

DOI: 10.15593/2224-9877/2017.3.02

УДК 629.4-592

**А.А. Климов¹, А.В. Стручков², В.Б. Бондарик¹, В.П. Ильинский¹,
С.В. Домнин¹, В.П. Кирпиченко¹**

¹ Красноярский институт железнодорожного транспорта, филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, Красноярск, Россия

² Сибирский государственный университет науки и технологий
им. акад. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МИКРОСТРУКТУРАХ ЧУГУНА ТОРМОЗНЫХ ЛОКОМОТИВНЫХ КОЛОДОК

Рассматривается проблема использования тормозных локомотивных колодок со стандартной микроструктурой, приведены основные положения физического моделирования трибологического процесса в паре «бандаж колеса локомотива – тормозная локомотивная чугунная колодка», которое определяется представлением материала колодки как мягкой металлической основы на базе перлита и твердых абразивных включений на основе цементита. Обосновывается влияние графита тормозной колодки на износ бандажа. На основе физической модели процесса износа в указанной паре трения рассмотрены варианты износа в зависимости от строения чугуна, которое в условиях производства, при стабильном химическом составе имеет большие разбросы по твердости. Предлагается микроструктура чугуна на основе феррита и графита и технологический процесс ее получения. Проведены металлографические исследования микрошлифов тормозных колодок с экспериментальной и стандартной микроструктурой с точки зрения изменения состава и формы графитных включений.

В результате исследований на основе цифрового микрофотографирования с применением современной программы «ЦИТО» для количественной обработки размеров графитовых пластин получены сравнительные данные размеров по длине, толщине и площади графитовых пластин. Исследования показали, что термическая обработка стандартных тормозных колодок позволила независимо от изначальной твердости получить выгодное, равномерное распределение графита по объему. При этом размеры графитовых пластин экспериментальной структуры по сравнению со стандартной существенно увеличились, что позволяет улучшить процесс образования разделительной пленки между трущимися поверхностями и избежать задиры металла колеса.

Ключевые слова: локомотивные тормозные колодки, состав, микроструктура чугуна, твердость, износ, задиры, притиры, графит, износостойкость.

**A.A. Klimov¹, A.V. Struchkov², V.B. Bondarik¹, V.P. Ilyinsky¹,
S.V. Domnin¹, V.P. Kirpichenko¹**

¹ Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of Irkutsk State University
of Railway Transport, Krasnoyarsk, Russian Federation

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, Russian Federation

RESEARCH OF GRAPHITIC INCLUSIONS IN MICROSTRUCTURES OF CAST IRON OF BRAKE LOCOMOTIVE SHOES

The work examines the problem of brake pads with the standard locomotive microstructure, are the main provisions of the physical modeling of tribological process paired “bondage wheel locomotive-brake locomotive cast iron block”, which is defined by the representation of material pad as soft metal basis based on perlite and solid abrasive inclusions on the basis of cementite. Justifying the impact graphite brake pad to wear brace. Based on the physical model of the process of wear in the specified friction pair reviewed options for wear depending on the structure of cast iron, which in terms of production, with a stable chemical composition, has great scatters on hardness. Cast iron microstructure is proposed on the basis of ferrite and graphite and process for obtaining it. Metallographic survey conducted of mikrogrindings brake pads with experimental and standard microstructure in terms of changes in the composition and shape of the graphite inclusions.

As a result of research based on the Digital Photomicrography using modern program “CITO” for quantitative processing sizes graphite plates obtained comparative data sizes on length, thickness and square graphite plates. Studies have shown that thermal treatment of the standard brake pads allowed regardless of the original hardness of the get profitable, even distribution of graphite. Studies have shown that thermal treatment of the standard brake pads allowed regardless of the original hardness of the get profitable, even distribution of graphite. Thus the sizes of graphite plates experimental structure compared to the standard has increased significantly, which can enhance the process of separation film between friction surfaces and avoid scratches metal rims.

Keywords: locomotive brake pads, composition, microstructure of cast iron, hardness, wear and tear, scratches, pitting, graphite, wear resistance.

Износостойкость материалов пар трения зависит от внешнего силового воздействия, внешних условий, характера взаимодействия трибологических пар, микроструктуры материалов и многих других факторов. На основании анализа существующих методик фрикционно-износных испытаний [1–4] и в соответствии с физической моделью износа, теорией моделирования и материаловедения нами была выбрана физическая модель износа в трибологической паре «бандаж колеса локомотива – гребневая тормозная чугунная колодка», базирующаяся на строении материалов колеса и тормозной колодки.

Материал бандажа имеет сравнительно однородную микроструктуру эвтектоидной или доэвтектоидной стали перлитно-ферритного или

чисто перлитного состава. Ферритная часть микроструктуры легирована хромом, который обеспечивает повышенную твердость бандажа до 400 НВ. В данном случае главным является однородность материала, которая обеспечивает равномерность износа по всей поверхности трения.

