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

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ЧЕРЕЗ ОПТИМИЗАЦИЮ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ

УДК 621.9

Д.С.Азизов[1], Ә.Қ.Курганов[2], К.К.Комбаев[1*], К. Е.Апбазов[1]

[1]Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г.Усть- Каменогорск, Казахстан

[2]Казахстанский университет технологии и бизнеса, Астана, Казахстан

*Автор-корреспондент: Комбаев Куат Курганович, e-mail: kkombaev@edu.ektu.kz

АННОТАЦИЯ. В работе представлено экспериментальное исследование влияния режимов электроэрозионной обработки на формирование микроструктуры и распределение микротвёрдости поверхности инструментальной стали Х12МФ. Обработка выполнялась методом проволочно-вырезной электроэрозионной резки на станке DK7745 с использованием латунной проволоки диаметром 0,18 мм в диэлектрической среде на водной основе. Рассмотрены два технологических режима: чистовой и интенсивный, отличающиеся параметрами импульсного напряжения, тока разряда и длительности импульсов.

Проведён металлографический анализ, позволивший выявить особенности морфологии поверхностного слоя, характер распределения карбидных фаз и степень термического воздействия при различных режимах обработки. Установлено, что чистовой режим способствует формированию мелкозернистой мартенситной структуры с равномерно распределёнными карбидами и минимальным развитием эрозионных кратеров. Интенсивный режим приводит к увеличению размеров кратеров, формированию зон переплавления и повторной кристаллизации, а также к структурной неоднородности.

Результаты измерения микротвёрдости показали, что чистовой режим обеспечивает более высокие и стабильные значения по глубине поверхностного слоя, тогда как интенсивный режим характеризуется их снижением и значительной вариативностью. Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации режимов электроэрозионной обработки для повышения эксплуатационных характеристик штамповой оснастки.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка; проволочно-вырезная обработка; сталь Х12МФ; микроструктура; микротвёрдость; режимы обработки.

ВВЕДЕНИЕ

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) представляет собой высокоэффективный нетрадиционный методобработки электропроводящих материалов, основанный на локальном разрушении поверхности заготовки под воздействием импульсных электрических разрядов. В отличие от традиционных лезвийныхметодов обработки, ЭЭО является бесконтактным процессом, позволяющим получать детали сложной геометрической формы с высокой точностью размеров и качеством поверхности. Существенным преимуществом метода является возможность обработки материалов практически любой твердости без значительных механических нагрузок на инструмент и заготовку [1].

В промышленной практике применяются два основных вида электроэрозионной обработки: объемное электроэрозионное копирование и проволочно-вырезная обработка. При объемной

обработке формирование поверхности осуществляется с использованием профилированного электрода инструмента, который постепенно внедряется в заготовку и воспроизводит заданную геометрию полости, рисунок 1. Проволочно-вырезная электроэрозионная обработка, в свою очередь, использует тонкую проводящую проволоку в качестве электрода-инструмента, что обеспечивает высокую гибкость при формировании сложных контуров и профилей, рисунок 1А. Электрод-инструмент (Ⅰ) служит проводящим рабочим элементом, через который подаются импульсы электрического разряда и который постепенно перемещается в направлении заготовки. Обрабатываемая деталь (Ⅱ) представляет собой электропроводящий материал, поверхность которого разрушается под воздействием последовательных электрических разрядов [2].

