



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-43-48>
УДК 621.74 : 669.13.017

Поступила 18.01.2022
Received 18.01.2022

ОСОБЕННОСТИ ЛИТЕЙНОГО ЧУГУНА ДЛЯ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Е. А. СИРЕНКО, Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина, бульвар Академика Вернадского, 34/1. E-mail: thermoexp.metal@gmail.com

Представлены результаты сравнения показателей качества тормозных колодок для подвижного состава железной дороги, изготовленных из синтетического чугуна, выплавленного в тигельных индукционных печах, и композиционного материала, представляющего собой вулканизированную смесь резины и разных наполнителей. Раскрыты недостатки тормозных композиционных колодок. Показаны дефекты рабочей поверхности катания колес железнодорожного подвижного транспорта, обусловленные применением композиционных тормозных колодок из резиноазбестовой или резинобезазбестовой смеси. Проанализированы параметры распределений содержания C, Si, Mn, P, S и углеродного эквивалента в чугуне, применяемом для изготовления тормозных колодок типа «М» по ГОСТ 30249-97. Установлено, что твердость и прочность на излом колодок не коррелирует с содержанием химических элементов в чугуне и его углеродным эквивалентом. Диапазоны распределений C, Si, Mn, P, S в чугуне указанного назначения значительно уже, чем допустимые пределы содержания этих элементов, указанные в ГОСТ 30249-97. Даны предложения по усовершенствованию стандартов.

Ключевые слова. Литейный чугун, тормозные колодки, химический состав, углеродный эквивалент, твердость, прочность.

Для цитирования. Сиренко, Е. А. Особенности литейного чугуна для тормозных колодок железнодорожного транспорта / Е. А. Сиренко // Литье и металлургия. 2022. № 1. С. 43–48. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-43-48>.

FEATURES OF CAST IRON FOR RAILWAY BRAKE PADS

E. A. SIRENKO, Physical-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, 34/1, Acad. Vernadskogo Boul. E-mail: thermoexp.metal@gmail.com

The paper presents the results of comparison of quality indices of brake shoes for railroad rolling stock made of synthetic cast iron smelted in induction furnaces and of composite material which is a vulcanized mixture of rubber and different fillers. Disclosed are the disadvantages of composite brake pads. Defects of the working surface of the railway rolling stock wheels rolling surface caused by the application of composite brake pads made of rubber-asbestos or rubber-asbestos mixture are shown. Parameters of C, Si, Mn, P, S content and carbon equivalent distribution in cast iron used for the production of «M» type brake shoes according to GOST 30249-97 are analysed. It is established that the hardness and fracture strength of pads do not correlate with the content of chemical elements in cast iron and its carbon equivalent. The ranges of C, Si, Mn, P, S distributions in the specified purpose cast iron are much narrower than the allowable limits of these elements specified in GOST 30249-97. Suggestions for improving the standards are given.

Keywords. Cast iron, brake pads, chemical composition, carbon equivalent, hardness, strength.

For citation. Sirenko E. A. Features of cast iron for railway brake pads. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 1, pp. 43–48. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-1-43-48>.

Литейное производство является традиционной областью изготовления чугунных тормозных колодок для железнодорожного подвижного состава [1–7 и др.].

Чугун, применяемый для изготовления тормозных колодок, обладает специфическими особенностями в части его выплавки, химического состава и механических свойств по сравнению с чугуном, выплавленным в доменных печах и вагранках. Углубление и расширение знаний в направлении технологии изготовления тормозных колодок является актуальной задачей при дальнейшем улучшении качества и повышении эффективности производства рассматриваемой литейной продукции.

Общая характеристика тормозных колодок из чугуна и композиционных материалов

В межгосударственном стандарте ГОСТ 33421-2015 «Колодки тормозные композиционные и металлокерамические для железнодорожного подвижного состава» термин «композиционная тормозная колодка» имеет следующее определение: Тормозная колодка, изготовленная путем вулканизации под

давлением в пресс-формах многокомпонентной смеси, включающей в себя порошкообразные минеральные и другие наполнители, армирующие волокна и полимерное связующее с вулканизирующей группой. Составная тормозная колодка (композиционная со вставками) – это композиционная тормозная колодка, в конструкции которой, кроме композиционного материала, применены одна или более вставок из материала, отличного от основы.

