

Авторлар туралы мәліметтер

Антон Иванович Мануленко* – «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының магистрант, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: suvorov8214@gmail.com.

Сергей Львович Елистратов – техникалық ғылымдарының докторы, «Жылу электр станциялары» кафедрасының профессоры, Новосібір мемлекеттік техникалық университеті, Ресей; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

Михаил Вячеславович Ермоленко – техникалық ғылымдарының кандидаты, «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының оқытушысы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1677-8023>.

Received 03.11.2024

Revised 10.12.2024

Accepted 11.12.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4\(16\)-39](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-39)



MPHTI: 55.22.00

Ж.Б. Сагдолдина^{1,2}, М.В. Ермоленко², Д.Н. Нурғалиев², С.Д. Болатов¹, Б.А. Алибекова^{1*}

¹Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,
070002, Казахстан, г. Усть-Каменогорск, пр. Шакарима 148

²Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

*e-mail: balymalibekova304@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИКО-ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация: В настоящей работе рассматривается влияние параметров электрофрикционной обработки (ток, скорость обработки) на механико-трибологические свойства конструкционных сталей 65Г и 40Х. Электрофрикционная обработка основана на совместном оплавлении поверхностей электрода из чугуна и лезвия почвообрабатывающего инструмента, путем ввода энергии низковольтных электрических дуг и охлаждения водой. Результаты исследования показали, что при электрофрикционной обработке скорость перемещения образца относительно к вращающему электроду влияет на толщину обрабатываемого слоя. Высокоскоростная обработка формирует сравнительно невысокую глубину упрочнения и большие размеры переходной области (около 1 мм) с плавным снижением микротвердости. При обработке на низкой скорости в наплавленном слое возможно образование микротрещин. Электрофрикционная обработка стали 65Г при токе 300 А увеличивает микротвердость поверхностного слоя в три раза, а для стали 40Х в четыре раза, по сравнению с исходными значениями 297 HV_{0.1} и 238 HV_{0.1} соответственно. Интенсивность износа сталей 40Х и 65Г, упрочненных электрофрикционным способом при знаменьях тока 100 А, 200 А и 300 А, в 2-3 раза меньше, чем неупрочненного сталей, что свидетельствует о значительной эффективности данного метода упрочнения при абразивном изнашивании.

Ключевые слова: электрофрикционная обработка, средне- и высокоуглеродистые стали, трибологическое испытание, микротвердость, абразивный износ.

Введение

В развитии сельскохозяйственного машиностроения придается исключительно важное значение созданию эффективных технологических процессов, способных повысить эксплуатационные характеристики рабочих органов почвообрабатывающих машин в условиях абразивного изнашивания. В настоящее время вопросы существенного повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин решаются главным образом наплавкой износостойких сплавов [1, 2]. Однако этот метод сопровождается нагревом

наплавляемого изделия, что приводит к термическим деформациям и снижению твердости материала. Наплавленный слой не обеспечивает самозатачивания лезвия инструмента в процессе эксплуатации и быстро изнашивается вследствие разрушения отпущенной основы изделия, при этом существующие методы продления срока службы рабочих органов сельскохозяйственной техники оказываются либо слишком затратными, либо не дают значительного увеличения их долговечности.

Метод наплавки широко применяется благодаря ряду преимуществ, таких как непрерывность процесса, точность для деталей разных размеров и возможность наплавки в любом положении. Авторы Yu J. и Zhang S. [3] изучили процесс индукционной наплавки сплавов и композиционных материалов, уделив особое внимание его механизмам, параметрам и используемым материалам. Их исследования показывают промышленное применение этого метода и его преимущества, такие как энергоэффективность, экологичность и регулируемая толщина покрытия. Кроме того, они рассмотрели проблемы и будущие разработки, подчеркнув необходимость использования специальных материалов и оптимизации процессов для различных промышленных применений. В статье [4] рассматриваются физико-механические свойства серого чугуна для использования в почвообрабатывающей сельскохозяйственной технике. В нем описаны методы дугового и электроискрового напыления для повышения износостойкости, а также термообработка для повышения твердости и стойкости к абразивному износу.