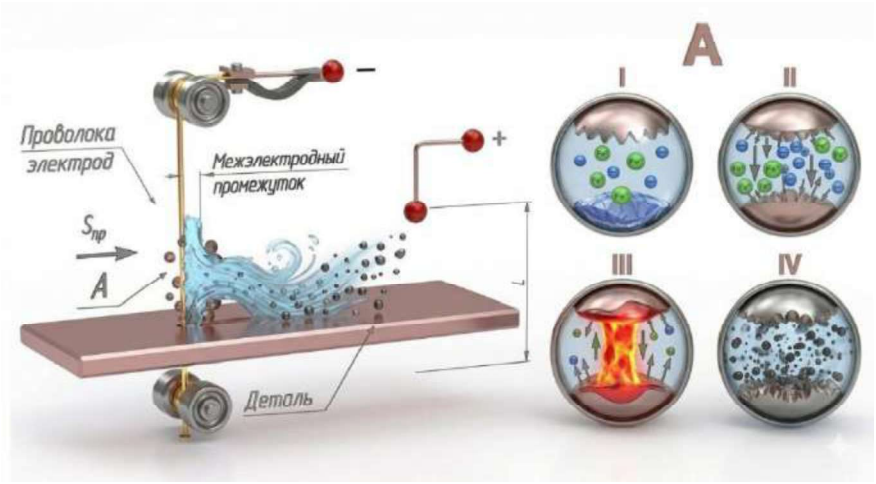


Рисунок 1. Основные схемы электроэрозионной обработки.

Между электродом и заготовкой формируется межэлектродный промежуток (Ⅲ), заполненный диэлектрической жидкостью, в котором происходят процессы ионизации среды, образование плазменного канала и удаление продуктов эрозии. Подача управляемых электрических импульсов осуществляется от генератора импульсного питания (Ⅳ), обеспечивающего необходимые условия для возникновения разрядов и стабильного протекания процесса электроэрозионной обработки.

Независимо от типа процесса, механизм электроэрозионного разрушения материала остается одинаковым. Между электродом-инструментом и заготовкой формируется межэлектродный промежуток, заполненный диэлектрической жидкостью. При подаче импульсного напряжения происходит ионизация среды и образование плазменного канала проводимости. В зоне разряда возникает локальное повышение температуры, вызывающее плавление и частичное испарение материала поверхности. После прекращения импульса образовавшийся газоплазменный пузырь разрушается, и расплавленный металл удаляется из зоны обработки потоком диэлектрической жидкости в виде мелкодисперсных частиц, рисунок 2.

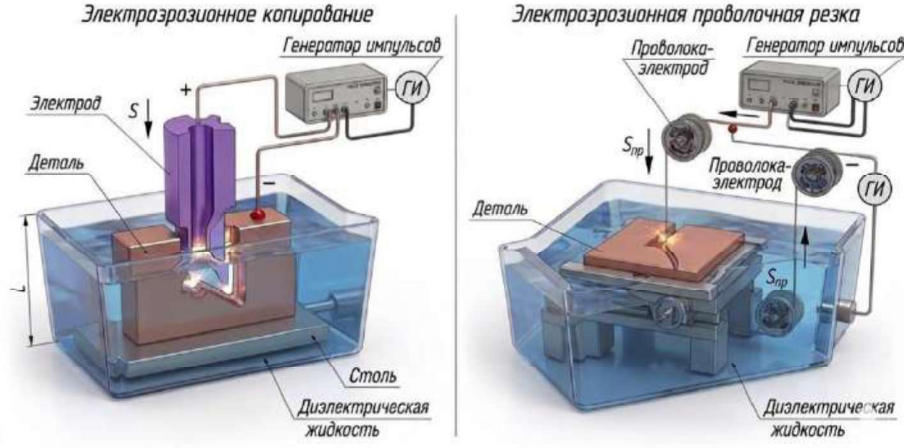


Рисунок 2. Схема формирования плазменного канала и удаления расплавленного металла при электроэрозионной обработке.

Интенсивность съема материала и износ инструмента зависят от параметров электрического импульса, полярности электродов и свойств используемых материалов. При прямой полярности заготовка выступает в роли анода, а инструмент —– катода, тогда как при обратной полярности распределение зарядов меняется. Для повышения стойкости инструмента обычно применяются материалы с высокой эрозионной устойчивостью, такие как графит или медь [3].