В стандартах, технических условиях, другой нормативно-технической документации на тормозные колодки из композиционного материала его состав, к сожалению, не указывается. Остаются неизвестными сами ингредиенты, их количество, химический состав, свойства и прочие показатели. Нет даже методики определения состава и количества ингредиентов в композиционном материале. В технической литературе [2 и др.] сообщается, что композиционные материалы состоят из пластичной основы (каучука, резины, смолы), называемой матрицей и служащей связующим веществом, и наполнителей – ингредиентов в виде порошков, волокон, стружки и других форм.

К чугунным тормозным колодкам нет такого привилегированного отношения как к колодкам из композита. Требования к химическому составу, структуре и свойствам чугуна, используемого для тормозных колодок железнодорожного подвижного состава, детально регламентированы в стандартах и контролируются как производителями, так и потребителями. При том, что современная технология выплавки синтетического чугуна гарантированно обеспечивает выполнение требований стандартов и создает предпосылки для их усовершенствования [7].

Результаты обстоятельного исследования эксплуатационных характеристик тормозных колодок из чугуна и разных композитных материалов, выполненных в промышленных условиях Белорусской железной дороги, представлены в работах [8–10]. Показано, что при использовании в тормозных системах композиционных колодок длина тормозного пути электропоездов больше в среднем на ~ 14% по сравнению с длиной тормозного пути поездов, оборудованных чугунными тормозными колодками [9]. Эффективность тормозов с композиционными тормозными колодками уменьшается при скоростях ниже 70–80 км/ч. Сравнительные испытания показали, что чугунные колодки обеспечивают наиболее короткие тормозные пути при скорости движения до 120 км/ч. В связи с этим рекомендовано не применять композиционные тормозные колодки на пассажирских вагонах, движущихся со скоростью более 120 км/ч [8]. Такая рекомендация относится и к тормозным колодкам из композиционного материала с чугунными вставками. Цена композиционных колодок с чугунными вставками в 2,0–2,5 раза выше, чем колодок из чугуна.

Эксплуатационная стойкость композиционных (резиноасбестовых и резинобесасбестовых) колодок с чугунными вставками определяется износостойкостью чугунных вставок. Чем лучше качество чугуна, тем работоспособность тормозных колодок выше. Чугунные вставки в композиционных колодках изготавливают из рядового, низкосортного чугуна. Полностью чугунные тормозные колодки выполняют из высококачественного чугуна. Поэтому именно чугунные колодки более износостойкие, чем композиционные колодки с чугунными вставками.

Результатами многочисленных исследований доказано, что композиционные колодки обладают значительно большей склонностью к повреждению поверхности качения колес, чем чугунные колодки. Это общеизвестный, признанный факт [2]. Типичный дефект на рабочей поверхности колеса, возникший в результате повреждения ее тормозной колодкой из композиционного материала, показан на рис. 1. Из-за таких дефектов сокращается продолжительность эксплуатации колесных пар подвижного состава. Учитывая увеличение затрат на ремонт, покупку новых колес,



Рис. 1. Типичные повреждения рабочей поверхности колес железнодорожных транспортных средств, вызванные применением тормозных колодок из композиционного материала

монтаж-демонтаж колесных пар, применение композиционных колодок, как свидетельствуют расчеты и производственная практика железнодорожных депо, часто оказывается неэффективным. Этот вывод тем более относится к дорогостоящим композиционным колодкам с чугунными вставками.

Происходящие повсеместно повреждения композиционными тормозными колодками поверхности катания колес железнодорожного подвижного состава обусловили необходимость даже указания в ГОСТ 33421-2015 (табл. 5–8) предельно допустимых (браковочных) размеров дефектов поверхности (ползунов, выбоин, выщербин, раковин, вмятин, трещин и др.) колес [3]. Выщербины, раковины или вмятины глубиной до 10 мм, длиной 50 мм на колесах грузовых вагонов и 25 мм на колесах пассажирских вагонов не только уменьшают продолжительность эксплуатации колес и повышают эксплуатационные затраты железнодорожников, а и снижают уровень безопасности движения поездов. Наша рекомендация в этой теме состоит в том, что чугунные тормозные колодки перед поставкой потребителям в обязательном порядке должны подвергаться дробеструйной обработке с целью обнаружения возможных дефектов на их поверхности. Такой пункт следует предусмотреть в соответствующих стандартах. Применяемая ныне на ряде литейных заводов галтовка поверхности колодок не только не выявляет поверхностные дефекты, а наоборот, заглаживая поверхность, затрудняет обнаружение дефектов.

