

# JOURNAL OF TRANSPORT



**ISSUE 3, 2025 vol. 2**  
**E-ISSN: 2181-2438**  
**ISSN: 3060-5164**



**RESEARCH, INNOVATION, RESULTS**



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**  
Tashkent state  
transport university



**JOURNAL OF TRANSPORT**  
RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

**E-ISSN: 2181-2438  
ISSN: 3060-5164**

**VOLUME 2, ISSUE 3  
SEPTEMBER, 2025**



jot.tstu.uz

# TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

## JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 3 SEPTEMBER, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

*Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University*

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

*Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University*

The “Journal of Transport” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at [jot@tstu.uz](mailto:jot@tstu.uz).

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

## Improvement of the strength properties of the restored wheel set rack using the chemical-thermal method of carbonitriding

**M.Z. Ubaydullaev<sup>1</sup>, R.R. Gizatulin<sup>1</sup>, E.I. Ruklinskaya<sup>1</sup>, U.D. Kosimov<sup>2</sup><sup>id</sup><sup>a</sup>**

<sup>1</sup>Branch of the National University of Science and Technology MISIS in the city of Almalyk, Almalyk, Uzbekistan

<sup>2</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:**

The article discusses existing methods for restoring wheel pair flanges, such as mechanical sharpening, slag surfacing, and plasma hardening, along with their advantages and disadvantages. Particular attention is paid to chemical-thermal hardening, in particular the carbonitriding process, as an effective way to increase the hardness and wear resistance of restored elements. Carbonitriding is a process in which carbon and nitrogen are applied to the surface of steel, resulting in the formation of a hardened layer that increases the strength and durability of parts without increasing the brittleness of the material.

A technology has been proposed for restoring the wheel pair crest followed by carbonitriding, which significantly improves the operational characteristics of the wheels. During the experiment, changes in hardness and microstructure after carbonitriding were investigated. The results showed an increase in the hardness of the restored samples, confirming the effectiveness of the proposed method. It is expected that the use of chemical-thermal hardening will significantly extend the service life of wheel sets, reduce the frequency of maintenance, and increase the reliability of transport operations.

This work may be useful for the development of new technologies for the restoration and strengthening of railway transport components, as well as for improving its economic efficiency and reliability at various stages of operation.

**Keywords:**

wheel pair, wheel rim, carbonitriding, chemical-thermal hardening, wear resistance, hardness

## **Повышение прочностных свойств восстановленного гребня колесной пары с помощью химико-термического метода карбонитрации**

**Убайдуллаев М.З.<sup>1</sup>, Гизатулин Р.Р.<sup>1</sup>, Руклинская Е.И.<sup>1</sup>, Косимов У.Д.<sup>2</sup><sup>id</sup><sup>a</sup>**

<sup>1</sup>АФ НИТУ «МИСИС» в г. Алматы, Алматы, Узбекистан

<sup>2</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Annotatsiya:**

В статье рассматриваются существующие методы восстановления гребня колесной пары, такие как механическая заточка, наплавка под шлаком и плазменное упрочнение, с их преимуществами и недостатками. Особое внимание уделено химико-термическому упрочнению, в частности процессу карбонитрации, как эффективному способу повышения твердости и износостойкости восстановленных элементов. Карбонитрация представляет собой процесс, в ходе которого на поверхность стали наносятся углерод и азот, что приводит к формированию упрочненного слоя, увеличивающего прочность и долговечность деталей без повышения хрупкости материала.

Предложена технология восстановления гребня колесной пары с последующим проведением карбонитрации, что позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики колес. В ходе эксперимента были исследованы изменения твердости и микроструктуры после карбонитрации. Результаты показали увеличение твердости восстановленных образцов, что подтверждает эффективность предложенной методики. Ожидается, что использование химико-термического упрочнения позволит существенно продлить срок службы колесных пар, снизить частоту технического обслуживания и повысить надежность транспортных операций.

Данная работа может быть полезна для разработки новых технологий восстановления и упрочнения компонентов железнодорожного транспорта, а также для повышения его экономической эффективности и надежности на различных этапах эксплуатации.