Материал тормозной колодки имеет сложное строение: перлит + цементит + тройная фосфидная эвтектика + графит¹. При этом состав элементов данной микроструктуры может сильно изменяться в зависимости от флуктуации химического состава и технологических режимов производства, что подтверждается большим разбросом твердости колодок даже в одной партии, имеющим по требованиям стандарта 229–303 НВ. Массовые обследования поставляемых на Красноярскую железную дорогу тормозных локомотивных колодок показывают, что реальный разброс их твердости составляет от 100 до 600 НВ [5].

В основе физической модели износа лежит процесс трения скольжения криволинейных поверхностей, который представляет собой сложный физико-химический механизм, состоящий из нескольких видов износа:

1. Нормальный абразивный износ, возникающий в результате сухого трения между металлическими телами, разделенными пленками антифрикционного состава вторичных структур, образующихся в процессе трения.

2. Патологический износ, сопровождающийся разрушением разделительных пленок и схватыванием первого и второго рода, приводящий к разрушению поверхности более пластичного материала бандажа колеса.

Материал тормозной колодки можно упрощенно представить как мягкую основу, в которую включены твердые абразивные частицы, изнашивающие металл бандажа, и мягкие антифрикционные частицы графита, которые обеспечивают тонкую разделительную пленку между трущимися телами.

Твердость перлита может варьироваться в пределах 200–230 НВ, т.е. значительно ниже твердости бандажа, поэтому он изнашивается значительно быстрее твердых цементитных включений, образуя выемки между ними. Поскольку графитовые пластины расположены между

¹ Колодки тормозные чугунные для локомотивов. Технические условия. ГОСТ 30249–97. Межгосударственный стандарт. Введ. 1999-07-01 / Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск; М.: Стандартинформ, 2005. 11 с.

кристаллами твердых включений (рис. 1), в перлите смазка поверхности трения обеспечивается поступлением слущенных частичек графита из перлитной составляющей.

Фосфидная эвтектика, состоящая из цементита, карбида фосфора и феррита, тяготеет к зернам цементита, образуя вместе с ним крупные блоки высокой твердости (см. рис. 1).

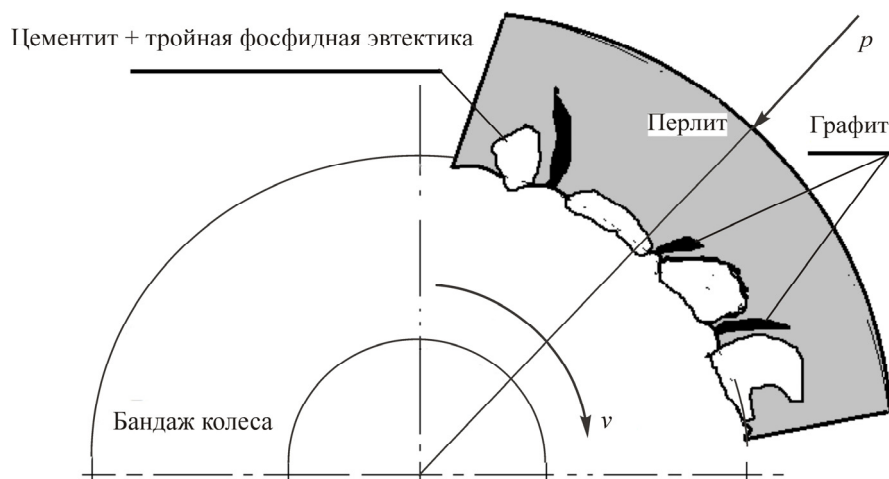


Рис. 1. Схема взаимодействия тормозной колодки и бандажа

Такое строение само по себе уже не является оптимальным, так как в процессе износа более пластичной перлитной составляющей эти блоки выступают, перераспределяя нагрузки в зоне трения. На выступах реализуются большие удельные давления, что приводит к повышению температуры на них, этот процесс усугубляется малой теплопроводностью цементита. В конечном итоге термоциклическая нагрузка приводит к растрескиванию материала и выкрашиванию его наиболее твердой части. Это явление подтверждается исследованиями Д.Г. Афонина [1]. В работах [6–11] предложены тормозные колодки с увеличенной износостойкостью, влияние на износ материала колес эксплуатационными исследованиями не установлено.

При длительных процессах торможения, сопровождающихся повышением температуры, особенно в зонах с повышенным удельным давлением, происходит схватывание металла колодки с металлом бандажа, т.е. износ становится патологическим. Это подтверждается мак-

роанализом поверхностей износа (рис. 2), на которых имеются синие пятна (зоны перегрева) и навар металла колеса.

