated was a good effect of feeding the cast with the application of the presented gating-feeding system. In the presented technological version the mass of the gating-feeding system was increased by around 7 kg in relation to the previously used gating system. A problem was posed by a big cross-section of the in-gates, thus the gating system did not break from the cast on the shake-out grid. After separating the in-gate on the cast there were too large material allowances, labour consumption was increased while cleaning the casts. That is why this version for the modernisation of casting non-sparking brake blocks DO-320B was not qualified.

5. Brake block DO-320B – the third technological version with risers situated at the front of brake blocks with reduced weight:

- $C_e = C + 0.5 P + 0.25 Si = 4.26\%$
- the temperature of pouring: 1290°C
- the time of pouring: approx. 16 s
- the mass of the gating system (calculated per one cast):
 - in the previous technology 3.65 kg
 - in the experimental technology 3.40 kg.
- results of drop weight tear tests: 335–405 J.

Casts of brake blocks DO-320B made with the application of the third technological version did not have casting defects (Fig. 5). The casts positively went through strength tests (drop weight tear tests), the internal surface in the fracture was homogenous and without casting defects like shrinkage cavities or sinks.



Rys. 5. Wykonane z zastosowaniem oprzyrządowania testowego wersji III odlewy wstawek DO-320B. Po próbie kafarowej przełomy odlewów były bez wad

Fig. 5. Casts of brake blocks DO-320B made with the application of test equipment version III. After drop weight tear tests the fractures of casts were without defects

Stwierdzono dobry efekt zasilania odlewu z zastosowaniem zaprezentowanego układu wlewowo-zasilającego. Przez zmniejszenie (w porównaniu do drugiej wersji) przekrojów wlewów łączących nadlewy z odlewem, odłamywanie układu wlewowego na kracie wstrząsowej nie jest utrudnione. W tym przypadku po oddzieleniu wlewu doprowadzającego na odlewie nie pozostawały już nadatki materiałowe.

Wyniki prób wykazały, że jest to technologia zapewniająca korzystne warunki zasilania odlewu i łatwość oddzielania układów wlewowych. Omawianą III wersję zakwalifikowano do modernizacji procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-320B. Może ona mieć zastosowanie do odlewania wstawek hamulcowych DO-320B z żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,1-4,65\%$.

6. Wstawka hamulcowa DO-380B – trzecia wersja technologiczna z nadlewami czołowymi o zmniejszonej masie, z czterema odlewami w formie:

- $C_e = C + 0,5 P + 0,25 Si = 3,98\%$
- temperatura zalewania: $1400^\circ C$
- czas zalewania: około 19 s
- masa układu wlewowego (w przeliczeniu na jeden odlew):
 - w dotychczasowej technologii 7,40 kg
 - w technologii doświadczalnej 5,26 kg
- wyniki kafarowych prób wytrzymałościowych: 475 J.

Wykonane według trzeciej wersji technologicznej odlewy wstawek DO-380B nie posiadały wad odlewniczych. Odlewy pozytywnie przeszły badania wytrzymałościowe (próby kafarowe), powierzchnia przełomu była jednolita, bez wad odlewniczych typu jama skurczowa czy obciążenie.

Stwierdzono dobry efekt zasilania odlewu z zastosowaniem zaprezentowanego układu wlewowo-zasilającego. W tej wersji technologicznej masa ukła-

Stated was a good effect of feeding the cast with the application of the presented gating-feeding system. By reducing the cross-sections of the in-gate connecting the riser with casts (as compared with the second version), breaking of the gating system on the shake-out grid is not hindered. In this case after separating the in-gate on the cast there were no material allowances.

Results of tests proved that it is a technology which ensures favourable conditions for feeding the cast and makes it easy to separate the gating systems. The described version III was qualified for the modernisation of the casting process for brake blocks type DO-320B. It can be applied to casting brake blocks DO-320B made of P10 cast iron with $C_e = 4.1-4.65\%$.

