

#### Сведения об авторах

**Галия Бекеновна Абдилова\*** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технологическое оборудование», Университет имени Шакарима города Семей; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

**Жадра Ахметовна Сергибаева** – PhD докторант кафедры «Технологическое оборудование», Университет имени Шакарима города Семей; e-mail: jadra1980@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1248-1304>.

**Болат Бейсенгалиевич Кабулов** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технологическое оборудование», Университет имени Шакарима города Семей; e-mail: bolatkabylov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7619-2622>.

**Асыл Аргынгазыевна Баядилова** – PhD докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей; e-mail: assylzhan\_88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5738-4498>.

**Борис Анатольевич Лобасенко** – доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный дизайн», ФГБОУ ВО «Кемеровский Государственный университет» (КемГУ), 650000, Россия, г. Кемерово; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

#### Information about of authors

**Galia Abdilova\*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the The Department of technological equipment, Shakarim Semey University; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

**Zhadra Sergibaeva** – PhD student of the The Department of technological equipment, Shakarim Semey University; e-mail: jadra1980@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1248-1304>.

**Bolat Kabulov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the The Department of technological equipment, Shakarim Semey University; e-mail: bolatkabylov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7619-2622>.

**Asyl Bayadilova** – PhD student of the The Department of technological equipment, Shakarim Semey University; e-mail: assylzhan\_88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5738-4498>.

**Boris Lobasenko** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial Design, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

Редакцияға енуі 04.07.2024

Өңдеуден кейін түсуі 09.09.2024

Жариялауға қабылданды 10.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-10](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-10)



МРНТИ: 53.31.73

**Р.К. Кусаинов<sup>2</sup>, Н.Е. Қадырболат<sup>†</sup>, Р.Х. Курмангалиев<sup>1,2</sup>, К.Д. Орманбеков<sup>1,2</sup>,  
А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А  
Инжиниринговый центр «Упрочняющие технологии и покрытия»,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4в  
\*e-mail: ersinnur44@gmail.com

#### ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИНЫ ИЗ СТАЛИ 45

**Аннотация:** В данном исследовании изучалось влияние электролитно-плазменной закалки (ЭПЗ) на свойства стали марки 45, которая может служить альтернативой традиционным методам термообработки, применяемым перед выпуском готовой продукции. По результатам проведённых экспериментов установлено, что механические и эксплуатационные свойства стали 45 существенно улучшились после применения ЭПЗ. Сталь 45, широко используемая в машиностроении и производстве сельскохозяйственной техники благодаря своим прочностным характеристикам и долговечности, показала значительное увеличение показателей после обработки. Можно заметить, что свойства стали 45 значительно улучшились после применения методов электролитно-плазменной закалки, так как твёрдость образцов увеличилась в 3,1-3,62 раза, а износостойкость возросла в 7 раз. Кроме того, в работе показана экономическая эффективность предложенного метода обработки, который показал, что внедрение ЭПЗ может

*привести к значительному снижению затрат на материалы, увеличению срока службы продукции и улучшению экологических показателей производства за счёт сокращения энергетических затрат и выбросов. Использование нетоксичного 20-% раствора карбоната натрия при ЭПЗ способствует равномерному распределению электрического тока в ячейке, а также позволило добиться оптимальной скорости охлаждения образца.*

**Ключевые слова:** электролитно-плазменная закалка (ЭПЗ), микротвердость, износ, сталь 45, электролит.

## **Введение**

В настоящее время на машиностроительных производствах из-за недостатка качественных инструментов, их быстрого износа, а также воздействия множества факторов, таких как коррозия и неудовлетворительные механические свойства, наблюдаются значительные экономические убытки. Традиционные методы термообработки, хотя и эффективны, могут быть энергоёмкими и менее экологичными. В процессе термической обработки часто возникают технические сложности и побочные нежелательные эффекты, которые зачастую препятствуют обеспечению надлежащего качества и надёжности деталей из закаленной стали. К таким недостаткам можно отнести большой расход энергии в случае индукционной закалки, а также потеря энергии в катушке, при обычной закалке в печи это относительно низкая твердость на выходе, а также сложности при закалке габаритных изделий и т.д. Большинство инструментов для машин изготавливаются из стали, и среди них сталь 45 благодаря своим оптимальным механическим свойствам и относительной дешевизне широко применяется в различных отраслях промышленности, особенно в машиностроении, где требуется высокая износостойкость и долговечность. Поэтому для достижения этих характеристик, необходимы современные эффективные методы обработки, позволяющие нивелировать недостатки традиционных способов обработки. К числу таких относится ЭПЗ, позволяющая адаптировать свойства стали под специфические условия эксплуатации и повышенные нагрузки [1].