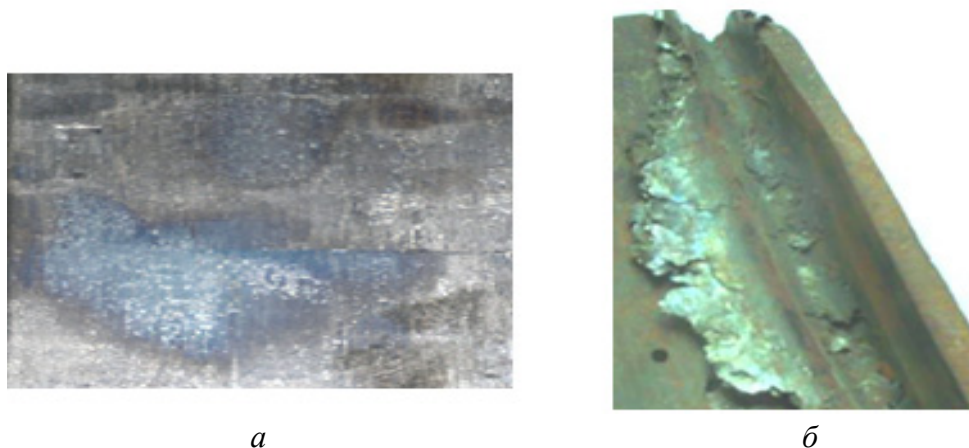


Рис. 2. Виды износа бандажа колесной пары: *а* – фрагмент поверхности износа тормозной колодки (видны синие пятна и трещины по границам синих пятен); *б* – фрагмент тормозной колодки с наваром на поверхности

Анализ физической модели трибологического процесса в паре колесо – колодка дает возможность представить несколько вариантов износа бандажа и колодки:

1. Колодка имеет половинчатый состав, в котором присутствуют крупные образования твердых включений и отмечено почти полное отсутствие графита (почти весь углерод находится в связанном состоянии). Перлит представляет собой прослойку между этими блоками.

Такая структура тормозной колодки обеспечивает трение без разделительной пленки, как результат, повышенное термоциклическое растрескивание и повышенное образование навара на ее поверхности. Это подтверждается исследованиями в работе [12], где указывается, что колодки с повышенной твердостью в среднем имеют на 176 % большую суммарную длину трещин и на 33 % больший ресурс, по сравнению с колодками минимальной твердости (в пределах стандарта), 27 % колодок имеют на поверхности навар металла бандажа (рис. 2, *б*).

2. Колодка имеет сравнительно небольшие включения твердой составляющей, которые распределены неравномерно по объему.

В такой микроструктуре достаточно много графита, но строение графитовой части однообразно и выделяющиеся частички в зоне тре-

ния не обеспечивают постоянной разделительной пленки, так как твердые блоки выступают над поверхностью перлита и на них пленка не удерживается. Термоциклическое растрескивание резко снижено (почти в три раза по сравнению с твердыми колодками), но навар почти не снижается (25 % колодок [12]).

3. Колодка имеет пониженную твердость по сравнению со стандартной, ее структура представляет собой почти 100%-ный перлитный состав с очень небольшими включениями твердой фазы.

Такая структура имеет равномерный износ, полное отсутствие термоциклического растрескивания. В таком чугуна твердые частички, имея малую глубину залегания, в процессе износа перлитной основы выворачиваются оттуда и силой давления колодки вдавливаются в поверхность бандажа, где удерживаются достаточно длительное время, чтобы успеть процарапать глубокие борозды на поверхности колодки. В результате наблюдается повышенный износ тормозной колодки с глубокими бороздами на поверхности износа (рис. 3). Кроме того, в данном случае следует ожидать и повышенный износ рельсов.

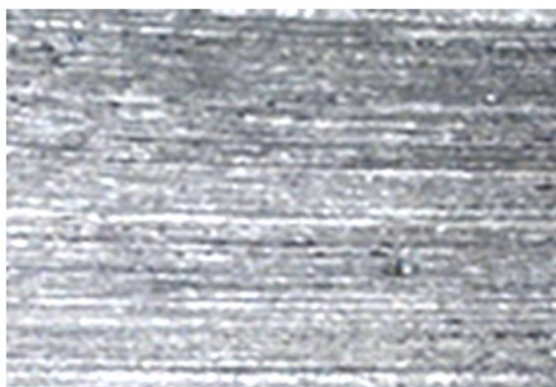


Рис. 3. Фрагмент поверхности трения тормозной колодки со структурой третьего типа

Улучшить трибологические функции тормозных локомотивных колодок, по нашему мнению, возможно переводом сложной нестабильной структуры исходного серого чугуна, имеющего большой разброс по твердости, в более стабильную $\Phi + \Gamma$, где феррит имеет одинаковую твердость как в партии колодок, так и по объему каждой колодки [13–16]. Но феррит имеет твердость в пределах 160 НВ, что

исключает его применение ввиду ускоренного износа. Для увеличения твердости колодок до 220–230 НВ и обеспечения ее стабильности по партии колодок и по объему каждой из них предложен режим термической обработки, который обеспечивает перевод стандартной микроструктуры в $\Phi + \Gamma$ с одновременным перемещением Mn, Si и P, присутствующих в составе чугуна в кристаллическую структуру феррита, т.е. осуществление его легирования [13, 14]. Такую микроструктуру можно получить путем высокотемпературного графитизирующего отжига отливок с температуры 950–1000 °С, выдержки около 2 ч при этой температуре и охлаждения вместе с печью.

