

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2026 vol. 3

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 3, ISSUE 1

MARCH, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 1 MARCH, 2026

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.

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.

Development of an advanced technology for smelting 20GTL steel in an induction furnace with subsequent ladle refining of the metal through argon purging and powder injection

T.T. Urazbaev¹^a, N.K. Tursunov¹^b, B.A. Abdunazarov²

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²JSC “Foundry and Mechanical Plant”, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article examines approaches to enhancing the refining capabilities of induction furnaces during the smelting of 20GTL steel for railway casting. A technological scheme is proposed, including short-term argon blowing of the metal through a submersible furnace in a steel casting ladle, as well as the introduction of powder reagents for desulfurization and modification of non-metallic inclusions. A computational-analytical selection of a titanium microadditive as a nitride-forming element for the formation of finely dispersed TiN nitrides was carried out, ensuring grain grinding and increasing impact toughness without significantly reducing plasticity. The work is applied in nature and is aimed at modernizing the smelting section for the production of particularly critical railway cast parts.

Keywords: 20GTL steel; induction furnace; argon blowing; submersible furnace; powder blowing; desulfurization; modification; titanium; TiN nitride; railway casting

Разработка усовершенствованной технологии выплавки стали 20ГТЛ в индукционной печи с последующим ковшевым рафинированием металла аргонной продувкой и вводом порошков

Уразбаев Т.Т.¹^a, Турсунов Н.К.¹^b, Абдуназаров Б.А.²

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²АО «Литейно-механический завод», Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассмотрены подходы к повышению рафинировочных возможностей индукционных печей при выплавке литейной стали 20ГТЛ для железнодорожного литья. Предложена технологическая схема, включающая кратковременную аргонную продувку металла через погружную фурму в сталеразливочном ковше, а также ввод порошковых реагентов для десульфурации и модифицирования неметаллических включений. Выполнен расчетно-аналитический выбор микродобавки титана как нитридообразующего элемента для формирования мелкодисперсных нитридов TiN, обеспечивающих измельчение зерна и повышение ударной вязкости без существенного снижения пластичности. Работа носит прикладной характер и ориентирована на модернизацию плавильного передела при производстве особо ответственных железнодорожных литых деталей.

Ключевые слова: сталь 20ГТЛ; индукционная печь; аргонная продувка; погружная фурма; порошковая продувка; десульфурация; модифицирование; титан; нитрид TiN; железнодорожное литье

1. Введение

Особо ответственные железнодорожные литые детали предъявляют повышенные требования к оптимальному сочетанию прочности, пластичности и ударной вязкости. При выплавке стали в индукционных печах возможности активного рафинирования расплава ограничены: затруднены дегазация и удаление неметаллических включений, а также интенсификация процессов десульфурации и дефосфорации. Практика внепечной ковшовой обработки показывает, что аргонное перемешивание и вдувание порошкообразных реагентов позволяют гомогенизировать температуру и

химический состав металла, повысить степень его очистки и обеспечить более стабильное качество отливок.

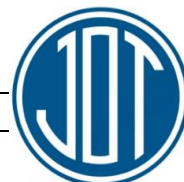
2. Методика исследования

Цель и задачи работы

Целью работы является усовершенствование технологии выплавки стали 20ГТЛ для производства железнодорожного литья на литейном предприятии, оснащенном индукционными печами вместимостью 6 и 10 т, за счет внедрения простых и доступных средств рафинирования (аргонная продувка и порошковая

^a <https://orcid.org/0009-0006-1808-489X>

^b <https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>



обработка) и оптимизации микролегирования титаном.

Основные задачи:

- обоснование применения аргонной продувки через погружную фурму для интенсификации перемешивания и рафинирования;
- выбор состава и способа подачи порошкообразных материалов для десульфурации и модифицирования включений;
- расчетно-аналитический выбор оптимальной концентрации титана как нитридообразующего элемента;
- формирование рекомендаций по внедрению на производстве.

Исходные данные по стали 20ГТЛ и объекту внедрения

Сталь 20ГТЛ относится к марганцовистым литейным сталям перлитного класса и применяется для изготовления ответственных изделий железнодорожного литья. Химический состав и механические свойства стали 20ГТЛ, установленные в соответствии с ГОСТ 32400-2013, приведены в таблицах 1 и 2. Механические свойства после термической обработки представлены в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав стали 20ГТЛ, (% масс.)

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	S, %	P, %	Ti, %
0,17	1,0...	0,3...	≤0,3	≤0,3	≤0,02	≤0,02	0,01...
0,25	1,3	0,5					0,03

Таблица 2

Механические свойства стали 20ГТЛ

Предел текучести $\sigma_{т, МПа}$	Временное сопротивление $\sigma_{в, МПа}$	Относительное удлинение $\delta, %$	Относительное сужение $\psi, %$	Ударная вязкость, кДж/м ² , при -60°С
Не менее				
343	510	18	30	20

Предлагаемая схема рафинирования металлического расплава в сталеразливочном ковше

Предлагаемая схема рафинирования металлического расплава основана на применении аргонной продувки через погружную фурму в сталеразливочном ковше и относится к базовым операциям ковшовой металлургии. Подача инертного газа формирует интенсивные конвективные потоки в объеме расплава, обеспечивая выравнивание температуры и химического состава металла после выпуска из печи, а также устранение температурной неоднородности в нижней части ковша и создание благоприятных условий для последующих процессов рафинирования.

