D. Serikbayev
EAST KAZAKHSTAN TECHNICAL UNIVERSITY

EKTU ISTC
XII Халықаралық ғылыми-техникалық конференция
XII International scientific and technical conference

Жасанды интеллект және инновациялар: жаңа сынақтар мен болашақтың инженерлік шешімдері

Цифрландыру және жасанды интеллект жылына арналған студенттер, магистранттар, докоранттар және жас ғалымдардың XII Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының

МАТЕРИАЛДАРЫ



Искусственный интеллект и инновации: новые вызовы и инженерные решения будущего

МАТЕРИАЛЫ

XII Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной Году цифровизации и искусственного интеллекта

Artificial Intelligence and Innovation: New Challenges and Engineering Solutions for the Future

PROCEEDINGS

of the XII International Scientific and Technical Conference of Students, Master's Students, Doctoral Candidates, and Young Scientists, dedicated to the Year of Digitalization and Artificial Intelligence

www.ektu.kz

Өскемен | Усть-Каменогорск | Ust-Kamenogorsk
2026

1

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Д. СЕРІКБАЕВ АТЫНДАҒЫ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН
ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
НАО «ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Д. СЕРИКБАЕВА»

«ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖӘНЕ ИННОВАЦИЯЛАР: ЖАҢА СЫНАҚТАР МЕН БОЛАШАҚТЫҢ ИНЖЕНЕРЛІК ШЕШІМДЕРІ»

Цифрландыру және жасанды интеллект жылына арналған
студенттер, магистранттар, докторанттар және жас ғалымдардың
XII Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының
МАТЕРИАЛДАРЫ
9, 10 сәуір 2026 жыл

I бөлім

«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ИННОВАЦИИ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ БУДУЩЕГО»

МАТЕРИАЛЫ
XII Международной научно-технической конференции студентов,
магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной
Году цифровизации и искусственного интеллекта
9, 10 апреля 2026 г.

Часть I

«ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INNOVATION: NEW CHALLENGES AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR THE FUTURE»

PROCEEDINGS
of the XII International Scientific and Technical Conference of Students,
Master’s Students, Doctoral Candidates, and Young Scientists, dedicated to the
Year of Digitalization and Artificial Intelligence
April 9-10, 2026

Part I

Өскемен | Усть-Каменогорск | Ust-Kamenogorsk
2026

УДК 004.8
ББК 32.813
Ж 33

Главный редактор: к.т.н. С.Ж. Рахметуллина
Зам. главного редактора: к.э.н. Ж.Т. Конурбаева

Редакционная коллегия: Байгереев С.Р. PhD, Мухамедова А.И. ст.преп., Ескермесов Д.К. PhD, Ерболатова Г.У. PhD, Тураров А.К. PhD, Әскербекова Ж.Ә. PhD, Оналбаева Ж.С. PhD, Әділқанова М.Ә. PhD, Төреханова М.Т. ст.преп., Капкенова М.Т.

Ж 33 **Жасанды интеллект және инновациялар: жаңа сынақтар мен болашақтың инженерлік шешімдері:** Цифрландыру және жасанды интеллект жылына арналған студенттер, магистранттар, докоранттар және жас ғалымдардың **XII Халықаралық ғылыми-техникалық** конференциясының материалдары, 9, 10 сәуір 2026 ж. = **Искусственный интеллект и инновации: новые вызовы и инженерные решения будущего:** Материалы XII Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной году цифровизации и искусственного интеллекта, 9, 10 апреля 2026 г. – Өскемен: ШҚТУ, 2026. – I б. – 484 б. – қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-601-208-918-9 (I б.)
ISBN 978-601-208-917-2

В сборник включены научные статьи, посвящённые актуальным вопросам применения искусственного интеллекта в различных отраслях: транспорте и транспортной технике, технической физике и материаловедении, математике и вычислительной технике, металлургии и обогащении полезных ископаемых, а также механике и металлообработке в машиностроении. В представленных работах рассматриваются современные методы и подходы к использованию технологий искусственного интеллекта, направленные на повышение эффективности, точности и инновационного потенциала научных и производственных процессов.