При такой обработке полностью снимается набел и все внутренние напряжения, обеспечивается графитизация свободного цементита и распад цементита эвтектоидного.

Данная термическая операция рассчитана на нагрев в диапазоне 950–1000 °С из следующих соображений:

1. Нижняя температурная граница определяет достаточную интенсивность процесса преобразования структуры.

2. Верхняя температурная граница ограничивает нежелательные рост зерна аустенита и процесс сфероидизации графитных включений.

В данном случае определяющим фактором структурного преобразования является время выдержки в заданном температурном диапазоне, достаточном для полного желаемого преобразования.

Для исследования превращений графита в структуре чугуна тормозных колодок при термической обработке нами были проведены металлографические исследования, которые предполагали решение следующих задач:

1. Подтвердить правильность предлагаемого режима термообработки тормозных колодок.

2. Исследовать полученные графитовые структуры и сравнить их со структурами принятого стандарта.

Для выполнения поставленных задач были получены четыре колодки, обработанные при температуре 950–980 °С. Для сравнения экспериментальных колодок со стандартными были отобраны четыре колодки с твердостью, близкой к нижней границе стандарта.

Полученные из колодок стандартной группы пониженной твердости нетравленные микрошлифы показывают, что в их микроструктуре графит имеет пластинчатое строение, количество пластин зависит от

твердости: верхние фотографии соответствуют твердости колодок около 240 НВ, нижние – около 220 НВ (рис. 4).

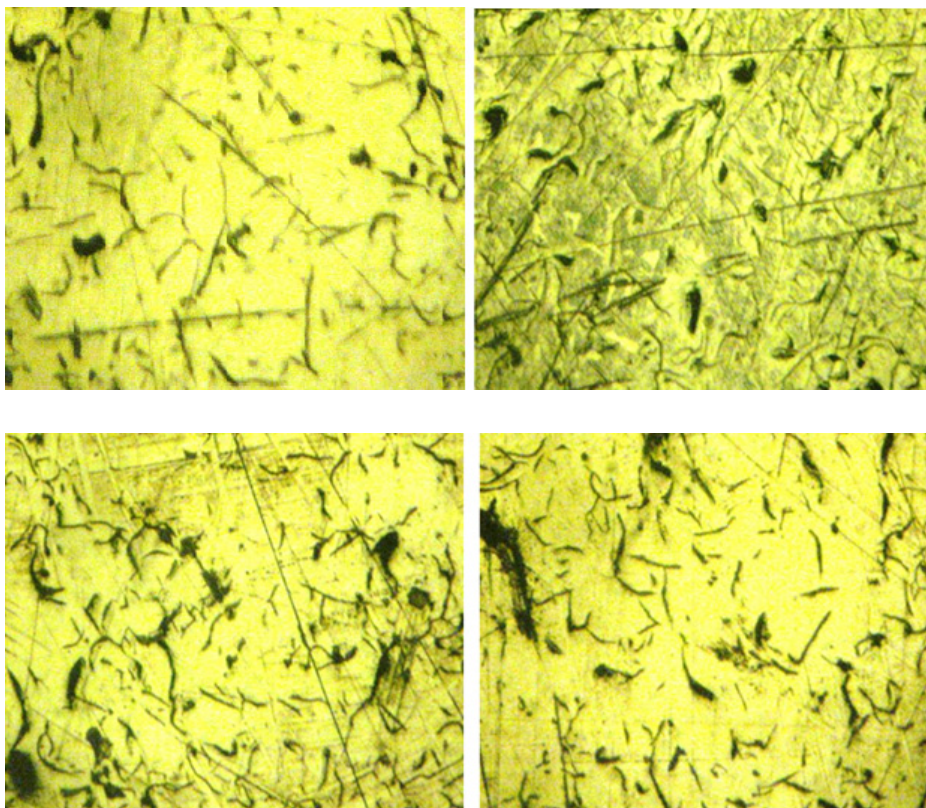


Рис. 4. Микроструктуры с выявленным расположением графита (не травлено, $\times 60$) в образцах стандартной мягкой группы

Полученные из колодок экспериментальной группы, имеющих феррито-графитовое строение с твердостью около 230 НВ, обработанных при температуре 950–980 °С, нетравленные микрошлифы показывают, что графит в их микроструктуре пластинчатого строения, имеются пластины с размытыми краями (рис. 5). Приведенные микроструктуры дают представление о характере температурной обработки: пластины увеличены по сравнению с графитом стандартных колодок мягкой группы. Размытость границ графита показывает присоединение к ним вторичного графита, выделяющегося из аустенитных зерен при охлаждении.

