

Оригинальная статья / Original article

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-44-60>

Исследование элементного состава компонентов резцов дорожной фрезы методом рентгенофлуоресцентного анализа

Л. П. Кузнецова¹ ✉, К. Ю. Кузнецов¹, В. И. Колмыков¹, Б. А. Семенихин¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: lubakk8@list.ru

Резюме

Цель. Установление элементного и количественного состава компонентов резцов дорожной фрезы, используемых в качестве рабочих органов при фрезеровании дорожного покрытия, методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Методы. Для установления химического состава сплавов – компонентов резцов дорожной фрезы были исследованы резцы WIRTGENW6/20X и их отечественный аналог КЗТС А6/20. Для исследования элементного состава компонентов резцов дорожной фрезы был выбран рентгенофлуоресцентный метод. Этот метод, основанный на взаимодействии рентгеновского излучения с анализируемым веществом, является наиболее результативным и эффективным методом анализа, который позволяет за минимальный период времени получить полную и достоверную информацию об элементном составе сложных образцов без их разрушения с сохранением всех физико-химических свойств, а также без использования эталонного образца. Метод построен на корреляции интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. В результате облучения образца потоком рентгеновского излучения создается характерное излучение атомов, которое соразмерно их концентрации в образце. С помощью экспресс-анализатора металлов и сплавов – спектрометра Niton GOLDD были получены экспериментальные данные о составе компонентов резцов дорожной фрезы.

Результаты. В ходе исследования было выявлено, что компоненты резцов изготавливают из следующих сплавов:

1. Резец WIRTGENW6/20X:

- наконечник из твердого спеченного сплава ВК8;
- корпус из конструкционной легированной стали 32Г2;
- пружинная гильза из конструкционной углеродистой стали 08пс;
- шайба из конструкционной углеродистой качественной стали 60.

2. Резец КЗТС А6/20:

- наконечник из твердого спеченного сплава ВК8;
- корпус из конструкционной легированной стали 38ХВ;
- пружинная гильза из конструкционной углеродистой качественной стали 40;
- шайба из конструкционной легированной стали 45Г.

Заключение. Полученные результаты исследований могут быть использованы для разработки процессов упрочнения и восстановления резцов дорожных фрез.

Ключевые слова: дорожная фреза; резец; металл; сплав; рентгенофлуоресцентный метод.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Кузнецова Л. П., Кузнецов К. Ю., Колмыков В. И., Семенихин Б. А., 2023

Для цитирования: Исследование элементного состава компонентов резцов дорожной фрезы методом рентгенофлуоресцентного анализа / Л. П. Кузнецова, К. Ю. Кузнецов, В. И. Колмыков, Б. А. Семенихин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 3. С. 44–60. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-44-60>.

Поступила в редакцию 14.07.2023

Подписана в печать 17.08.2023

Опубликована 29.09.2023

Investigation of the Elemental Composition of Components of the Cutters of a Cold Miller by the Method of X-Ray Fluorescence Analysis

Lyubov P. Kuznetsova¹ ✉, Konstantin Yu. Kuznetsov¹, Valeriy I. Kolmykov¹, Boris A. Semenikhin¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: lubakk8@list.ru

Abstract

Purpose. Establishment of the elemental and quantitative composition of alloys - components of road milling cutters, which are used as working bodies for milling the road surface, by X-ray fluorescence analysis.

Methods. To establish the chemical composition of alloys - components of cutters of a road milling cutter, WIRTGENW6/20X cutters and their domestic counterpart KZTS A6/20 were studied. The X-ray fluorescence method was chosen to study the elemental composition of the components of the road milling cutters. This method, based on the interaction of X-ray radiation with the analyzed substance, is the most effective and efficient method of analysis, which allows obtaining complete and reliable information about the elemental composition of complex samples in a minimum period of time without destroying them, while maintaining all the physicochemical properties, as well as without using a reference sample. The method is based on the correlation between the X-ray fluorescence intensity and the element concentration in the sample. As a result of irradiating the sample with an X-ray flux, a characteristic emission of atoms is created, which is proportional to their concentration in the sample. With the help of an express analyzer of metals and alloys - the Niton GOLDD spectrometer, experimental data were obtained on the composition of alloys - components of cutters of a road milling machine.

Results. During the study, it was revealed that the components of the cutters are made from the following alloys:

1. Cutter WIRTGEN W6/20X:
 - tip made of hard sintered alloy VK8;
 - housing made of structural alloyed steel 32G2;
 - spring sleeve of the cutter made of structural carbon steel 08ps;
 - washer made of structural quality carbon steel 60.
2. Cutter KZTS A6/20:
 - tip made of hard sintered alloy VK8;
 - housing made of structural alloyed steel 38XV;
 - spring sleeve made of structural quality carbon steel 40;
 - washer made of structural alloyed steel 45G.

Conclusion. The obtained research results can be used for subsequent processes of hardening or restoration of cutters of road milling machines.

Keywords: road milling cutter; cutter; metal; alloy; X-ray fluorescence method.

Conflict of interest: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication.

For citation: Kuznetsova L. P., Kuznetsov K. Yu., Kolmykov V. I., Semenikhin B. A. Investigation of the Elemental Composition of Components of the Cutters of a Cold Miller by the Method of X-Ray Fluorescence Analysis. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2023; 13(3): 44–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-13-3-44-60>

Received 14.07.2023

Accepted 17.08.2023

Published 29.09.2023

Введение

В процессе эксплуатации и под влиянием погодных-климатических факторов покрытия автомобильных дорог и улиц изнашиваются, возникают дефекты, деформации, разрушения, а также снижается уровень их грузоподъемности. Для обеспечения требований профиля базовой поверхности дорожного полотна используются машины и оборудование для дорожного строительства и обслуживания дорог, в частности дорожные фрезы. В результате работы дорожной фрезы в зависимости от применяемого фрезерного барабана (с определенным количеством и расположением резцов) получают качественную ровную поверхность с заданной шероховатостью, что дает возможность максимального сцепления с новым дорожным покрытием [1, с. 146].