Электролитно-плазменная закалка (ЭПЗ) представляет собой инновационную технологию, позволяющую значительно улучшить механические свойства стали за счет применения концентрированного потока тепла электролитной плазмы и быстрого охлаждения в том же электролите после нагрева. При ЭПЗ плазма, генерируемая в электролитном растворе солей или кислот, воздействуя на поверхность обрабатываемой детали, формирует закаленную зону. Данная поверхностная закаленная зона имеет мелкозернистую мартенситную микроструктуру, и поверхность детали приобретает улучшенные механические характеристики, такие как повышенная твердость, износостойкость и коррозионная стойкость. Эти улучшения способствуют увеличению срока службы деталей и инструментов из стали 45 и снижению эксплуатационных затрат. Учитывая имеющиеся проблемы в машиностроительной отрасли, связанные с современными требованиями к энергосберегающему и экологически безопасному оборудованию, замещение традиционных методов закалки новыми методами, такими как ЭПЗ, в производстве, является одной из наиболее актуальных задач [2].

Целью данной статьи является систематическое исследование влияния электролитно-плазменного упрочнения на структуру и механические свойства стали марки 45. Таким образом, данное исследование способствует более глубокому пониманию механизмов, лежащих в основе этого процесса, а также позволяет оценить его эффективность и применимость в различных областях машиностроительной промышленности.

## **Материалы и методы**

Электролитно-плазменное упрочнение образцов из стали 45, а также их последующее исследование проводились в Инжиниринговом центре «Упрочняющие технологии и покрытия» города Семей, Казахстан. Для проведения ЭПЗ использовалась специальная установка, предназначенная для нагрева локальных зон крупногабаритных изделий. Установка представляет собой комплекс, включающий источник питания и электролитную ячейку, которые встроены в химический шкаф. Источник питания мощностью 50 кВт обеспечивает подачу постоянного положительного напряжения до 380 В и ток до 150А в зависимости от нагрузки. Управление источником питания осуществляется с помощью цифрового модуля, который также имеет интерфейс для подключения к персональному компьютеру через COM-порт, что позволяет точно контролировать параметры процесса [3].

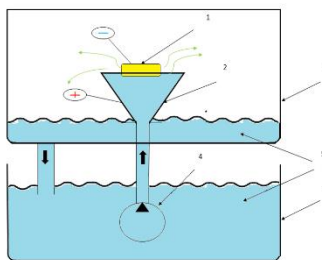


Рисунок 1 – Внешний вид и принципиальная схема установки ЭПУ:  
1 – заготовка (образец); 2 – конусный электролизер из нержавеющей стали;  
3 – отстойник; 4 – насос; 5 – электролит; 6 – электролитная ванна

Для установления оптимального режима электролитно-плазменного упрочнения (ЭПУ) были подготовлены образцы из стали марки 45 размером 15x15x15 мм и отшлифованы вручную последовательно на наждачной бумаге с зернистостью от Р100 до Р2500, которые подвергались стандартной термической обработке в определённых температурных режимах: закалка при 880-900°C и отпуск при 600-650°C. Затем уже дополнительно применялась электролитно-плазменная закалка при температуре около 850°C в течение 8 секунд и при температуре около 1200°C в течение 8 секунд. Эти различные методы термической обработки позволили сравнить и оценить влияние каждого из них на механические свойства стали 45 [4].

Для более детального анализа электролитно-плазменной заправки использовались одинаковые составы электролитов и разные режимы обработки, представленные в таблице 1, что позволило оценить влияние этих параметров на свойства стали 45.