6. Brake block DO-380B – the third technological version with risers situated at the front of brake blocks with reduced weight, with four casts in the mould:

- $C_e = C + 0.5 P + 0.25 Si = 3.98\%$
- the temperature of pouring: $1400^\circ C$
- the time of pouring: approx. 19 s
- the mass of the gating system (calculated per one cast):
 - in the previous technology 7.40 kg
 - in the experimental technology 5.26 kg.
- results of drop weight tear tests: 475 J.

Casts of brake blocks DO-380B made with the application of the third technological version did not have casting defects. The casts positively went through strength tests (drop weight tear tests), the internal surface in the fracture was homogenous and without casting defects like shrinkage cavities or sinks.

Stated was a good effect of feeding the cast with the application of the presented gating-feeding system. In this technological version the mass of the gating-feed-

du wlewowo-zasilającego jest mniejsza od dotychczas stosowanego rozwiązania technologicznego. Przez zmniejszenie przekrojów wlewów łączących nadlewy z odlewem odłamywanie układu wlewowego na kracie wstrząsowej nie jest utrudnione. W tym przypadku po oddzieleniu wlewu doprowadzającego na odlewie nie pozostawały naddatki materiałowe. Jest to technologia zapewniająca korzystne warunki zasilania odlewu i łatwość oddzielania układów wlewowych.

Wersja ta została zakwalifikowana do modernizacji technologii odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-380B. Może ona mieć zastosowanie do odlewania wstawek hamulcowych DO-380B z żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,0-4,65\%$.

7. Wstawka hamulcowa DO-320B – czwarta wersja technologiczna z nadlewami bocznymi usytuowanymi między odlewami:

- $C_e = C + 0,5 P + 0,25 Si = 3,96\%$
- temperatura zalewania: 1390°C
- czas zalewania: około 17 s
- masa układu wlewowego (w przeliczeniu na jeden odlew):
 - w dotychczasowej technologii 3,65 kg
 - w technologii doświadczalnej 2,9 kg
- wyniki katarowych prób wytrzymałościowych: 335 J.

Wykonane według czwartej wersji technologicznej odlewy wstawek DO-320B nie posiadały wad odlewniczych. Stwierdzono dobry efekt zasilania odlewu z zastosowanego układu wlewowo-zasilającego. Jest to technologia zapewniająca korzystne warunki zasilania odlewu i możliwość oddzielania układów wlewowych na kracie wstrząsowej.

Omawianą wersję IV zakwalifikowano do modernizacji procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-320B jako technologię alternatywną z III wersją technologiczną. Może ona mieć zastosowanie do odlewania wstawek hamulcowych DO-320B z żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,0-4,65\%$.

8. Wstawka hamulcowa DO-380B – czwarta wersja technologiczna, z nadlewami bocznymi usytuowanymi między odlewami:

- $C_e = C + 0,5 P + 0,25 Si = 4,17\%$
- temperatura zalewania: 1420°C
- czas zalewania: około 30 s
- masa układu wlewowego (w przeliczeniu na jeden odlew):
 - w dotychczasowej technologii 7,4 kg
 - w technologii doświadczalnej 3,0 kg
- wyniki katarowych prób wytrzymałościowych: 335–405 J.

ing system is lower than the mass of the previously used technological solution. By reducing the cross-sections of in-gates connecting the riser with casts breaking of the gating system on the shake-out grid is not hindered. In this case after separating the in-gate on the cast there were no material allowances. It is a technology which ensures favourable conditions for feeding the cast and makes it easy to separate the gating systems. This version was qualified for the modernisation of the casting process for brake blocks type DO-380B. It can be applied to casting brake blocks DO-380B made of P10 cast iron with $C_e = 4.0-4.65\%$.

7. Brake block DO-320B – the fourth technological version with side risers situated between the casts:

- $C_e = C + 0.5 P + 0.25 Si = 3.96\%$
- the temperature of pouring: 1390°C
- the time of pouring: approx. 17 s
- the mass of the gating system (calculated per one cast):
 - in the previous technology 3.65 kg
 - in the experimental technology 2.9 kg.
- results of drop weight tear tests: 335 J.

Casts of brake blocks DO-320B made with the application of the fourth technological version did not have casting defects. Stated was a good effect of feeding the cast with the application of the presented gating-feeding system. It is a technology which ensures favourable conditions for feeding the cast and the possibility to separate the gating systems on the shake-out grid.

The described version IV was qualified for the modernisation of the casting process for non-sparking brake blocks type DO-320B as an alternative technology to the technological version III. It can be applied to casting brake blocks DO-320B made of P10 cast iron with $C_e = 4.0-4.65\%$.

8. Brake block DO-380B – the fourth technological version with side risers situated between the casts:

- $C_e = C + 0.5 P + 0.25 Si = 4.17\%$
- the temperature of pouring: 1420°C
- the time of pouring: approx. 30 s
- the mass of the gating system (calculated per one cast):
 - in the previous technology 7.4 kg
 - in the experimental technology 3.0 kg
- results of drop weight tear tests: 335–405 J.



Rys. 6. Wykonane z zastosowaniem oprzyrządowania testowego wersji IV odlewy wstawek DO-380B. Po próbie kafarowej przełomy odlewów były bez wad

Fig. 6. Casts of brake blocks DO-380B made with the application of test equipment version IV. After drop weight tear tests the fractures of casts were without defects

Zamiast 3 odlewów na płycie modelowej zastosowano zgodnie z projektem 4 odlewy, co dodatkowo zwiększyło wydajność i uzysk z formy.

Wykonane odlewy nie posiadały wad odlewniczych. Odlewy pozytywnie przeszły badania wytrzymałościowe (próby kafarowe), powierzchnia wewnętrzna po przełamaniu była jednolita, bez wad odlewniczych (rys. 6). Stwierdzono dobry efekt zasilania odlewu z zastosowanego układu wlewowo-zasilającego.

W przedstawionej technologii masa układu wlewowo-zasilającego jest dużo mniejsza od masy układu w wersji dotychczas stosowanego rozwiązania technologicznego (o 4,4 kg/odlew).

Wersję IV zakwalifikowano do modernizacji procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-380B jako technologię alternatywną z III wersją technologiczną z trzema odlewami w formie. Może ona mieć zastosowanie do odlewania wstawek hamulcowych DO-380B z żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,0-4,65\%$.

W wyniku przeprowadzonych prób wykonywania doświadczalnych odlewów w warunkach zmodernizowanej technologii, ustalono, że:

- do zmodernizowanego procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-250B powinna mieć zastosowanie druga wersja technologiczna z nadlewami usytuowanymi od czoła wstawek,
- do zmodernizowanego procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-320B powinna mieć zastosowanie trzecia wersja technologiczna z nadlewami czołowymi o zmniejszonej masie lub alternatywnie czwarta wersja technologiczna z nadlewami usytuowanymi między odlewami:
 - trzecią wersję technologiczną zaleca się szczególnie do odlewania wstawek hamulcowych DO-320B z żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,1-4,65\%$,
 - czwartą wersję technologiczną zaleca się szczególnie do odlewania wstawek

Instead of 3 casts on the pattern plate according to the design 4 casts were applied, which additionally increased the efficiency and yield from the mould.

Casts did not have casting defects. The casts positively went through strength tests (drop weight tear tests), the internal surface in the fracture was homogeneous and without casting defects (Fig. 6). Stated was a good effect of feeding the cast with the application of the presented gating-feeding system.

In the presented technological version the mass of the gating-feeding system was much lower than the mass of the previously used gating system (by 4.4 kg/cast).

The described version IV was qualified for the modernisation of the casting process for non-sparking brake blocks type DO-380B as an alternative technology to the technological version III with three casts in the mould. It can be applied to casting brake blocks DO-380B made of P10 cast iron with $C_e = 4.0-4.65\%$.