Фрезерование асфальтобетонного покрытия происходит при высоких скоростях движения резца вокруг своей оси, который крепится в резцедержателе на фрезерном барабане. Дорожные фрезы в условиях абразивного изнашивания и нагрева резцов подвергаются значительному износу в зоне режущей части инструмента, поэтому возникает необходимость в периодической замене резцов из-за относительно малого срока их службы [2, с. 226; 3, с. 63].

Эксплуатационная надежность резцов, а также их качество играет определяющую роль в процессе удаления слоя деформированного асфальтобетона, поэтому возникает необходимость в посто-

янном мониторинге поверхности резцов и, при определенном уровне износа, их замене [4, с. 151; 5, с. 229; 6, с. 204].

К резцам дорожной фрезы предъявляются достаточно строгие требования, связанные с усталостной прочностью, поэтому их изготавливают из высококачественных сталей, легированных марганцем и хромом. Для увеличения эксплуатационного ресурса резцы дополняют конусообразными твердосплавными наконечниками, припаиваемыми к корпусу. Для того чтобы проводить изыскания в области упрочнения и восстановления резцов дорожной фрезы, необходимо знать состав или марки сплавов, из которых изготовлены компоненты резца [7, с. 23; 8, с. 198; 9, с. 169; 10, с. 110].

Целью исследования является установление элементного и количественного состава компонентов резца дорожной фрезы WIRTGENW6/20X и его отечественного аналога КЗТС А6/20, используемых в качестве рабочего органа при фрезеровании дорожного покрытия, методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Материалы и методы

С целью определения химического состава компонентов резцов дорожной фрезы были проанализированы резцы WIRTGENW6/20X немецкого производства (рис. 1, а) и его отечественный аналог КЗТС А6/20 Кировоградского завода твердых сплавов (рис. 1, б), предварительно отшлифованные и обезжиренные.



Рис. 1. Резцы дорожной фрезы до и после обработки: а – WIRTGENW6/20X; б – КЗТС А6/20

Fig. 1. Road milling cutters before and after processing: а – WIRTGENW6/20X; б – KZTS A6/20

Основными компонентами резца дорожной фрезы являются (рис. 2, а, б):

- наконечник резца – максимально нагруженная часть резца с твердосплавной вставкой;
- припой – элемент, соединяющий наконечник резца и корпус резца;

– корпус резца, состоящий из головки и хвостовика;

– пружинная втулка, обеспечивающая вращение резца вокруг своей оси в процессе эксплуатации;

– шайба, удерживающая хвостовик резца в резцедержателе [11, с. 44; 12, с. 208].

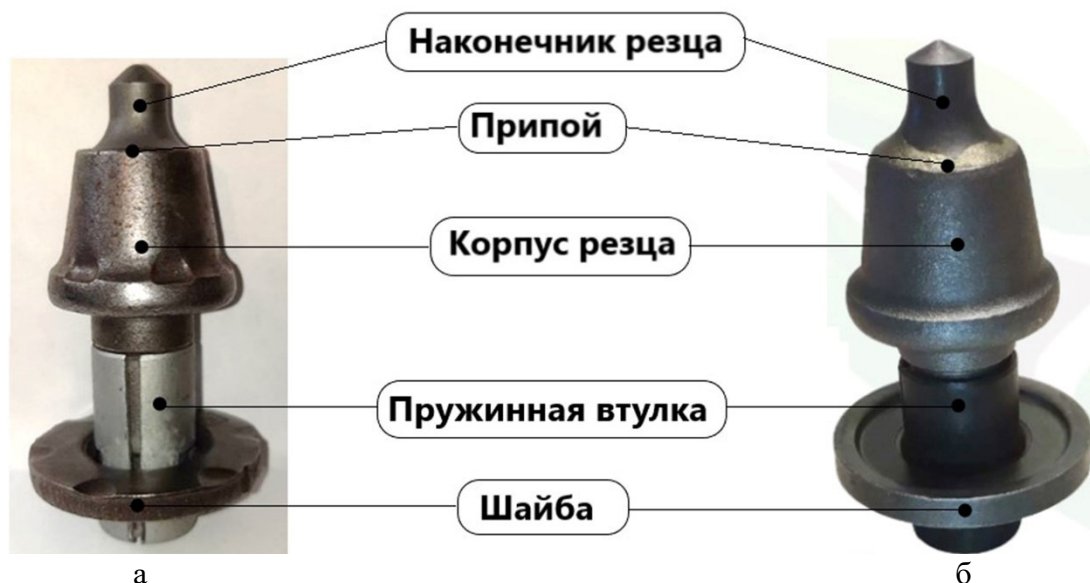


Рис. 2. Компоненты резца дорожной фрезы: а – WIRTGENW6/20X; б – КЗТС А6/20

Fig. 2. Components of the road milling cutter: а – WIRTGENW6/20X; б – KZTS A6/20

При исследовании химического состава компонентов резцов был использован рентгенофлуоресцентный анализ, ко-

торый относится к физическим методам элементарного экспресс-анализа состава исследуемых образцов с возможностью

одновременного определения качественного и количественного содержания элементов [13, с. 30; 14, с. 64].