Таким образом, электроэрозионная обработка представляет собой сложный электрофизический процесс, включающий явления электрического пробоя, формирования плазменного канала, локального плавления и удаления материала. Благодаря высокой точности и возможности обработки труднообрабатываемых материалов ЭЭО широко используется при изготовлении пресс-форм, штампов, режущего инструмента и других деталей сложной конфигурации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках настоящего исследования были проведены экспериментальные работы по изготовлению элементов штамповой оснастки —– матрицы и пуансона, предназначенных для технологического процесса получения заготовок шпинделя. В качестве материала заготовок шпинделя использовалась коррозионно - стойкая мартенситная сталь 14Х17Н2, широко применяемая для изготовления ответственных деталей машин, работающих в условиях повышенных нагрузок и коррозионного воздействия. Химический состав и свойства данной стали регламентируются требованиями ГОСТ 5632–2014 [4].

Для изготовления штамповой оснастки применялась труднообрабатываемая инструментальная штамповая сталь Х12МФ, согласно ГОСТ 5950–2000, обладающая высокой износостойкостью, твердостью и сопротивлением пластической деформации. Данный материал широко используется для изготовления штампов холодной деформации, матриц и пуансонов, применяемых в технологических процессах формообразования металлических заготовок.

Формирование рабочих контуров матрицы и пуансона осуществлялось методом проволочно-вырезной электроэрозионной обработки на станке DK7745. В качестве электрода-инструмента использовалась латунная проволока диаметром 0,18 мм. В процессе обработки применялась диэлектрическая рабочая жидкость на основе водного раствора. Управление параметрами процесса осуществлялось посредством программируемого генератора импульсов станка [5].

Основные технологические режимы электроэрозионной обработки, применяемые при изготовлении штамповой оснастки, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы электроэрозионной обработки на станке DK7745, использованные при исследовании микроструктуры.

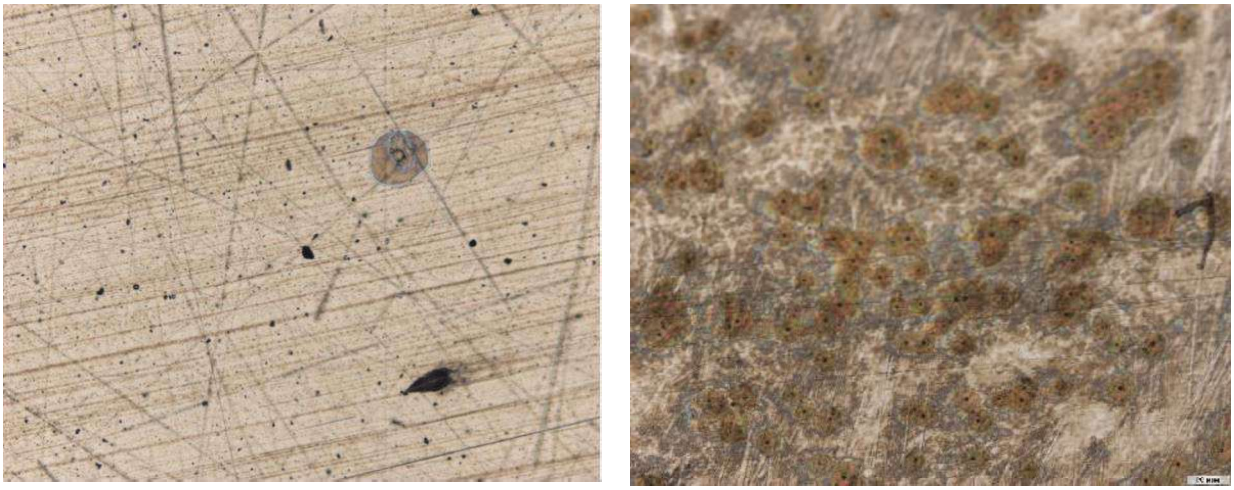
Параметр обработки	Обозначение	Режим 1 (чистовой)	Режим 2 (интенсивный)
Напряжение импульса	U	65 В	75 В
Ток разряда	I	2 А	4 А
Длительность импульса	Ton	6 мкс	12 мкс
Пауза между импульсами	Toff	40 мкс	20 мкс
Диаметр проволоки	d	0,18 мм	0,18 мм
Скорость подачи проволоки	Vw	6 м/мин	9 м/мин
Скорость резания	Vc	85 мм²/мин	115 мм²/мин
Рабочая жидкость	—	водный диэлектрик	водный диэлектрик
Толщина обрабатываемой заготовки	h	25 мм	25 мм