Оценка стабильности химического состава и свойств синтетического чугуна промышленных плавов, предназначенного для изготовления тормозных колодок

В [6] рассмотрен вопрос о наличии (отсутствии) зависимости твердости и прочности тормозных колодок типа «М» от химического состава синтетического чугуна и его углеродного эквивалента.

В промышленных условиях литейного завода ТОВ «М-ЛИТ» (г. Никополь, Днепропетровская область) исследовали химический состав чугуна более 100 плавов и механические свойства изготовленных из него тормозных колодок. Состав и характеристики трехтонной индукционной тигельной печи и другого литейного оборудования завода ТОВ «М-ЛИТ» приведены в [3].

Для прогнозирования эксплуатационных характеристик тормозных колодок типа «М» в качестве обобщенного показателя химического состава синтетического чугуна использовали его углеродный эквивалент. Степень эвтектичности чугуна определяли по формуле: $S_{эвт} = \frac{\%C + 0,15(\%Si) - 2,1}{2,2 - 0,15(\%Si)}$. Для определения углеродного эквивалента выбрали следующие, наиболее распространенные в исследовательской практике, формулы [6]:

$$\begin{aligned} Ce1 &= C + 0,17Mn + 0,04Si + 0,5P, & Ce2 &= C + 0,3Si + 0,33P - 0,015Mn + 0,26S, \\ Ce3 &= C + 0,3Si + 0,33P - 0,03Mn + 0,40S, & Ce4 &= C + 0,3Si + 0,3P. \end{aligned}$$

Здесь и далее С, Si, Mn, P, S – массовые доли углерода, кремния, марганца, фосфора, серы, %.

Заметим, что формула для определения Ce1 является упрощенным вариантом выражения $S_{экт}$ углеродного эквивалента, приведенного в ГОСТ 27772-88 «Прокат для строительных стальных конструкций», которое учитывает дополнительно содержание Cr, Ni, Cu, V. Отличительные признаки каждой из формул Ce1 – Ce4 рассмотрены в [6]. Они не являются принципиальными.

Параметры распределения содержания (%) химических элементов, углеродных эквивалентов, твердости НВ по двум измерениям (слева и справа от косой черты), разрушающей нагрузки (прочности) при испытаниях на излом колодки (тс), значений $S_{эвт}$ и отношения C/Si приведены в таблице. На рис. 2 в виде примера представлена гистограмма распределения величины углеродного эквивалента Ce3.

Анализ данных, приведенных в таблице и на рис. 2, позволяет сделать следующие выводы.

Диапазон 2,76–3,04% варьирования от минимального до максимального значений массовой доли С в плавках чугуна на практике существенно меньше (2,7–3,4%), чем допускается ГОСТ 30249-97. Диапазоны разброса содержания Mn, Si, P на практике также заметно уже, чем указанные в этом стандарте.

Параметры распределения показателей качества чугунных тормозных колодок типа «М» производства завода «М-ЛИТ»

| Значение | Параметры распределения химических элементов и углеродного эквивалента в чугуне, % | | | | | | | | | $S_{эвт}$ | Твердость НВ | Прочность, тс | C/Si |
|--------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|--------------|---------------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Ce1 | Ce2 | Ce3 | Ce4 | | | | |
| Среднее | 2,89 | 1,17 | 0,87 | 0,7 | 0,03 | 3,43 | 3,47 | 3,46 | 3,45 | 0,48 | 251/261 | 17,5 | 2,47 |
| Минимальное | 2,76 | 1,04 | 0,68 | 0,61 | 0,02 | 3,52 | 3,33 | 3,33 | 3,13 | 0,41 | 229/229 | 13,0 | 2,33 |
| Максимальное | 3,04 | 1,20 | 0,96 | 0,83 | 0,04 | 3,62 | 3,64 | 3,63 | 3,63 | 0,55 | 302/302 | 21,7 | 2,80 |

