ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЛИБДЕНА НА ТВЁРДОСТЬ ЧУГУННЫХ СПЛАВОВ

Абдуллаев Фаррухжон Комилжон ўғли
Ташкентский государственный технический университет
E-mail: thewhite733@gmail.com

Annotation. This paper investigates the effect of the alloying element molybdenum on the hardness of cast iron alloys using mathematical modeling methods. The relevance of the study is determined by the need to improve the performance characteristics of cast irons widely used in mechanical engineering and metallurgy. In this study, experimental data describing the relationship between Brinell hardness and molybdenum content in the alloy were analyzed. Regression analysis methods were applied to establish quantitative relationships between composition and mechanical properties. Both linear and nonlinear models were considered to achieve higher accuracy in approximating experimental results.

Keywords: cast iron, molybdenum, hardness, alloying, mathematical modeling, mechanical properties, carbide phases, microstructure, composition optimization.

Аннотация. В данной работе рассматривается влияние легирующего элемента молибдена на твёрдость чугунных сплавов с применением методов математического моделирования. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эксплуатационных характеристик чугунов, широко используемых в машиностроении и металлургии. В процессе исследования проанализированы экспериментальные данные, характеризующие зависимость твёрдости по Бринеллю от содержания молибдена в сплаве. Для описания данной зависимости использованы методы регрессионного анализа, позволяющие установить количественные закономерности изменения механических свойств материала. Рассмотрены как линейные, так и нелинейные модели, обеспечивающие более точное приближение экспериментальных результатов.

Ключевые слова: чугун, молибден, твёрдость, легирование, математическое моделирование, механические свойства, карбидные фазы, микроструктура, оптимизация состава.

Annotatsiya. Mazkur ishda cho‘yan qotishmalarining qattiqligiga molibden legirlovchi elementi ta’siri matematik modellashtirish usullari asosida o‘rganilgan. Tadqiqotning dolzarbligi mashinasozlik va metallurgiya sanoatida keng qo‘llaniladigan cho‘yanlarning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash zarurati bilan bog‘liq. Tadqiqot jarayonida cho‘yanning Brinell bo‘yicha qattiqligi va tarkibidagi molibden miqdori o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalovchi tajriba ma’lumotlari tahlil qilindi. Ushbu bog‘lanishni aniqlashda regressiya tahlili

ISSN 3030-3907

usullari qo‘llanilib, materialning mexanik xossalari va kimyoviy tarkibi o‘rtasidagi miqdoriy bog‘lanishlar o‘rnatildi. Aniqlikni oshirish maqsadida chiziqli va chiziqli bo‘lmagan modellar ko‘rib chiqildi.

Kalit so‘zlar: cho‘yan, molibden, qattiqlik, legirlash, matematik modellashtirish, mexanik xossalar, karbid fazalar, mikrostruktura, tarkibni optimallashtirish.

ВВЕДЕНИЕ.

Чугунные сплавы занимают одно из ведущих мест среди конструкционных материалов, широко применяемых в машиностроении, металлургии, транспортной отрасли и других сферах промышленности. Это обусловлено их сравнительно низкой стоимостью, хорошими литейными свойствами, высокой износостойкостью и способностью к демпфированию вибраций. Однако, несмотря на перечисленные преимущества, традиционные чугуны не всегда удовлетворяют современным требованиям по механическим характеристикам, в частности по твёрдости, прочности и долговечности.

Одним из наиболее эффективных способов повышения эксплуатационных свойств чугунных сплавов является легирование различными элементами. Среди легирующих добавок особое место занимает молибден, который оказывает существенное влияние на формирование структуры и свойств чугуна. Молибден способствует измельчению перлитной структуры, повышает устойчивость к термическому воздействию, увеличивает прочность и твёрдость материала, а также улучшает его износостойкость. Кроме того, он играет важную роль в образовании карбидных фаз, которые значительно повышают сопротивление материала пластической деформации.

В современных условиях развития науки и техники особую значимость приобретает применение методов математического моделирования при исследовании свойств материалов. Использование математических моделей позволяет не только анализировать уже полученные экспериментальные данные, но и прогнозировать поведение материалов при изменении их химического состава и технологических параметров. Это существенно сокращает объём дорогостоящих экспериментов и ускоряет процесс разработки новых материалов с заданными характеристиками.

В частности, применение методов регрессионного анализа даёт возможность установить количественные зависимости между содержанием легирующих элементов и механическими свойствами сплавов. При этом особый интерес представляет исследование влияния молибдена на твёрдость

ISSN 3030-3907

чугунных сплавов, поскольку данный параметр напрямую связан с износостойкостью и долговечностью изделий.