Таблица 1 – Параметры режимов ЭПУ стали 45

| Образец | Площадь конуса     | Содержание электролита                        | U, В | t, с | I, А |
|---------|--------------------|-----------------------------------------------|------|------|------|
| № 1     | 0,05м <sup>2</sup> | 20% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +80% Вода | 280  | 7    | 50   |
| № 2     | 0,05м <sup>2</sup> | 20% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +80% Вода | 270  | 8    | 50   |

Электролит (раствор карбоната натрия в дистиллированной воде) циркулирует в электролитической ячейке благодаря электродвигателю с расходом 60 л/мин, обеспечивая равномерное обмывание анода, который находится внутри ячейки. Через верхнее отверстие ячейки электролит возвращается в отстойник, проходя при этом вблизи поверхности закаливаемой детали (катода), установленной на регулируемом расстоянии. При подаче электрического напряжения между анодом и катодом ионы электролита, такие как Н<sup>+</sup>, ОН<sup>-</sup>, СО<sub>3</sub><sup>-</sup>, начинают упорядоченно двигаться, что приводит к быстрому нагреву катода и прилегающего слоя электролита, создавая парогазовую оболочку [5]. В результате ионизированные пары электролита формируют среду, в которой возникают электрические разряды между электролитом и катодом, и температура образца постепенно повышается.

Для оценки стойкости к абразивному изнашиванию образцов после электроплазменной обработки использовался метод абразивного износа на экспериментальной установке. Эксперимент проводился на специальном стенде по схеме «вращающийся ролик – плоская поверхность», при трении образцов о не жестко закрепленные частицы абразива, подаваемые со скоростью 41-42 г/мин (в соответствии с ГОСТ 23.208-79). Цилиндрический ролик из резины, прижатый к поверхности исследуемого образца с силой 22 Н, вращался с частотой 1 Гц. В качестве абразивного материала использовался электрокорунд с зернистостью 250 мкм. Образцы предварительно проходили шлифовку и полировку [6].

Измерение микротвердости образцов в исходном состоянии, а также после заправки проводили на микро-твердометре по Виккерсу HV-1 DT, при нагрузках на индентор Р=1 Н и времени выдержки под нагрузкой t = 10 с для всех образцов.

Для исследования микроструктуры образцов был применен металлографический микроскоп Altami 5С (РФ) с возможностью регулировки освещения. Перед изучением микроструктуры образцы прошли полировку и травление 44% раствором HNO<sub>3</sub> в спирте [10].

## Результаты и обсуждения

### Влияние параметров электролитно-плазменной закалки на твердость стали 45

Если исходная микротвердость стали 45 составляла 200 HV, то в результате проведенных экспериментов её увеличение достигло 3,1-3,6 раза, что указывает на значительные изменения в структуре материала. Это увеличение свидетельствует о глубоких микроструктурных преобразованиях, вызванных термомеханическими эффектами электролитно-плазменной закалки. Дальнейшее увеличение твердости приводит к фазовым изменениям, которые могут быть зафиксированы с помощью оптической микроскопии и металлографического анализа. В частности, повышение твердости означает переход от ферритно-перлитной к мартенситной фазе, что подтверждается изменением микротвердости и увеличением плотности дефектов кристаллической решётки. Эти изменения могут свидетельствовать о повышенной дислокационной активности и формировании более устойчивой к внешним воздействиям фазы [3].

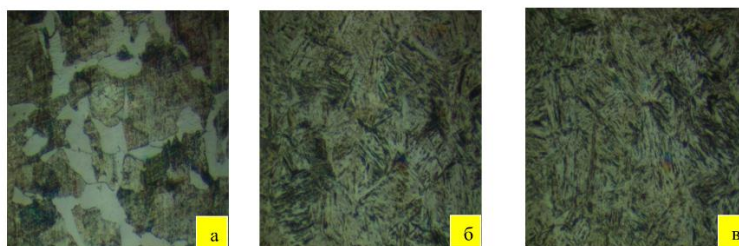


Рисунок 2 – Оптические микрофотографии стали 45: а) до; б, в) после ЭПУ

На рисунке 3 представлена зависимость микротвердости стали 45 от времени воздействия электролитной плазмы. Микротвердость стали 45 в исходном состоянии составляет 200 HV. Установлено, что после электролитно-плазменной поверхностной закалки (ЭППЗ) при времени нагрева 7 секунд микротвердость стали 45 возрастает в 3,1 раза по сравнению с исходным состоянием, достигая значения около 635 HV. На рисунке 3 можно наблюдать что после 8-секундной электролитно-плазменной закалки твердость увеличилась примерно в 3,62 раза, достигнув значения 724 HV. Это свидетельствует о значительном повышении механических свойств материала под воздействием данной обработки, аналогично тому, как при интенсивном закаливании металл приобретает значительно большую прочность. На рисунке 5 показана микроструктура поверхности образцов после ЭППЗ. Микроструктуры на рисунках 4а и 4б соответствуют фазе с присутствием мартенситных включений, а на рисунках 4в и 4г изображены фазы с преобладанием перлитно-ферритной структуры.