Для проведения количественного сравнительного анализа размеров графитовых пластин в чугунах стандартных колодок мягкой группы (220–240 НВ) и в чугунах экспериментальной группы, близкой по твердости (230 НВ), полученных по технологии [13, 14], использована программа «Цито 2,0», которая разработана для исследований биологических клеток. Данная программа позволяет производить измерения микроскопических включений в металлах.

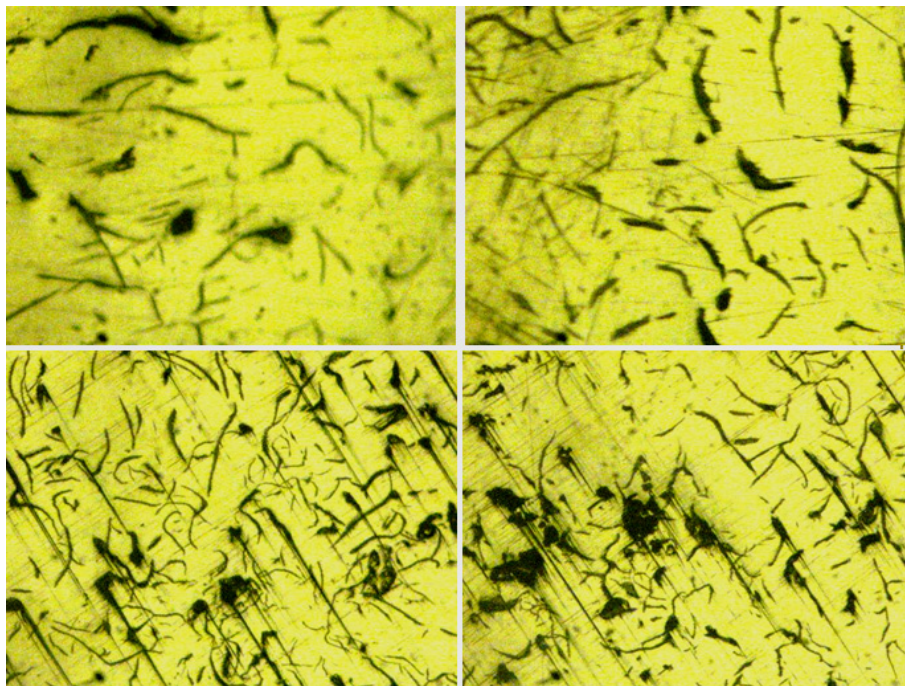


Рис. 5. Микроструктуры с выявленным расположением графита (не травлено, $\times 60$) в образцах экспериментальной группы

В процессе количественного анализа измерялись длина, ширина и площадь графитовых пластин. Результаты исследований методом математической статистики приведены в виде гистограмм распределения с их основными характеристиками: математическим ожиданием M , среднеквадратичным отклонением σ и коэффициентом вариации γ (рис. 6–8) и таблицы.

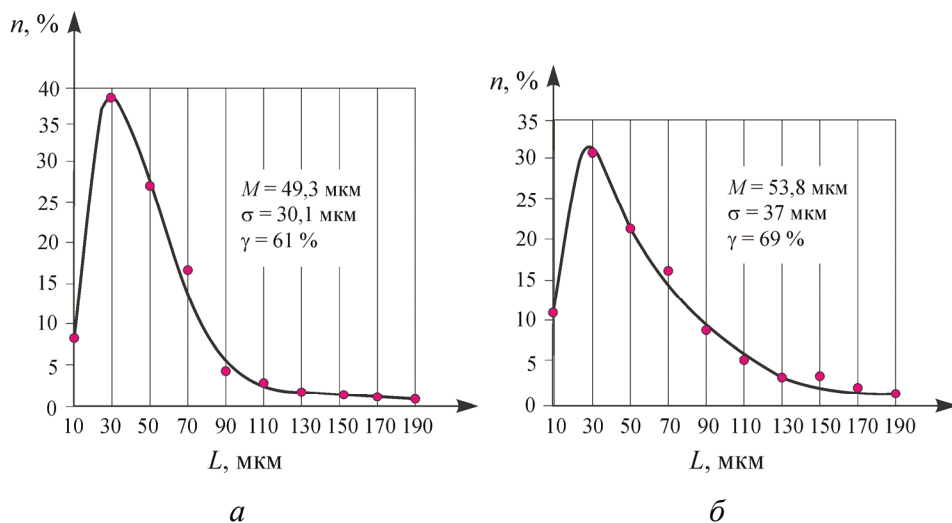


Рис. 6. Гистограммы распределения длин пластин графита в чугунах:
 а – со стандартной структурой пониженной группы твердости;
 б – с экспериментальной структурой