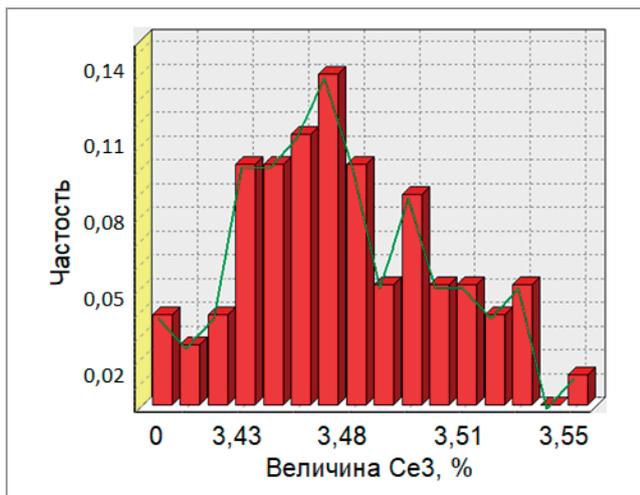


Рис. 2. Гистограмма распределения величины углеродного эквивалента Ce_3 в партиях чугуна, из которого изготовлены тормозные колодки типа «М»

ляции составляет 0,894, что свидетельствует о достаточно высокой стабильности твердости в этих изделиях. Сильная корреляция наблюдается между углеродным эквивалентом и показателем степени эвтектичности $S_{эвт}$ исследованного синтетического чугуна. Коэффициент корреляции – выше 0,95. Результаты расчетов показали высокую зависимость величины углеродного эквивалента чугуна изученных плавов только от содержания углерода в его составе. В частности, коэффициенты корреляции углеродных эквивалентов с содержанием C в чугуне составляли для Ce_1 , Ce_2 , Ce_3 , Ce_4 соответственно 0,881; 0,928; 0,926; 0,937. От других химических элементов углеродные эквиваленты чугуна не зависят. Заметим, что коэффициент корреляции между $S_{эвт}$ и C равен 0,988, а между отношением C/Si и C равен 0,448, между C/Si и содержанием кремния – минус 0,871.

Стабильность содержания химических элементов в составе чугуна характеризуют не только средние значения и диапазоны колебаний, но и коэффициенты их вариации. Так, коэффициенты вариации содержания C, Si, Mn, P, S в чугуне (см. таблицу) составляли 0,016; 0,027; 0,058; 0,059; 0,185 [11]. Эти величины также свидетельствуют о достаточно высокой стабильности химического состава чугуна, выплаваемого в индукционных тигельных печах и применяемого для изготовления тормозных колодок типа «М».

Основное отличие синтетического чугуна от доменного [11] состоит в отсутствии корреляции между величинами содержания указанных выше химических элементов в исследованном чугуне для тормозных колодок типа «М». В [12, с. 81–82], например, подчеркнуто, что в результате многочисленных опытов установлена связь содержания кремния и серы в доменном чугуне. Аналогично установлена связь коэффициентов распределения кремния и марганца, серы и марганца, содержания фосфора и кремния в доменном чугуне. Существенные зависимости коэффициентов распределения серы и марганца от коэффициента распределения кремния, а также содержания фосфора в доменном чугуне от содержания кремния и марганца представлены на рис. 5, 6 в работе [12].

Указанные особенности химического состава доменного чугуна создают сложности при использовании его в качестве шихты для выплавки литейного чугуна в вагранках. Нежелательно высокое содержание серы, отсутствие возможности регулирования химического состава, а также сложности с соблюдением заданного стандартами содержания других элементов в литейном чугуне при выплавке его из доменного чугуна часто приводят к затруднениям в изготовлении высококачественного литья. Независимость содержания каждого химического элемента от других в составе чугуна, выплавленного в индукционных тигельных печах, и индивидуальная корректировка содержания конкретного элемента непосредственно в процессе плавки создают преимущества синтетического чугуна над ваграночным.

Представленные выше результаты дают основание утверждать, что применяемая технология выплавки в индукционных тигельных печах чугуна для тормозных колодок является надежной с позиций обеспечения требований ГОСТ 30249-97 к его химическому составу. Этот факт позволяет ставить вопрос об ужесточении требований к чугуну в стандартах для исключения случаев поступления некачественной литейной продукции к потребителям.