Исследования проводились в лаборатории Smart Engineering Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева. Для проведения металлографического анализа из обработанных заготовок были вырезаны образцы размером 10 × 10 × 25 мм. Подготовка образцов включала механическую шлифовку и полировку с последующим травлением для выявления структурных составляющих материала [6].

Исследование микроструктуры проводилось с использованием оптического металлографического микроскопа Olympus BX51. Наблюдения выполнялись при различных увеличениях, что позволило оценить особенности структурного состояния материала, характер распределения фаз и возможные изменения микроструктуры после электроэрозионной обработки. Полученные микрофотографии использовались для анализа морфологии структуры и оценки влияния технологических параметров обработки на структурное состояние материала. Микротвердость поверхности измеряли по методу Виккерса, в соответствии со стандартами ST SEV 469-77 и ISO 6508-86. В качестве индентора использовался конический алмазный наконечник с углом вершины 120°, а значения твердости округлялись до ближайших 0,5 единиц. Полученные данные обрабатывались и графически представлены с помощью Microsoft Excel [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты микроструктурного анализа обработанных образцов представлены на рисунке 3. На микрофотографиях, рисунок 3 а, б показана структура поверхности стали после электроэрозионной обработки при различных режимах обработки.



а) чистовой режим обработки; б) интенсивный режим обработки.

Рисунок 3. Микроструктура поверхности стали Х12МФ после электроэрозионной резки.

На рисунке 3а представлена микроструктура поверхности образца из стали Х12МФ, обработанного в мягком (чистовом) режиме электроэрозионной обработки. Сталь Х12МФ относится к инструментальным высокоуглеродистым мартенситным сталям с содержанием хрома около 12 % и углерода 1,4–1,5 %. В исходном состоянии в её матрице мартенсита присутствуют дискретные карбидные фазы Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, VC и Mo_2C, которые формируют твёрдую и износостойкую структуру.

При мягком режиме ЭЭО на поверхности наблюдаются мелкие эрозионные кратеры диаметром примерно 2–5 мкм. Карбидные включения видны как тёмные дисперсные фазы, равномерно распределённые по поверхности. Локальное плавление материала ограничено, что сохраняет мелкозернистую структуру мартенситной матрицы и исходное распределение карбидов. Быстрое охлаждение в диэлектрической среде формирует тонкий переплавленный слой (до 2–3 мкм), не вызывая значительных термических напряжений. Такая структура обеспечивает высокую твёрдость и износостойкость обработанного слоя.

На рисунке 3б показана микроструктура поверхности той же стали, обработанной при более интенсивном режиме ЭЭО. В этом случае наблюдается более выраженный рельеф поверхности с крупными кратерами диаметром около 10–20 мкм и локальными зонами переплавленного металла толщиной до 10 мкм. Повышение тока разряда и длительности импульса приводит к более интенсивному плавлению материала, частичному растворению мелких карбидов и перераспределению легирующих элементов. Повторная кристаллизация расплавленного металла формирует грубозернистый поверхностный слой с локальной неоднородностью твёрдости. На поверхности также могут появляться микродефекты, вызванные быстрым охлаждением переплавленных зон.