Современные технологии упрочнения материалов характеризуются мощными контактными воздействиями концентрированных потоков энергии на поверхность обрабатываемого материала (лазерная закалка, плазменная закалка) [5,6]. Электрофрикционная обработка, основанная на одновременном термическом и фрикционном воздействии на поверхностный слой обрабатываемой изделий, не уступает методам обработки концентрированными потоками энергии в эффективности и интенсивности упрочнения, представляется наиболее применимой для использования в условиях реального производства (крупное промышленное предприятия или ремонтная мастерская). Используемые в настоящее время способы упрочнения поверхностей деталей (термообработка, напыление, лазерная обработка и т.д.) требуют применения дорогостоящего оборудования, специальной предварительной обработки упрочняемых поверхностей, дорогостоящих расходных материалов. Важную роль при применении поверхностного упрочнения имеет использование ресурсосберегающих технологий, способствующих сокращению затрат ресурсов и энергии, повышению производительности труда. При этом актуальной задачей является поиск новых методов, которые сочетали возможность получения поверхности с упрочнением поверхностного слоя и значительным повышением его износостойкости. Этим условиям удовлетворяет – электрофрикционная обработка [7, 8].

Для управления процессами формирования качества упрочненной поверхности, необходимо знать основные кинематические и энергетические зависимости параметров режима электрофрикционной обработки (ЭФО) с характеристиками создаваемой структуры и физико-механическими свойствами образуемого поверхностного слоя. Цель данной работы – исследование влияния параметров электрофрикционной обработки на механико-трибологические свойства среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей.

Материал и методы

Образцы для испытания изготавливали из сталей 40X (0,36% C; 0,8% Mn; 0,4% Si; 1,0% Cr; 0,3% Ni; 0,03% Cu; 0,035% S; 0,035% P; Fe – остальное) и 65Г (0,62% C; 0,9% Mn; 0,17% Si; 0,25% Ni; 0,25% Cr; 0,2% Cu; 0,035% S; 0,035% P; Fe – остальное). Размер образцов сталей 40X и 65Г составил 200×30×10 мм³. Предварительно поверхность образцов сталей были механически обработаны на шлифовальной бумаге с зернистостью P100.

Морфология поверхностного сечения образца была изучена с использованием сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA³ LMN. Для изучения морфологии поперечного сечения образца проведена механическая обработка (шлифовка и полировка). Для определения твердости сталей по методу Виккерса использовали микротвердомер Металаб 502. Испытание на абразивный износ проводили согласно стандартом ASTM G65. Перед испытанием образцы подвергались ультразвуковой очистке для удаления из них любых посторонних частиц. Цилиндрический резиновый ролик, прижатый радиальной

поверхностью к плоской поверхности исследуемого образца с усилием 44 Н, вращался с частотой 1 с^{-1} . Скорость поступления абразивных частиц между резиновым колесом и образцом, то есть в зону испытания составила 41-42 г/мин. В качестве абразивных частиц использовался электрокорунд зернистостью 200-250 мкм. Образцы тестировались в течение 10 мин. До и после испытания образцов на абразивный износ были проведены измерения массы на аналитических весах CRYSTAL 100 с точностью до 0,0001 г.

Результаты и обсуждение

Для изучения влияния скорости электрофрикционной обработки на микротвёрдость была выбрана среднеуглеродистая сталь 65Г (0,62% С; 0,9% Мn; 0,17% Si; 0,25% Ni; 0,25% Cr; 0,2% Cu; 0,035% S; 0,035% P; Fe – остальное). Сталь 65Г широко используется для изготовления почвообрабатывающих инструментов (стрельчатая лапа, лемех плуга, и т.д.).

На рисунке 1а показана схема движения обрабатываемой детали относительно вращающегося чугунного электрода. Движение обрабатываемой детали обеспечивалось с помощью шагового двигателя. При усиллии прижатии в пределах 10 Н гашения электрического разряда не происходит, рисунок 1б. Для ограничения толщины оплавленного слоя и термического влияния на изделие в электрическую цепь последовательно с выпрямителем подключалось дополнительное балластное сопротивление.