As a result of the conducted attempts to make experimental casts under the conditions of the modernised technology, the following was determined:

- in order to modernise the process for casting non-sparking brake blocks type DO-250B the second technological version should be applied with risers situated at the front of the brake blocks,
- in order to modernise the process for casting non-sparking brake blocks type DO-320B the third technological version should be applied with front risers with reduced mass or alternatively the fourth technological version with risers situated between the casts:
 - the third technological version is especially recommended for casting brake blocks DO-320B made of P10 cast iron with $C_e = 4.1-4.65\%$,
 - the fourth technological version is especially recommended for casting brake blocks DO-320B made of P10 cast iron with $C_e = 4.0-4.65\%$,

- hamulcowych DO-320B z żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,0-4,65$,
- do zmodernizowanego procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-380B powinna mieć zastosowanie trzecia wersja technologiczna z nadlewami czołowymi o zmniejszonej masie lub alternatywnie czwarta wersja technologiczna z nadlewami usytuowanymi między odlewami:
 - trzecią wersję technologiczną zaleca się szczególnie do odlewania wstawek hamulcowych DO-380B z żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,1-4,65\%$,
 - czwartą wersję technologiczną zaleca się szczególnie do odlewania wstawek hamulcowych DO-380B z żeliwa P10 o wartości $C_e = 4,0-4,65\%$.

4. Badania struktury, właściwości mechanicznych i ścieralności tworzyw doświadczalnych odlewów

Podczas wykonywania w warunkach zmodernizowanej technologii doświadczalnych wstawek hamulcowych z dylatacjami przeciwniskrowymi prowadzone były badania, obejmujące:

- skład chemiczny – zawartość C, Si, Mn, P i S,
- twardość odlewów,
- wytrzymałość odlewów (próba kaфарowa),
- badania mikrostruktury odlewów, ścieralność tworzywa odlewów.

Badania prowadzono zgodnie z normą PN-92/K-88151. Wyniki badań składu chemicznego, twardości i wytrzymałości próbnych odlewów przedstawiono w formie tabelarycznej (tabela 1).

Wykonane badania wykazały, że doświadczalne odlewy wstawek hamulcowych z otworami dylatacyjnymi przeciwniskrowymi posiadają właściwości mechaniczne zgodne z wymaganiami normy.

Do badań mikrostruktury i badań ścieralności tworzywa odlewów w procesie tarcia pobrano próbki z wstawek hamulcowych z żeliwa P10, różniące się składem chemicznym. Skład chemiczny próbek pobranych do badań zawarty był w następującym zakresie: C = 3,25–3,62% wag.; Si = 1,48–2,03% wag.; Mn = 0,382–0,609% wag.; P = 0,829–1,13% wag.; S = 0,0862–0,137% wag. Teoretyczny równoważnik węgla mieścił się w przedziale $C_e = 4,12-4,69\%$ (tabela 2).

Wyniki badań ścieralności przedstawiono w postaci wykresu (rys. 7), z którego wynika, że ścieralność badanych tworzyw nie zależy w zasadniczy sposób od eutektycznego równoważnika węgla w zakresie $C_e = 4,12-4,69\%$.

- in order to modernise the process for casting non-sparking brake blocks type DO-380B the third technological version should be applied with front risers with reduced mass or alternatively the fourth technological version with risers situated between the casts:

- the third technological version is especially recommended for casting brake blocks DO-380B made of P10 cast iron with $C_e = 4.1-4.65\%$,
- the fourth technological version is especially recommended for casting brake blocks DO-380B made of P10 cast iron with $C_e = 4.0-4.65\%$.

4. The research of the structure, mechanical properties and abrasion of experimental materials for casts

While making experimental brake blocks with non-sparking expansion gaps under the conditions of the modernised technology the following research was carried out which included:

- the chemical composition – the content of C, Si, Mn, P and S,
- the hardness of casts.
- the strength of casts (drop weight tear test),
- the research of the microstructure of casts, abrasion of the material for casts.

The research was conducted according to the standard PN-92/K-88151. The results of the research of the chemical composition, hardness and drop weight tear tests are presented in Table 1.

The conducted research proved that experimental casts of non-sparking brake blocks with expansion gaps have mechanical properties in accordance with the requirements of the standard.

For the purposes of the research of the microstructure and abrasion tests of the material for casts in the process of friction samples were taken from brake blocks made of P10 cast iron, which differed with respect to the chemical composition. The chemical composition of samples taken for the research was in the following range: C = 3.25–3.62 wt.%; Si = 1.48–2.03 wt.%; Mn = 0.382–0.609 wt.%; P = 0.829–1.13 wt.%; S = 0.0862–0.137 wt.%. The theoretical carbon equivalent was within the range $C_e = 4.12-4.69\%$ (Table 2).