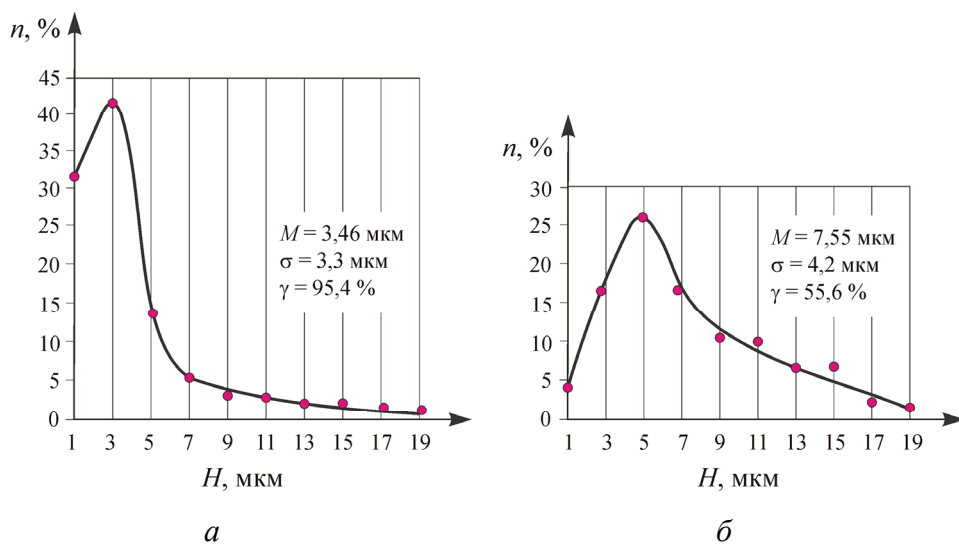


Рис. 7. Гистограммы распределения толщин пластин графита в чугунах:
 а – со стандартной структурой пониженной группы твердости;
 б – с экспериментальной структурой

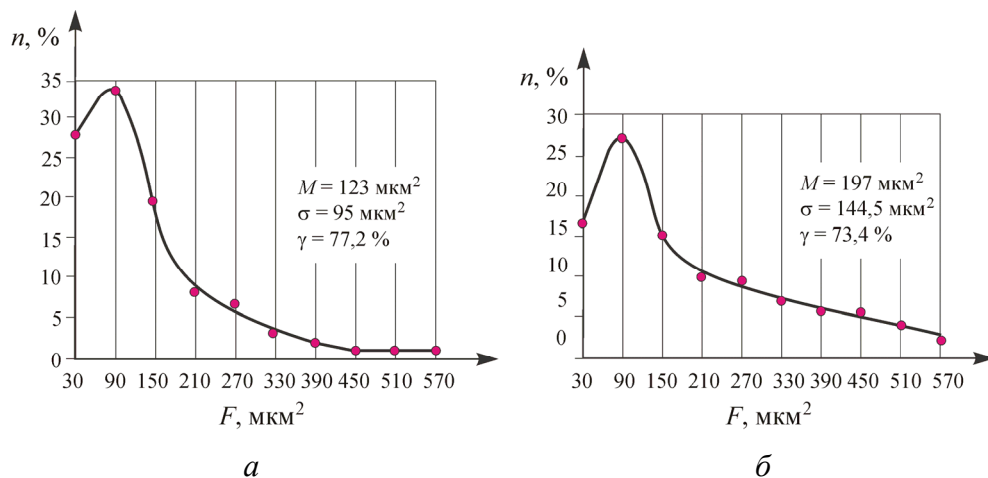


Рис. 8. Гистограммы распределения площадей пластин графита в чугунах:
 а – со стандартной структурой пониженной группы твердости;
 б – с экспериментальной структурой

Статистические показатели размерных характеристик графитовых пластин в чугунах тормозных колодок со стандартной и экспериментальной структурами, имеющих сравнимую твердость 220–240 НВ

Тип структуры	Длина графитовых пластин, мкм	Толщина графитовых пластин, мкм	Площадь графитовых пластин, мкм ²
Стандартная	$M = 49,3$	$M = 3,46$	$M = 123$
	$\sigma = 30,1$	$\sigma = 3,3$	$\sigma = 95$
	$\gamma = 61 \%$	$\gamma = 95,4 \%$	$\gamma = 77,2 \%$
Экспериментальная	$M = 53,8$	$M = 7,55$	$M = 197$
	$\sigma = 37$	$\sigma = 4,2$	$\sigma = 144,5$
	$\gamma = 69 \%$	$\gamma = 55,6 \%$	$\gamma = 73,4 \%$

Заключение

Анализ сравнительных данных, приведенных в таблице, подтверждает правильность выбранного направления по изменению графитной части структуры тормозной колодки.

Предложенная термическая обработка с температуры 950–980 °С позволяет получить желаемые изменения размерных характеристик графитовых пластин без изменения их формы строения. Так, например, длина пластин увеличилась на 9 %; толщина пластин – на 118 %; площадь пластин – на 60 % в среднем.