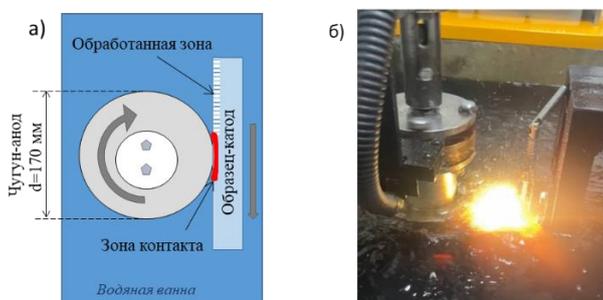


Рисунок 1 – Электрофрикционная обработка стальных изделий [9, 10]
а) схематический вид сверху; б) процесс электрофрикционной обработки

Высокая микротвёрдость, достигнутая в результате ЭФО, объясняется сверхвысокими скоростями нагрева и охлаждения, недостижимыми при традиционных методах термической обработки. В зависимости от скорости перемещение образца относительно к электроду толщина упрочненного слоя может варьироваться от 12 до 18 мм. Скоростные параметры ЭФО определяет длительность действия концентрированного потока энергии на локальный объем поверхности обрабатываемого материала. Высокоскоростная обработка (12 град/с; 202 об/мин) формирует сравнительно невысокую глубину упрочнения и большие размеры переходной области (около 1 мм) с плавным снижением микротвёрдости. ЭФО при малых скоростях увеличивает глубину упрочненного слоя. При режиме обработки с низкой скоростью перемещения 4 град/с отмечена возможность формирования микротрещин в наплавленном слое (рис. 2). Первопричиной появления трещин при поверхностной закалке является внутренние напряжения. Возникновению микротрещин способствует неравномерность охлаждения. Неоднородность охлаждения уменьшается при перемещении обрабатываемой детали с большей скоростью.

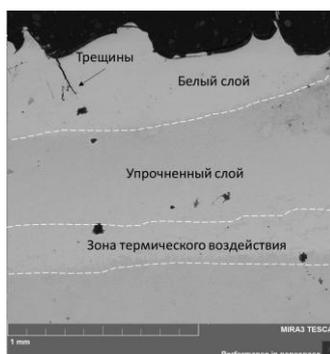


Рисунок 2 – Трещины в поверхностном слое стали 65Г при ЭФО со скоростью 4 град/с

Таким образом, результаты исследования показали, что при ЭФО скорость перемещения образца относительно к вращающему электроду влияет на толщину обрабатываемого слоя, а распределение значения микротвёрдости по глубине стали 65Г имеет одинаковый характер.

К основным электрическим параметрам ЭФО относятся напряжение и ток в рабочем контуре. Проведено исследование влияния параметров электрофрикционной обработки на механико-трибологические свойства среднеуглеродистых (сталь 40Х) и высокоуглеродистых сталей (сталь 65Г). Известно, что глубина упрочнения поверхностного слоя непрерывно возрастает с уменьшением скорости обработки, но максимальные прочностные свойства поверхностного достигается при определенном значении тока. Для обработки сталей 40Х и 65Г использовали среднюю скорость перемещения образца и вращения электрода, согласно результатом предыдущих работ. В таблице 1 указаны режимы для экспериментального исследования взаимосвязи параметров, упрочненного ЭФО поверхностного слоя, с механико-трибологическими свойствами образцов сталь 40Х и сталь 65Г.

Таблица 1 – Технологические режимы электрофрикционной обработки сталей 40Х и 65Г

Параметры электрофрикционной обработки	Значение		
Скорость вращения электрода, об/мин	160		
Скорость перемещения образца, град/с	8		
Сила тока, А	100	200	300
Напряжение, В	70	60	50

На рисунке 3 показаны результаты измерения микротвёрдости по сечению стали 65Г, обработанной при различных значениях тока электрофрикционной обработки. Как видно из представленных зависимостей, формирование слоя с максимальной твердостью и глубины упрочнения, происходит при достижении величины тока 300 А, соответствующей определенному количеству джоулеа тепла, необходимому для протекания фазовых превращений в объеме поверхности, что сопровождается увеличением микротвёрдости до величины около 920 HV_{0,1}.