The results of the abrasion test are presented in a form of a diagram (Fig. 7). From the presented Figure it results that the abrasion of examined material does not, in principle, depend on the eutectic carbon equivalent within the range $C_e = 4.12-4.69\%$.

Tabela 1. Wyniki badań właściwości mechanicznych i składu chemicznego wstawek klocków hamulcowych z otworowymi dylatacjami przeciwiwkrowymi
 Table 1. Research results of mechanical properties and the chemical composition of non-sparking brake blocks with expansion gaps

Typ wstawki / Brake block type	Wytrzymałość na uderzenie – pęknięcie wstawki (energia uderzenia w J) / Impact strength – breaking of the brake block (impact energy in J)			Twardość HB / Hardness HB			Skład chemiczny, % wag. / Chemical compositions, wt. %						
	1	2	3	1	2	3	C	C _{gr} *	Mn	Si	P	S	
DO-250B	405	405	475	241	229	229	3,43	2,29	0,46	2,06	1,10	0,136	
DO-320B	405	405	335	241	229	229							
DO-320B	335	405	405	241	229	241	3,02	2,10	0,55	2,118	0,99	0,121	
DO-380B	405	405	335	241	255	229							
DO-320B	405	475	475	241	255	241	2,81	2,06	0,59	1,98	0,98	0,101	
DO-380B	405	405	335	255	255	241							
DO-250B	475	405	545	241	241	229	3,20	2,16	0,43	1,73	1,28	0,111	
DO-320B	335	335	405	229	241	229							
DO-320B	405	335	405	241	217	217	3,37	2,28	0,49	2,06	0,92	0,129	
DO-380B	405	475	405	229	241	255							
DO-320B	475	405	405	229	229	241	3,10	2,11	0,49	2,23	0,89	0,133	
DO-380B	335	335	335	255	241	255							
DO-320B	405	405	405	217	241	229	3,21	2,18	0,47	2,24	0,99	0,135	
DO-380B	475	405	405	229	229	241							
DO-320B	475	475	405	255	241	255	3,26	2,16	0,47	1,99	1,17	0,129	
DO-380B	405	405	335	255	255	229							
DO-320B	405	405	335	229	229	229	3,19	2,19	0,49	1,99	1,28	0,132	
DO-380B	335	405	405	241	241	229							
DO-250B	335	405	405	241	241	255							
DO-320B	335	335	405	255	229	229	3,25	2,18	0,50	1,90	1,28	0,124	
DO-380B	405	335	335	241	255	241							
DO-320B	405	405	405	229	241	241	3,17	2,16	0,49	2,05	1,27	0,141	
DO-380B	335	335	335	255	255	241							
DO-320B	335	405	405	241	241	241	3,16	2,14	0,50	1,95	1,14	0,150	
DO-380B	405	335	335	229	217	255							

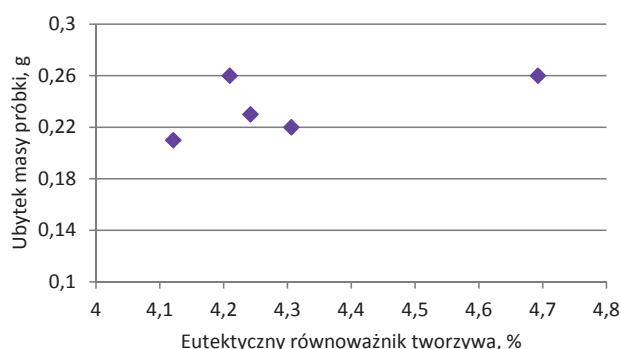
*C_{gr} – węgiel w postaci grafitu / Carbon in the form of graphite