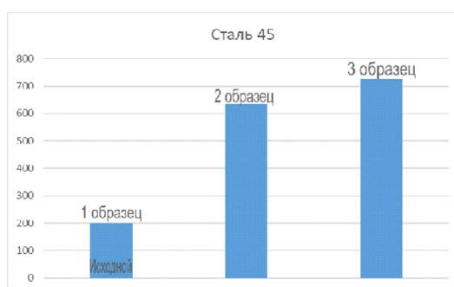


Рисунок 3 – Сравнение микротвердости исходного и закаленных образцов из стали 45

На рисунке 4 представлена микроструктура поперечного сечения образца № 2 из стали 45 после электролитно-плазменной закалки. Толщина модифицированного слоя составляет около 500-550 мкм. Представленную на рисунке 4 микроструктуру можно разделить на три характерные зоны: 1 – зона интенсивных структурных превращений (закаленный слой); 2 – зона термического влияния; 3 – зона исходной матрицы [7]. В переходной зоне наблюдается более мелкозернистая структура, характерная для зоны термического влияния, по сравнению с крупнозернистой структурой исходной матрицы [9].

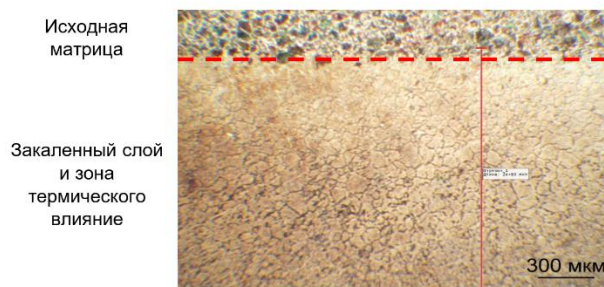


Рисунок 4 – Образованные зоны микроструктуры после ЭПЗ на поперечном срезе образца № 2 из стали 45

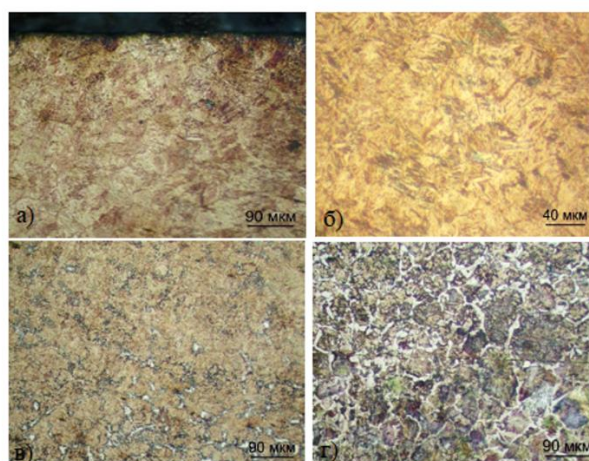


Рисунок 5 – Микроструктура поверхности образцов из стали 45 после ЭПЗ

По результатам проведенных экспериментов было выявлено значительное увеличение износостойкости образцов, подвергнутых электролитно-плазменному упрочнению, в сравнении с исходными образцами. Упрочненные образцы продемонстрировали уменьшение объема износа. Здесь прослеживается следующая закономерность: чем выше твердость стали, тем выше износостойкость [8]. Здесь имеет значение размер зерен после процесса ЭПЗ, чем меньше размер зерна, тем выше способность противостоять к абразивному изнашиванию. Данное улучшение износостойкости говорит о потенциале данного метода для повышения надежности и долговечности материалов, особенно в условиях высоких механических и абразивных нагрузок. Как видно из рисунка 6, наименьший уровень приведенного износа зафиксирован у образцов № 2 и № 3, которые подвергались закалке в течение 7 и 8 секунд, соответственно. Значения составили  $1,22 \times 10^{-7}$  и  $1,16 \times 10^{-7}$  мм<sup>3</sup>/(м·Н), что указывает на улучшение износостойкости в 7 раз по сравнению с исходным образцом, у которого износ составил  $8,41 \times 10^{-7}$  мм<sup>3</sup>/(м·Н).

