

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. ДБН В 2.3-18:2007 Трамвайні та троллейбусні лінії. Загальні вимоги до проектування. Режим доступу <http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-370>.
2. СНиП 2.05.09-90 Трамвайные и троллейбусные линии. Режим доступу <http://dbn.at.ua/index/0-40>.
3. Патент EP2294262B1. Method for installation of an embedded rail system.
4. Патент ES2072205A2. Tramway or railway with continuous support on elastomer and reinforced concrete platform.
5. Патент DE102008044663A1. Schalldämmvorrichtung.
6. Патент EP1956143A2. Schienenumkleidungssystem für eine Schiene, insbesondere Straßenbahnschiene.
7. Патент EP2295635A2. Schienenlagerung mit Deckkörpern für flexible Bustrasse und Verfahren zur deren Herstellung.
8. Патент WO2007147581A2. Kontinuierliche elastische schienenlagerung.

УДК 624.21

**Глушкова Д.Б., Гринченко Е.Д.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ВХОДНЫХ КРОМОК РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН**

**Введение.**

Рабочие лопатки паровых турбин в значительной мере определяют работоспособность лопаточного аппарата и турбины в целом. Условия их работы требуют повышенной твердости входных кромок и высокой эрозионной стойкости, отсутствия негативного влияния параметров формирования защитного покрытия на механические свойства, высоких коррозионных свойств.

С целью увеличения срока службы лопаток традиционно входные кромки подвергают таким способам обработки, как закалка токами высокой частоты, электроискровому легированию с использованием в качестве упрочняющего электрода сплава Т15К6 на основе карбидов Ti и W. Связующим материалом для этого сплава является Со.

Применение вышеуказанных методов имеет ограничения. Так, токами высокой частоты технически сложно закалить радиусный переход от пера лопатки к полочному бандажу, а использование в качестве упрочняющего электрода широко применяемого сплава Т15К6 ограничено вследствие наличия кобальта, как элемента, образующего в результате активации долгоживущие изотопы, которые снижают эрозионную стойкость лопаток [1].

В связи с вышеуказанной задачей настоящей работы была разработана методика, одновременно упрочняющего входные кромки лопаток и, как следствие, повышаю-

щего их эрозионную стойкость.

**Материалы и методика исследования.**

В работе опробовано использование в качестве электрода для электроискрового легирования двух материалов: сплава Т5К16 и стали 15Х11МФ-Ш.

Способ электроискрового легирования основан на явлении электрической эрозии материалов при искровом разряде в газовой среде, полярного переноса продуктов эрозии на слой измененной структуры и сплава. [2] В результате электрического пробоя межэлектродного промежутка возникает искровой разряд, в котором поток электронов приводит к локальному разогреву электрода (анода) [3]. На поверхности катода под действием значительных тепловых нагрузок осуществляется перемешивание материала катода и анода, что способствует образованию высокой адгезии между основой и формируемым слоем. На рис.1 приведена общая схема процесса электроискрового легирования (ЭИЛ).

Состав легированного слоя может значительно отличаться от состава исходных материалов [4]. Вызвано это спецификой воздействия ЭИЛ, заключающейся в сверхвысокой скорости нагрева и охлаждения, контакте поверхностей друг с другом и с элементами окружающей среды в условиях импульсного воздействия высоких температур и давлений [5].

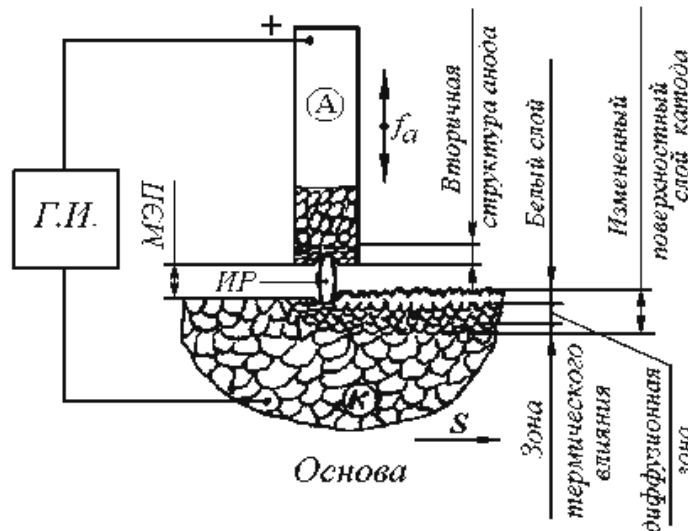


Рис. 1. Общая схема процесса электроискрового легирования  
 Г.И.- генератор импульсов, МЭП - межэлектродный промежуток, ИР- искровой разряд,  
 А - анод (компактный электрод), К - катод (деталь),  $f_a$  - частота вибрации анода,  
 S - направление подачи детали.

**Результаты исследований и их обсуждение**

Работы по упрочнению образцов были выполнены на электроискровой установке модели ЭИЛ8А по режиму №7 (амплитудное значение тока импульса  $I=175\pm 10$  А, энергия импульса  $E_{им}=3,15$  Дж, продолжительность импульса  $t_{им}=1000$  мкс, частота 600Гц) [6].

Исследование проводилось на образцах от заготовок лопаток из стали 15Х11МФ-Ш, изготовленных методом штамповки и термообработанных до твердости 271НВ. Материал образцов имеет механические свойства, приведенные в табл. 1.

Микроструктура основного металла образцов представляет собой сорбит с сохранением ориентации по мартенситным плоскостям. [7]. Структура образцов отличается од-

нородностью, в структуре встречаются зерна различной травимости, размер игл соответствует 7–8 баллу ГОСТ 8233-56 (рис. 2).

Контроль упрочненной поверхности осуществлялся внешним осмотром с применением лупы с увеличением  $\times 3, \times 10$  раз.

На поверхности образцов после упрочнения как сплавом Т15К6, так и сталью 15Х11МФ-Ш дефектов типа трещин не обнаружено. На рис. 3 представлен внешний вид поверхности, упрочненной сплавом Т15К6. Слой однородный, мелкозернистый местами обнаруживаются кратеры незначительного размера.

На рис. 4 показан внешний вид поверхности, упрочненной сталью 15Х11МФ-Ш. Слой однородный, мелкозернистый, имеются мелкие кратеры в незначительном количестве.

Таблица 1 - Механические свойства образцов

	$s_{0,2}$	$s_B$	$\delta_5$	$\Psi$	КСУ, Дж/	НВ
Результаты	669	827	20	58	116	271
Требования ОСТ	666,4-813,4	$\geq 814$	$\geq 13$	$\geq 40$	$\geq 39,2$	248-285

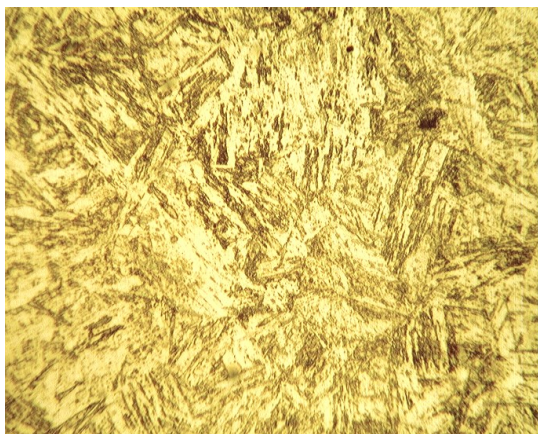


Рис. 2. Микроструктура основного металла образця

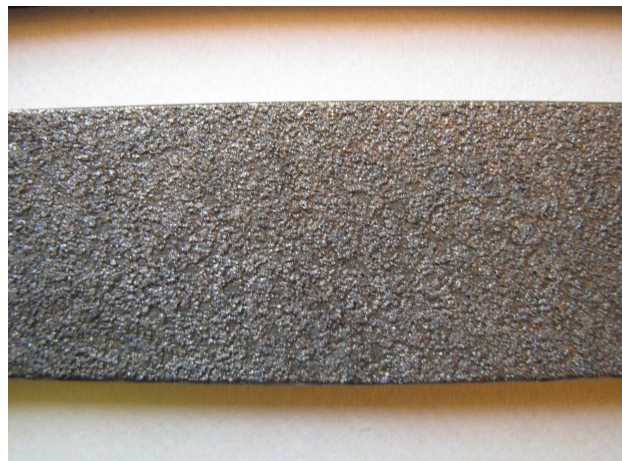


Рис. 4. Внешний вид поверхности образця, упрочненного сталью 15X11МФ-III



Рис.3. Внешний вид поверхности образця, упрочненного сплавом Т15К6

Для оценки качества сцепления легированных слоев с основой образцы после упрочнения были испытаны по схеме:

- образцы №№1,2 испытаны на изгиб на угол 90° с использованием оправки  $R=20\text{мм}$ ;
- образцы №№3,4 испытаны на изгиб на угол 70° с использованием оправки  $R=40\text{мм}$ ;

Результаты испытаний приведены в табл. 2.

При осмотре мест изгибов отслаивание упрочненного слоя от основного металла не обнаружено.

Замер толщины упрочненного слоя проводился на шлифах, изготовленных по плоскости поперечного сечения образцов.

Таблица 2 - Результаты испытания на изгиб

Клеймо образця	Материал упрочнения	Результаты ис-	Примечания
1	T15K6	Не разрушился	В месте изгиба обнаружены
2	15X11МФ-III	Не разрушился	В месте изгиба обнаружены
3	15X11МФ-III	Не разрушился	Надрывов в месте изгиба не
4	15X11МФ-III	Не разрушился	Надрывов в месте изгиба не

Поверхностный упрочненный слой отличается неоднородностью по толщине слоя, но средние значения толщины в случаях упрочнения сплавом T15K6 и сталью 15X11МФ-III практически совпадают

(рис.5).

Исследование микроструктуры упрочненного слоя показало, что структура однородная, практически не травящая.

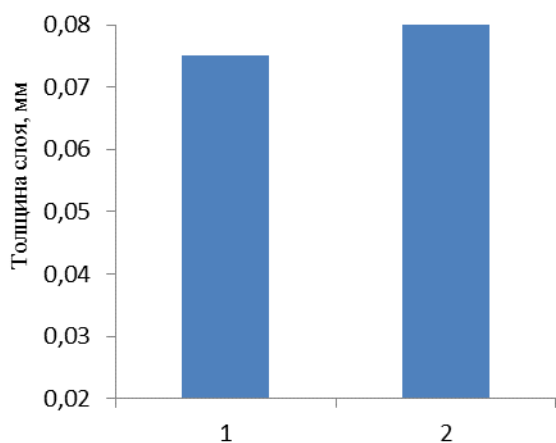


Рис. 5. Гистограммы средних значений толщины упрочненного слоя:  
1 – сплавом Т15К6, 2 – сталью 15Х11МФ-III  
В некоторых местах обнаружены еди-

ничные поры. При упрочнении сталью 15Х11МФ-III структура слоя преимущественно дендритного строения. В поверхностном слое основного металла под воздействием высоких температур наблюдается формирование светлотравящейся зоны диффузии материала электрода вглубь образца и темнотравящейся зоны подзакалки. В некоторых местах обнаружены поры.

На рис. 6 представлены гистограммы замера микротвердости исследуемых образцов.

Как следует из представленных гистограмм, во всех зонах микротвердость при упрочнении сплавом Т15К6 и сталью 15Х11МФ-III практически одинакова.

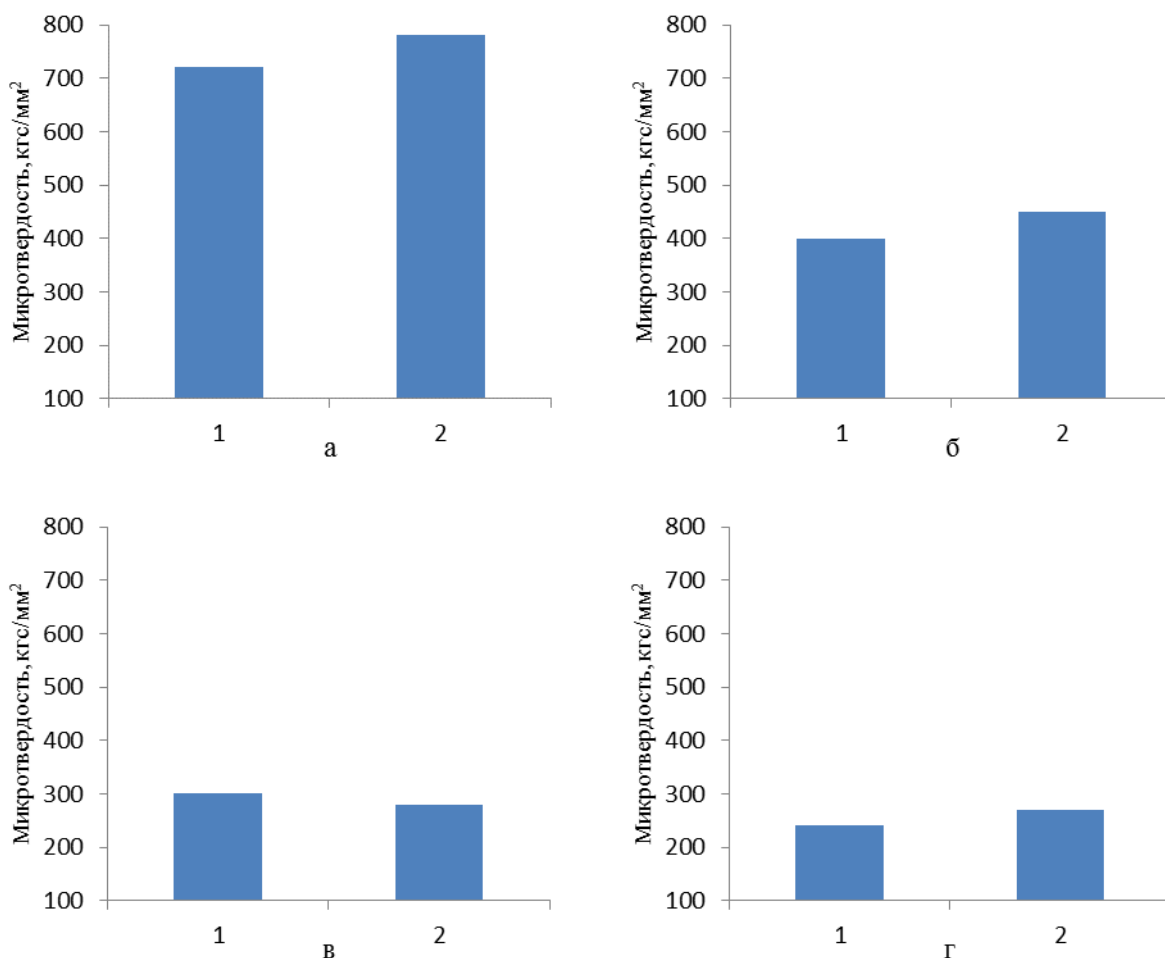


Рис. 6. Гистограммы замера микротвердости в образцах, упрочненных сплавом Т15К6 (1) и сталью 15Х11МФ-III (2)  
а – упрочненный слой; б – переходная (диффузионная) зона; в – зона термического влияния (~0,05мм от границы «основной металл-упрочненный слой»); г – зона термического влияния (~0,1мм от границы «основной металл-упрочненный слой»)

**Выводы.**

1. При визуальном осмотре и металлографическом анализе образцов, упрочненных электроискровым методом на установке ЭИЛ 8А электродами из стали 15Х11МФ-Ш и твердого сплава Т15К6, трещин не обнаружено.

2. При испытании на изгиб не разрушился ни один из образцов, упрочненных как твердым сплавом Т15К6, так и сталью 15Х11МФ-Ш.

3. При осмотре мест изгибов отслаивание упрочненного слоя от основного металла не обнаружено.

4. Средняя толщина поверхностного слоя, упрочненного как сплавом Т15К6, так и сталью 15Х11МФ-Ш практически совпадает.

5. Микротвердость упрочненного слоя, переходной зоны, зона термического влияния на разных расстояниях от границы «основной металл-упрочненный слой» как при использовании твердого сплава Т15К6, так и стали 15Х11МФ-Ш практически не отличается.

6. На основе проведенных исследований можно рекомендовать замену применяемого упрочняющего электрода из сплава Т15К6 на сталь 15Х11МФ-Ш для повышения твердости входных кромок рабочих лопаток паровых турбин.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. *Металлы для турбин и теплообменного оборудования атомных электростанций. Рекомендации по выбору материалов. Общие технические условия.* [текст]: РТМ 108.020.15-86. – Изд. офиц., взамен РТМ 24.024.15-73; введ.1986-07-01.-Л.: НПО ