



Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 621.891
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.032

ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛА УЗЛА ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Евгений Александрович Письменный¹, Андрей Михайлович Марков²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
¹ pismennyi.eug@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7454-0830>
² andmarkov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3101-9711>

Аннотация. В настоящее время на промышленных предприятиях Российской Федерации серийно изготавливаются фрикционные клинья из стали марки 20Л и чугуна СЧ35. Основными проблемами при эксплуатации вагонов, оборудованных такими фрикционными клиньями, является недостаточная износостойкость и, как следствие, сокращение межремонтного пробега вагона в целом. Предложено изготавливать из стали 50СЛ конструкцию фрикционного клина в целях повышения прочности и износостойкости. Материалы для пар трения подбирались с целью максимального охвата всех используемых для изготовления фрикционного клина сталей, учитывая в том числе и предлагаемую сталь 50СЛ. Для определения трибологических свойств предложенной для изготовления фрикционного клина стали были изготовлены образцы для исследования взаимодействия трущихся поверхностей на машине трения. В качестве испытательного оборудования выступала машина трения УМТ 2168. Анализ величины износа образцов, изготовленных из стали 50СЛ, показал, что суммарный износ в парах трения стали 50 СЛ по стали 50 СЛ и 20Л в среднем на 56 и 25 % меньше потери массы в парах трения 20Л–20Л, 20Л–30ХГСА, 50СЛ–30ХГСА соответственно. Таким образом, наиболее перспективными материалами в качестве контртела деталей стали 50СЛ, по данным испытаний, являются детали из сталей 50СЛ и 20Л. Отсутствие предельного состояния при приложении динамической нагрузки в вертикальном направлении контролировали на двух образцах, устанавливая их в оснастку, имитирующую работу рессорного подвешивания тележки грузового вагона. После проведения стендовых испытаний достигнуто предельное состояние клиньев фрикционных при приложении в вертикальном направлении 2×10^6 циклов динамической нагрузки, согласно п.5.1.4 ГОСТ 34503-2018.

Ключевые слова: сталь, износостойкость, микроструктура, термообработка, испытания на износ, стендовые испытания конструкции.

Благодарности: Микроструктурные исследования выполнены в Лаборатории структурных исследований ЦКПЛиО АлтГТУ.

Для цитирования: Письменный Е. А., Марков А. М. Исследование износостойкости пар трения узла гашения колебаний тележки грузового вагона // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 225–232. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.032.

Original article

OPTIMIZATION MATERIAL FOR UNIT DAMPING OF THE VIBRATION OF THE TRAM FOR FREIGHT CAR

Evgenij A. Pismenny¹, Andrey M. Markov²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
¹ pismennyi.eug@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7454-0830>
² andmarkov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3101-9711>

© Письменный Е. А., Марков А. М., 2021

Abstract. At present, industrial enterprises of the Russian Federation are serially producing friction wedges from steel grade 20L and cast iron SCh35. The main problems in the operation of cars equipped with such friction wedges are insufficient wear resistance and, as a result, a reduction in the overhaul mileage of the car as a whole. It is proposed to make a friction wedge structure from 50SL steel in order to increase the strength and wear resistance. Materials for friction pairs were selected in order to maximize coverage of all steels used for the manufacture of a friction wedge, including the proposed 50SL steel. To determine the tribological properties of the steel proposed for the manufacture of a friction wedge, samples were made to study the interaction of rubbing surfaces on a friction machine. The UMT 2168 friction machine was used as the test equipment. Analysis of the wear value of specimens made of steel 50SL showed that the total wear in friction pairs of steel 50 SL over steel 50 SL and 20L is, on average, 56 and 25% less weight loss in friction pairs 20L – 20L, 20L – 30HGSA, 50 SL – 30HGSA, respectively. Thus, according to test data, the most promising materials as a counter body for parts of steel 50SL are parts made of steels 50SL and 20L. The absence of a limiting state when a dynamic load was applied in the vertical direction was monitored on two samples by installing them in a tooling simulating the operation of a spring suspension of a freight car bogie. After bench tests, the limiting state of the friction wedges was reached when 2×10^6 dynamic load cycles were applied in the vertical direction, in accordance with clause 5.1.4 of GOST 34503-2018.

Keywords: steel, wear resistance, microstructure, heat treatment, wear tests, bench design tests.

Acknowledgements: Microstructural studies were carried out at the Laboratory for Structural Research CfCULR & D ASTU.

For citation: Pismenny, E. A. & Markov, A. M. (2021). Optimization material for unit damping of the vibration of the tram for freight car. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 225-232. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.032.

ВВЕДЕНИЕ

Фрикционный клин узла гашения колебаний (рисунок 1) является одной из ответственных деталей грузового вагона, подверженных интенсивному абразивному износу. Фрикционный клин служит для предотвращения раскачивания кузова вагона при движении. При этом работоспособность и ресурс работы фрикционных клиньев определяется такими характеристиками, как прочность и износостойкость.

В настоящее время на промышленных предприятиях Российской Федерации серийно изготавливаются фрикционные клинья из стали марки 20Л и чугуна СЧ35. Основными проблемами при эксплуатации вагонов, оборудованных такими фрикционными клиньями,

являются недостаточная износостойкость и, как следствие, сокращение межремонтного пробега вагона в целом. В процессе эксплуатации чаще всего наблюдается преждевременный износ наклонной и рабочей поверхности, что, в свою очередь, может послужить причиной отцепов вагона в ремонт.

С целью повышения ресурса работы фрикционных клиньев узла гашения колебаний грузового вагона путем оптимизации его конструкции и материала предложена новая конструкция фрикционного клина, защищенная патентом на полезную модель № 194823 от 22.10.2019 г (рисунок 1), которую в целях повышения прочности и износостойкости предложено изготавливать стали 50СЛ, химический состав которой представлен в таблице 1.

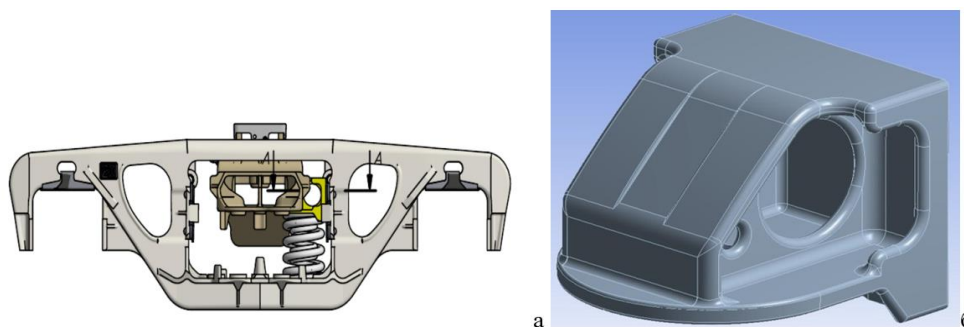


Рисунок 1 – Типовая конструкция узла гашения колебаний (а) и фрикционный клин узла гашения колебаний (б)

Figure 1 - Typical design of vibration damping unit (a) and Friction wedge of vibration damping unit (b)

Таблица 1 – Химический состав стали 50СЛ

Table 1 - Chemical composition of steel 50SL

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Al
50СЛ	0,46 - 0,57	1,2 - 1,6	0,4 - 0,7	до 0,25	до 0,03	до 0,025	до 0,35	до 0,2	до 0,2

МЕТОДЫ

Для определения трибологических свойств предложенной для изготовления фрикционного клина стали были изготовлены образцы для исследования взаимодействия трущихся поверхностей на машине трения. Схема испытания представлена на рисунке 2.

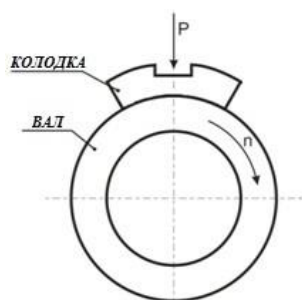


Рисунок 2 – Схема испытания

Figure 2 - Test setup

В качестве испытательного оборудования выступала машина трения УМТ 2168. Исследования проводились с использованием специально изготовленных образцов, представляющих собой пару «вал – колодка» в соответствии с методикой проведения испытаний.

Исследование поверхностной микроструктуры стали после проведения механических испытаний на износостойкость проводили

на поверхностных шлифах, изготовленных из деталей пар трения. Для исследования микроструктуры проводили полировку поверхностей износа при помощи алмазной суспензии зернистостью 1 мкм с последующим последовательным травлением в реактивах «Ниталь» и «Пикраль» по методикам, описанным в [1–13]. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m при помощи программного пакета «Thixomet PRO».