**Kalit so'zlar:**

стеклопластик, отверждение, кинетика нагрева, механизмы теплопередачи, конвекция, теплопроводность

## **1. Введение**

Современное железнодорожное сообщение является важной составляющей транспортной инфраструктуры,

особенно с учетом роста потребностей в перевозке промышленных товаров и материалов. Одним из ключевых элементов железнодорожных составов является колесная пара, которая подвергается

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0000-5681-524X>



интенсивному износу, особенно в ходе эксплуатации на крупных предприятиях, таких как горнодобывающие и обогатительные фабрики. Одним из наиболее уязвимых элементов колесной пары является реборда, который быстро изнашивается из-за постоянных нагрузок и воздействия высокой температуры, что требует применения технологий восстановления.

Самая оптимальная технология, которая включает в себя хорошую производительность, малый процент затрат на покупку и обустройство помещения, малую токсичность активных веществ, является карбонитрация. Карбонитрация – это процесс упрочнение поверхности стали с помощью расплава цианата калия ( $KOCN$ ) и соли карбоната калия ( $K_2CO_3$ ) при температуре  $570\text{--}580^\circ C$  с выдержкой около одного часа [1]. Происходит насыщение поверхности стали азотом и углеродом образуя упрочненный слой [2]. Глубина упрочненного слоя зависит от времени выдержки, но после одного часа, проникновение диффундирующих веществ замедляется. Это связано с насыщением кристаллической решетки стали легирующими элементами (углеродом и азотом) во время карбонитрации. Максимальная глубина упрочнения для высоколегированных инструментальных сталей составляет  $0,05\text{--}0,12$  мм, для углеродистых  $0,1\text{--}0,6$  мм. С помощью карбонитрации можно добиться повышения твердости, прочности, износостойкости без увеличения хрупкости детали [3].

Целью данной работы является исследование изменения твердости и микроструктуры поверхности металлического бруска стали 3 и образца восстановленного гребня из высокоуглеродистой качественной стали, до и после химико-термического упрочнения методом карбонитрации.

## 2. Методология исследования

После проведения восстановления гребня колесной пары с помощью наплавки и механической обработки поместить в электропечь с выкатным подом колесную пару и произвести нагрев до температуры  $450\text{--}500^\circ C$  для снятия напряжений после обработки и максимального удаления влаги с её поверхности. Затем колесную пару поместить в ванну карбонитрации (температура ванны  $570^\circ C$ ) с выдержкой на 1,5 часа. После карбонитрации поместить в ванну с маслом для медленного охлаждения и произвести очистку от сажи водой с помощью аппарата высокого давления [4].

Основная задача заключалась в приготовление химико-активного расплава солей на основе карбамида ( $CO(NH_2)_2$ ), пищевой соды ( $NaHCO_3$ ), гидроксида натрия ( $NaOH$ ), хлорида натрия ( $NaCl$ ) с целью провести карбонитрацию поверхности макрошлифа гребня колесной пары вагона и произвести замеры твердости. Проверить насколько изменились значения твердости до и после химико-термического упрочнения [5].

Для того, чтобы приготовить расплав с необходимыми пропорциями и химическими реагентами была взята информация из источника [6]. Масса взятых компонентов и химические реакции приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1

## Вещественный состав

Состав расплава		
Название компонентов	Количество, гр	Пропорция, %
$CO(NH_2)_2$	90	42,86
$NaHCO_3$	80	38,1
$NaOH$	20	9,52
$NaCl$	20	9,52
ВСЕГО	210	100

Таблица 2

## Химические реакции

№	Взаимодействие компонентов в расплаве
1	$3CO(NH_2)_2 \rightarrow (CHNO)_3 + 3NH_3 \uparrow$
2	$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 \uparrow + H_2O \uparrow$
3	$2(CHNO)_3 + 3Na_2CO_3 = 6NaOCN + 3H_2O \uparrow + 3CO_2 \uparrow$
5	$2NaOCN + O_2 = Na_2CO_3 + CO + 2N \downarrow$
6	$2CO \rightarrow CO_2 + C \downarrow$

На первом этапе было произведено приготовление расплава и замеры твердости макрошлифа на твердомере по шкале HRC. Все реагенты были точно взвешаны на лабораторных весах и перемешаны в керамической посуде, смотреть рисунок 1.



Рис. 1. Процесс приготовления расплава

На втором этапе смесь веществ была пересыпана в стальной тигель и помещена в муфельную печь для начала процессов расплавления. Вместе с тигелем в печь был помещен макрошлиф гребня колесной пары для нагрева и удаления влаги с поверхности. Предварительно печь была включена, и температура ее камеры составляла  $580^\circ C$ .

На третьем этапе произошло расплавление смеси солей, ровно после одного часа нахождения в муфельной печи. В получившийся расплав был помещен нагретый образец макрошлифа на 2 часа. На рисунке 2 показан стальной тигель с расплавом и образец. На рисунке 3 показан как выглядит расплав сверху, внутри находятся другие образцы, которые в дальнейшем планируется проверять на ударную вязкость. Температура печи также составляла  $580^\circ C$ .





Рис. 2. Образец и стальной тигель в муфельной печи



Рис. 3. Вид расплава сверху с разными образцами

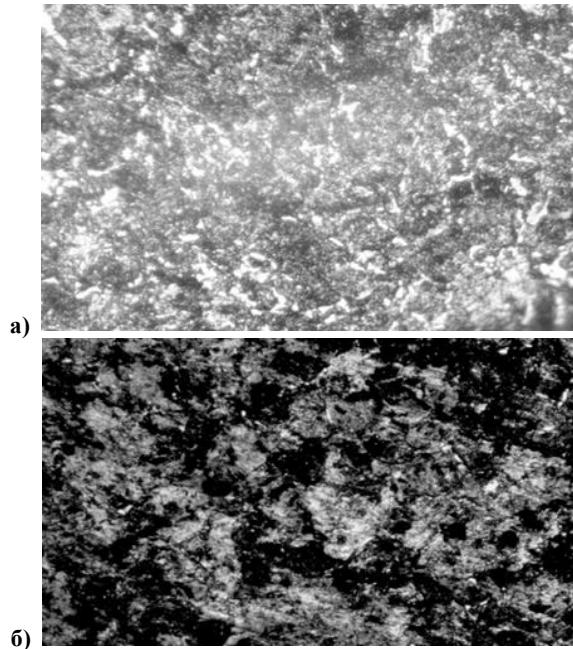
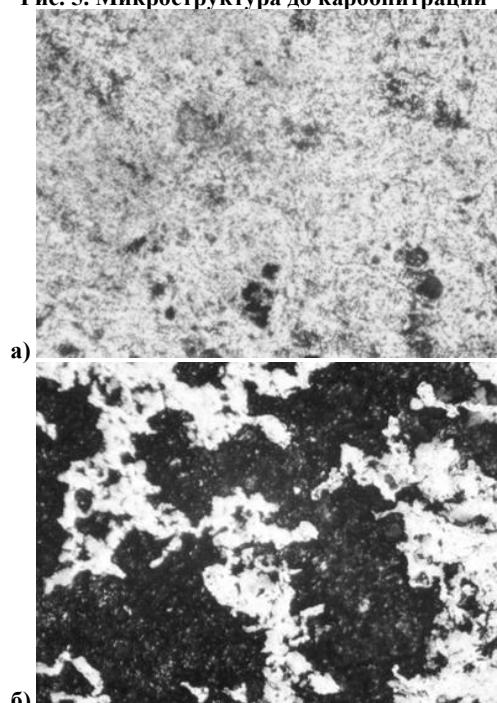
На четвертом этапе после прохождения 2 часов, тигель был убран из печи и образец направили на охлаждение в масле, процесс показан на рисунке 4, затем промыли водой и отшлифовали поверхность, чтобы убрать образовавшуюся сажу.



Рис. 4. Процесс охлаждения в масле

На пятом этапе были произведены замеры твердости и исследована микроструктура. Данные были занесены в таблицу 3, микроструктура показана на рисунках 5-7.

Показатель твердости (среднее значение)					
До карбонитрации			После карбонитрации		
Образец	Шкала HRC	Шкала HV	Образец	Шкала HRC	Шкала HV
Наплавленная часть	13,1 5	19 0	Наплавленная часть	17,2 5	20 8
Основной металл	25,4	25 0	Основной металл	27,8	26 2

а – наплавленная часть, б – основной металл  
Рис. 5. Микроструктура до карбонитрацииа – наплавленная часть, б – основной металл  
Рис. 6. Микроструктура после карбонитрации

**Рис. 7. Исследование микроструктуры**

Также было произведено испытание на растяжение трех образцов: 1) без карбонитрации, 2) карбонитрация с выдержкой образца в расплаве 1 час, 3) карбонитрация с выдержкой образца в расплаве 2 часа. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

**Таблица 4**

Испытание на растяжение				
Номер образца	Максимальная нагрузка, кН	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость, HRC(HB)
1	21,22	530	51,28	5,8(166)
2	22,97	574	46,57	14,4(191)
3	30,58	581	50,97	21(229)

### 3. Результаты и обсуждение

В процессе разложения карбамида на изоциановую кислоту и летучий аммиак при температуре 160°C, происходит взаимодействие кислоты с карбонатом натрия, являющейся продуктом распада NaHCO<sub>3</sub> при 200°C, и образуется цианат натрия (NaOCN), который участвует в карбонитрации [7]. Во время окисление цианата натрия при 580°C происходит выделение атомов азота и частичное выделение атомов углерода, которые диффундируют на поверхность стали упрочняя её и увеличивая механические характеристики. NaCl и NaOH добавляют для того чтобы стабилизировать температуру получаемого расплава, так как карбамид после 160°C начинает быстро разлагаться [8].

Изначальная структура поверхности макрошлифа, показанная на рисунке 5, представлена в виде феррито-перлита у наплавленной части и перлита с ферритными включениями у основного металла. Структура наплавленной части отличается от основного металла меньшим содержанием углерода, поэтому больше преобладают ферритные зерна, это часть более мягкая, пластичная и больше поддается износу. После карбонитрации, показанные на рисунке 6, обе структуры представляют зоны, состоящие из ε-карбонитрида [Fe]<sub>3</sub>(N,C) и располагающейся под ней γ'-фазы [Fe]<sub>4</sub>(N,C) общая толщина которых составляет ≈ 11 мкм, а глубина упрочненного слоя ≈ 0,3 мм [9].

### 4. Выводы

Незначительное повышение твердости связано с использованием менее активных солей по сравнению с основной технологией карбонитрации, т.е. основным источником азота и углерода являлся цианат натрия, а не цианат калия.

Применение химико-термического упрочнения позволит увеличить срок службы и надежность реборды колесной пары, что в свою очередь приведет к росту количества своевременных доставок ресурсов на фабрики или на другие предприятия железнодорожным транспортом, что в свою очередь приведет к росту производительности и экономической составляющей многих компаний.