Сравнительный анализ микроструктур на рисунке 3 (а, б) показывает, что режимы электроэрозионной обработки существенно влияют на морфологию и фазовое распределение поверхности стали Х12МФ. Мягкий режим обеспечивает сохранение дискретных карбидных фаз Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, VC, Mo_2C, мелкозернистую мартенситную матрицу и минимальные кратеры, что благоприятно для твёрдости и износостойкости. Интенсивный режим увеличивает размеры кратеров, формирует зоны повторной кристаллизации, перераспределяет карбиды и создаёт грубозернистый слой с локальными дефектами. Данные структурные особенности находят прямое отражение в распределении микротвёрдости, представленном на рисунке 4.

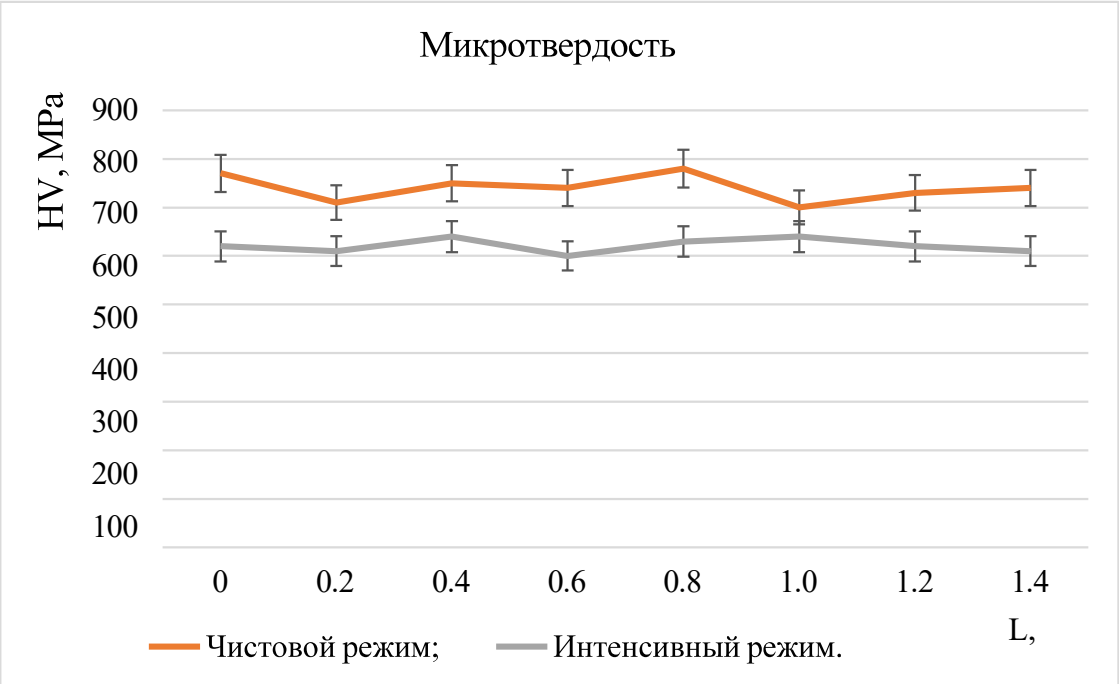


Рисунок 4. Профиль микротвёрдости по глубине после ЭЭО стали Х12МФ

Распределение микротвёрдости по глубине поверхностного слоя, рисунок 4 демонстрирует характерные различия между чистовым и интенсивным режимами электроэрозионной обработки. В приповерхностной зоне (до ~0,2–0,3 мкм) наблюдаются максимальные значения микротвёрдости, достигающие порядка 800–900 HV, что связано с формированием закалённого слоя и высокой концентрацией упрочняющих фаз.

Для чистового режима характерно относительно плавное снижение микротвёрдости с увеличением глубины, при этом значения остаются более стабильными и равномерными по всему исследуемому слою. Это указывает на формирование однородной мелкозернистой структуры с равномерным распределением карбидных фаз.