Список литературы

1. Афонин Д.Г. Исследование и разработка технологии изготовления отливки тормозной локомотивной колодки для железнодорожного транспорта из износостойкого графитизированного чугуна с повышенной эксплуатационной стойкостью: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2001. – 19 с.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Кашеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел. – М.: Наука, 1970. – 247 с.
4. Справочник по триботехнике: в 3 т. / под общ. ред. М. Хебы, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.
5. Некоторые результаты массового обследования тормозных локомотивных колодок / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков, Д.С. Хацкевич [и др.] // Системы. Методы. Технологии: науч. период. журнал. – 2015. – № 1. – С. 73–78.
6. Фрикционный чугун для тормозных колодок: а. с. 1567652 СССР: МКИ А1 С22С37/10 / Ларин Т.В. [и др.]. – Заявл. 06.04.87; опубл. 30.05.90.
7. Чугун: а. с. 834206 СССР: МКИ А1 С22С37/10 / Головатый А.Т. [и др.]. – Заявл. 21.12.79; опубл. 30.05.81, Бюл. № 20.
8. Антифрикционный чугун: пат. 2101379 РФ, МПК С22С37/10 / Сильман Г.И. [и др.]. – Заявл. 29.07.96; опубл. 10.01.98.
9. Серый антифрикционный чугун: пат. 2409689 РФ: МПК С22С37/10 / Алов В.А. [и др.]. – Заявл. 11.06.2009; опубл. 20.01.2011, Бюл. № 2.
10. Антифрикционный чугун: пат. 2212467 РФ, МПК С22С37/10 / Сильман Г.И. [и др.]. – Заявл. 01.08.2001; опубл. 20.09.2003, Бюл. № 26.
11. Способ получения отливок для тормозных колодок из серого чугуна: пат. 2019572 РФ, МПК С22С37/10, С21В11/10 / Кульбовский И.К. [и др.]. – Заявл. 28.12.1992; опубл. 15.09.1994.
12. Влияние микроструктуры и твердости тормозной локомотивной колодки на трещинообразование чугуна / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков, В.П. Кирпиченко [и др.] // Системы. Методы. Технологии: науч. период. журнал. – 2016. – № 2. – С. 73–77.
13. Способ повышения износостойкости тормозных локомотивных колодок: пат. 2575505 РФ, МПК С21D 5/02 / Климов А.А., Стручков А.В. [и др.]. – Заявл. 13.05.2014; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.
14. Фрикционный чугун для тормозных локомотивных колодок и способ его получения: пат. 2573848 РФ, МПК С22С37/10, С21D 5/02 / Климов А.А., Стручков А.В. [и др.]. – Заявл. 24.07.2014; опубл. 27.01.2016, Бюл. № 3.

15. Климов А.А., Домнин С.В., Хацкевич Д.С. Способ повышения износостойкости тормозных локомотивных колодок из серого чугуна // Современные концепции научных исследований: тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2014. – Ч. 1. – С. 82–85.

16. Способ улучшения трибологических характеристик пары «колесо – тормозная колодка» локомотивов / А.А. Климов, С.В. Домнин, А.В. Стручков, В.П. Кирпиченко [и др.] // Сб. публикаций науч. журнала «Глобус» по материалам VIII Междунар. конф. «Технические науки – от теории к практике». – СПб., 2016. – С. 47–53.

References

1. Afonin D.G. Issledovanie i razrabotka tekhnologii izgotovleniia otlivki tormoznoi lokomotivnoi kolodki dlia zheleznodorozhnogo transporta iz iznosostoikogo grafitizirovannogo chuguna s povyshennoi ekspluatatsionnoi stoikost'iu [Research and development of manufacturing techniques of casting of a brake locomotive shoe for railway transport from wearproof graphitized cast iron with the increased operational firmness]. Abstract of Ph. D. thesis. Moscow, 2001, 19 p.

2. Kragel'skii I.V. Trenie i iznos [Friction and wear]. Moscow: Mashinostroenie, 1968, 480 p.

3. Kashcheev V.N. Abrazivnoe razrushenie tverdykh tel [Abrasive destruction of solid bodies]. Moscow: Nauka, 1970, 247 p.

4. Spravochnik po tribotekhnike [The reference book after a tribotekhnika]. V 3 tomakh. Eds. M. Kheby, A.V. Chichinadze. Moscow: Mashinostroenie, 1989, 400 p.

5. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V., Khatskevich D.S. et al. Nekotorye rezul'taty massovogo obsledovaniia tormoznykh lokomotivnykh kolodok. *Sistemy. Metody. Tekhnologii: nauchno periodicheskii zhurnal*, 2015, no. 1, pp. 73–78.

6. Larin T.V. et al. Friksionnyi chugun dlia tormoznykh kolodok [Frictional cast iron for brake shoes]. Patent no. 1567652 SSSR: MKI A1 S22S37/10 (1990).

7. Golovaty A.T. et al. Chugun [Cast iron]. Patent no. 834206 SSSR: MKI A1 S22S37/10. (1981).

8. Sil'man G.I. et al. Antifriksionnyi chugun. Patent no. 2101379 RF, MPK S22S37/10. (1998).

9. Alov V.A. et al. Seryi antifriksionnyi chugun [Gray antifrictional cast iron]. Patent no.2409689 RF: MPK S22S37/10. (2011).