Rysunki 8 i 9 przedstawiają mikrostruktury odlewów różniących się składem chemicznym. Odlewy wykonane z żeliwa o wysokim eutektycznym równoważniku $C_e = 4,69\%$ (tworzywo nr 5) posiadały niezgodną z PN-92/K-88151 mikrostrukturę P92, która dla wstawk hamulcowych powinna być co najmniej perlityczna P96. Z przeprowadzonych badań wynika, że stosowanie żeliwa o wysokim eutektycznym równoważniku powoduje niedopuszczalny w strukturze metalograficznej wstawk hamulcowych wzrost ilości ferrytu. Z tego powodu w zaleceniach dotyczących składu chemicznego żeliwa P10 do odlewania wstawk hamulcowych ograniczyć należy maksymalną wartość eutektycznego równoważnika węgla do wartości $C_e = 4,65\%$. Pozostałe odlewy z badanego tworzywa nr 1, 2, 3 i 4, posiadając wymaganą ilość perlitu, spełniały wymagania normy PN-92/K-88151.

Figures 8 and 9 present the microstructures of casts which differ with respect to chemical composition. The casts made of cast iron with high eutectic equivalent $C_e = 4.69\%$ (materials no. 5) had the P92 microstructure which was not in accordance with PN-92/K-88151, which for brake blocks should be at least perlitic P96. From the conducted research it results that the application of cast iron with a high eutectic equivalent causes an inadmissible, in the metallographic structure of brake blocks, increase in the amount of ferrite. For this reason in the recommendation regarding the chemical composition of P10 cast iron for casting brake blocks we should limit the maximal value of the eutectic carbon equivalent to $C_e = 4.65\%$. The remaining casts made of examined materials no. 1, 2, 3 and 4 having the demanded amount of perlite met the requirements of the standard PN-92/K-88151.

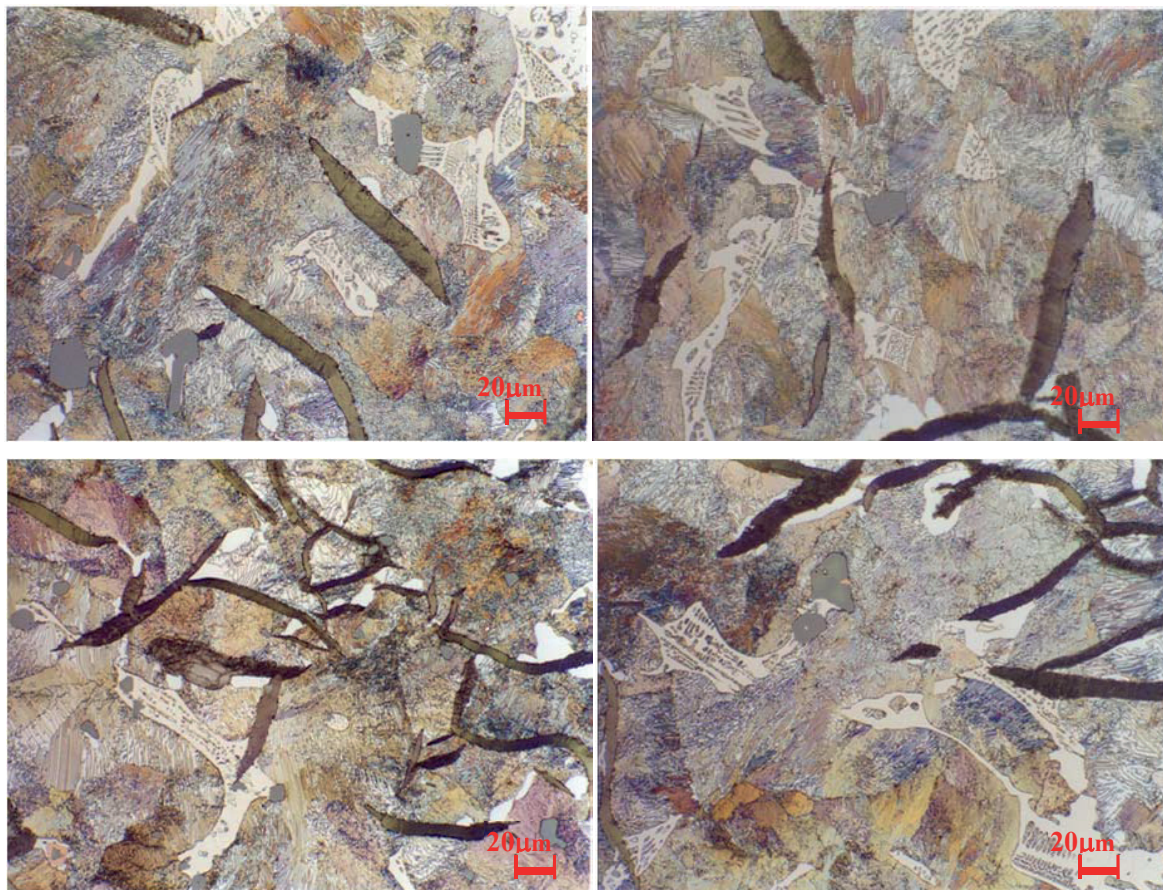
Tabela 2. Skład chemiczny odlewów próbnych poddanych badaniom oceny mikrostruktury i ścieralności tworzywa
Table 2. The chemical composition of test casts which underwent the research of the microstructure assessment and material abrasion