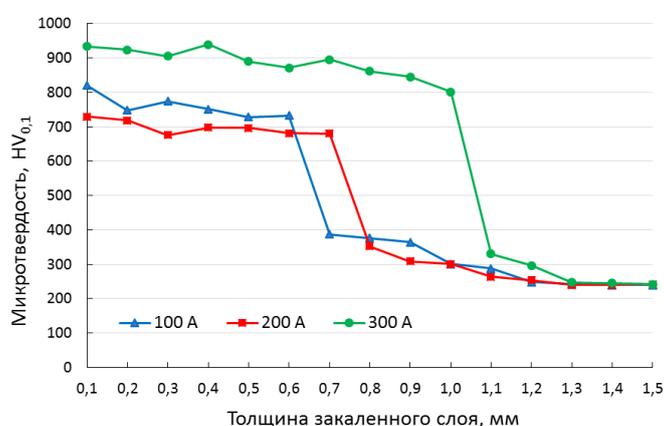


Рисунок 3 – Распределение микротвёрдости по сечению стали 65Г при различных значениях тока электрофрикционной обработки

При этом глубина упрочнения поверхностного слоя непрерывно возрастает с увеличением тока и уменьшением скорости обработки, то максимальная поверхностная микротвёрдость, а следовательно, и максимальные прочностные свойства поверхностного слоя достигаются лишь при определённом (для данной скорости обработки) значении тока, соответствующим предельным условиям теплового баланса для обрабатываемого материала (табл. 2). При электрофрикционной обработке используется ток силой 100-300 А, так как эта технология близка к сварочным процессам. Такой подход является рациональным с точки зрения энергосбережения и позволяет снизить потребление энергии.

Таблица 2 – Микротвёрдость поверхности сталей после электрофрикционной обработки при разных значениях тока

Образец	Сталь 65Г	Сталь 40Х
Исходный (до ЭФО)	297±14 HV0.1	238±17 HV0.1
ЭФО 100 А	689±48 HV0.1	931±21 HV0.1
ЭФО 200 А	769±52 HV0.1	1066±33 HV0.1
ЭФО 300 А	962±79 HV0.1	1203±45 HV0.1

Известно, что с повышением твердости материала износостойкость его возрастает; если же твердость близка к твердости абразивных частиц или превышает ее, износостойкость материала возрастает многократно. На рисунке 4 приведены результаты экспериментального изучения взаимосвязей характеристик износа от величины тока при электрофрикционной обработке сталей 40Х и 65Г. Испытания износостойкости сталей проводились согласно стандарту ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы». Интенсивность износа сталей 40Х и 65Г, упрочненных электрофрикционным способом, в 2-3 раза меньше, чем неупрочненного сталей, что свидетельствует о значительной эффективности данного метода упрочнения при абразивном изнашивании (рис. 4). Сравнения результатов абразивного изнашивания показали, что изменения тока при электрофрикционной обработке дает незначительное повышение износостойкости.

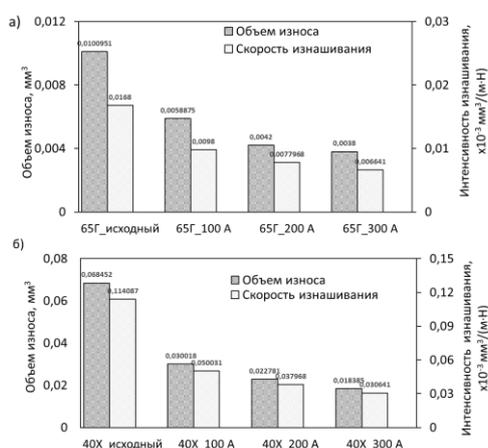


Рисунок 4 – Результаты испытания механико-трибологических свойств сталей при различных значениях тока электрофрикционной обработки
а) сталь 65Г; б) сталь 40Х

Заключение

Таким образом, на основе результатов исследования влияния параметров электрофрикционной обработки на механико-трибологические свойства среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей, можно сделать следующие выводы:

- при ЭФО глубина упрочнения поверхностного слоя возрастает с уменьшением скорости обработки, то есть увеличивается количество подводимого в единицу времени тепла к локальному объему обрабатываемого материала. При обработке на низкой скорости в наплавленном слое возможно образование микротрещин;
- ЭФО стали 65Г при токе 300 А увеличивает микротвёрдость поверхностного слоя в три раза, а для стали 40Х в четыре раза, по сравнению с исходными значениями 297 HV_{0.1} и 238 HV_{0.1} соответственно;
- интенсивность износа сталей 40Х и 65Г, упрочненных электрофрикционным способом при значениях тока 100 А, 200 А и 300 А, в 2-3 раза меньше, чем неупрочненного сталей, что свидетельствует о значительной эффективности данного метода упрочнения при абразивном изнашивании. ЭФО незначительно влияет на износостойкость при сухом трении скольжения. Испытания показали, что при одинаковых значениях твёрдости их износостойкость может быть различной в зависимости от условий трения, при этом ЭФО оказывается наиболее эффективным в случае абразивного изнашивания.

Список литературы

1. Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines / Á. Kalácska et al // Wear. – 2019. – V. 203107. – P. 442-443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203107>.
2. Singh J. Abrasive wear behavior of newly developed weld overlaid tillage tools in laboratory and in actual field conditions / J. Singh, S. Singh Chatha, B. Singh Sidhu, // Journal of Manufacturing Processes. – 2020. – V. 55. – P. 143-152. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.03.040>.
3. Yu J. Induction Cladding of Alloys and Metal-Matrix Composite Coatings: A Review / J. Yu, S. Zhang // Heliyon. – 2024. – V. 10(19). – P. e38866. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38866>.
4. Sankina O.V. Usage of Gray Cast Iron for Hardening of Agricultural Machines' Soil-Tilling Implement / O.V. Sankina, A.S. Sankin, A.A. Logov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – V. 582. – P. 012017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/582/1/012017>.
5. Effect of Filler Wire Composition on Weld Metal Microstructure and Mechanical Properties in X80 Steel Laser Welds / H. Yang et al // Materials. – 2024. – V. 17. – P. 5235. <https://doi.org/10.3390/ma17215235>.
6. Gulyarenko A. The Method of Calculating Ploughshares Durability in Agricultural Machines Verified on Plasma-Hardened Parts / A. Gulyarenko, M. Bembenek // Agriculture. – 2022. – V. 12. – P. 841. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060841>.
7. Investigation of the hardness of 65G steel after electrofriction treatment / Y.N. Tyurin et al // Bulletin of EKTU. – 2023. – V. 3. – P. 99-106. https://doi.org/10.51885/1561-4212_2023_3_99.
8. Wear and corrosion resistance of laser surfacehardened structural steel / D.I. Pantelis et al // Surface and Coatings Technology – 2002. – V. 161. – P. 125-134. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(02\)00495-4](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00495-4).
9. Electrofrictional Hardening of the 40Kh and 65G Steels / Z. Sagdoldina et al // Coatings. – 2023. – V. 13. – P. 1820. <https://doi.org/10.3390/coatings13111820>.
10. Increasing Wear Resistance of Ploughshare by Electrofriction Treatment / Zh. Sagdoldina et al // Coatings. – 2024. – V. 14. – P. 1529. <https://doi.org/10.3390/coatings14121529>.

Информация о финансировании

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №BR24992876).