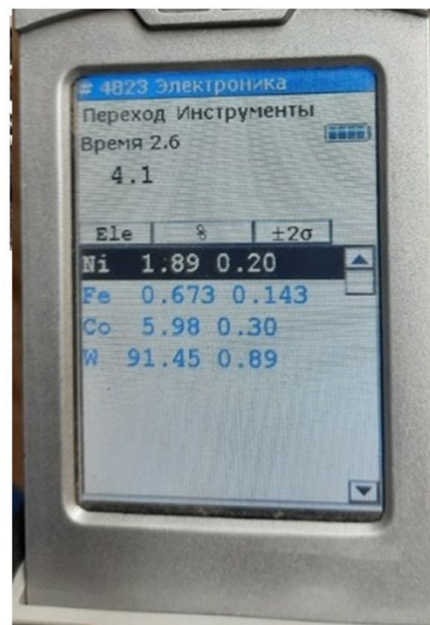
Методика исследования построена на анализе индивидуального спектра вторичного флуоресцентного излучения пробы образца, возникающего при облучении рентгеновским излучением. Спектральный состав излучения отражает элементный состав образца, т. к. атомы элементов имеют свои линии, присущие данному

элементу. Наличие в спектре характерных линий показывает качественный состав образца, а интенсивность этих линий определяет концентрацию вещества [15, с. 1666; 16, с. 25].

С помощью экспресс-анализатора металлов и сплавов – спектрометра Niton GOLDD (рис. 3) получены экспериментальные данные о составе компонентов резцов дорожной фрезы [17, с. 93].



а



б

Рис. 3. Процедура анализирования состава компонентов резцов дорожной фрезы: а – внешний вид спектрометра Niton GOLDD; б – результаты измерений

Fig. 3. The procedure for analyzing the composition of the components of the road milling cutters: а – the appearance of the Niton GOLDD spectrometer; б – measurement results

Экспресс-анализатор металлов и сплавов является исследовательским разведывательным прибором, основная цель которого – устанавливать химический состав исследуемых образцов. Возможность определения не только качественного, но и количественного состава химических элементов в образце является одним из преимуществ экспресс-анализатора. Диаметр пятна измерения составляет всего 3 мм, что позволяет производить точечные прицельные измерения отдельных

участков образцов, вкраплений, участков металлизации, сварных швов [18, с. 9].

Решающим фактором для применения экспресс-анализатора является то, что используемый метод является наиболее результативным и эффективным методом анализа, который позволяет за минимальный период времени получить полную и достоверную информацию об элементном составе сложных образцов без их разрушения с сохранением всех физико-хими-

ческих свойств, а также без использования эталонного образца.

Точечные измерения зачищенной поверхности компонентов резцов дорожной фрезы выполнялись не менее 5 раз.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные данные о составе сплавов наконечников резцов дорожной фрезы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования наконечников резцов дорожной фрезы

Table 1. The results of the study of the tip of the incisors of the road milling cutter

Химический элемент Chemical element	Процентный состав, % Percentage composition, %					Погрешность измерения, $\pm 2\delta$ Measurement error, $\pm 2\delta$
WIRTGEN W6/20X						
Ni	0,517	0,512	0,401	0,502	0,426	0,116
Fe	0,86	0,82	0,76	0,88	0,94	0,18
Co	6,36	6,79	6,58	6,56	6,62	0,43
W	92,19	91,62	92,21	92,03	91,93	0,59
Σ	99,927	99,742	99,951	99,972	99,916	
K3TC A6/20 KZTS A6/20						
Ni	1,89	1,52	1,49	1,48	1,72	0,41
Fe	0,673	0,539	0,501	0,548	0,531	0,172
Co	5,98	6,29	6,17	6,33	6,35	0,37
W	91,45	91,65	91,82	91,64	91,38	0,44
Σ	99,993	99,999	99,981	99,998	99,981	

Сопоставление экспериментально полученного состава сплава с теоретическим

составом сплава ВК8 представлено в таблице 2.

Таблица 2. Сопоставление экспериментального состава сплава с теоретическим ВК8

Table 2. Comparison of the experimental composition of the alloy with the theoretical VK8

Химический элемент экспериментальный Chemical element experimental	Процентный состав, % Percentage composition, %	Химический элемент теоретический Chemical element theoretical	Процентный состав, % Percentage composition, %
Основные элементы наконечника резцов Essential elements incisor tip			
W	92,19	W	91,7
Co	6,36	Co	7,4–8
Σ	98,55	Σ	[99,1; 99,7]
Примеси наконечника резцов Impurities incisor tip			
Fe	0,86	Fe	до 0,3
Ni	0,517	O	до 0,4
		C	до 0,6
Σ	1,38	Σ	1,3

В результате сравнения полученных данных по элементарному составу наконечников резцов с ГОСТ 3882–74 выявлено, что наконечники обоих резцов изготовлены из твердого спеченного сплава ВК8, но также были установлены и различия, связанные с примесями. Связано это

с тем, что при исследовании был учтен припой, соединяющий наконечник и корпус резца, в котором присутствует никель [19, с. 291; 20, с. 265].

Экспериментальные данные о составе сплавов корпусов резцов дорожной фрезы представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты исследования корпусов резцов дорожной фрезы

Table 3. The results of the study of the body of the cutters of the road milling cutter

Химический элемент Chemical element	Процентный состав, % Percentage composition, %					Погрешность измерения, ±2σ Measurement error, ±2σ
WIRTGEN W6/20X						
Cr	0,17	0,172	0,181	0,187	0,179	0,017
Mo	0,006	0,005	0,007	0,006	0,005	0,002
Mn	1,29	1,24	1,26	1,22	1,28	0,07
Fe	97,41	97,43	97,39	97,4	97,45	0,06
Cu	0,041	0,058	0,051	0,048	0,044	0,017
W	0,146	0,131	0,123	0,136	0,116	0,030
Pb	0,158	0,143	0,141	0,15	0,151	0,017
неметалл non-metal	0,755	0,744	0,75	0,759	0,751	0,015
Σ	99,976	99,923	99,903	99,906	99,976	
KZTS A6/20 KZTS A6/20						
Cr	1,09	1,17	1,21	1,17	1,03	0,18
Mo	0,019	0,017	0,021	0,023	0,015	0,008
Mn	0,670	0,656	0,649	0,668	0,635	0,035
Fe	96,25	96,19	96,48	96,43	96,17	0,31
Cu	0,119	0,121	0,129	0,118	0,151	0,032
Pb	0,035	0,038	0,024	0,022	0,021	0,017
Bi	0,017	0,016	0,017	0,016	0,017	0,001
неметалл non-metal	1,69	1,61	1,43	1,55	1,52	0,26
Σ	99,89	99,818	99,96	99,997	99,559	

Определение сплавов корпусов резцов осуществлялось с помощью марочника сталей и сплавов (рис. 4, а, б).

Таким же образом определялся сплав для корпуса резца КЗТС А6/20, которым

является сталь 38ХВ. Сопоставление экспериментально полученных составов сплавов с теоретическими для корпуса обоих резцов 32Г2 и 38ХВ представлено в таблице 4.

Поиск по химическому составу материала

Внимание!	Значение ДО вводить как НОЛЬ	Пример: поиск Fe ДО 5.3% вводить как	0	5.3	Fe
	Если нет MIN-MAX, число вводить в обе ячейки	Пример: поиск Fe = 5.3% вводить как	5.3	5.3	Fe

Область поиска все материалы

<input type="text"/>	Ag	<input type="text"/>	Al	<input type="text"/>	As	<input type="text"/>	B	<input type="text"/>	Be
<input type="text"/>	Bi	<input type="text"/>	C	<input type="text"/>	Ca	<input type="text"/>	Cd	<input type="text"/>	Ce
<input type="text"/>	Cl	<input type="text"/>	Co	<input type="text"/>	Cr	<input type="text"/>	Cu	<input type="text"/>	Fe
<input type="text"/>	H	<input type="text"/>	La	<input type="text"/>	Li	<input type="text"/>	Mg	<input type="text"/>	Mn
<input type="text"/>	Mo	<input type="text"/>	N	<input type="text"/>	Na	<input type="text"/>	Nb	<input type="text"/>	Nd
<input type="text"/>	Ni	<input type="text"/>	O	<input type="text"/>	P	<input type="text"/>	Pb	<input type="text"/>	S
<input type="text"/>	Sb	<input type="text"/>	Si	<input type="text"/>	Sn	<input type="text"/>	Ti	<input type="text"/>	V
<input type="text"/>	W	<input type="text"/>	Y	<input type="text"/>	Zn	<input type="text"/>	Zr	<input type="text"/>	PЗМ

Добавлены новые элементы

<input type="text"/>	Au	<input type="text"/>	Ba	<input type="text"/>	F	<input type="text"/>	Ga	<input type="text"/>	Hg
<input type="text"/>	In	<input type="text"/>	Ir	<input type="text"/>	Pd	<input type="text"/>	Pt	<input type="text"/>	Rh
<input type="text"/>	Se	<input type="text"/>	Ta	<input type="text"/>	Te	<input type="text"/>	Tl	<input type="text"/>	Ru
<input type="text"/>	Al+Mg	<input type="text"/>	Cu+P	<input type="text"/>	Ni+Co	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

а

Характеристика материала 32Г2

Марка :	32Г2
Классификация :	Сталь конструкционная легированная
Применение:	для изготовления трубной заготовки
Зарубежные аналоги:	Нет данных

Виды поставки материала 32Г2

-	ДСТУ 3-009-0;
---	---------------

**Химический состав в % материала 32Г2
ДСТУ 3-009 - 2000**

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.3 - 0.35	0.17 - 0.37	1.1 - 1.35	до 0.3	до 0.03	до 0.03	до 0.3	до 0.3

Механические свойства при T=20°C материала 32Г2 .

Сортамент	Размер	Напр.	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	KCU	Термообр.
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	-
Заготовка трубная, ДСТУ 3-009-2000			686	490	16	45	500	Закалка и отпуск

б

Рис. 4. Определение марки сталей и сплавов: а – интерфейс ввода численных элементов;
б – элементный состав искомого сплава

Fig. 4. Determining the grade of steels and alloys: а – interface for entering numerical elements;
б – elemental composition of the desired alloy

Таблица 4. Сопоставление экспериментального и теоретического состава сталей 32Г2 и 38ХВ**Table 4.** Comparison of experimental and theoretical composition of 32G2 and 38KhV steels

Химический элемент экспериментальный Chemical element experimental	Процентный состав, % Percentage composition, %	Химический элемент теоретический Chemical element theoretical	Процентный состав, % Percentage composition, %
Основные элементы: сталь 32Г2 (корпус резца WIRTGEN W6/20X) Main elements: steel 32G2 (tool body WIRTGEN W6/20X)			
Fe	97,41	Fe	Не менее 96,8
Mn	1,29	Mn	1,1–1,35
Σ	98,7	Σ	[97,9; 98,2]
Примеси: сталь 32Г2 (корпус резца WIRTGEN W6/20X) Impurities: steel y 32G2 (tool body WIRTGEN W6/20X)			
Cu	0,041	Cu	до 0,3
Cr	0,17	Cr	до 0,3
W	0,146	Ni	до 0,3
Pb	0,158	P	0,03
Mo	0,006	S	0,03
неметалл non-metal	0,755	C	0,3-0,35
		Si	0,17–0,37
Σ	1,27	Σ	[1,43; 1,68]
Основные элементы: сталь 38ХВ (корпус резца КЗТС А6/20) Main elements: steel 38XV (KZTS A6/20 cutter body)			
Fe	96,25	Fe	Не менее 95,9
Cr	1,09	Cr	0,9–1,3
Mn	0,670	Mn	0,35–0,65
Σ	98,01	Σ	[97,15; 97,85]
Примеси: сталь 38ХВ (корпус резца КЗТС А6/20) Impurities: steel 38HV (KZTS A6/20 cutter body)			
Cu	0,119	Cu	до 0,3
Pb	0,035	Ni	до 0,3
Mo	0,019	P	0,03
Bi	0,017	W	0,5
неметалл non-metal	1,69	S	0,035
		C	0,35–0,45
		Si	0,17–0,3
Σ	1,88	Σ	[1,69; 1,92]

Экспериментальные данные о составе сплавов пружинной гильзы обоих рез-

цов дорожных фрез представлены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты исследования состава пружинной гильзы резцов дорожных фрез**Table 5.** The results of the study of the spring sleeve of the cutters of the road milling cutter

Химический элемент Chemical element	Процентный состав, % Percentage composition, %					Погрешность измерения, ±2δ Measurement error, ±2δ
WIRTGEN W6/20X						
Cr	0,201	0,165	0,173	0,162	0,164	0,039
Mo	0,027	0,029	0,023	0,024	0,031	0,008
Mn	0,563	0,578	0,508	0,501	0,522	0,077
Ti	0,13	0,173	0,138	0,132	0,154	0,043
Fe	94,84	94,98	95,05	94,99	95,02	0,21
Zn	4,06	3,99	3,84	3,94	4,01	0,22
Pb	0,038	0,028	0,032	0,021	0,02	0,018
Bi	0,008	0,008	0,005	0,007	0,005	0,003
Σ	99,867	99,951	99,769	99,777	99,926	
K3TC A6/20 KZTS A6/20						
Ni	0,165	0,175	0,194	0,183	0,169	0,029
Cr	0,213	0,211	0,228	0,217	0,213	0,017
Mn	0,620	0,632	0,624	0,626	0,622	0,006
Fe	97,64	97,65	97,69	97,68	97,66	0,04
Pb	0,048	0,038	0,034	0,044	0,037	0,014
Bi	0,014	0,016	0,018	0,017	0,014	0,004
неметалл non-metal	1,29	1,25	1,21	1,23	1,26	0,08
Σ	99,99	99,972	99,998	99,997	99,975	

Исследование состава пружинной гильзы резца WIRTGEN W6/20X показало наличие в стали цинка в количестве 4,06%, это говорит об использовании на поверхности цинкового покрытия, которое частично осталось после зачистки образцов. С помощью марочника сталей и сплавов сравнили полученные результаты и определили сталь 08пс, предназначенную для изготовления втулок, а для об-

разца K3TC A6/20 с помощью марочника сталей и сплавов определили сталь 40 [19; 20].

Сопоставление экспериментально полученных составов сплавов с теоретическими для пружинной гильзы обоих резцов представлено в таблице 6.

Экспериментальные данные о составе сплавов шайб обоих резцов дорожной фрезы представлены в таблице 7.

Таблица 6. Сопоставление экспериментального и теоретического составов сталей 08пс и 40**Table 6.** Comparison of experimental and theoretical composition of steels 08ps and 40

Химический элемент экспериментальный Chemical element experimental	Процентный состав, % Percentage composition, %	Химический элемент теоретический Chemical element theoretical	Процентный состав, % Percentage composition, %
Основные элементы: сталь 08пс (пружинная гильза резца WIRTGEN W6/20X) Main elements: steel 08ps (spring sleeve of the WIRTGEN W6/20X cutter)			
Fe	94,84	Fe	98,3
Mn	0,563	Mn	0,35–0,6
Zn	4,06		
Σ	99,46	Σ	[98,65; 98,9]
Примеси: сталь 08пс (пружинная гильза резца WIRTGEN W6/20X) Impurities: steel 08ps (spring sleeve of the WIRTGEN W6/20X cutter)			
Cr	0,201	Cr	до 0,1
Ti	0,13	Cu	до 0,3
Pb	0,038	Ni	до 0,3
Mo	0,027	C	0,05–0,11
Bi	0,008	Si	0,05–0,17
		S	0,04
		P	0,035
		As	0,08
Σ	0,41	Σ	[0,96; 1,14]
Основные элементы: сталь 40 (пружинная гильза резца КЗТС А6/20) Main elements: steel 40 (spring sleeve of the cutter KZTS A6/20)			
Fe	97,64	Fe	от 97,4
Mn	0,620	Mn	0,5ч0,8
Σ	98,26	Σ	[97,90; 98,2]
Примеси: сталь 40 (пружинная гильза резца КЗТС А6/20) Impurities: steel 40 (spring sleeve cutter KZTS A6/20)			
Cr	0,213	Cr	до 0,25
Ni	0,165	Ni	до 0,3
Pb	0,048	Cu	до 0,3
Bi	0,014	C	0,37–0,45
неметалл non-metal	1,29	Si	0,17–0,37
		S	до 0,04
		P	до 0,035
		As	до 0,08
Σ	1,73	Σ	[1,54; 1,83]

Таблица 7. Результаты исследования шайб резцов дорожной фрезы**Table 7.** The results of the study of the washer of the cutters of the road milling cutter

Химический элемент Chemical element	Процентный состав, % Percentage composition, %					Погрешность измерения, ±2δ Measurement error, ±2δ
WIRTGEN W6/20X						
Ni	0,293	0,296	0,302	0,299	0,283	0,019
Cr	0,249	0,251	0,253	0,245	0,246	0,008
Mo	0,028	0,027	0,026	0,029	0,025	0,004
Mn	0,806	0,784	0,789	0,804	0,797	0,022
Fe	97,86	97,99	97,77	98,02	97,94	0,25
Cu	0,303	0,277	0,285	0,279	0,288	0,026
Zn	0,093	0,110	0,091	0,105	0,108	0,019
Bi	0,029	0,026	0,027	0,028	0,028	0,003
Σ	99,661	99,761	99,543	99,809	99,715	
K3TC A6/20 KZTS A6/20						
Cr	0,217	0,260	0,243	0,252	0,214	0,046
Mn	1,050	0,906	0,986	0,957	0,922	0,144
Fe	97,27	97,31	97,32	97,36	97,39	0,12
Zn	0,457	0,351	0,332	0,355	0,360	0,125
неметалл non-metal	0,980	1,071	1,056	1,068	1,064	0,091
Σ	99,984	99,898	99,937	99,992	99,95	

Используя марочник сталей и сплавов, определили сталь 60 для шайбы резца WIRTGEN W6/20X и сталь 45Г для шайбы резца КЗТС А6/20. Затем провели сопо-

ставление экспериментально полученных составов сплавов с теоретическими для шайб обоих резцов, которое представлено в таблице 8.

Таблица 8. Сопоставление экспериментального и теоретического состава сталей 60 и 45Г**Table 8.** Comparison of experimental and theoretical composition of steels 60 and 45G

Химический элемент экспериментальный Chemical element experimental	Процентный состав, % Percentage composition, %	Химический элемент теоретический Chemical element theoretical	Процентный состав, % Percentage composition, %
Основные элементы: сталь 60 (шайба резца WIRTGEN W6/20X) Main elements: steel 60 (wirth washer cutter WIRTGEN W6/20X)			
Fe	97,86	Fe	от 97
Mn	0,806	Mn	0,5-0,8
Σ	98,66	Σ	[97,5; 97,8]

Окончание табл. 8

Ending tabl. 8

Химический элемент экспериментальный Chemical element experimental	Процентный состав, % Percentage com- position, %	Химический элемент теоретический Chemical element theoretical	Процентный состав, % Percentage composition, %
Примеси: сталь 60 (шайба резца WIRTGEN W6/20X) Admixtures: steel 60 (cutter washer WIRTGEN W6/20X)			
Cr	0,249	Cr	до 0,25
Cu	0,303	Cu	до 0,3
Ni	0,293	Ni	до 0,3
Zn	0,093	C	0,57–0,65
Bi	0,029	Si	0,17–0,37
Mo	0,028	S	до 0,04
		P	до 0,35
		As	до 0,08
Σ	0,995	Σ	[1,98; 2,34]
Основные элементы: сталь 45Г (шайба резца КЗТС А6/20) Main elements: steel 45G (cutter washer KZTS A6/20)			
Fe	97,27	Fe	от 97,2
Mn	1,05	Mn	0,7–1,0
Σ	98,32	Σ	[97,9; 98,2]
Примеси: сталь 45Г (шайба резца КЗТС А6/20) Impurities: steel 45G (cutter washer KZTS A6/20)			
Cr	0,217	Cr	до 0,3
Zn	0,457	Cu	до 0,3
неметалл non-metal	0,980	Ni	до 0,3
		C	0,42–0,50
		Si	0,17–0,37
		S	до 0,035
Σ	1,65	Σ	[1,53; 1,81]

Выводы

В ходе исследования было выявлено, что компоненты резцов дорожной фрезы изготавливают из следующих сплавов:

1. Резец WIRTGENW6/20X:

- наконечник из твердого спеченного сплава ВК8;
- корпус из конструкционной легированной стали 32Г2;
- пружинная гильза резца из конструкционной углеродистой стали 08пс;

– шайба из конструкционной углеродистой качественной стали 60.

2. Резец КЗТС А6/20:

- наконечник из твердого спеченного сплава ВК8;
- корпус из конструкционной легированной стали 38ХВ;
- пружинная гильза из конструкционной углеродистой качественной стали 40;
- шайба из конструкционной легированной стали 45Г.

Список литературы

1. Кузнецов К. Ю., Колмыков В. И. Машины и оборудование для строительства и обслуживания автомобильных дорог // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ – 2022): сборник научных статей 14-й Международной научно-технической конференции. Курск: Университетская книга, 2022. С. 146–150.
2. Исабек З. Р., Кадыров Ж. Н., Кочетков А. В. Совершенствование конструкций дорожных фрез для ремонта автомобильных дорог // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2020. № 4 (43). С. 266–268.
3. Мухторов А. М. Ё., Турғунбеков А. М. Ё. Исследование работоспособности дорожных фрез в условиях эксплуатации // Universum: технические науки. 2022. № 5-2 (98). С. 62–65.
4. Кузнецов К. Ю., Колмыков В. И. Дорожные фрезы, устройство и классификация // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ – 2022): сборник научных статей 14-й Международной научно-технической конференции. Курск: Университетская книга, 2022. С. 150–154.
5. Кузнецов К. Ю., Колмыков В. И., Кузнецова Л. П. Твердосплавные резцы для дорожной фрезы // Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК: сборник научных статей 14-й Международной научно-технической конференции. Курск: Университетская книга, 2023. С. 229–232.
6. Кузнецов К. Ю., Кузнецова Л. П. Износ резцедержателей дорожной фрезы // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: сборник научных статей Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2023. С. 203–208.
7. Осипов С. П., Школьный А. Н., Бида К. Б. Оценка экономической эффективности своевременной замены резцов дорожных фрез // Механизация строительства. 2014. № 9 (843). С. 22–25.
8. Качанов И. В., Шаталов И. М., Рубченя А. А. Моделирование процесса скоростного выдавливания биметаллических резцов для дорожных машин в среде программы DEFORM-3D // Наука и техника. 2018. Т. 17, № 3. С. 198–203.
9. Осипов С. П., Школьный А. Н., Бида К. Б. Оценка долговечности вращающихся резцов с износостойкими вставками произвольной формы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 5. С. 168–174.
10. Аскарходжаев Т. И., Пирнаев Ш. А. Роль дорожных фрез в технологии ремонта изношенного дорожного полотна // Транспорт шелкового пути. 2019. № 3–4. С. 109–120.
11. Рамазанов Г. Х. Износ инструмента дорожной фрезы и модели эффективности резания // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2023. № 1(139). С. 43–48.
12. Фурманов Д. В., Шамахов Л. М., Лысаков Н. Э. Влияние износа режущего элемента дорожной фрезы на силу сопротивления резанию асфальтобетона // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 2. С. 204–216.
13. Шеховцова Ю. С., Ролдугина В. А., Ермолаева Т. Н. Разработка методики рентгенофлуоресцентного анализа стартовых металлургических смесей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 4. С. 209–221.
14. Рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализ электроэрозионных порошковых материалов из отходов стали P18 / Н. Н. Карпенко, Р. А. Латыпов, Е. В. Агеева, В. Ю. Карпенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 23–38.
15. Validation of secondary fluorescence excitation in quantitative X-ray fluorescence analysis of thin alloy films / A. Wählich, C. Streeck, P. Hönicke, B. Beckhoffa // J. Anal. At. Spectrom. 2020. Vol. 35. P. 1664–1670. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ja/d0ja00171f>
16. Агеева Е. В., Поданов В. О., Воробьев Ю. С. Исследование химсостава жаропрочных сплавов методом рентгенофлуоресцентного анализа на примере турбинной лопатки // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 4. С. 35–47.

