



УДК 621.74:669.13.017

Поступила 27.09.2021

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В. Л. МАЗУР, О. И. ШИНСКИЙ, С. И. КЛИМЕНКО, Е. А. СИРЕНКО, Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина, бульвар Академика Вернадского, 34/1. E-mail: prof.vlm@ukr.net

Е. С. ПОПОВ, ООО «М-ЛИТ», г. Никополь, Украина, Днепропетровская обл., ул. Электрометаллургов, 300. E-mail: espgenie@gmail.com

Определены актуальные задачи в области теории и технологии литейного производства тормозных колодок и другой продукции для железнодорожного подвижного состава. Показано, что производство тормозных колодок из чугуна должно получить развитие. Колодки из «композиционного» материала повреждают рабочую поверхность колес транспортных средств, сокращают продолжительность работы колесных пар, увеличивают эксплуатационные затраты, экологически небезопасны и потому не могут заменить чугунные. Исследована стабильность химического состава серого чугуна СЧ350 с пластинчатым графитом, применяемого для изготовления клина фрикционного («клина Ханина»). Установлено, что величина углеродного эквивалента такого чугуна тесно коррелирует с содержанием углерода (коэффициент корреляции 0,887) и содержанием кремния (коэффициент корреляции 0,6). Ощутимо также слабое влияние марганца на величину углеродного эквивалента чугуна СЧ350. Твердость изделий не коррелирует с содержанием элементов в химическом составе чугуна и его углеродным эквивалентом. Показано, что технология выплавки синтетического чугуна СЧ350 для «клина Ханина» гарантированно обеспечивает требования стандартов к этой продукции. Совершенствование производства литых изделий ответственного назначения должно быть направлено на реализацию потенциала технологии выплавки синтетического чугуна в индукционных печах, в частности путем внедрения метода термического экспресс-анализа с использованием референтных кривых охлаждения жидкого чугуна для предсказания микроструктуры и механических свойств отливок.

Ключевые слова. *Литейное производство, чугун, химический состав, технология, надежность, тормозные колодки, «клин Ханина».*

DEVELOPMENT OF SYNTHETIC CAST IRON PRODUCTION FOR RAILWAY ROLLING PARTS

V.L. MAZUR, O.I. SHINSKY, S.I. KLIMENKO, 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: prof.vlm@ukr.net

Ye.S. POPOV, LLC "M-LYT", Nikopol, Ukraine, Dnepropetrovsk region, 300, Electrometalurgiv str. E-mail: espgenie@gmail.com

The urgent tasks in the field of theory and technology of foundry production of brake pads and other products for railway rolling stock are determined. It is shown that the production of cast iron brake pads should be developed. Pads made of «composite» material damage the working surface of the wheels of vehicles, reduce the operating time of wheelsets, increase operating costs, are environmentally unsafe and therefore cannot replace cast iron. The stability of the chemical composition of gray cast iron SCh350 with lamellar graphite, used for the manufacture of a friction wedge («Khanin's wedge»), has been investigated. It was found that the value of the carbon equivalent of such cast iron closely correlates with the carbon content (correlation coefficient 0.887) and silicon content (correlation coefficient 0.6). A weak influence of manganese on the value of the carbon equivalent of SCh350 cast iron is also noticeable. The hardness of products does not correlate with the content of elements in the chemical composition of cast iron and its carbon equivalent. It is shown that the technology of smelting SCh350 synthetic iron for the «Khanin wedge» is guaranteed to meet the requirements of the standards for these products. Improving the production of critical cast products should be aimed at realizing the potential of the technology for smelting synthetic iron in induction furnaces, in particular, by introducing a method of rapid thermal analysis using reference cooling curves of liquid iron to predict the microstructure and mechanical properties of castings.