Ж.Б. Сағдолдина¹, М.В. Ермоленко², Д.Н. Нұрғалиев², С.Д. Болатов¹, Б.Ә. Әлібекова^{1*}

¹С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Университеті,
070002, Қазақстан, Өскемен, Шәкәрім к-сі 148

²Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан, Семей қаласы, Глинки даңғылы, 20А
*e-mail: balymalibekova304@gmail.com

ЗЕРТТЕУ ЭЛЕКТРОФРИКЦИЯЛЫҚ ӨНДЕУДІҢ КОНСТРУКЦИЯЛЫҚ БОЛАТТАРДЫҢ МЕХАНИКА-ТРИБОЛОИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл жұмыста электрофрикциялық өңдеудің параметрлерінің (ағым, өңдеу жылдамдығы) 65Г және 40Х конструкциялық болаттарының механико-трибологиялық қасиеттеріне әсері қарастырылады. Электрофрикциялық өңдеу темір бетонды электродтың беті мен жер өңдеу құралының беттерін бір уақытта балқытуға негізделген, ол төмен вольтты электр доғаларының энергиясын енгізу және судың көмегімен салқындату арқылы жүзеге асырылады. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, электрофрикциялық өңдеу кезінде үлгінің айналмалы электродқа қатысты жылжуы өңделетін қабаттың қалыңдығына әсер етеді. Жоғары жылдамдықпен өңдеу салыстырмалы түрде тереңдігі аз қатаюды қалыптастырып, өтпелі аймақтың үлкен өлшемдерін (шамамен 1 мм) және микроқаттылықтың бірқалыпты төмендеуін қамтамасыз етеді. Төмен жылдамдықпен өңдеуде қабатқа микросынықтардың пайда болуы мүмкін. 65Г болатын электрофрикциялық өңдеу кезінде 300 А ток күші беткі қабаттың микроқаттылығын үш есе арттырады, ал 40Х болатында бұл көрсеткіш төрт есе жоғарылайды, бастапқы мәндермен салыстырғанда (297 HV_{0.1} және 238 HV_{0.1}). 100 А, 200 А және 300 А ток күшімен электрофрикциялық әдіспен қатайтылған 40Х және 65Г болаттарының тозу қарқыны қатайтылмаған болаттармен салыстырғанда 2-3 есе аз, бұл осы әдістің абразивті тозуға қарсы тиімділігін айқындайды.

Түйін сөздер: электрофрикциялық өңдеу, орташа және жоғары көміртекті болаттар, трибологиялық сынақ, микроқаттылық, абразивті тозу.

Zh.B. Sagdoldina¹, M.V. Ermolenco², D.N. Nurgaliyev², S.D. Bolatov¹, B.A. Alibekova^{1*}

¹Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University,
070002, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, st. Shakarima 148

²Shakarim University of Semey,
071412, Kazakhstan, Semey, st. Glinka 20 A

*e-mail: balymalibekova304@gmail.com

STUDY OF THE INFLUENCE OF ELECTROFRICTIONAL TREATMENT PARAMETERS ON THE MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL STEELS

This work examines the influence of parameters of electrofrictional processing (current, processing speed) on the mechanical-tribological properties of construction steels 65G and 40Kh. Electrofrictional processing is based on the simultaneous melting of the surfaces of a cast iron electrode and a soil-processing tool blade, achieved by introducing energy through low-voltage electric arcs and cooling with water. The results of the study showed that during electrofrictional processing, the speed of sample movement relative to the rotating electrode affects the thickness of the processed layer.

High-speed processing forms a relatively shallow hardening depth and large dimensions of the transition zone (about 1 mm) with a smooth decrease in microhardness. Low-speed processing can result in the formation of microcracks in the deposited layer. Electrofrictional processing of 65G steel with a current of 300 A increases the microhardness of the surface layer three times, while for 40Kh steel, it increases four times, compared to the initial values of 297 HV_{0.1} and 238 HV_{0.1}, respectively. The wear intensity of 40Kh and 65G steels, hardened by electrofrictional processing with current values of 100 A, 200 A, and 300 A, is 2-3 times lower than that of non-hardened steels, indicating the significant effectiveness of this hardening method in abrasive wear.

Key words: electrofrictional treatment, medium- and high-carbon steels, tribological testing, microhardness, abrasive wear.

Сведения об авторах

Жулдыз Болатқызы Сағдолдина – PhD, ассоциированный профессор, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: sagdoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>.

Михаил Вячеславович Ермоленко – кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1677-8023>.

Данияр Нуржанович Нурғалиев – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика» Университет имени Шакарима города Семей, Семей, Казахстан; e-mail: daniarsemei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1650-1077>.

Санжар Дауренұлы Болатов – младший научный сотрудник научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: sanzharbolatov94@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3136-0535>.

Балым Алибековна Алибекова* – инженер научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: balymalibekova304@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7644-4527>.

Авторлар туралы мәліметтер

Жұлдыз Болатқызы Сағдолдина – PhD, қауымдастырылған профессор, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының аға ғылыми қызметкері, Өскемен, Қазақстан; e-mail: sagdoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>.

Михаил Вячеславович Ермоленко – техника ғылымдарының кандидаты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Техникалық физика және жылуэнергетикасы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры м.а., Өскемен, Қазақстан; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1677-8023>.

Данияр Нұржанович Нұрғалиев – Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Техникалық физика және жылуэнергетикасы» кафедрасының аға оқытушысы, Семей, Қазақстан; e-mail: daniarsemei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1650-1077>.

Санжар Дәуренұлы Болатов – Сарсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Университетінің «Беттік инженерия және трибология» F30 кіші ғылыми қызметкері, Өскемен, Қазақстан; e-mail: sanzharbolatov94@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3136-0535>.

Балым Әлібекқызы Әлібекова* – С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Университетінің «Беттік инженерия және трибология» ҒЗО инженері, Өскемен, Қазақстан; e-mail: balymalibekova304@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7644-4527>.

Information about the authors

Zhuldyz Bolatkizy Sagdoldina – PhD, Associate Professor, senior Researcher at the Research Center for «Surface Engineering and Tribology» of the East Kazakhstan University named after Sarsen Amanzholov, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: sagdoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>.

Mikhail Vyacheslavovich Ermolenko – candidate of Technical Sciences, acting associate professor of the department «Technical physics and heat power engineering» Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1677-8023>.

Daniyar Nurzhanovich Nurgaliev – master of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering» Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan; e-mail: daniarsemei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1650-1077>.

Sanzhar Daurenuly Bolatov – junior researcher of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: sanzharbolatov94@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3136-0535>.

Balym Alibekovna Alibekova* – engineer of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: balymalibekova304@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7644-4527>.

Поступила в редакцию 08.12.2024
Поступила после доработки 10.12.2024
Принята к публикации 12.12.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4\(16\)-40](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-40)

MPHTI: 55.22.00



Д.Н. Какимжанов*, М.К. Даутбеков, Е.С. Турабеков, Р.М. Куанышбай, А.С. Рустемов
TOO PlasmaScience,
070018, Казахстан, г.Усть-Каменогорск, ул.Гоголя 7Г
*e-mail: dauir_97@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАССТОЯНИИ ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Cr_3C_2-NiCr

Аннотация: Одним из наиболее перспективных методов повышения эксплуатационных свойств и увеличения срока службы изделий является нанесение функциональных покрытий с использованием различных технологий напыления. Учитывая высокую стойкость к износу и коррозии металлокерамической композиции Cr_3C_2-NiCr , такие покрытия начали активно использовать для защиты стальных элементов в горячих частях котлов, предназначенных для сжигания отходов, а также в электрических печах и оборудовании, работающем на природном газе. В этом исследовании рассматривается влияние расстояния при импульсно-плазменной обработке на структурные характеристики поверхностного слоя детонационных покрытий Cr_3C_2-NiCr . Мы изучаем процесс, включающий нанесение таких покрытий с применением детонационного устройства, а затем их обработку импульсно-плазменным методом. Результаты показывают, что после такой обработки происходит плавление и выравнивание структурных компонентов покрытий, не приводящее к их разрушению от воздействия плазменных импульсов. Микроструктура покрытий представляет собой расплавленный металлокерамический материал на основе Cr_3C_2-NiCr . После импульсно-плазменной обработки на поверхности обнаружены фазы оксида хрома Cr_2O_3 , увеличивается интенсивность пиков Cr_3C_2 и появляются новые рефлексы Cr_3C_2 , что свидетельствует об увеличении содержания фазы Cr_3C_2 . Также замечено, что после этой обработки микроструктура становится более однородной, что приводит к уплотнению детонационного покрытия на основе Cr_3C_2-NiCr .