РЕЗУЛЬТАТЫ

Материалы для пар трения подбирались с целью максимального охвата всех используемых для изготовления фрикционного клина сталей, учитывая в том числе и предлагаемую сталь 50СЛ. Данные по подбору материалов пар трения, режимов испытаний и твердость деталей пар трения, определенная методом Бринелля по ГОСТ 9013-59, представлены в таблице 2. Результаты испытаний пар трения в абсолютных значениях потерянной массы представлены в таблице 3, удельные показатели относительного износа деталей пар трения в относительных единицах, представлены на рисунке 3. Фотографии изношенных поверхностей образцов представлены на рисунке 4 [14–16].

Таблица 2 – Пары трения

Table 2 – Friction pairs

№	Вал		Колодка		Условия испытаний	
	Материал	Твердость, НВ	Материал	Твердость, НВ	Кол-во оборотов вала	Усилие прижима колодки к валу, кг/см ²
1	50СЛ	367	50СЛ	395	8000	20
2	50СЛ	310	20Л	158	8000	20
3	20Л	163	20Л	158	8000	20
4	20Л	158	30ХГСА	293	8000	20
5	50СЛ	300	30ХГСА	293	8000	20

Таблица 3 - Результаты испытаний образцов на машине трения

Table 3 - Results of testing samples on a friction machine

№	Пара трения Вал (НВ) - Колодка (НВ)	Средняя масса весового износа, гр.		Суммарный износ, гр.
		Вал	Колодка	
1	50СЛ (367) – 50СЛ (395)	0,15	0,06	0,21
2	50СЛ (310) – 20Л (158)	0,16	0,3	0,36
3	20Л (163) – 20Л (158)	0,18	0,32	0,50
4	20Л (158) – 30ХГСА (293)	0,25	0,23	0,48
5	50СЛ (300) – 30ХГСА (293)	0,2	0,25	0,45

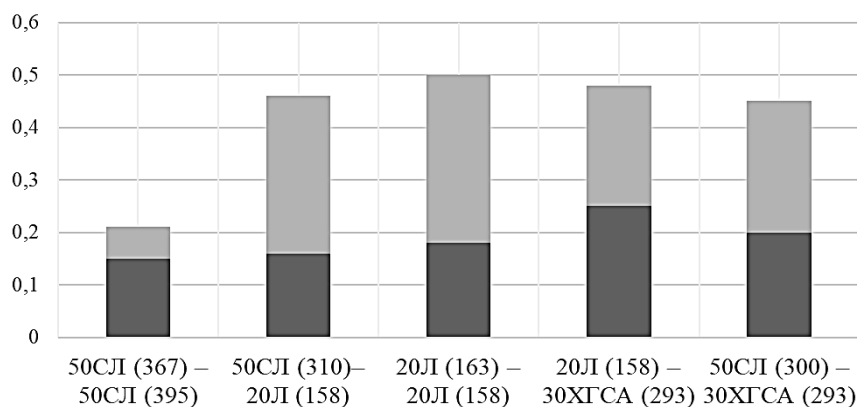


Рисунок 3 – Гистограмма результатов испытаний на машине трения с усилием прижима колодки 20 кг/см², 8000 об
 Figure 3 - Histogram of test results on a friction machine with a pad pressing force of 20 kg/cm², 8000 rpm