Składnik żeliwa / Component of cast iron	Odlewy próbne, tworzywo nr 1 / Test casts, material no. 1	Odlewy próbne, tworzywo nr 2 / Test casts, material no. 2	Odlewy próbne, tworzywo nr 3 / Test casts, material no. 3	Odlewy próbne, tworzywo nr 4 / Test casts, material no. 4	Odlewy próbne, tworzywo nr 5 / Test casts, material no. 5
	Zawartość składnika, % wag. / Content of the component, wt. %				
C	3,2500	3,4000	3,3800	3,4000	3,6200
Si	1,4900	1,4800	1,7900	1,6200	2,0300
Mn	0,4470	0,3820	0,4680	0,4180	0,6090
P	0,9970	0,8790	0,8290	1,0200	1,1300
S	0,1080	0,0862	0,1260	0,1030	0,1370
Cr	0,0745	0,0678	0,1320	0,0759	0,1130
Ni	0,0346	0,0327	0,0409	0,0309	0,0478
Al	0,0040	0,0040	0,0128	0,0040	0,0040
	$C_e = C + 0,25 Si + 0,5 P$				
	4,1210	4,2095	4,2420	4,3060	4,6925

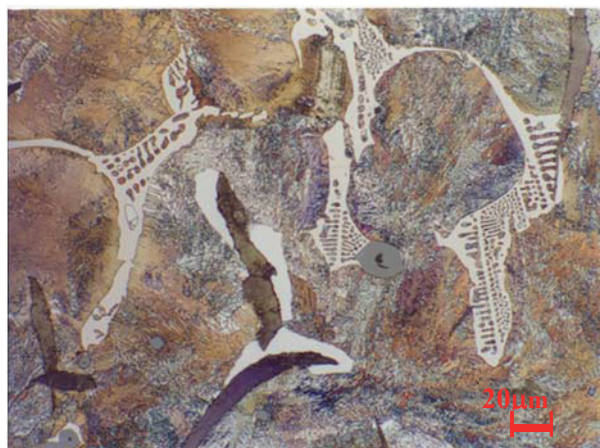


Rys. 7. Ścieralność tworzywa wstawk hamulcowych w zależności od eutektycznego równoważnika żeliwa, z którego odlano wstawki

Fig. 7. The abrasion of the material for brake blocks in relation to the eutectic cast iron equivalent, of which the brake blocks were cast



Rys. 8. Mikrostruktura próbek 1-4, zgląd trawiony, pow. 500×
Fig. 8. The microstructure of samples 1-4, etched specimen, magnification 500×



Rys. 9. Mikrostruktura próbki 5, zgląd trawiony, pow. 500×
Fig. 9. The microstructure of sample 5, etched specimen, magnification 500×

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych prób wykonywania doświadczalnych odlewów w warunkach zmodernizowanej technologii ustalono, że:

5. Summary

As a result of the conducted attempts to make experimental casts under the conditions of the modernised technology, the following was determined:

1. do zmodernizowanego procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-250B powinna mieć zastosowanie druga wersja technologiczna z nadlewami usytuowanymi od czoła wstawek,
 2. do zmodernizowanego procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-320B powinna mieć zastosowanie trzecia wersja technologiczna z nadlewami czołowymi o zmniejszonej masie lub alternatywnie czwarta wersja technologiczna z nadlewami usytuowanymi między odlewami,
 3. do zmodernizowanego procesu odlewania nieiskrzących wstawek hamulcowych typu DO-380B powinna mieć zastosowanie trzecia wersja technologiczna z nadlewami czołowymi o zmniejszonej masie lub alternatywnie czwarta wersja technologiczna z nadlewami usytuowanymi między odlewami.
1. in order to modernise the process for casting non-sparking brake blocks type DO-250B the second technological version should be applied with risers situated at the front of the brake blocks,
 2. in order to modernise the process for casting non-sparking brake blocks type DO-320B the third technological version should be applied with front risers with reduced mass or alternatively the fourth technological version with risers situated between the casts,
 3. in order to modernise the process for casting non-sparking brake blocks type DO-380B the third technological version should be applied with front risers with reduced mass or alternatively the fourth technological version with risers situated between the casts.

Z uwagi na możliwość wystąpienia zwiększonej ilości wad typu jamy skurczowe i obciążenia zaleca się zawężenie dopuszczalnego składu chemicznego żeliwa ($C = 3,2-3,6\%$ wag., $Si = 1,8-2,2\%$ wag., $Mn = 0,5-0,8\%$ wag., $P = 0,9-1,3\%$ wag., $S_{max} = 0,16\%$ wag.), z równoczesnym przestrzeganiem, aby eutektyczny równoważnik zawierał się w przedziale $C_e = 4,1-4,65\%$ (eutektyczny równoważnik powyższego zakresu składu chemicznego zawarty jest w przedziale $C_e = 4,1-4,8\%$).

Przy ustalonym zakresie składu chemicznego a przy przekroczeniu $C_e > 4,65\%$ może wystąpić niedopuszczalny w strukturze metalograficznej wstawek hamulcowych, wzrost ilości ferrytu. Z tego powodu w zaleceniach dotyczących składu chemicznego żeliwa P10 do odlewania wstawek hamulcowych ograniczyć należy maksymalną wartość eutektycznego równoważnika węgla do wartości $C_e = 4,65\%$.

Opracowane rozwiązanie technologiczne i konstrukcyjne zapewniło uzyskanie parametrów pracy klocków hamulcowych stosowanych w kolejnictwie na poziomie europejskim oraz możliwość wykorzystania klocków w wagonach jeżdżących w ruchu międzynarodowym. Zapewniają one poprawę ich żywotności, z równoczesną eliminacją iskrzenia klocków podczas hamowania.

Podziękowania

Prace badawcze przedstawione w artykule wykonane zostały w ramach projektu celowego nr 7 T08B 217 99C/4700.

Literatura/References

1. PN-92/K-88151 Tabor kolejowy – Obsady, wstawki i kliny klocków hamulcowych – Ogólne wymagania i badania.

Due to the possibility of an increased number of defects occurring like shrinkage cavities and sinks it is recommended to narrow the allowed chemical composition of cast iron ($C = 3.2-3.6$ wt.%, $Si = 1.8-2.2$ wt.%, $Mn = 0.5-0.8$ wt.%, $P = 0.9-1.3$ wt.%, $S_{max} = 0.16$ wt.%), and observe that the eutectic equivalent is within the range $C_e = 4.1-4.65\%$ (the eutectic equivalent of the above-mentioned range of the chemical composition is within the range $C_e = 4.1-4.8\%$).

With the established range of the chemical composition and exceeded $C_e > 4.65\%$ there might occur an inadmissible increase in the quantity of ferrite in the metallographic structure of brake blocks. For this reason in the recommendation regarding the chemical composition of P10 cast iron for casting brake blocks we should limit the maximum value of the eutectic carbon equivalent to $C_e = 4.65\%$.

The developed technological and design solution ensured the achievement of operating parameters for brake blocks utilised in the railway industry at the European level and the possibility to use brake blocks in carriages which run in international railway traffic. They ensure longer service life and eliminate sparking caused by blocks during braking.

Acknowledgements

Research works presented in the article were conducted within the framework of the targeted project No. 7 T08B 217 99C/4700.