С кинетической точки зрения аргонная продувка интенсифицирует массообмен на границах фаз «металл–шлак» и «металл–газ» за счёт уменьшения толщины диффузионного пограничного слоя. Это облегчает всплытие неметаллических включений и частиц вторичного шлака, а также ускоряет процессы удаления растворённых газов (водорода и азота) и кислорода, создавая термодинамически благоприятные условия для

смещения равновесия реакций рафинирования в сторону удаления вредных примесей.

В рамках предлагаемой схемы предусмотрено вдувание порошкообразных кальцийсодержащих реагентов (силикокальций, карбид кальция и др.) для десульфурации и модифицирования неметаллических включений. Введение указанных материалов обеспечивает связывание серы и кислорода с образованием устойчивых соединений, переходящих в шлаковую фазу, а также изменение морфологии включений в сторону более компактных и глобулярных форм. Использование одной погружной фурмы для подачи реагентов и последующей аргонной продувки обеспечивает комплексное управление физико-химическими процессами и повышение качества металлического расплава перед разливкой.

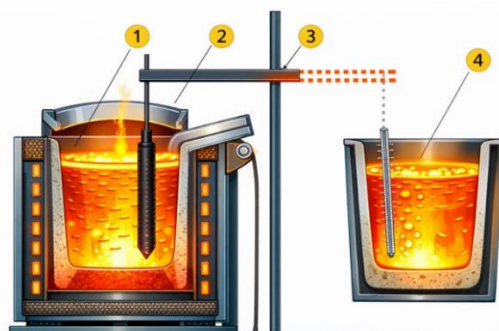


Рис. 1. – Схема индукционной печи и сталеразливочного ковша: 1 – индукционная печь; 2 – фурма; 3 – механизм поворота фурмы; 4 – сталеразливочный ковш

Порошковая обработка расплава: десульфурация и модифицирование включений

Вдувание порошкообразных материалов в металл широко применяется для десульфурации и корректировки состава шлака/включений. Транспортирующим газом, как правило, служит аргон, что позволяет совместить перемешивание и доставку реагента в объем расплава. Для условий стали 20ГТЛ целесообразно рассматривать реагенты на основе кальция (карбид кальция, силикокальций) и известковые шлакообразующие смеси. Карбид кальция способен связывать серу с образованием сульфидов кальция, а силикокальций дополнительно работает как раскислитель и модификатор неметаллических включений, улучшая их морфологию.

Практическая эффективность метода обусловлена большой удельной поверхностью частиц и развитием межфазной поверхности «металл–шлаковая/газовая фаза», а также перемешиванием ванны всплывающими пузырями. Для внедрения требуется блок подготовки и дозирования порошка, газопровод аргона и фурменный узел подачи.

Оптимизация микролегирования титаном: расчет концентрации нитридообразующего элемента

Для повышения качества литейных сталей перлитного класса применяют микродобавки нитридообразующих элементов (в том числе титана). При наличии азота в расплаве титан образует нитрид TiN, который при контролируемом размере частиц способен «фиксировать» границы зерен и тормозить их рост, обеспечивая измельчение зерна и повышение



ударной вязкости. В то же время избыток титана и/или азота может приводить к образованию грубых первичных частиц TiN, ухудшающих свойства, поэтому требуется расчет оптимального диапазона Ti с учетом фактического содержания азота и температурного режима.

В качестве базы исходных данных могут использоваться справочные зависимости растворимости азота и нитрида титана в расплавах на основе железа, в том числе базы данных, доступные на специализированных ресурсах (например, nitridy.ru) и приведенные в научных работах. Результат расчетной оценки часто представляют в виде диаграммы областей устойчивости раствора и TiN (рис. 2), позволяющей по заданному [N] определить допустимый диапазон [Ti].

Оптимальная температура нитридообразования находится в диапазоне $T_{\text{опт}} - \sigma = 1447 \pm 27,8^\circ\text{C}$. В данном температурном интервале выполнены расчёты, получены соответствующие результаты и построен график зависимости требуемой концентрации титана от концентрации азота.