### Список использованной литературы / References

- [1] Прокошкин Д. А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация., М.: «Металлургия», «Машиностроение», 1984. 240 с.
- [2] Коротков В.А. Технико-экономическая эффективность карбонитрации // Вестник машиностроения: электрон. журн. 2017г. – 68с. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_30598724\\_16676614.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_30598724_16676614.pdf). Дата обращения: 17.04.2025.
- [3] Цих С.Г., Лисицкий В.Н., Глебова Ю.А., Гришин В.И. Современные технологии химико-термической обработки в машиностроении. М.: Технологии производства, 2010г. – 66с.
- [4] Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. Материаловедение. — М.: Машиностроение, 1990.
- [5] Шевчук Е.П., Плотников В.А. Формирование боридных упрочняющих покрытий обширной диффузионной зоной на углеродистой стали. АГУ, Барнаул. 2023г. – 136 с.
- [6] Могиленец М.В. Карбонитрация в расплаве солей // Оборудование и инструмент для профессионалов: электрон. журн. 2018г. – 52с. URL:[https://www.informdom.com/uploads/metal/18\\_2/52\\_KARBAZ\\_2018\\_2.pdf](https://www.informdom.com/uploads/metal/18_2/52_KARBAZ_2018_2.pdf). Дата обращения: 18.04.2025.
- [7] Наука в движении: от отражения к созданию реальности: материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов и учащихся с международным участием – М.: Издательство ООО "Конверт". 2020. – 269 с. З Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. М: «Машиностроение», 1976. 256 с.
- [8] Опыт химико-термической обработки пищевой нержавейки, путем карбонитрации / рассказывает Сергей Вальтман. Видео материал. 1:47 (время воспроизведения) URL: <https://www.youtube.com/watch?v=g91tC6n7jTw> / (дата обращения: 15.04.2025). Доступно на: YouTube: видео платформа.
- [9] Гордей А.Э., Гришин В.И. Технология химико-термической обработки: карбонитрация. Структура и эксплуатационные свойства карбонитридных слоев стали 25Х2М1Ф. М: Машиностроительные технологии. 2012г. – 8с.

### Информация об авторах / Information about the authors

Убайдуллаев  
Музаффар  
Зайнулла угли/  
Muzaffar  
Ubaydullaev  
Ассистент кафедры  
«Металлургия» АФ НИТУ  
«МИСИС» в г. Алматы  
Тел.: +998 93 391 49 79



E-mail:  
[muzaubaydullaev@gmail.com](mailto:muzaubaydullaev@gmail.com)

Гизатулин  
Руслан  
Радиевич /  
Ruslan Gizatulin  
Магистрант кафедры  
«Металлургия» АФ НИТУ  
«МИСИС» в г. Алматы  
Тел.: +998 93 586 04 52  
E-mail:  
[gizatulinruslan928@gmail.com](mailto:gizatulinruslan928@gmail.com)

Руклинская  
Елена  
Ассистент кафедры  
«Металлургия» АФ НИТУ  
«МИСИС» в г. Алматы

Игоревна / Elena  
Ruklinskaya  
Тел.: +998939190281  
E-mail:  
[rukinskayaelena97@yandex.ru](mailto:rukinskayaelena97@yandex.ru)

Косимов  
Умидбек  
Дилшод угли /  
Umidbek  
Kosimov  
Ассистент кафедры  
«Авиационный инжиниринг»  
Ташкентского государственного  
транспортного университета  
E-mail: [umidbek.k@yandex.ru](mailto:umidbek.k@yandex.ru)  
Тел.: +99897 761 99 16  
<https://orcid.org/0009-0000-5681-524X>



**G. Berdiev, S. Ochilova, N. Khujakulov**

Analytical methods of musical composition based on fractal theory ..... 136

**S. Boltaev, Z. Toshboev, I. Yuldashev, B. Ganijonov**

Improvement of the method for detecting obstacles in front of moving trains and development of its algorithm ..... 140

**S. Soatov, E. Sottikulov, B. Elmuradov,****M. Ishmukhamedova**

Laboratory synthesis of a plasticizer based on phthalic anhydride, ethylene glycol, and isoamyl alcohol ..... 145

**O. Tohirov, A. Bakoev, B. Rustamjonov**

Optimization of the process of delivering wagons to loading and unloading points at railway stations using a single locomotive .... 148

**M. Ubaydullaev, R. Gizatulin, E. Ruklinskaya, U. Kosimov**

Improvement of the strength properties of the restored wheel set rack using the chemical-thermal method of carbonitriding ..... 154

**U. Ergashev**

Requirements for attachments for sliding rail lashes of seamless track ..... 159

**U. Ergashev**

Technology for replacing inventory rails with rail bundles using attachments ..... 163

**Kh. Ruziev**

Evaluating the effectiveness of regional investment activity: evidence from Kashkadarya region ..... 166

**U. Shermukhamedov, A. Karimova, A. Abdullaev,****Sh. Tayirov**

Optimal bridge parameter selection and earthquake-resistant design based on real earthquake records for seismic risk mitigation in transportation structures within active seismic zones ..... 171