Диапазон содержания Si смещен в сторону максимально разрешаемых величин, но с учетом допускаемого отклонения доли кремния $\pm 0,02\%$ требования ГОСТ выполняются. Позитивной оценки заслуживает весьма низкий уровень содержания серы (0,020–0,044 %) в чугуне по сравнению с допускаемой стандартом величиной 0,2 %. Значения углеродного эквивалента, рассчитанного по различным формулам, весьма близки (см. таблицу). Корреляционный анализ полученных данных показал, что твердость исследованных тормозных колодок не коррелирует ни с содержанием элементов в химическом составе чугуна, ни с его углеродным эквивалентом. Величины содержания химических элементов в чугуне также не коррелируют между собой. Величины твердости чугуна, измеренной в двух точках (HB1/HB2) тормозных колодок, между собой коррелируют. Коэффициент корреляции

Выводы

1. Технология плавки в индукционных тигельных печах чугуна для тормозных колодок типа «М» обеспечивает с запасом необходимую с позиций требований стандартов стабильность его химического состава и механических свойств. Коэффициенты вариации содержания С, Si, Mn, S, P не превышают 0,21, твердости и прочности колодок на излом – еще меньше.

2. Твердость и прочность на излом тормозных колодок типа «М» не зависят от углеродного эквивалента в рассмотренном диапазоне его распределения при условии выплавки чугуна в индукционных тигельных печах по требованиям ГОСТ 30249-97 к химическому составу.

3. Фактором, наиболее дестабилизирующим химический состав и механические свойства литейного чугуна, выплавляемого в индукционных тигельных печах и предназначенного для последующего изготовления тормозных колодок типа «М», является непостоянство содержания химических элементов в металлоломе шихты.

4. С целью повышения качества тормозных чугунных колодок для железнодорожного подвижного состава необходимо в стандартах и нормативно-технической документации снизить содержание серы до 0,05% в составе чугуна и предусмотреть обязательную дробеструйную обработку поверхности колодок.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Витязь П. А., Толстой А. В., Садох М. А.** Анализ состояния литейных производств Республики Беларусь // *Литье и металлургия*. 2019. № 3. С. 35–40.
2. **Неижко И. Г., Найдек В. Л., Гаврилюк В. П.** Тормозные колодки железнодорожного транспорта. Киев, 2019. 121 с.
3. **Попов Е. С., Шинский О. И.** Анализ показателей качества колодок тормозных и композиционных для железнодорожного подвижного состава // *Литье и металлургия*. 2021. № 1. С. 27–37.
4. **Ямшински М. М., Назаренко В. С., Кравченко К. О.** Аналіз гальмівних колодок та шляхи оцінки їх перспективних конструкцій // *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. № 1(218). С. 204–209.
5. **Мазур, В. Л.** Развитие производства синтетического чугуна для деталей железнодорожного подвижного состава / В. Л. Мазур, О. И. Шинский, С. И. Клименко, Е. А. Сиренко, Е. С. Попов // *Тр. 29-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2021. Беларусь»*. Минск, 17–19 ноября 2021. С. 17–20.
6. **Сиренко Е. А.** Характеристика химического состава и свойств синтетического чугуна для тормозных колодок локомотивов // *Тр. 29-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2021. Беларусь»*. Минск, 17–19 ноября 2021. С. 140–143.
7. **Сиренко К. А.** Удосконалення нормативно-технічної документації на ливарні вироби з чавуну // *Процеси лиття*. 2021. № 3 (145). С. 69–76.
8. **Галай Э. И., Рудов, П. К.** Эффективность торможения пассажирских поездов – фактическая и по нормативам // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2006. Вип. 11. С. 116–119. Режим доступа: http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/4611/1/Visnyk_11.pdf.
9. **Галай Э. И., Рудов П. К., Галай И. Э., Сидорович О. А.** Тормозные колодки для электропоездов: чугунные или композиционные. Режим доступа: <http://scbist.com/xx2/43779-06-2005-tormoznye-kolodki-dlya-elektropoezdov-chugunnye-ili-kompozicionnye.html>.
10. **Галай Э. И., Куровский М. В., Рудов П. К., Галай И. Э., Сидорович О. А.** Эффективный тормоз для электропоездов // [04–2005] СЦБИСТ, апрель, 2005 // Режим доступа: <http://scbist.com/xx2/43725-04-2005-effektivnyi-tormoz-dlya-elektropoezdov.html>.
11. **Сиренко К. А., Мазур В. Л.** Оцінка стабільності хімічного складу і механічних властивостей промислових партій синтетичного чавуну // *Процеси лиття*. 2021. № 4 (146). С. 66–75.
12. **Муравьева, И. Г.** Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой: новые подходы / И. Г. Муравьева, Д. Н. Тогобицкая, Ю. С. Семенова, Н. Г. Иванча, А. И. Белькова и др. Киев: Наукова думка, 2019. 272 с.