Рисунок 4 – Фотографии образцов после испытаний

Figure 4 - Photos of samples after testing

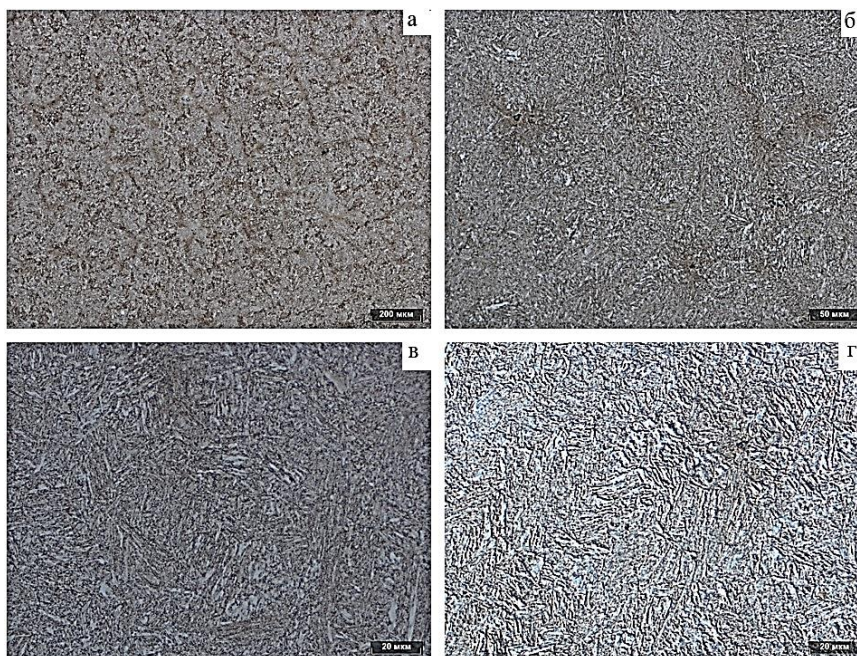


Рисунок 5 – Микроструктура полученных образцов стали 50СЛ до (а, в) и после (б, г) проведения испытаний на машине трения

Figure 5 - Microstructure of the obtained samples of steel 50SL before (a, в) and after (б, г) Testing on a friction machine

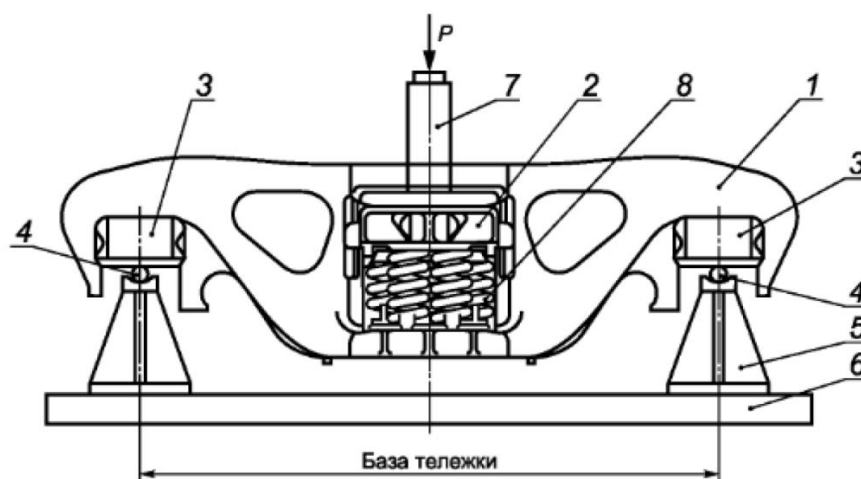
ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ величины износа образцов, изготовленных из стали 50СЛ, свидетельствует о высоких показателях износостойкости разработанного материала, так как суммарный износ в парах трения стали 50 СЛ по стали 50 СЛ и 20Л составляет соответственно 0,26 и 0,31 г, что в среднем на 56 и 25 % меньше потери массы в парах трения 20Л–20Л, 20Л–30ХГСА, 50СЛ–30ХГСА соответственно (таблица 3). Таким образом, наиболее перспективными материалами в качестве контртела деталей стали 50СЛ, по данным испытаний, являются детали из сталей 50СЛ и 20Л [17–19]. Микроструктуры полученных образцов представлены на рисунке 5.

Микроструктура представленных образцов – бейнит с небольшим количеством (около

3–7 масс. %) игольчатого феррита, средняя величина зерна соответствует 9 баллу. Заметно присутствие в микроструктуре остаточной скелетной эвтектики, а также единичных шлаковых включений размерами 7–9 мкм. Как видно из рисунка 5, микроструктура стали 50СЛ в результате испытаний значимых изменений не претерпевает, что свидетельствует об относительно слабом разогреве трущихся поверхностей из стали 50СЛ [20–23].

Отсутствие предельного состояния при приложении динамической нагрузки в вертикальном направлении контролировали на двух образцах, устанавливая их в оснастку, имитирующую работу рессорного подвешивания тележки грузового вагона. Схемы установки и приложения силы к оснастке для испытаний клиньев приведены на рисунке 6.



1 – боковая рама; 2 – концевая часть балки; 3 – переходник; 4 – цилиндрическая опора; 5 – опорная тумба; 6 – опорная поверхность; 7 – приспособление; 8 – рессорное подвешивание

Рисунок 6 – Схема установки и приложения силы к оснастке для испытаний клиньев

1 - side frame; 2 - end part of the beam; 3 - adapter; 4 - cylindrical support; 5 - support pedestal; 6 - support surface; 7 - device; 8 - spring suspension

Figure 6 - Scheme of installation and application of force to the tooling for testing wedges

Определение износостойкости клиньев фрикционных, изготовленных из стали 50СЛ при приложении в вертикальном направлении 2×10^6 циклов динамической нагрузки, проводилось путем оценки состояния и износа рабочих поверхностей клиньев, фрикционных планок, завышения (занижения) клиньев, коэффициента относительного трения перед началом испытаний и в процессе испытаний. Первые измерения проводились через 250 000 циклов, а затем не реже одного раза каждые 500 000 циклов динамической нагрузки, что соответствует минимальным нормативным требованиям, предъявляемым к данным деталям. Результаты оценки

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 2 2021

испытаний представлены в таблице 4.

После проведения испытаний с приложением в вертикальном направлении 2×10^6 циклов динамической нагрузки износ фрикционных клиньев с фрикционной планкой с верхней стороны клиньев составляет 0,5 мм, плоскости касания с фрикционной планкой с нижней стороны клина 3 мм, с наклонной плоскостью от 1,5 до 3 мм, что соответствует п.5.1.4 ГОСТ 34503-2018. Таким образом, стендовые испытания подтверждают испытания на машине трения и свидетельствуют о высоких трибологических свойствах полученного сплава.

Таблица 4 – Изменение характеристик фрикционных клиньев при испытаниях приложением динамической нагрузки в вертикальном направлении

Table 4 - Changes in the characteristics of friction wedges when tested by applying a dynamic load in the vertical direction

Изменение массы фрикционных клиньев в процессе испытаний по проверке отсутствия предельного состояния при приложении динамической нагрузки в вертикальном направлении					
Наименование показателя	Единицы измерения	Клин фрикционный		Планка фрикционная	
		усл. № 4	усл. № 5	усл. № 1	усл. № 2
Масса до испытаний	кг	10,017	9,746	1,940	1,968
Масса после 250 000 циклов		9,891	9,693	1,831	1,888
Масса после 750 000 циклов		9,845	9,620	1,756	1,816
Масса после 1 250 000 циклов		9,818	9,603	1,673	1,744
Масса после 1 750 000 циклов		9,758	9,545	1,557	1,645
Масса после 2 000 000 циклов		9,739	9,446	1,532	1,656
Общее изменение массы		0,278	0,300	0,408	0,312
Износ фрикционных клиньев в процессе испытаний по проверке отсутствия предельного состояния при приложении динамической нагрузки в вертикальном направлении					
Наименование показателя	Единицы измерения	Клин фрикционный			
		усл. № 4	усл. № 5		
До испытаний: - плоскость касания с фрикционной планкой с верхней стороны клина; - плоскость касания с фрикционной планкой с нижней стороны клина; - наклонная плоскость	мм	0	0		
		236	235		
		2	5		
После 250 000 циклов: - плоскость касания с фрикционной планкой с верхней стороны клина; - плоскость касания с фрикционной планкой с нижней стороны клина; - наклонная плоскость		0	0		
		235	233		
		3,0	6		
После 750 000 циклов: - плоскость касания с фрикционной планкой с верхней стороны клина; - плоскость касания с фрикционной планкой с нижней стороны клина; - наклонная плоскость		0	0		
		235	233		
		3,5	6		
После 1 250 000 циклов: - плоскость касания с фрикционной планкой с верхней стороны клина; - плоскость касания с фрикционной планкой с нижней стороны клина; - наклонная плоскость		0	0,5		
		235	233		
		4	6		
После 1 750 000 циклов: - плоскость касания с фрикционной планкой с верхней стороны клина; - плоскость касания с фрикционной планкой с нижней стороны клина; - наклонная плоскость	мм	0,5	0,5		
		234	233		
		4	6,5		
После 2 000 000 циклов: - плоскость касания с фрикционной планкой с верхней стороны клина; - плоскость касания с фрикционной планкой с нижней стороны клина; - наклонная плоскость		0,5	0,5		
		233	232		
		4	6,5		
Общее изменение размера: - плоскость касания с фрикционной планкой с верхней стороны клина; - плоскость касания с фрикционной планкой с нижней стороны клина; - наклонная плоскость		0,5	0,5		
		3	3		
		2	1,5		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наиболее перспективными материалами в качестве контртел деталей из стали 50СЛ, по данным испытаний, являются детали из сталей 50СЛ и 20Л: потеря массы в результате износа в этом случае на 30–50 % меньше в сравнении со сталью 30ХГСА.

2. Суммарный износ деталей пары трения 50СЛ–50СЛ на 56 % меньше по сравнению с используемой в настоящее время парой трения 20Л–20Л, что подтверждает высокую перспективность использования, стали 50СЛ для изготовления фрикционного клина.

3. Микроструктура трущихся поверхностей стали 50СЛ в результате испытаний на трение износа, значимых изменений не претерпевает, что свидетельствует об относительно слабом разогреве трущихся поверхностей из стали 50СЛ и, соответственно, высокой стабильности фрикционного сопряжения.

4. В результате стендовых испытаний подтверждено, что предлагаемая конструкция фрикционных клиньев из стали 50СЛ позволяет на 50 % увеличить межремонтный период тележек грузовых вагонов железнодорожного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kazakov A.A., Kiselev D.V. Industrial Application of Thixomet Image Analyzer for Quantitative Description of Steel and Alloys // *Microstructure. Microscopy and Microanalysis*. 2015. V. 21. № 3. P. 457–458. DOI: 10.1017/S1431927615003086.
- Kazakov A.A., Ryaboshuk S.V., Lyubochko D.A., Chigintsev L.S. Research on the Origin of Non-metallic Inclusions in High-Strength Low-Alloy Steel Using Automated Feature Analysis. // *Microscopy and Microanalysis*. 2015. V. 21. № 3. P. 1755–1756. DOI: 10.1017/S1431927615009551.
- G. Vander Voort, O. Pakhomova and A. Kazakov. Evaluation of Normal Versus Non-Normal Grain Size Distributions : *Materials Performance and Characterization* 5. No. 5 (2016). 521–534. <https://doi.org/10.1520/MPC20160001>.
- Kazakov A., Kovalev S., Ryaboshuk S. Metallurgical expertise as the base for determination of nature of defects in metal products // *CIS Iron and Steel Review*. 2012. DOI: 10.13140/RG.2.1.4675.3688.
- Kazakov A., Lyubochko D. Nonmetallic Inclusions and Acicular Ferrite in Arc Welds of Pipeline Steels // *Microscopy and Microanalysis*. 2015. V. 21. № 3. P. 1749–1750.
- Kazakov A., Kiselev D. Industrial Application of Thixomet // *Metallography, Microstructure and Analysis*. 2016. P. 294–301. DOI 10.1007/s13632-016-0289-6.
- ASM Handbook, Volume 9: *Metallography and Microstructures*. P. 493–512 DOI : 10.1361/asmhba0003752.
- Беккерт М., Клемм Х. Способы металлографического травления : справ. изд. ; пер. с нем. , 2-е изд., перераб. и доп. М. : Металлургия, 1988. 400 с.
- Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. М. : Металлургия. 1988. 320 с.
- Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Гурьев М.А., Романенко В.В. Особенности методики подготовки образцов для автоматического анализа карбидной фазы стали Х12Ф1 после цементации в вакууме с применением программного комплекса "ThixometPro" // *Ползуновский вестник*. 2020. № 2. С. 165–168.
- Гурьев А.М., Гурьев М.А., Земляков С.А., Иванов С.Г. Выявление особенностей морфологии и фазового состава сталей методами специального металлографического травления. В кн.: *Эволюция дефектных структур в конденсированных средах. Сборник тезисов XVI Международной школы-семинара / Под ред. М.Д. Старостенкова*. 2020. С. 83–84.
- Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Гурьев М.А. Методика пробоподготовки образцов высоколегированных сталей для автоматического анализа карбидной фазы // *Ползуновский вестник*. 2020. № 3. С. 102–105.
- Vander Voort G.F. *Materials characterization*. 1991. № 27. P. 241–260. DOI: 10.1016/1044-5803(91)90040-V.
- Габец А.В., Гавриков Д.В. Совершенствование конструкции подклиновой пружины узла гашения колебаний тележки грузового вагона средствами 3D-моделирования // *Инженерный вестник Дона*, 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2015/3450.
- Фрикционный клин тележки железнодорожного вагона : пат. 194823 Рос. Федерация. № 2019133574; заявл. 22.10.2019; опубл. 24.12.2019.
- CAD-модель концепта фрикционного клина тележки грузового вагона: свидетельство: 2020619875 Рос. Федерация. № 2020618630; заявл. 06.08.2020; опубл. 25.08.2020.
- Сухов А.В., Борщ Б.В., Габец А.В. Оценка фрикционных свойств в парах трения клинового гасителя колебаний тележки грузового вагона // *Вестник ВНИИЖТ*. 2015. № 2. С. 32–37.
- Письменный Е.А., Габец А.В., Марков А.М., Габец Д.А. Разработка и расчет на прочность новой конструкции фрикционного клина узла гашения колебания тележки грузового вагона // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 5. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazinearchive/N5y2020/6485>.
- Габец Д.А., Марков А.М. Исследование влияния легирующих элементов на структуру и свойства серых чугунов, работающих в условиях ударно-фрикционного износа // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2019. Т. 21. № 1. С. 70–81. doi:10.17212/1994-6309-2019-21.1-70-81.
- Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугунов и стали. М. : «Металлургия», 1986.
- Комаров, О.С., Розенберг Е.В., Урбанович Н.И. Особенности модифицирования различных типов железоуглеродистых сплавов // *Литье и металлургия*. 2015. № 2 (79). С. 24–28.
- Луценко В.А., Голубенко Т.Н., Луценко О.В., Козачек А.С., Глазунова Н.А. Влияние химического состава на механические свойства легированной стали // *Литье и металлургия*. 2018. №1 (90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-himicheskogo-sostava-na-mehaniicheskie-svoystva-legirovannoy-stali>