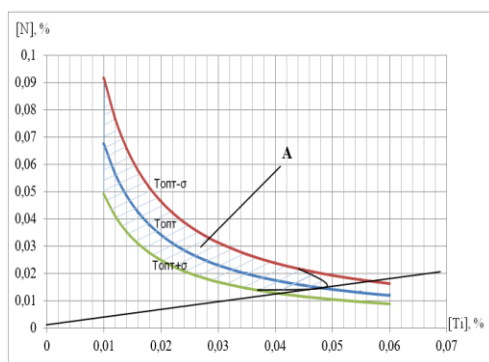


Рисунок 2—Концентрации азота и титана в стали 20ГЛ в равновесии с TiN,

По результатам расчётов нитридообразования при концентрации азота 0,04% в стали 20ГЛ требуемая концентрация титана составляет [Ti]=0,02% для формирования дисперсных нитридов TiN, способствующих измельчению зерна.

Ожидаемый технологический эффект и контроль качества

Комплексное внедрение аргоновой продувки и порошковой обработки в условиях индукционных печей должно обеспечить:

- гомогенизацию температуры и химического состава расплава, повышение представительности проб и точности температурных замеров;
- снижение содержания растворенных газов и неметаллических включений за счет интенсификации всплытия и перехода включений в шлак;
- повышение степени десульфурации и улучшение морфологии включений (модифицирование), что положительно влияет на пластичность и ударную вязкость;
- стабилизацию структуры через формирование мелкодисперсных нитридов TiN при оптимальной микродобавке титана.

3. Заключение

Предложена технологическая схема с погружной фурмой кратковременного погружения, обеспечивающая возможность продувки расплава как в индукционной печи, так и в сталеразливочном ковше после выпуска.

Обоснована целесообразность применения кальцийсодержащих порошковых реагентов (CaC₂, SiCa), вводимых с транспортирующим газом (аргоном), для интенсификации десульфурации и модифицирования неметаллических включений.

По результатам расчётов нитридообразования при концентрации азота 0,04% в стали 20ГЛ требуемая концентрация титана составляет [Ti]=0,02% для формирования мелкодисперсных нитридов TiN, способствующих измельчению зерна.

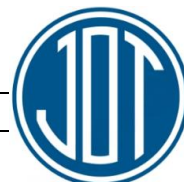
Использованная литература / References

- [1] Лысенкова Е.В. Повышение точности расчетов растворимостей азота и нитрида титана. НИТУ «МИСиС», 2016
- [2] Н.К. Турсунов, Т.Т. Уразбаев, Т.М. Турсунов. Методика расчета комплексного раскисления стали марки 20ГЛ с алюминием и кальцием //Universum: технические науки: электрон. научн. журн. -2022. №2(95), С.20-25.
- [3] Steel modification modes for improving the cast parts quality of the rolling stock couplers
- [4] Urazbayev, T., Tursunov, N., & Tursunov, T. (2024, March). Steel modification modes for improving the cast parts quality of the rolling stock couplers. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3045, No. 1, p. 060015). AIP Publishing LLC.
- [5] Турсунов, Н. К., Турсунов, Т. М., & Уразбаев, Т. Т. (2023). Технология выплавки стали для тягового хомута автосцепного устройства.

Информация об авторах / Information about the authors

Уразбаев Талгат Ташкентский государственный транспортный университет, доцент кафедры «Материаловедения и машиностроения», PhD
 Тилеубаевич / Talgat Urazbaev E-mail: talgat_1988.26@mail.ru
 Tileubaevich Tel.: +998974301088
<https://orcid.org/0009-0006-1808-489X>

Турсунов Нодиржон Ташкентский государственный транспортный университет, Заведующий кафедрой «Материаловедение и машиностроение», профессор, DSc
 Каюмжонович / Nodirjon Tursunov E-mail: u_nadir@mail.ru
 Kayumjonovich Tel.: +998990012371
<https://orcid.org/0009-0008-7910-3980>



Абдуназаров Бахтиёр Алиевич /
Abdunazarov Aliyevich
Руководитель литейного комплекса
АО «Литейно-механический завод»
E-mail: baxa_863@mail.ru
Tel.: +998 91 166 23 34



<i>O. Matyakubov, R. Malikov, B. Rakhmat</i> <i>The impact of road infrastructure on traffic safety</i>	5
<i>E. Nozimov</i> <i>Effectiveness of using digital technologies in motor vehicle insurance</i>	9
<i>A. Karimova, M. Abdurasulova</i> <i>Engineering features of using monolithic reinforced concrete bridges and overpasses in improving urban transport infrastructure</i>	13
<i>S. Boltaev</i> <i>Analysis of train traffic control systems used in foreign countries</i>	18
<i>Kh. Khujakhmedova, B. Abdunazarov, T. Urazbaev</i> <i>Improving the production technology of wear-resistant excavator parts made from 110G13L steel to enhance their operational reliability</i>	23
<i>T. Urazbaev, N. Tursunov, N. Kodirova, B. Abdunazarov</i> <i>Theoretical and experimental foundations for controlling the physicochemical processes of refining and modifying metallic melt</i>	26
<i>T. Urazbaev, N. Tursunov, B. Abdunazarov</i> <i>Development of an advanced technology for smelting 20GTL steel in an induction furnace with subsequent ladle refining of the metal through argon purging and powder injection</i>	29