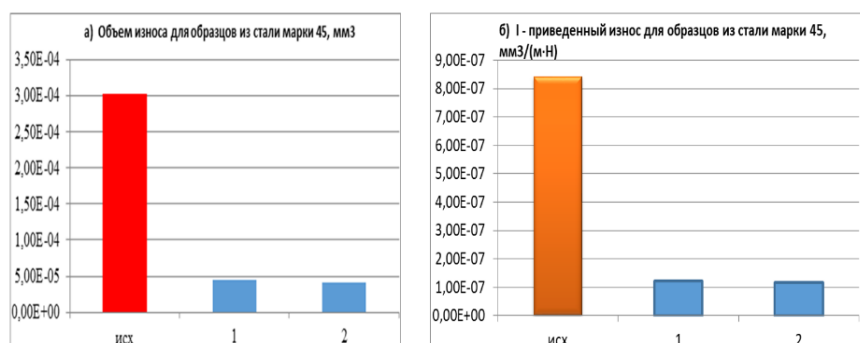


Рисунок 6 – результат измерения объема износа образцов до и после ЭПЗ:  
а) объем износа и б) приведенный износ

Причинами увеличения износостойкости являются формирование более прочной и устойчивой поверхностной структуры, а также улучшение механических свойств материала в связи с уменьшением зернистости. Плазменный поток и электролитические реакции способствуют формированию твердых растворов и дисперсионных частиц на поверхности стали, что увеличивает ее твердость и устойчивость к износу [11].

### **Заключение**

Анализируя результаты экспериментальных исследований по модификации поверхностных слоев стали 45 с использованием электролитно-плазменной закалки (ЭПЗ), можно сделать ряд важных выводов:

Разработана методика и определены идеальные условия для упрочнения поверхности стали 45 в электролитной плазме, позволяющие создать модифицированный слой с толщиной приблизительно 500–550 микрон, обладающий улучшенными рабочими характеристиками. Обнаружено, что морфологическая структура стали 45 после ЭПЗ характеризуется мартенситными зернами. Выявлено, что структура поперечного сечения обработанной стали 45 демонстрирует зональное разделение: закаленный слой с мартенситной структурой, ниже располагается слой термического воздействия, за которым следует основная матрица металла [12]. В результате применения электролитно-плазменного упрочнения для улучшения свойств деталей машиностроения из стали 45 были получены следующие ключевые результаты: После процесса ЭПЗ поверхности образца стали 45 заметно увеличились такие характеристики как твердость (в 3,1-3,6 раза по сравнению с исходным материалом) и устойчивость к износу значительно возросли (уменьшение объема износа в 7 раз по сравнению с исходным материалом). Полученные результаты вкупе с быстрым протеканием закалки (7-8 секунд) демонстрируют высокую эффективность и ресурсосбережение процесса ЭПЗ. Отмечается, что с увеличением твердости материала наблюдается соответствующее повышение его износостойкости. Применение же водного раствора карбоната натрия, который не является токсичным, говорит об экологичности процесса ЭПЗ для применения его в массовом производстве деталей машиностроения. Эти улучшения подтверждают потенциал электролитно-плазменной закалки как инновационного и экономически выгодного метода обработки, способствующего увеличению ресурса металлических изделий и их долговечности в эксплуатационных условиях, что особенно важно для отраслей с высокими требованиями к материалам.

### **Список литературы**

1. Куликов И. Электролитно-плазменная обработка материалов / И.С. Куликов, С.В. Ващенко, А.Я. Каменев; Национальная академия наук Беларуси; Объединенный институт энергетических и ядерных исследований «Сосны». – Минск: Беларуская навука, 2010. – 231 с.
2. Модификация поверхности стали 30ХГСА с применением электролитно-плазменного термоциклического упрочнения / Б.К. Рахадиллов и др. // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. – 2022. – С. 610-616.
3. Rakhadilov B. et al. The impact of technological parameters of electrolytic-plasma treatment on the changes in the mechano-tribological properties of steel 45 //AIMS Materials Science. – 2024. – Т. 11. – №. 4. – С. 666-683.
4. Рахадиллов Б.К. Исследование износостойкости поверхностного слоя стали 40Хн после электролитно-плазменного воздействия / Б.К. Рахадиллов, Ж.Б. Сагдолдина, А.Б. Кенесбеков // Научно-технический задел – основа эффективного инновационного развития. – 2018. – С. 48.
5. Скаков М.К. Моделирование формирования парогазовой оболочки в процессах катодного нагрева конструкционных сталей / М.К. Скаков, Л.Г. Журерова, Л.А. Ерыгина // Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева. – 2013.
6. Структурное превращение в стали 20ГЛ после электролитно-плазменной поверхностной закалки / Б.К. Рахадиллов и др. // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – № 3. – С. 99-102.
7. Морозов В.П. Влияние колебательного механизма кристаллизации на процесс измельчения первичной структуры металла шва и зоны термического влияния / В.П. Морозов // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2010. – № 09. – С. 1.