Сборник рассчитан на студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых вузов.

УДК 004.8
ББК 32.813

Научное издание

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ИННОВАЦИИ:
НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ БУДУЩЕГО**

Материалы XII Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной году цифровизации и искусственного интеллекта (ВКТУ, 9, 10 апреля 2026 г.)

Часть I

Сборник издан методом прямого копирования авторских статей
Ответственный за выпуск *О.Н. Николаенко*
Редактор *С.С. Мамыраздыкова*

Подписано в печать 20.04.2026. Формат 60x84/16. Печать ризографическая. Бумага офсетная.
Усл.печ.л. 28,13. Уч.-изд.л. 28,17. Тираж 20. Заказ № 150-2026. Цена договорная.

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69.

ISBN 978-601-208-918-9 (I б.)
ISBN 978-601-208-917-2

© ВКТУ им. Д. Серикбаева, 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ СТАЛИ 20Х ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

УДК 621

Н.К.Килымбеков[1], Р.Ғабдысалық[2]*, К.К.Комбаев[2], А.Р.Бичева[3],Д.Х. Жамсап[2]

[1]АО «Усть-Каменогорский завод промышленной арматуры», Усть-Каменогорск, Казахстан

[2]НАО «Восточно-Казахстанский технический университет», Усть-Каменогорск, Казахстан

[3]ТОО «Гидросталь», Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент:Ғабдысалық Риза, rgabdysalyk@edu.ektu.kz

АННОТАЦИЯ. В работе исследовано влияние химического состава стали 20Х и параметров GTAW/TIG-наплавки на микроструктуру и эксплуатационные свойства наплавленного слоя деталей запорной арматуры, применяемых в нефтегазовой отрасли Казахстана. Целью исследования является установление взаимосвязи между режимами наплавки, фазовым составом и механическими характеристиками слоя для обеспечения высокой прочности, износостойкости и надежности узлов.

Методы исследования включали металлографический анализ с использованием оптического микроскопа, подготовку проб с травлением и полированием, а также измерение микротвердости по сечению наплавленного слоя. Наплавка выполнялась при токе 110 А, напряжении 11–12 В, скорости 2 мм/с, расходе защитного газа 8–10 л/мин с присадочной проволокой диаметром 1,6 мм.

Результаты показали формирование функционально-градиентной микроструктуры: α-Fe и перлит с локальными участками мартенсита в наплавленном слое, комплексная фазовая структура в линии сплавления и α-Fe с перлитом в зоне термического влияния. Микротвердость демонстрирует градиент от 180–210 HV в основном металле до 340–380 HV в линии сплавления, что подтверждает повышение прочности поверхности при сохранении пластичности подложки.

Полученные данные позволяют оптимизировать параметры наплавки стали 20Х и прогнозировать эксплуатационные свойства наплавленных деталей, что имеет практическую значимость для повышения надежности оборудования в условиях агрессивных сред.

Ключевые слова: сталь 20Х, GTAW/TIG-наплавка, микроструктура, фазовый состав, микротвердость, запорная арматура.

ВВЕДЕНИЕ

Детали запорной арматуры, широко применяемые в нефтегазовой отрасли Казахстана, часто имеют сложную геометрию посадочных поверхностей, что требует применения наплавки для восстановления или придания необходимых эксплуатационных свойств. Для автоматической и полуавтоматической наплавки критически важно исследование технологических режимов, поскольку от них зависит формирование микроструктуры и механических характеристик наплавленного слоя [1].

Метод GTAW/TIG (Gas Tungsten Arc Welding / Tungsten Inert Gas) представляет собой аргонодуговую сварку неплавящимся вольфрамовым электродом с использованием инертного газа в качестве защитной среды. Этот способ обеспечивает локализованное тепловложение, минимальное окисление расплава и высокое качество наплавленного слоя, что делает его особенно актуальным для восстановления и упрочнения деталей из легированных сталей [2].

В научной литературе рассматриваются различные подходы к выбору режимов наплавки, включая силу тока, напряжение, скорость перемещения электрода и подготовку поверхности. Однако влияние химического состава стали на формирование микроструктуры и эксплуатационных свойств слоя, в том числе микротвердости, изучено недостаточно, особенно применительно к сталям, востребованным на казахстанском нефтегазовом рынке.

Цель настоящего исследования — оценка влияния химического состава стали марки 20Х и параметров технологии GTAW/TIG-наплавки на микроструктуру и микротвердость наплавленного слоя деталей запорной арматуры. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

анализ химического состава стали 20Х и его влияния на тепловое воздействие в процессе наплавки;

изучение режимов автоматической и полуавтоматической наплавки и их влияния на формирование микроструктуры;

определение взаимосвязи «химический состав – режим наплавки – структура – микротвердость» для характеристики наплавленного слоя.

Объектом исследования является сталь 20Х, применяемая для изготовления деталей запорной арматуры, предметом — влияние химического состава и параметров GTAW/TIG-наплавки на формирование микроструктуры и микротвердость наплавленных слоев. Методы исследования включают металлографический анализ, измерение микротвердости и визуальный контроль качества наплавленного слоя.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью научного обоснования режимов GTAW/TIG-наплавки и учета химического состава стали 20Х для формирования наплавленных слоев с заданными структурными и механическими характеристиками, обеспечивающими эксплуатационные свойства деталей запорной арматуры в условиях высоких нагрузок и агрессивной среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

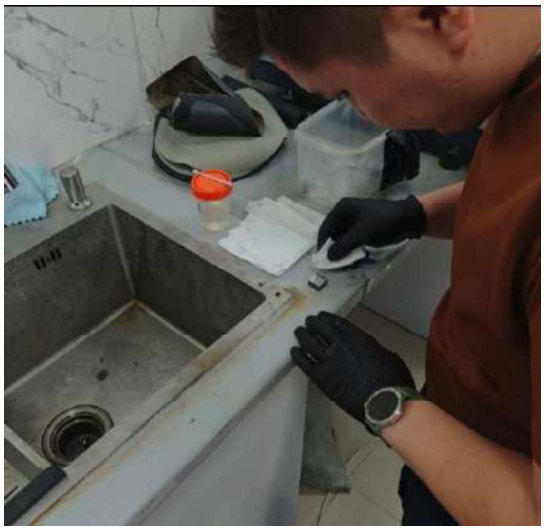
Для изготовления деталей запорной арматуры, широко применяемых в нефтегазовой отрасли, используется сталь марки 20Х, что обусловлено её оптимальным сочетанием прочностных, пластических и эксплуатационных характеристик. Согласно ГОСТ 4543-2016, данная сталь относится к конструкционным легированным сталям и характеризуется сбалансированным химическим составом (мас. %): C — 0,17–0,24; Si — 0,17–0,37; Mn — 0,50–0,80; Cr
— 0,80–1,10; Ni — до 0,30; S и P — не более 0,035. Хром в составе стали обеспечивает повышенную прокаливаемость, износостойкость и коррозионную стойкость, что делает сталь 20Х особенно востребованной для работы в условиях высоких давлений, агрессивных сред и циклических нагрузок, характерных для нефтегазового оборудования [3].

Химический состав стали определяет процессы разбавления наплавленного слоя, диффузионное перераспределение элементов и формирование переходной зоны «основа–наплавка», что непосредственно влияет на микроструктуру, твердость и износостойкость деталей. В этой связи исследование взаимосвязи «химический состав – технология наплавки – структура – свойства» для стали 20Х представляет собой актуальную научно-техническую задачу в нефтегазовой отрасли и направлено на повышение эффективности восстановления и упрочнения критически важных элементов запорной арматуры.

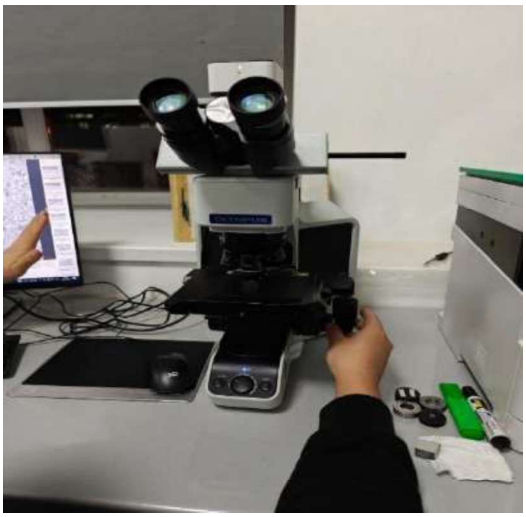
Научные исследования проводились на базе Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева. Пробоподготовка образцов

наплавленной стали, включающая операции резки, шлифования, полирования и травления (рисунок 1а), и металлографические исследования осуществлялись в Научном центре «Защитные и функциональные покрытия» (PROFCOAT) с применением оптического микроскопа Olympus BX51 (рисунок 1б).

Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере DuraScan 20 в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-59 и ГОСТ 4543-2016 для легированных сталей марки 20Х. Резка образцов наплавленной стали размерами 10 × 10 × 25 мм осуществлялась на низкоскоростном прецизионном отрезном станке DTQ-5 при скорости вращения отрезного круга 200–300 об/мин с использованием охлаждающей жидкости. Применение низких скоростей резания и эффективного охлаждения позволило минимизировать тепловыделение в зоне резания, что исключало термическое воздействие на структуру материала и предотвращало возможные фазовые превращения в приповерхностном слое [4].



а) травление образца для выявления микроструктуры;



б) исследование на оптическом микроскопе Olympus BX51.

Рисунок 1. Основные этапы металлографического исследования наплавленной стали марки 20Х, включающие подготовку и анализ структуры материала.

Шлифование и полирование проводились на двухдисковом шлифовально-полировальном станке GP-2A.

Шлифование выполнялось последовательно с использованием абразивных бумаг зернистостью от P240 до P2000 при нагрузке 20–30 Н на образец и скорости вращения диска 150–200 об/мин. Полирование осуществлялось с применением алмазных суспензий (3 и 1 мкм) при сниженной нагрузке 10–15 Н и скорости вращения 100–150 об/мин до получения зеркальной поверхности без видимых дефектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Режимы наплавки стали 20Х методом GTAW/TIG подбирались с учётом обеспечения стабильного формирования наплавленного слоя и минимизации дефектов структуры. Процесс осуществлялся при силе тока 110 А, напряжении 11–12 В, скорости наплавки 2.0 мм/с и расходе защитного газа (Ar) 8–10 л/мин, с использованием присадочной проволоки диаметром 1.6 мм, подаваемой вручную при прямой полярности (DCEN).

Применение указанных параметров обеспечивало контролируемое

тепловложение и устойчивость дугового процесса, что является важным фактором формирования микроструктуры наплавленного слоя. Подробные режимы наплавки приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Режимы GTAW/TIG-наплавки стали 20Х

№	I, A	U, B	υ n, мм/с	Q, л/мин	d пров, мм	Полярность	E, кДж/мм
1	110	11–12	2.0	8–10	1.6	DCEN	0.60–0.65

На рисунке 2 представлена модель процесса наплавки, отражающая основные термические и структурные особенности формирования наплавленного слоя [5]. Присадочный металл подается вручную, создавая высокотемпературную зону плавления на поверхности основного металла. Этот процесс обеспечивает локальное плавление материала и формирование прочного соединения с базовым металлом. В результате выделяются следующие ключевые области: Наплавленный слой — зона полного расплавления присадочного металла с его взаимодействием со сталью 20Х, формирующая после кристаллизации относительно однородную структуру. Характерны равноосные зерна в центре и столбчатая кристаллизация у линии сплавления, ориентированная по направлению теплоотвода. Для GTAW/TIG-процесса типично ограниченное окисление, однако возможно образование дисперсных оксидных включений (FeO, Fe_3O_4, Cr_2O_3, CaO), оказывающих упрочняющее действие и повышающих твердость и износостойкость.

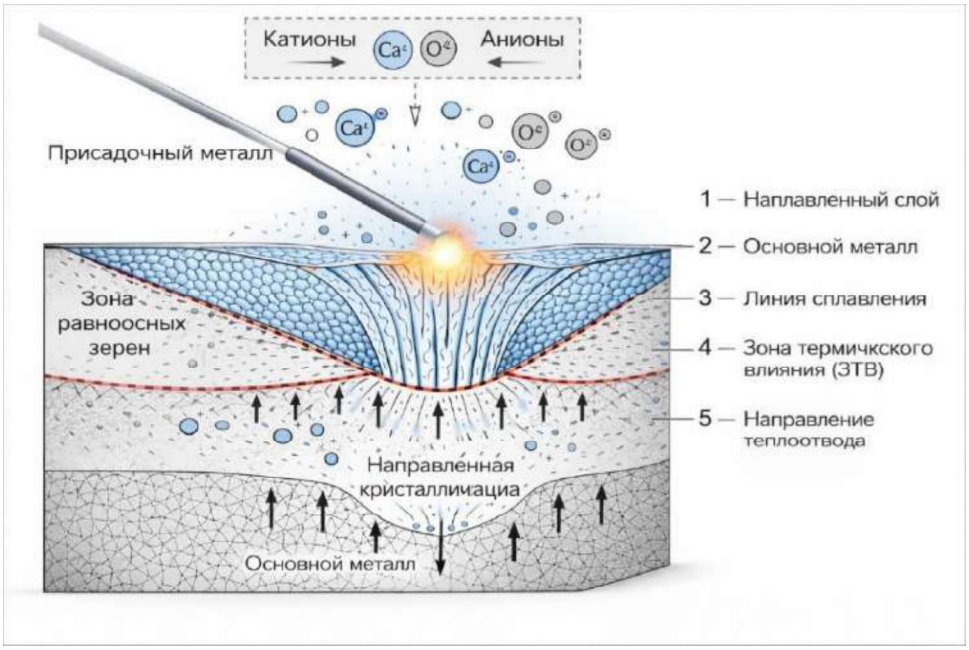


Рисунок 2. Модель формирования наплавленного слоя при GTAW/TIG-наплавке стали 20Х

Линия сплавления — узкая переходная зона с высокими температурными градиентами и интенсивной диффузией. Здесь возможно образование тонкодисперсных оксидных и интерметаллидных включений. При оптимальных режимах они повышают прочность сцепления, при избытке — снижают пластичность.

Зона термического влияния (ЗТВ) характеризуется фазовыми превращениями, обусловленными циклом нагрева и охлаждения. В зависимости от

скорости охлаждения формируются мартенсит или продукты распада аустенита (троостит, сорбит). Образование оксидных частиц влияет на локальные механические свойства.

Направление теплоотвода определяет морфологию кристаллизации: от линии сплавления формируются столбчатые кристаллы с переходом в равноосную структуру. Высокая скорость охлаждения способствует измельчению зерна и ограничивает рост оксидных включений.

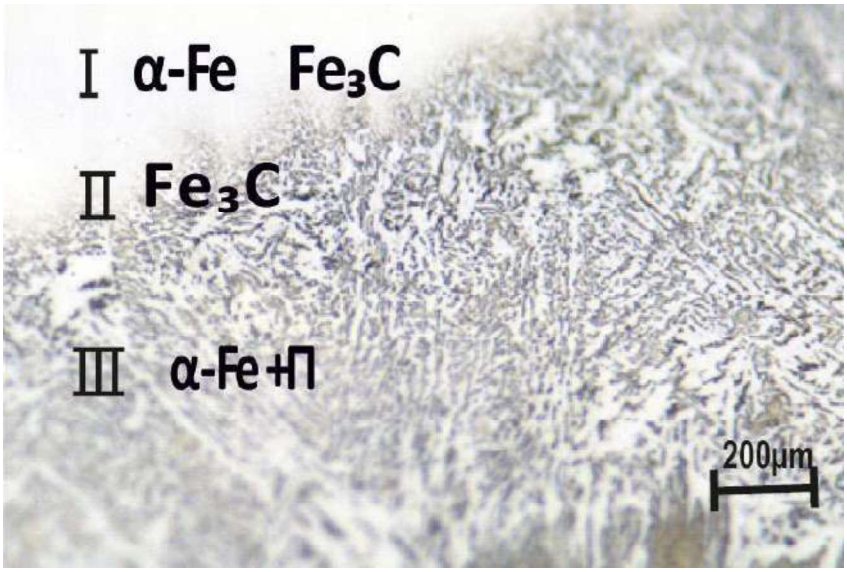


Рисунок 3. Микроструктура наплавленного слоя и зоны термического влияния стали 20Х

Для выявления указанных особенностей и оценки качества сформированного покрытия рассмотрим реальную микроструктуру наплавленного слоя на стали 20Х, представленную на рисунке 3. На микрофотографии выделяются следующие зоны и особенности:

Наплавленный слой I — верхняя область с относительно однородной микроструктурой и преимущественно равноосными зернами, формирующаяся при полном расплавлении и кристаллизации присадочного металла. Преобладают α-Fe с включениями Fe_3C, образующими перлит; у линии сплавления наблюдается направленная кристаллизация. Локально при быстром охлаждении возможен мартенсит, повышающий твердость и износостойкость.

Линия сплавления II — переходная зона с выраженными границами кристаллитов и частичным смешением. Характерны интенсивная диффузия, разбавление и комплексная фазовая структура (перлит, мартенсит, Fe_3C). Высокая плотность границ обеспечивает прочность сцепления и трещиностойкость.

Подложка III основной металл — область с более крупными зернами исходной структуры. В зоне термического влияния наблюдаются рекристаллизация и рост зерен, формирование α-Fe + перлита, локально — мартенсита, что влияет на механические свойства и адгезию слоя.

Структурно-фазовые превращения:

• наплавленный слой — α-Fe + Fe_3C (перлит) с участками мартенсита;

• линия сплавления — многокомпонентная структура с высокой плотностью границ, перлитом и мартенситом;

• ЗТВ — α-Fe + перлит с признаками рекристаллизации, обеспечивающими снижение напряжений и предотвращение трещинообразования.

Рисунок 4 демонстрирует количественное распределение микротвёрдости по

глубине наплавленного соединения стали 20Х.

В наплавленном слое значения микротвёрдости составляют в среднем 280–320 HV, что связано с формированием мелкодисперсной феррито-перлитной структуры с локальными участками мартенсита. Вблизи линии сплавления наблюдается максимум — 340–380 HV, обусловленный измельчением зерна и наличием мартенситных составляющих. В зоне термического влияния микротвёрдость снижается от 300 HV до 220–240 HV по мере удаления от границы сплавления, что отражает переход к более равновесной феррито-перлитной структуре. В основном металле значения стабилизируются на уровне 180–210 HV, соответствуя исходному состоянию стали 20Х.

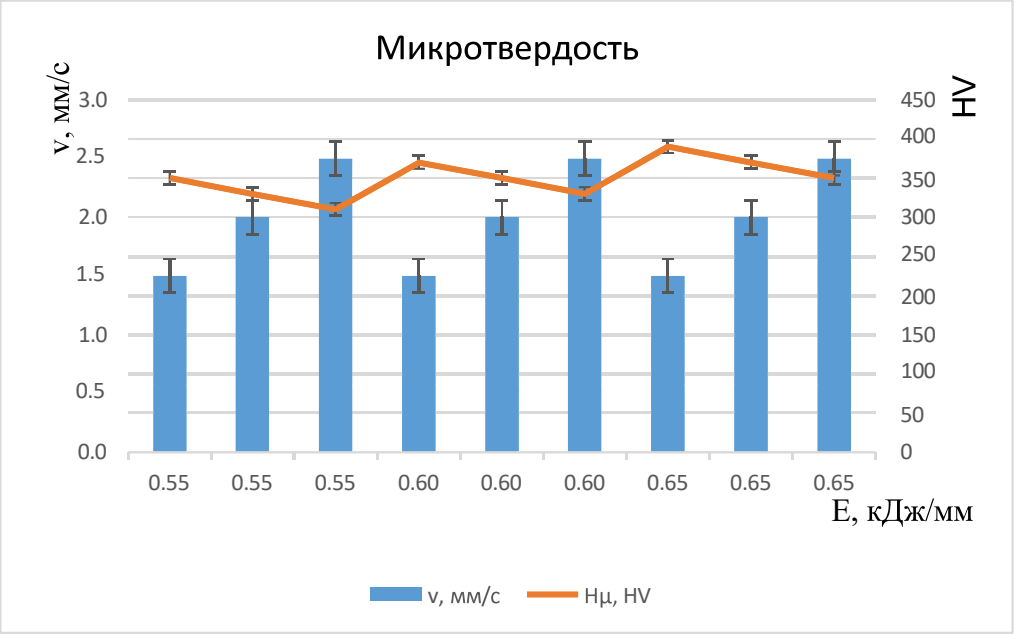


Рисунок 4. Распределение микротвёрдости по сечению наплавленного слоя стали 20Х при GTAW/TIG-наплавке

ЗАКЛЮЧЕНИЕ Исследование показало, что режим GTAW/TIG-наплавки стали 20Х (I = 110 А, U = 11–12 В, v = 2 мм/с, Q = 8–10 л/мин, DCEN) обеспечивает стабильное формирование наплавленного слоя с минимальными дефектами и контролируемым тепловложением (0,60–0,65 кДж/мм). Микроструктура слоя состоит из α-Fe и перлита с локальными включениями мартенсита, линия сплавления характеризуется высокой плотностью границ кристаллитов и комплексной фазовой структурой, а зона термического влияния содержит α-Fe и перлит с признаками рекристаллизации. Распределение микротвердости носит градиентный характер: максимум 340–380 HV в линии сплавления, 280–320 HV в наплавленном слое, 220–300 HV в ЗТВ и 180–210 HV в основном металле, что подтверждает формирование функционально-градиентного слоя с высокой прочностью и износостойкостью при сохранении пластичности подложки. Таким образом, учет фазового состава и параметров наплавки позволяет оптимизировать эксплуатационные свойства деталей запорной арматуры для нефтегазовой отрасли.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Данное исследование было профинансировано грантом Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (AP22683698 «Повышение износостойкости уплотнительных поверхностей сопрягаемых деталей крупных шиберных задвижек»).

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке рукописи использовалась генеративная модель ИИ ChatGPT (OpenAI) для редактирования текста и улучшения научного стиля. ИИ применялся как вспомогательный инструмент; авторы полностью отвечают за достоверность данных и содержание работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Kombayev, K., Nedobitkov, A., Gridunov, I., Kozhakhmetov, Y., Khoshnaw, F., & Aibar, K. (2025). Surface crack analysis and quality enhancement of 30X13 (AISI 420) martensitic stainless steel gate valve shutters via electrolytic plasma hardening. *Results in Engineering, 26*, 104966. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104966.

Kutelu, B. J., Seidu, S. O., Eghabor, G. I., & Ibitoye, A. (2018). Review of GTAW welding parameters. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 6(5), 541–554. https://doi.org/10.4236/jmmce.2018.65039.

Kombayev, K., Khoshnaw, F., Uazyrkhanova, G., & Moldabayeva, G. (2024). Experimental and mathematical modelling investigation of plasma electrolytic oxidation (PEO) for surface hardening of 20Ch steel. *Materials, 17*(24), 6043. https://doi.org/10.3390/ma17246043

Kombayev, K., Kozhakhmetov, Y., Yerbolat, D., Dauletkhanov, Y., Kim, V., Kaidar, A., Ishangaliyev, A., & Khoshnaw, F. (2026). Influence of cutting parameters and assist gases on the laser cutting quality of 09G2S (S355J2, EN 10025-2) structural steel. *Results in Surfaces and Interfaces, 22*, 100716. https://doi.org/10.1016/j.rsi.2025.100716

ChatGPT. (2026, March 21). Редактирование и сокращение научного текста по тематике наплавки стали 20Х [Большая языковая модель]. OpenAI. https://chat.openai.com