Keywords. *Foundry, cast iron, chemical composition, technology, reliability, brake pads, "Khanin's wedge".*

Тормозные колодки, клин фрикционный Ханина и многие другие детали железнодорожного подвижного состава изготавливают из чугуна литейным способом. В последние десятилетия на железнодорожном транспорте получили распространение тормозные колодки из так называемого «композиционного» материала, представляющего собой смесь каучука, асбеста или его заменителей, барита, технического углерода и других ингредиентов, подвергнутую вулканизации под давлением при температуре 175–180 °С [1, 2]. Недостатки тормозных «композиционных» колодок в сравнении с чугунными состоят в том, что «композиционный» материал сильнее повреждает колеса транспортных средств, непригоден для эксплуатации в условиях дождя и снега, обладает низкой теплопроводностью, содержит в продуктах износа опасные для здоровья людей и окружающей среды вредные вещества. Из-за всех этих факторов эксплуатация тормозных «композиционных» колодок оказывается экономически не выгодной в сопоставлении с использованием колодок из чугуна.

В целом можно отметить, что чугун остается эталонным материалом для тормозных колодок транспортных средств, движущихся со скоростью до 120 км/ч. Для улучшения эксплуатационных характеристик «композиционных» тормозных колодок предпринимаются попытки изготавливать их с чугунными вставками. Однако такое решение удорожает стоимость колодок без заметного положительного эффекта [3].

Для легитимизации производства «композиционных» колодок и обеспечения безопасности их применения на железнодорожном транспорте необходимо в обязательном порядке регламентировать в стандартах и технических условиях на эту продукцию требования к набору составляющих веществ «композиционного» материала и их химический состав.

Недостатков не лишены и тормозные чугунные колодки. Так, в [4] подчеркивается, что колодки из чугуна нередко имеют поверхностные и внутренние дефекты, что определяет необходимость исследовательских работ в направлении усовершенствования технологии производства этой продукции.

Перспективы расширения сортамента литейной продукции для железнодорожного транспорта связаны с развитием производства синтетического чугуна, выплавляемого в электрических индукционных печах. Состояние и возможности повышения качества отливок из синтетического чугуна исследовали на примере промышленного производства на заводе ООО «М-ЛИТ» в г. Никополь клина фрикционного («клина Ханина») по требованиям ДСТУ 8833:2019 «Виливки із сірого чавуну з пластинчатим графітом». Результаты статистической обработки химического состава 100 промышленных плавок серого чугуна СЧ350 и твердости, изготовленного из него клина фрикционного, представлены в таблице.

Статистические параметры распределения содержания химических элементов (%) и твердости НВ в 100 промышленных партиях синтетического чугуна для изготовления «клина Ханина»

Параметры распределений	C	Si	Mn	P	S	C/Si	Ce1	Ce2	Ce3	Ce4	$S_{\text{вт}}$	Твердость
Средние значения	2,95	1,33	0,84	0,03	0,03	2,22	3,16	3,35	3,34	3,36	0,52	248/247
Минимальные	2,75	1,08	0,69	0,02	0,02	1,88	2,93	3,08	3,07	3,08	0,40	235/235
Максимальные	3,06	1,55	1,01	0,06	0,04	2,54	3,28	3,52	3,51	3,53	0,60	262/255

По требованиям ДСТУ 8833:2019 химический состав чугуна (рекомендованный) следующий: C = 2,9–3,0%; Si = 1,2–1,5; Mn = 0,7–1,1; P ≤ 0,2; S ≤ 0,12%. В таблице указаны значения твердости, измеренной в двух контрольных точках изделий. Согласно ДСТУ 8833:2019, твердость НВ отливок с толщиной стенки 30 мм должна быть не более 270, при толщине стенки 15 мм – не более 275 мм. В изученной партии продукции твердость клина в контрольных точках, где толщина стенки равна 16 мм, не превышала 270 НВ, т. е. принятая на заводе «М-ЛИТ» технология гарантированно обеспечивает необходимую твердость «клина Ханина». Приведенные в таблице значения углеродного эквивалента Ce рассчитаны по следующим известным из технической литературы формулам: $Ce1 = C + 0,17Mn + 0,04Si + 0,5P$ согласно ГОСТ 30249–97; $Ce2 = C + 0,3Si + 0,33P - 0,015Mn + 0,26S$ [5]; $Ce3 = C + 0,3Si + 0,33P - 0,03Mn + 0,40S$ [6]; $Ce4 = C + 0,3Si + 0,3P$ [7].