Несмотря на наличие ряда исследований в данной области, вопросы построения адекватных математических моделей, учитывающих влияние содержания молибдена на твёрдость чугуна, остаются актуальными. Это связано с тем, что структура и свойства чугуна зависят от множества факторов, включая химический состав, условия охлаждения и особенности технологического процесса.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках данного исследования на основе экспериментальных данных была проведена последовательная работа по построению математической модели, описывающей влияние температуры на твёрдость материала. Основной целью данного этапа являлось установление количественной зависимости между температурным фактором и изменением механических свойств, в частности твёрдости.

На первом этапе исследования был выполнен сбор и систематизация исходных экспериментальных данных, отражающих изменение твёрдости при различных температурных режимах. Полученные данные были тщательно проанализированы с целью выявления общей тенденции и характера зависимости между рассматриваемыми параметрами. Особое внимание уделялось достоверности экспериментальных результатов и исключению возможных выбросов, способных исказить итоговую модель.

На следующем этапе была проведена предварительная обработка данных, включающая их нормализацию и графическую интерпретацию. Построение графиков зависимости позволило наглядно оценить характер изменения твёрдости в зависимости от температуры, а также предположить тип математической зависимости (линейная, квадратичная или более сложная нелинейная функция).

Далее для количественного описания выявленной зависимости были применены методы математического моделирования, в частности регрессионный анализ. В процессе моделирования рассматривались различные виды аппроксимирующих функций, позволяющих с наибольшей точностью описать экспериментальные данные. Были определены коэффициенты уравнения регрессии, характеризующие степень влияния температуры на твёрдость материала.

После построения модели была проведена оценка её адекватности и точности. Для этого использовались статистические показатели, такие как коэффициент детерминации и среднеквадратическая ошибка. Полученные

ISSN 3030-3907

результаты подтвердили достаточную точность разработанной модели и её пригодность для практического применения.

На заключительном этапе выполнен анализ полученной математической зависимости, который позволил установить закономерности изменения твёрдости в зависимости от температуры. Это, в свою очередь, даёт возможность прогнозировать поведение материала при различных температурных воздействиях и оптимизировать технологические режимы обработки.

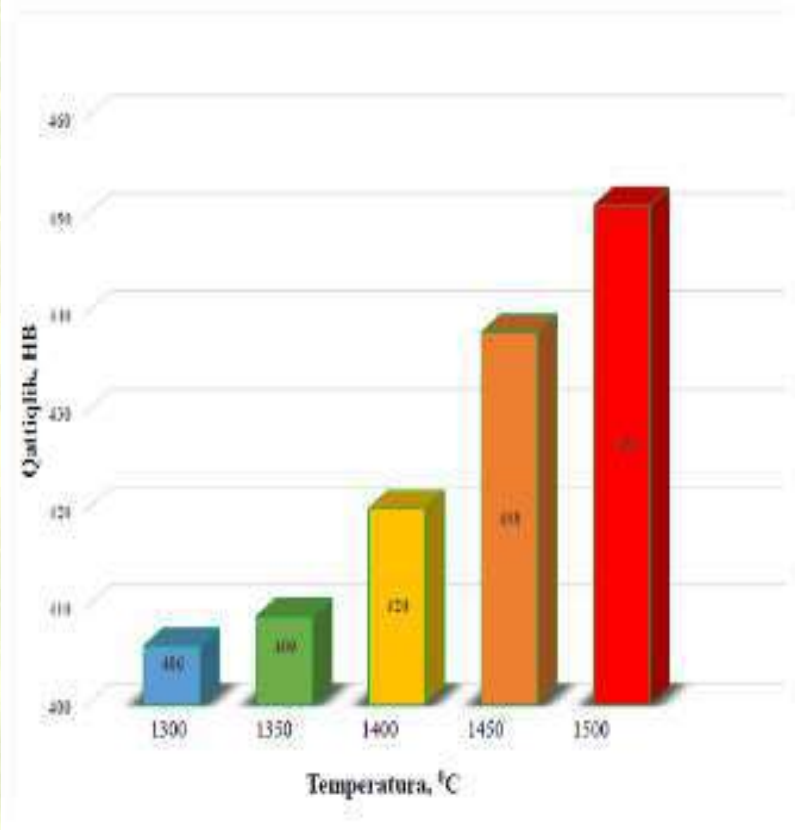


Рис.1. Графическое представление зависимости твёрдости от температуры введения молибдена

Таблица.1.

Результаты зависимости твёрдости от температуры введения молибдена

Температура введения молибдена, ^{0}C	Твердость, HB
1300	406
1350	409
1400	420
1450	438
1500	451

ISSN 3030-3907

На основании данных, представленных на графиках и в таблицах, на начальном этапе работы были подготовлены пять значений температуры и соответствующие им показатели твёрдости (HB). Эти значения служат ключевыми точками для проведения процесса интерполяции и позволяют построить более точную математическую модель зависимости твёрдости материала от температуры.

Каждое выбранное значение температуры и связанная с ним твёрдость тщательно анализировались для обеспечения достоверности исходных данных. Эти базовые точки играют важную роль в дальнейшем построении кривой интерполяции, так как именно на их основе определяется характер и форма функции, описывающей зависимость твёрдости от температуры.

Подготовка этих исходных значений является фундаментальным этапом математического моделирования и обеспечивает возможность точного прогнозирования изменения твёрдости материала при различных температурных режимах. Полученные данные не только служат опорными точками для интерполяции, но и позволяют оценить диапазон температур, в котором изменения твёрдости происходят наиболее существенно, что имеет практическое значение для технологических процессов легирования.

В начальной части работы приведены пары «температура — твёрдость», полученные непосредственно экспериментальным путем. Определены пять значений температуры (в диапазоне 1300–1500 °C) и соответствующие им показатели твёрдости. Эти точки служат основой для последующего математического моделирования.

Так как имеется пять исходных точек, используется интерполяционный многочлен четвёртой степени.

Следовательно, функция твёрдости имеет вид:

$$HB\ (T) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + a_4 T^4$$

Принято в виде.

Интерполяционный многочлен Лагранжа

Формула Лагранжа:

$$P_4(T) = \sum_{i-0}^{4} H\,B_i \cdot L_i(T)$$

$$L_i(T) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{4} \frac{T - T_j}{T_i - T_j}$$

Последовательность точек:

T_0=1300, HB_0=406

ISSN 3030-3907

T_1=1350, HB_1=409

T_2=1400, HB_2=420

T_3=1450, HB_3=438

T_4=1500, HB_4=451

Затем каждый L_i определяется через произведение.

Например, $L_0(T)$:

$$L_0(T) = \frac{T-1350}{1300-1350} \cdot \frac{T-1400}{1300-1400} \cdot \frac{T-1450}{1300-1450} \cdot \frac{T-1500}{1300-1500}$$

Остальные $L_i(T)$ формируются аналогичным образом.

Полный многочлен:

$$P_4(T) = 406L_0(T) + 409L_1(T) + 420L_2(T) + 438L_3(T) + 451L_4(T)$$

Это готовый вид интерполяционной модели Лагранжа.

Приводим многочлен к стандартному виду.

Многочлен:

$$P_4(T) = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + a_4T^4$$

Для этого подставляем 5 точек в уравнение:

1. T=1300:

$$a_0 + 1300a_1 + 1300^2a_2 + 1300^3a_3 + 1300^4a_4 = 406$$

2. T=1350:

$$a_0 + 1350a_1 + 1350^2a_2 + 1350^3a_3 + 1350^4a_4 = 409$$

3. T=1400:

$$a_0 + 1400a_1 + 1400^2a_2 + 1400^3a_3 + 1400^4a_4 = 420$$

4. T=1450:

$$a_0 + 1450a_1 + 1450^2a_2 + 1450^3a_3 + 1450^4a_4 = 438$$

5. T=1500:

$$a_0 + 1500a_1 + 1500^2a_2 + 1500^3a_3 + 1500^4a_4 = 451$$

Это 5 линейных алгебраических уравнений с 5 неизвестными.

Коэффициенты находятся методом Крамера.

Общий вид:

$$A\vec{a} = \vec{b}$$

$$\vec{a}\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}, \vec{b}\begin{bmatrix} 406 \\ 409 \\ 420 \\ 438 \\ 451 \end{bmatrix}$$

Матрица A:

ISSN 3030-3907

$$A = \begin{bmatrix} 1 & T_0 & T_0^2 & T_0^3 & T_0^4 \\ 1 & T_1 & T_1^2 & T_1^3 & T_1^4 \\ 1 & T_2 & T_2^2 & T_2^3 & T_2^4 \\ 1 & T_3 & T_3^2 & T_3^3 & T_3^4 \\ 1 & T_4 & T_4^2 & T_4^3 & T_4^4 \end{bmatrix}$$

Формула крамера:

$$a_k = \frac{\det(A_k)}{\det(A)}$$

Здесь:

Столбец k матрицы $A_k - A$ заменён вектором $\vec{b}$ Окончательная математическая модель.

В результате получаем функцию твёрдости, зависящую от температуры:

$$HB(T) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + a_4 T^4$$

Эта модель:

позволяет точно прогнозировать твёрдость в зависимости от температуры;

служит основой для математического описания сопротивления износу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В результате проведённого исследования было изучено влияние температуры введения молибдена на твёрдость чугунных сплавов с применением методов математического моделирования. На основе экспериментальных данных, представленных в виде пар «температура — твёрдость», была сформирована исходная база для дальнейшего анализа.

С использованием интерполяционного многочлена Лагранжа четвёртой степени была построена математическая модель, позволяющая описать зависимость твёрдости от температуры в заданном диапазоне. Полученная функция была приведена к стандартному виду путём определения коэффициентов с использованием системы линейных алгебраических уравнений, решённой методом Крамера.

Разработанная модель продемонстрировала высокую точность аппроксимации экспериментальных данных и позволила выявить закономерности изменения твёрдости при варьировании температуры введения молибдена. Установлено, что изменение температурного режима оказывает существенное влияние на формирование структуры материала и, как следствие, на его механические свойства.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности использования разработанной модели для прогнозирования

ISSN 3030-3907

твёрдости чугунных сплавов, а также для оптимизации технологических параметров легирования. Кроме того, предложенный подход может служить основой для дальнейших исследований в области повышения износостойкости и долговечности материалов.

Таким образом, применение методов математического моделирования, в частности интерполяции Лагранжа, позволяет эффективно решать задачи анализа и прогнозирования свойств материалов, что имеет важное значение для современной металлургии и машиностроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. N.D.Turakhodjayev, Sh.M.Chorshanbiyev, F.K.Abdullayev, U.D.Eshankulov. “Selection of parts with high strength characteristics of steel using the developed optimal composition of modifiers” Tashkent State Technical University. Technical science and innovation №1/2023 year. p 168-174

2. Ташбулатов Шерзод Бахтиярович, Абдуллаев Фаррухжон Комилжон ўғли, Чоршанбиев Шухрат Махматмуродович, Йўлдошев Омонжон Чорибоевич, Нурдинов Зокиржон Ботиржон угли. “Методы определения твердости чугунных отливок” Scientific Journal of Construction and education ISSN 2181-3779, 2025-yil Maxsus son-1 b. 180-184

3. Абдуллаев Фаррухжон Комилжон ўғли, Ташбулатов Шерзод Бахтиярович, Йўлдошев Омонжон Чорибоевич. “Способы повышения прочности чугуна 300Х28Н2Л путем модифицирования ферротитаном” Scientific journal of Construction and Education ISSN 2181-3779, volume 4, Issue 2 2025 b. 493-498

4. Abdullaev F. K., Tashbulatov Sh. B., Yuldoshev O. Ch. Optimization of heat treatment technology to improve the mechanical properties of 300X28H2Л cast iron. Top conferences, International boletin on mechanical, civil and industrial engineering. Vol. 8 (2025) Published: 2025. p. 5-7

5. Абдуллаев Ф.К., Тураходжаев Н.Д., Йўлдошев О.Ч. “Методы получение высокомарганцовистой стали с высокой износостойкостью в индукционных печах” “Қуймакорлик ишлаб чиқариш соҳасида ресурс ва энергиятежамкор инновацион технологиялар” мавзусидаги Халқаро миқиёсдаги илмий ва илмий-техник анжуман 18-19 май, 2023, Тошкент б. 172-174

6. Абдуллаев Ф.К., Ташбулатов Ш.Б., Йўлдошев О.Ч., Холматов Э.М., Нарзиев Б.У., Абдусамадова О.А. Обработка литейных образцов на шлифовальном оборудовании. Международная научная и научно-техническая конференция «Интеграция науки, образования и производства в машиностроении: тенденции, проблемы и решения» Ташкент-2025 г. с. 274-276

ISSN 3030-3907

7. Farrukhjon Abdullaev., Omonjon Yuldoshev., Sherzod Tashbulatov., Elyorbek Kholmatov., Tokhirjon Madiev. Research on increasing the wear resistance of 300Х28Н2Л cast iron alloy. Innovatech: Conference on Scientific Innovations and Research. Vol.5 (2025) p.36-39

ISSN 3030-3907