REFERENCES

1. **Vityaz P. A., Tolstoy A. V., Sadokha M. A.** Status analysis of the foundries in the Republic of Belarus. *Foundry production and metallurgy*. 2019. No. 3. P. 35–40 [in Russian].
2. **Neizhko I. G., Naydek V. L., Gavrilyuk V. P.** *Rail way brake pads*. Kiev, 2009. 121 p. [in Russian].
3. **Popov E. S., Shinsky O. I.** Analysis of quality indicators of brake and composite pads for railway rolling stock. *Foundry production and metallurgy*. 2021. No 1. P. 27–37 [in Russian].
4. **Yamshynskyi M. M., Nazarenko V. S., Kravchenko K. O.** Analysis of brake pads and ways to evaluate their promising designs. *Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2015. No. 1 (218). P. 204–209 [in Ukrainian].
5. **Mazur V. L., Shinsky O. I., Klimenko S. I., Sirenko E. A.** Development of synthetic cast iron production for railway rolling parts. *Proceedings of the 29-th International Scientific and Technical Conference «Foundry production and metallurgy 2021. Belarus»*. Minsk, 17–19 November 2021. P. 17–20 [in Russian].
6. **Sirenko E. A.** Characteristics of the chemical composition and properties of synthetic cast iron for locomotive brake pads. *Proceedings of the 29-th International Scientific and Technical Conference «Foundry production and metallurgy 2021. Belarus»*. Minsk, 17–19 November 2021. P. 140–143 [in Russian].

7. **Sirenko K.A.** Development of production of casting from synthetic cast iron. *Casting Processes*, 2021. Vol. 145, No. 3 (145). P. 69–76 [in Ukrainian].
8. **Galaj E.I., Rudov P.K.** The efficiency of braking of passenger trains – actual and according to standards. *Visnyk Dnipropetrovskoho Natsionalnoho Universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*. 2006. No.11. P. 116–119. Access mode: http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/4611/1/Visnyk_11.pdf [in Russian].
9. **Galaj E.I., Rudov P.K., Galaj I.E., Sidorovich O.A.** Brake pads for electric trains: cast iron or composite. SCBIST, April 2005. Access mode: <http://scbist.com/xx2/43779-06-2005-tormoznye-kolodki-dlya-elektropoezdov-chugunnye-ili-kompozicionnye.html> [in Russian].
10. **Galaj E.I., Kurovsky M.V. Rudov P.K., Galaj I.E., Sidorovich O.A.** Effective brake for electric trains. SCBIST, April 2005. Access mode: <http://scbist.com/xx2/43725-04-2005-effektivnyi-tormoz-dlya-elektropoezdov.html> [in Russian].
11. **Sirenko E.A., Mazur V.L.** Assessment of stability of chemical composition and mechanical properties of industrial lots of synthetic iron. *Casting Processes*. 2021. No. 4 (146). P. 66–75 [in Ukrainian].
12. **Muravyova I.G., Togobitskaya D.N., Semenov Yu.S., Ivancha N.G., Belkova A.I., Shumelchik E.I., Stepanenko D.A.** *Creating intelligent decision support systems for blast furnace management: new approaches*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2019. 272 p. [in Russian].



Поздравляем!

*с избранием академиком НАН Беларуси
Алексея Владимировича БЕЛОГО*

*Д-ра техн.наук, профессора, лауреата Государственной премии БССР,
ученого в области материаловедения и трибологии.*

*Желаем дальнейших творческих успехов,
здоровья, долгих лет жизни!*

*Редакция журнала «Литье и металлургия»
Ассоциация литейщиков и металлургов*