10. Sil'man G.I. et al. Antifriksionnyi chugun [Antifrictional cast iron]. Patent no. 2212467 RF, MPK S22S37/10 (2003).

11. Kul'bovskii I.K. et al. Sposob polucheniia otlivok dlia tormoznykh kolodok iz serogo chuguna [A way of receiving castings for brake shoes from gray cast iron]. Patent no. 2019572 RF, MPK S22S37/10, S21V11/10 (1994).

12. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V., Kirpichenko V.P. Vliianie mikrostruktury i tverdosti tormoznoi lokomotivnoi kolodki na treshchinoobrazovanie chuguna [Influence of a microstructure and hardness of a brake locomotive shoe on a cast iron treshchinoobrazovaniye]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii: nauchno periodicheskii zhurnal*, 2016, no. 2, pp. 73–77.

13. Klimov A.A., Struchkov A.V. et all. Sposob povysheniia iznosostoikosti tormoznykh lokomotivnykh kolodok [Способ повышения износостойкости тормозных локомотивных колодок]. Patent no. 2575505 RF, MPK C21D 5/02 (2016).

14. Klimov A.A., Struchkov A.V. Friksionnyi chugun dlia tormoznykh lokomotivnykh kolodok i sposob ego polucheniiia [Frictional cast iron for brake locomotive shoes and a way of his receiving]. Patent no. 2573848 RF, MPK S22S37/10, C21D 5/02 (2016).

15. Klimov A.A., Domnin S.V., Khatskevich D.S. Sposob povysheniia iznosostoikosti tormoznykh lokomotivnykh kolodok iz serogo chuguna [Way of increase in wear resistance of brake locomotive shoes from gray cast iron]. *Sovremennye kontseptsii nauchnykh issledovani: trudy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Moscow, 2014, Chast' 1, pp. 82–85.

16. Klimov A.A., Domnin S.V., Struchkov A.V., Kirpichenko V.P. Sposob uluchsheniia tribologicheskikh kharakteristik pary «koleso – tormoznaia kolodka» lokomotivov [A way of improvement of tribological characteristics of couple "a wheel – a brake shoe" locomotives]. *Sbornik publikatsii nauchnyi zhurnala «Globus» po materialam VIII Mezhdunarodnoi konferentsii. Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*. Saint-Petersburg, 2016, pp. 47–53.

Получено 30.05.2017

Об авторах

Климов Анатолий Александрович (Красноярск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации железных дорог Красноярского института железнодорожного транспорта, филиала Иркутского государственного университета путей сообщения; e-mail: anatoly.klimoff2013@yandex.ru.

Стручков Алексей Валентинович (Красноярск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования машин Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнева; e-mail: str-alex-v@mail.ru.

Бондарик Владимир Борисович (Красноярск, Россия) – аспирант Красноярского института железнодорожного транспорта, филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, начальник службы технической политики красноярской железной дороги; e-mail: bondarikVB@krw.rzd).

Ильинский Валерий Павлович (Красноярск, Россия) – заведующий аспирантурой Красноярского института железнодорожного транспорта, филиала Иркутского государственного университета путей сообщения; e-mail: ilinskiy_vp@krsk.irkups.ru.

Домнин Сергей Владимирович (Красноярск, Россия) – аспирант Красноярского института железнодорожного транспорта, филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, преподаватель Красноярского техникума железнодорожного транспорта; e-mail: domninsv-66@yandex.ru.

Кирпиченко Владимир Петрович (Красноярск, Россия) – аспирант Красноярского института железнодорожного транспорта, филиала Иркутского государственного университета путей сообщения, преподаватель Красноярского техникума железнодорожного транспорта; e-mail: kirpichenko_vp@krsk.irkups.ru.

About the authors

Anatoly A. Klimov (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of Railways, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of Irkutsk State Transport University; e-mail: anatoly.klimoff2013@yandex.ru.

Alexey V. Struchkov (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Machine Design Basics, Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev; e-mail: str-alex-v@mail.ru.

Vladimir B. Bondarik (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of the Irkutsk State Transport University, Chief of the Technical Policy, Krasnoyarsk Railway; e-mail: bondarikVB@krw.rzd.

Valery P. Ilyinsky (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Head of Postgraduate Studies, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of Irkutsk State Transport University; e-mail: ilinskiy_vp@krsk.irgups.ru.

Sergey V. Domnin (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of the Irkutsk State University, Teacher, College Main Railway Transport of Krasnoyarsk; e-mail: domninsv-66@yandex.ru.

Vladimir P. Kirpichenko (Krasnoyarsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Branch of the Irkutsk State Transport University, Teacher, College Main Railway Transport of Krasnoyarsk; e-mail: kirpichenko_vp@krsk.irgups.ru.