Как и следовало ожидать, углеродный эквивалент чугуна указанного состава зависит от содержания углерода (коэффициент корреляции 0,887), в меньшей степени – от содержания кремния (коэффициент корреляции 0,6). Марганец влияет на Ce, но слабо. Коэффициенты корреляции: для Ce1 – 481; Ce2 – 0,367; Ce3 – 0,351; Ce4 – 0,385. Твердость чугуна не коррелирует ни с содержанием химических элементов в его составе, ни с углеродным эквивалентом. Отметим, что величины содержания указанных химических элементов в составах промышленных плавок чугунов, используемых для изготовления как тормозных колодок, так и «клина Ханина», не коррелируют между собой. Эта особенность

позволяет при моделировании, в частности методом Монте-Карло, формирования химического состава синтетического чугуна указанного сортамента рассматривать распределения C, Si, Mn, P, S как независимые. В таблице представлены также величины степени эвтектичности чугуна, рассчитанной по формуле: $S_{эвт} = \frac{\%C + 0,15(\%Si) - 2,1}{2,2 - 0,15(\%Si)}$, которая показывает относительное содержание эвтектики в чугуне [7] и отношения C/Si содержаний углерода и кремния, влияющего на структуру и механические свойства чугуна [8].

Результаты исследований показали, что реализованные в производственной практике завода «М-ЛИТ» технические и технологические решения обеспечивают в условиях массового производства из синтетического чугуна тормозных колодок типа «М» и «клина Ханина» выполнение требований, регламентированных стандартами на эту продукцию. На нынешнем этапе эволюции литейного производства изделий для железнодорожного транспорта дальнейшего углубленного исследования требуют закономерности формирования структуры и механических свойств тормозных колодок и отливок «клина Ханина» от содержания C, Mn, Si, P, S в синтетическом чугуне, из которого изготавливают эти изделия. В практической плоскости дальнейшие усилия научных коллективов и производственников в рассматриваемой отрасли промышленности должны быть направлены на решение задач энергосбережения, улучшения качества литейной продукции и снижения ее себестоимости путем возможного уменьшения производственных затрат непосредственно на выплавку синтетического чугуна. Выявленные и отмеченные выше недостатки стандартов и технических условий на тормозные колодки железнодорожного подвижного состава свидетельствуют, что первоочередная задача в этой сфере состоит в конкретизации и строгой регламентации в стандартах, технических условиях, во всей технической документации перечня и химического состава ингредиентов, веществ в «композиционном» материале «композиционных» или «композиционных с чугунными вставками» тормозных колодок, которые, согласно результатам выполненных исследований, пока еще уступают колодкам из чугуна по эксплуатационным характеристикам и технико-экономическим показателям применения на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Неижко И. Г., Найдек В. Л., Гаврилюк В. П.** Тормозные колодки железнодорожного транспорта. Киев, 2009. 121 с.
2. **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.
3. **Мазур В. Л., Найдек В. Л., Попов Е. С.** Порівняння чавунних і композиційних з чавунними вставками гальмових колодок для рухомого складу залізниці // *Met. lit'e Ukr*. 2021. Vol. 29. No 2(325). С. 30–39.
4. **Климов, А. А.** Некоторые результаты массового обследования тормозных локомотивных колодок / А. А. Климов, С. В. Домнин, А. В. Стручков, Д. С. Хацкевич, Р. А. Денисов, И. В. Хабаров // *Системы, методы, технологии*. 2015. № 1(25). С. 73–77.
5. Determining the Carbon Equivalent of Cast Iron by the Thermo-Calc Program // *Steel in Translation*, 2011. Vol. 41. No 11. P. 896–899.
6. **Тэн Э. Б., Коль О. А.** Зависимость отбела чугуна от его углеродного эквивалента // *Изв. высш. учеб. завед.* 2020. Т. 63. № 1. С. 57–62.
7. Производство отливок из чугуна. Донецк. Изд-во «Норд-Пресс», 2005. 245 с.
8. **Демин Д. А.** Исследование прочности чугуна с пластинчатым графитом в факторном пространстве «углерод [C] – углеродный эквивалент [C_{эктв}]» в диапазонах C = (3,425 – 3,563)% и C_{эктв} = (4,214 – 4,372)% // *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2017. № 1(1).