8. Чудина О.В. Конструкционные материалы для транспортных средств специального назначения: уч. пособие / О.В. Чудина, М.П. Малиновский. – М.: МАДИ, 2020. – 232 с.
9. Пат. RU 2002119410, МПК E04B 2/56. Конструкционные панели обшивки / Тоньян Т.Д. и др.; заявитель и патентообладатель Юнайтед Стейтс Джипсум Компани (US); заявл. 2001.11.16; опубл. 2004.02.20.
10. Кайратулы Ш. Влияние термической обработки на структуру и свойства отливок из стали 20ГМЛ: магистерская диссертация / Ш. Кайратулы; ТПУ, ИШНПТ, Отделение материаловедения (ОМ); науч. рук. И.Л. Стрелкова. – Томск, 2022.
11. Погребняк А.Д. Электролитно-плазменная технология для нанесения покрытий и обработки металлов и сплавов / А.Д. Погребняк, А.Ш. Каверина, М.К. Кылышканов // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 72-88.
12. Мусихин С.А. Влияние химической неоднородности среднеуглеродистых низколегированных сталей на формирование структуры и комплекса свойств при термическом воздействии: дис. ... канд. тех. н.: 05.16.01. – Екатеринбург, 2015. – 24 с.

### References

1. Kulikov I. Ehlektrolitno-plazmennaya obrabotka materialov / I.S. Kulikov, S.V. Vashchenko, A.YA. Kamenev; Natsional'naya akademiya nauk Belarusi; Ob"edinennyy institut ehnergeticheskikh i yadernykh issledovaniy «SosnY». – Minsk: Belaruskaya navuka, 2010. – 231 s. (In Russian).
2. Modifikatsiya poverkhnosti stali 30KHGSA s primeneniem ehlektrolitno-plazmennogo termotsiklicheskogo uprochneniya / B.K. Rakhadilov i dr. // Novye materialy i tekhnologii: poroshkovaya metallurgiya, kompozitsionnye materialy, zashchitnye pokrytiya, svarka. – 2022. – S. 610-616. (In Russian).
3. Rakhadilov B. et al. The impact of technological parameters of electrolytic-plasma treatment on the changes in the mechano-tribological properties of steel 45 //AIMS Materials Science. – 2024. – Т. 11. – №. 4. – S. 666-683. (In English).
4. Rakhadilov B.K. Issledovanie iznosostoikosti poverkhnostnogo sloya stali 40khn posle ehlektrolitno-plazmennogo vozddeystviya / B.K. Rakhadilov, ZH.B. Sagdoldina, A.B. Kenesbekov // Nauchno-tehnicheskii zadel – osnova ehffektivnogo innovatsionnogo razvitiya. – 2018. – S. 48. (In Russian).
5. Skakov M.K. Modelirovanie formirovaniya parogazovoi obolochki v protsessakh katodnogo nagreva konstruktsionnykh stalei / M.K. Skakov, L.G. Zhureroва, L.A. Erygina // Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva. – 2013. (In Russian).
6. Strukturnoe prevrashchenie v stali 20GL posle ehlektrolitno-plazmennoi poverkhnostnoi zakalki / B.K. Rakhadilov i dr. // Vestnik NYATS RK. – 2018. – № 3. – S. 99-102. (In Russian).
7. Morozov V.P. Vliyanie kolebatel'nogo mekhanizma kristallizatsii na protsess izmel'cheniya pervichnoi struktury metalla shva i zony termicheskogo vliyaniya / V.P. Morozov // Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii. – 2010. – № 09. – S. 1. (In Russian).
8. Chudina O.V. Konstruktsionnye materialy dlya transportnykh sredstv spetsial'nogo naznacheniya: uch. posobie / O.V. Chudina, M.P. Malinovskii. – М.: МАДИ, 2020. – 232 s. (In Russian).
9. Пат. RU 2002119410, МПК E04B 2/56. Konstruktsionnye paneli obshivki / Ton'yan T.D. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' Yunaited Steits Dzhipsum Kompani (US); zayavl. 2001.11.16; opubl. 2004.02.20. (In Russian).
10. Kairatuly SH. Vliyanie termicheskoi obrabotki na strukturu i svoistva otlivok iz stali 20GML: magisterskaya dissertatsiya / SH. Kairatuly; TPU, ISHNPT, Otdelenie materialovedeniya (OM); nauch. ruk. I.L. Strelkova. – Tomsk, 2022. (In Russian).
11. Pogrebnyak A.D. Ehlektrolitno-plazmennaya tekhnologiya dlya naneseniya pokrytii i obrabotki metallov i splavov / A.D. Pogrebnyak, A.SH. Kaverina, M.K. Kylyshkanov // Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. – 2014. – Т. 50, № 1. – S. 72-88. (In Russian).
12. Musikhin S.A. Vliyanie khimicheskoi neodnorodnosti sredneuglerodistykh nizkolegirovannykh stalei na formirovanie struktury i kompleksa svoistv pri termicheskom vozddeistvii: dis. ... kand. tekhn.: 05.16.01. – Ekaterinburg, 2015. – 24 s. (In Russian).