(дата обращения: 02.09.2020).

23. Чигарев В.В., Рассохин Д.А., Лоза А.В. Изменение структуры и свойств литого металла легированием в отливках из чугуна и стали // *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки*. 2010. Вип. 21. С. 61–66.

Информация об авторах

Е. А. Письменный – аспирант Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. М. Марков – доктор технических наук, ректор, профессор кафедры «Технология машиностроения» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Kazakov, A.A. & Kiselev, D.V. (2015). Industrial Application of Thixomet Image Analyzer for Quantitative Description of Steel and Alloys. *Microstructure, Microscopy and Microanalysis*, 21(3), 457-458. DOI: 10.1017/S1431927615003086.
2. Kazakov, A.A., Ryaboshuk, S.V., Lyubochko, D.A. & Chigintsev, L.S. (2015). Research on the Origin of Nonmetallic Inclusions in High-Strength Low-Alloy Steel Using Automated Feature Analysis. *Microscopy and Microanalysis*, 21(3), 1755-1756. DOI: 10.1017/S1431927615009551.
3. Vander Voort, G., Pakhomova, O. & Kazakov, A. (2016). Evaluation of Normal Versus Non-Normal Grain Size Distributions. *Materials Performance and Characterization*, 5(5), 521-534. <https://doi.org/10.1520/MPC20160001>.
4. Kazakov, A., Kovalev, S. & Ryaboshuk, S. (2012). Metallurgical expertise as the base for determination of nature of defects in metal products. *CIS Iron and Steel Review*. DOI: 10.13140/RG.2.1.4675.3688.
5. Kazakov, A. & Lyubochko, D. (2015). Nonmetallic Inclusions and Acicular Ferrite in Arc Welds of Pipeline Steels. *Microscopy and Microanalysis*, V. 21(3), 1749-1750.
6. Kazakov, A. & Kiselev, D. (2016). Industrial Application of Thixomet. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, P. 294-301. DOI 10.1007/s13632-016-0289-6.
7. Vander Voort, G.F. (2004). ASM Handbook. *Metallography and Microstructures*, (9), 493-512. DOI: 10.1361/asmhba0003752.
8. Bekkert, M. & Klemm X. (1988). Methods of metallographic etching. Moscow: Metallurgiya. (In Russ.).
9. Vashul', H. (1988). Practical metallography. Methods for making samples. Moscow: Metallurgiya. (In Russ.).
10. Ivanov, S.G., Gur'ev, A.M., Zemlyakov, S.A., Gur'ev, M.A. & Romanenko, V.V. (2020). Specific features of the sample preparation technique for automatic analysis of the carbide phase of H12F1 steel after carburizing in vacuum using the "Thixomet Pro" software package. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 165-168. (In Russ.).
11. Gur'ev, A.M., Gur'ev, M.A., Zemlyakov, S.A. & Ivanov, S.G. (2020). Revealing the features of the morphology and phase composition of steels by methods of