В случае интенсивного режима кривая микротвёрдости имеет более выраженный неравномерный характер: после высоких значений на поверхности наблюдается резкое снижение и последующие колебания по глубине. В отдельных зонах микротвёрдость существенно уменьшается, что свидетельствует о структурной неоднородности, наличии зон повторной кристаллизации, термического разупрочнения и локальных дефектов.

На глубинах свыше ~1,0–1,2 мкм значения микротвёрдости для обоих режимов постепенно сближаются, приближаясь к характеристикам основного материала. В целом, полученные зависимости подтверждают, что чистовой режим обеспечивает формирование более стабильного и упрочнённого поверхностного слоя, тогда как интенсивный режим приводит к его разупрочнению и структурной неоднородности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволило установить влияние режимов проволочно-вырезной электроэрозионной обработки на микроструктуру и микротвёрдость стали Х12МФ: показано, что чистовой режим формирует однородный мелкозернистый мартенситный слой с кратерами ~2–5 мкм, переплавленным слоем до 2–3 мкм и стабильной микротвёрдостью ~800–900 HV,

тогда как интенсивный режим приводит к увеличению кратеров до ~10–20 мкм, росту переплавленного слоя до ~10 мкм, структурной неоднородности и снижению микротвёрдости; научная новизна заключается в установлении количественной взаимосвязи между параметрами импульсного режима и характеристиками поверхностного слоя, что вносит вклад в развитие представлений о структурообразовании при ЭЭО; практическая значимость состоит в обосновании выбора чистового режима для повышения износостойкости и качества поверхности штамповой оснастки; ограничением является рассмотрение ограниченного набора режимов обработки; перспективы дальнейших исследований связаны с расширением диапазона параметров ЭЭО, а также изучением остаточных напряжений, трещинообразования и эксплуатационных характеристик обработанных поверхностей.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке работы использовалась система искусственного интеллекта ChatGPT для редактирования текста, улучшения стиля и структурирования материала. Все научные результаты, анализ и выводы выполнены авторами самостоятельно; использование ИИ носило вспомогательный характер и не повлияло на достоверность исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gu L., Zhu Y., Zhang F. et al. Mechanism Analysation and Parameter Optimisation of Electro Discharge Machining of Titanium-Zirconium-Molybdenum Alloy // Journal of Manufacturing Processes. 2018. Vol. 32, pp. 773–781. DOI: 10.1016/j.jmapro.2018.06.023.

2. Shastri R.K. Reviewing performance measures of the die-sinking EDM process // Nanomaterials. 2022. Vol. 12, № 3, p. 384. DOI: 10.3390/nano12030384. — описывает принципы EDM и его безконтактный характер.

3. Shastri R.K. A critical review on different aspects of electric discharge machining // Materials Today: Proceedings. 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.03.748.

4. Азизов Д. С., Кылымбеков Н. К., Комбаев К. К. Определение оптимальных режимов электроискровой обработки конструкционной легированной стали для повышения поверхностных физико-механических свойств // Материалы XI Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана», посвященной 80-летию Кульсеитова Ж. О., 10–11 апреля 2025 г., Часть I. - Усть-Каменогорск: Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. С. Серикбаева, 2025. - С. 14–18.

5. 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

6. Gridunov, I., Kombayev, K., Wieleba, W., & Muzdybayeva, A. (2025). Studying the effect of the electrolyte plasma modification method on the mechanical and tribological properties of the crankshaft steel samples surface. International Review of Mechanical Engineering, 19(6), 272. https://doi.org/10.15866/ireme.v19i6.25958

7. K. Kombayev, F. Khoshnaw, G. Uazyrkhanova, and G. Moldabayeva, “Experimental and mathematical modelling investigation of plasma electrolytic oxidation (PEO) for surface hardening of 20Ch steel,” Materials, vol. 17, no. 24, p. 6043, 2024, doi: 10.3390/ma17246043.