## Информация о финансировании

Данное исследование было поддержано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP13068365).

Р.К. Кусаинов<sup>2</sup>, Н.Е. Қадырболат<sup>2</sup>, Р.Х. Курмангалиев<sup>1,2</sup>, К.Д. Орманбеков<sup>1,2</sup>,  
А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А

<sup>2</sup>«Қатайтатын технологиялар және жабындар» инжинирингтік орталығы  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., дене шынықтыру к-сі, 4в  
\*e-mail: ersinnur44@gmail.com

## ЭЛЕКТРОЛИТТИК-ПЛАЗМАЛЫҚ ҚАТАЙТУДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ 45 МАРКАЛЫ БОЛАТТАН ЖАСАЛҒАН МАШИНА БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҚСARTU

Бұл зерттеуде электролиттік-плазмалық шынықтырудың (ЭПШ) 45 болаттың қасиеттеріне әсері зерттелді, ол дайын өнімді шығарудың алдында қолданылатын дәстүрлі термиялық өңдеу әдістеріне балама бола алады. Жүргізілген эксперименттердің нәтижелері бойынша ЭПШ қолданғаннан кейін 45 болаттың механикалық және пайдалану қасиеттері айтарлықтай жақсарғаны анықталды. Машина жасау мен ауыл шаруашылығы техникасын өндіруде өзінің беріктігі мен ұзақ мерзімділігімен танымал 45 болат ЭПШ өңдеуден кейін көрсеткіштерін айтарлықтай арттырды. Атап айтқанда, электролиттік-плазмалық шынықтыру әдістерін қолданғаннан кейін 45 болаттың қасиеттері едәуір жақсарғаны байқалды, себебі үлгілердің қаттылығы 3,1-3,62 есеге артты, ал тозуға төзімділігі 7 есеге өсті. Сонымен қатар, зерттеуде ұсынылған өңдеу әдісінің экономикалық тиімділігі көрсетілді, ол ЭПШ-ті енгізу материалдарға шығындарды айтарлықтай азайтуға, өнімнің қызмет ету мерзімін ұзартуға және энергия шығындары мен шығарындыларды қысқарту есебінен өндірістің экологиялық көрсеткіштерін жақсартуға әкелуі мүмкін екенін дәлелдеді. ЭПШ кезінде 20%-дық натрий карбонатының улы емес ерітіндісін қолдану электр тогының ұяшықта біркелкі бөлінуіне ықпал етті, сонымен қатар үлгінің оңтайлы салқындау жылдамдығына қол жеткізуге мүмкіндік берді.

**Түйін сөздер:** электролиттік-плазмалық шынықтыру (ЭПШ), микроқаттылық, тозу, болат 45, электролит.

R. Kussainov<sup>2</sup>, N. Kadyrbolat<sup>2</sup>, R. Kurmangaliev<sup>1,2</sup>, K. Ormanbekov, A. Shynarbek.

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A  
<sup>2</sup>Engineering Center «Strengthening technologies and coatings»,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 4b Fizkulturnaya str.

\*e-mail: ersinnur44@gmail.com

## APPLICATION OF ELECTROLYTIC PLASMA HARDENING FOR IMPROVING THE PROPERTIES OF MACHINE PARTS MADE OF STEEL 45

**Abstract:** This study examined the effect of electrolytic plasma hardening (EPH) on the properties of 45-grade steel, which can serve as an alternative to traditional heat treatment methods used before the release of finished products. The results of the experiments showed that the mechanical and operational properties of 45-grade steel significantly improved after the application of EPH. Steel 45, widely used in mechanical engineering and agricultural machinery production due to its strength characteristics and durability, demonstrated a significant increase in performance after treatment. It was observed that the properties of 45-grade steel improved considerably after applying electrolytic plasma hardening methods, with the hardness of the samples increasing by 3.1-3.62 times, and wear resistance improving by 7 times. Moreover, the study highlighted the economic efficiency of the proposed treatment method, showing that the introduction of EPH can lead to a significant reduction in material costs, extended product life, and improved environmental performance by reducing energy consumption and emissions. The use of a non-toxic 20% sodium carbonate solution in EPH contributed to the uniform distribution of electric current in the cell and allowed for achieving optimal cooling rates of the sample.

**Keywords:** electrolytic plasma hardening (EPH), microhardness, wear, 45-grade steel, electrolyte.

### Сведения об авторах

**Ринат Кенжеевич Кусаинов** – руководитель Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Нұрлат Ерболұлы Қадырболат\*** – студент специальности «Теплоэнергетика» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

**Ринат Хамитулы Курманғалиев** – докторант специальности «Техническая физика»; НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; e-mail: rinat\_real@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2209-6740>.

**Куаныш Даулетович Орманбеков** – докторант специальности «Механика и металлообработка»; НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; младший научный сотрудник ИЦ «Упрочняющие технологии и покрытия»; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0001-0001-6099-2812>.

**Айбек Бакытжанович Шынарбек** – докторант специальности «Механика и металлообработка»; НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; младший научный сотрудник ИЦ «Упрочняющие технологии и покрытия»; e-mail: shinarbekov16@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2877-5178>.

### Авторлар туралы мәлімет

**Ринат Кенжеұлы Құсаинов** – «Бекітуші технологиялар мен жабындар» инженерлік орталығының жетекшісі, Семей қаласы, Қазақстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Нұрлат Ерболұлы Қадырболат\*** – Семей қаласындағы Шәкәрім атындағы университетінің «Жылу энергетикасы» мамандығының студенті, Қазақстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

**Ринат Хамитұлы Құрманғалиев** – «Техникалық физика» мамандығының докторанты, Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: rinat\_real@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2209-6740>.

**Куаныш Дәулетұлы Орманбеков** – «Механика және металл өңдеу» мамандығының докторанты, Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Бекітуші технологиялар мен жабындар» инженерлік орталығының кіші ғылыми қызметкері; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0001-0001-6099-2812>.

**Айбек Бакытжанұлы Шынарбек** – «Механика және металл өңдеу» мамандығының докторанты, Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Бекітуші технологиялар мен жабындар» инженерлік орталығының кіші ғылыми қызметкері; e-mail: shinarbekov16@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2877-5178>.

### Information about the authors

**Rinat Kenzheyevich Kussainov** – Head of the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Semey, Kazakhstan; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Nurlat Erboluly Kadyrbolat\*** – student of «Heat power engineering» Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

**Rinat Khamituly Kurmangaliyev** – PhD student in «Technical Physics»; Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: rinat\_real@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2209-6740>.

**Kuanysh Dauletuly Ormanbekov** – PhD student in «Mechanics and Metalworking»; Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; Junior Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings»; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0001-0001-6099-2812>.

**Aibek Bakytzhanovich Shynarbek** – PhD student in «Mechanics and Metalworking»; Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; Junior Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings»; e-mail: shinarbekov16@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2877-5178>.

*Поступила в редакцию 11.09.2024*

*Поступила после доработки 12.09.2024*

*Принята к публикации 13.09.2024*