special metallographic etching. *Evoluciyadeфекtny-hstruktur v kondensirovannyhsredah. Sbornik tezisov XVI Mezhdunarodnoy shkoly-seminara. Pod red. M.D. Starostenkova*. P. 83-84. (In Russ.).

12. Ivanov, S.G., Gur'ev, A.M., Zemlyakov, S.A. & Gur'ev, M.A. (2020). Sample preparation technique for high-alloy steel samples for automatic analysis of the carbide phase. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 102-105. (In Russ.).

13. Vander Voort, G.F. (1991). Computer-aided microstructural analysis of specialty steels. *Materials characterization*, 27(4), 241-260. DOI: 10.1016/1044-5803(91)90040-B.

14. Gabec, A.V., Gavrikov, D.V. (2015). Improvement of the sub-wedge spring design of the vibration damping unit of a freight car bogie by means of 3D modeling. *Inzhenerny vestnik Dona*, (4), URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2015/3450.

15. Friction wedge of railway carriage bogie. (2019). *Pat. 194823 Russian Federation*, publ. 24.12.2019. (In Russ.).

16. CAD-model of the concept of a friction wedge of a freight car bogie: svidetel'stvo. (2020). *Pat. 2020619875. Russian Federation*. Publ. 25.08.2020. (In Russ.).

17. Suhov, A.V., Borshch, B.V. & Gabec, A.V. (2015). Evaluation of frictional properties in friction pairs of a wedge damper for a freight car bogie. *Vestnik VNIIZHT*, (2), 32-37. (In Russ.).

18. Pismennyj, E.A., Gabec, A.V., Markov, A. M. & Gabec, D.A. (2020). Development and strength calculation of a new design of a friction wedge of a vibration damping unit for a freight car bogie. *Inzhenerny vestnik Dona*, (5), URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/N5y2020/6485>. (In Russ.).

19. Gabec, D.A. & Markov, A.M. (2019). Study of the influence of alloying elements on the structure and properties of gray cast irons operating under shock-friction wear. *Obrabotkametallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)*, 21(1), 70-81. doi:10.17212/1994-6309-2019-21.1-70-81. (In Russ.).

20. Gol'dshtejn, YA.E. & Mizin, V.G. (1986). Modification and microalloying of cast iron and steel. Moscow: Metallurgiya. (In Russ.).

21. Komarov, O.S., Rozenberg, E.V. & Urbanovich, N.I. (2015). Features of modification of various types of iron-carbon alloys. *Lit'eimetalurgiya*, 2 (79), 24-28. (In Russ.).

22. Lucenko, V.A., Golubenko, T.N., Lucenko, O.V., Kozachek, A.S. & Glazunova, N.A. (2018). Effect of chemical composition on the mechanical properties of alloy steel. *Lit'yoimetalurgiya*, 1(90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-himicheskogo-sostava-na-mehaniicheskie-svoystva-legirovannoy-stali>. (In Russ.).

23. Chigarev, V.V., Rassohin, D.A. & Loza, A.V. (2010). Changes in the structure and properties of cast metal by alloying in cast iron and steel castings. *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Tekhnichninauki*, (21), 61-66.

Information about the authors

E. A. Pismenny – graduate student of the Polzunov Altai State Technical University.

A. M. Markov – Doctor of Technical Sci., Rector, Professor of the Department of TM, Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 01.05.2021; одобрена после рецензирования 24.05.2021; принята к публикации 28.05.2021.

The article was submitted to the editorial board on 01 May 21; approved after review on 24 May 21; accepted for publication on 28 May 21.