17. Полякова М. А., Босикова Е. Ю. Особенности применения рентгенофлуоресцентного анализа для определения состава материалов // Технологии металлургии, машиностроения и материалообработки. 2017. № 16. С. 92–98.
18. Агеева Е. В., Королев М. С., Воробьев Ю. С. Исследование элементного состава свинцово-сурьмянистых сплавов методом рентгенофлуоресцентного анализа // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 4. С. 8–21.
19. Об использовании нитроцементованной стали 30ХГТ для резцов дорожных фрез / В. И. Колмыков, Д. Н. Романенко, К. И. Абышев, С. П. Нефедьев, Р. Р. Дема // Современные проблемы сварочного производства: сборник научных трудов / под ред. М. А. Иванова, И. А. Ильина. Челябинск: Изд. Центр ЮУрГУ, 2016. С. 290–299.
20. Кириюшкина Н. А., Кузнецова В. Н. Повышение долговечности работы резцов дорожной фрезы // Актуальные проблемы науки и техники глазами молодых ученых: материалы Международной научно-практической конференции. Омск: Сиб. гос. автомобильно-дорожный ун-т (СИБАДИ), 2016. С. 264–267.

Reference

1. Kuznetsov K. Yu., Kolmykov V. I. Mashiny i oborudovanie dlya stroitel'stva i obsluzhivaniya avtomobil'nykh dorog [Machinery and equipment for the construction and maintenance of roads]. *Sovremennyye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (SAMIT – 2022). Sbornik nauchnykh statei 14-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Modern automotive materials and technologies (SAMIT – 2022). Collection article 14th international scientific and technical conference]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2022, pp. 146–150.
2. Isabek Z. R., Kadyrov Zh. N., Kochetkov A. V. Sovershenstvovanie konstruktssii dorozhnykh frez dlya remonta avtomobil'nykh dorog [Improving the design of road cutters for the repair of highways]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve = Technical regulation in transport construction*, 2020, vol. 4(43), pp. 266–268.
3. Mukhtorov A. M. Ÿ., Turgunbekov A. M. Ÿ. Issledovanie rabotosposobnosti dorozhnykh frez v usloviyakh ekspluatatsii [Study of the performance of road milling machines under operating conditions]. *Universum: tekhnicheskije nauki = Universum: technical sciences*, 2022, vol. 5-2(98), pp. 62–65.
4. Kuznetsov K. Yu., Kolmykov V. I. Dorozhnye frezy, ustroystvo i klassifikatsiya [Cold cutters, device and classification]. *Sovremennyye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (SAMIT – 2022). Sbornik nauchnykh statei 14-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Modern automotive materials and technologies (SAMIT – 2022). Collection article 14th international scientific and technical conference]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2022, pp. 150–154.
5. Kuznetsov K. Yu., Kolmykov V. I., Kuznetsova L. P. Tverdosplavnye reztsy dlya dorozhnoi frezy [Carbide cutters for road milling]. *Tekhnologii, mashiny i oborudovanie dlya proektirovaniya, stroitel'stva ob"ektov APK. Sbornik nauchnykh statei 14-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Technologies, machines and equipment for the design, construction of agro-industrial complex. Collection article 14th international scientific and technical conference]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2023, pp. 229–232.
6. Kuznetsov K. Yu., Kuznetsova L. P. Iznos reztsederzhatelei dorozhnykh frez [Wear of cutter holders for road milling cutters]. *Perspektivy razvitiya tekhnologii obrabotki i oborudovaniya v mashinostroenii. Sbornik nauchnykh statei Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Prospects for the development of processing technologies and equipment in mechanical engineering. Collection article All-Russian scientific and technical conference]. Voronezh, Voronezh St. Technical Univ. Publ., 2023, pp. 203–208.
7. Osipov S. P., Shkolny A. N., Bida K. B. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti svoevremennoi zameny reztsov dorozhnykh frez [Evaluation of the economic efficiency of the timely replacement of cutters for road milling cutters]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva = Construction mechanization*, 2014, no. vol. 9(843), pp. 22–25.

8. Kachanov I. V., Shatalov I. M., Rubchenya A. A. Modelirovanie protsessa skorostnogo vydavlivaniya bimetallicheskih reztsov dlya dorozhnykh mashin v srede programmy DEFORM-3D [Simulation of the process of high-speed extrusion of bimetallic cutters for road machines in the environment of the DEFORM-3D program]. *Nauka i tekhnika = Science and Technology*, 2018, vol. 17.3, pp. 198–203.
9. Osipov S. P., Shkolny A. N., Bida K. B. Otsenka dolgovechnosti vrashchayu-shchikh reztsov s iznosostoikimi vstavkami proizvol'noi formy [Evaluation of the durability of rotating cutters with wear-resistant inserts of arbitrary shape]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and of Architecture*, 2014, vol. 5, pp. 168–174.
10. Askarkhodzhaev T. I., Pirnaev Sh. A. Rol' dorozhnykh frez v tekhnologii remonta iznoshennogo dorozhnogo polotna [The role of road cutters in the technology of repairing a worn roadbed]. *Transport shelkovogo puti = Silk Road Transport*, 2019, vol. 3–4, pp. 109–120.
11. Ramazanov G. Kh. Iznos instrumenta dorozhnoi frezy i modeli effektivnosti rezaniya [Wear of a road milling tool and a model of cutting efficiency]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science-intensive technologies in mechanical engineering*, 2023, vol. 1(139), pp. 43–48.
12. Furmanov D. V., Shamakhov L. M., Lysakov N. E. Vliyanie iznosa rezhushchego elementa dorozhnoi frezy na silu soprotivleniya rezaniyu asfal'tobetona [Influence of wear of the cutting element of a road mill on the cutting resistance force of asphalt concrete]. *Vestnik SibADI = The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2023, vol. 20, no. 2, pp. 204–216.
13. Shekhovtsova Yu. S., Roldugina V. A., Ermolaeva T. N. Razrabotka metodiki rentgeno-fluorestscentnogo analiza startovykh metallurgicheskikh smesei [Development of a technique for X-ray fluorescence analysis of starting metallurgical mixtures]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 209–221.
14. Karpenko N. N., Latypov R. A., Ageeva E. V., Karpenko V. Yu. Rentgenospektral'nyi i rentgenostrukturnyi analiz elektroerozionnykh poroshkovykh materialov iz otkhodov stali R18 [X-ray spectral and X-ray diffraction analysis of electroerosive powder materials from R18 steel waste]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2022, vol. 12(3), pp. 23–38.
15. Wählich A., Streeck C., Hönicke P., Beckhoff B. Validation of secondary fluorescence excitation in quantitative X-ray fluorescence analysis of thin alloy films. *J. Anal. At. Spectrom.*, 2020, vol. 35, pp. 1664–1670. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ja/d0ja00171f>
16. Ageeva E. V., Podanov V. O., Vorobyov Yu. S. Issledovanie khimsostava zharoprochnykh splavov metodom rentgeno-fluorestscentnogo analiza na primere turbinnoi lopatki [Study of the chemical composition of heat-resistant alloys by X-ray fluorescence analysis on the example of a turbine blade]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2020, vol. 10(4), pp. 35–47.
17. Polyakova M. A., Bosikova E. Yu. Osobennosti primeneniya rentgeno-fluorestscentnogo analiza dlya opredeleniya sostava materialov [Features of the use of X-ray fluorescence analysis to determine the composition of materials]. *Tekhnologii metallurgii, mashinostroeniya i materialoobrabotki = Technologies of metallurgy, mechanical engineering and material processing*, 2017, vol. 16, pp. 92–98.
18. Ageeva E. V., Korolev M. S., Vorobyov Yu. S. Issledovanie elementnogo sostava svintsovo-sur'myanistykh splavov metodom rentgeno-fluorestscentnogo analiza [Investigation of the elemental composition of lead-antimony alloys by X-ray fluorescence analysis]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2020, vol. 10(4), pp. 8–21.
19. Kolmykov V. I., Romanenko D. N., Aбышев K. I., Nefediev S. P., Dema R. R. Ob ispol'zovanii nitrotsementovannoi stali 30KHGT dlya reztsov dorozhnykh frez [On the use of nitrocarburized steel 30KHGT for cutters of cold cutters]. *Sovremennye problemy svarochnogo proizvodstva. Sbornik nauchnykh trudov* [Modern problems of welding production. Collection of scientific papers]; ed. by M. A. Ivanova, I. A. Ilyin. Chelyabinsk, Izd. Centr YuURGU, 2016, pp. 290–299.
20. Kiryushkina N. A., Kuznetsova V. N. Povyshenie dolgovechnosti raboty reztsov dorozhnoi frezy [Increasing the durability of the cutters of a road mill]. *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki glazami mo-*

lodykh uchenykh. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Actual problems of science and technology through the eyes of young scientists. Materials of the International scientific-practical conference]. Omsk, Siberian St. Automobile and Highway Univ. Publ., 2016, pp. 264–267.

Информация об авторах / Information about the Authors

Кузнецова Любовь Петровна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: lubakk8@list.ru, ORCID: 0009-0004-1225-4021, Researcher ID: ISA-1332-2023, SPIN-код: 1503-1411

Кузнецов Константин Юрьевич, аспирант, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: Nightvol@yandex.ru, ORCID: 0009-0007-1186-1470, SPIN-код: 3203-2282

Колмыков Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kafedratmit@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4002-6785

Семенихин Борис Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: borisss@bk.ru, ORCID: 0009-0007-6997-1656, SPIN-код: 9355-7566

Lyubov P. Kuznetsova, Candidate of Sciences (Chemical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: lubakk8@list.ru, ORCID: 0009-0004-1225-4021, Researcher ID: ISA-1332-2023, SPIN-код: 1503-1411

Konstantin Yu. Kuznetsov, Post-Graduate Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: Nightvol@yandex.ru, ORCID: 0009-0007-1186-1470, SPIN-код: 3203-2282

Valery I. Kolmykov, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kafedratmit@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4002-6785

Boris A. Semnikhin, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: borisss@bk.ru, ORCID: 0009-0007-6997-1656, SPIN-код: 9355-7566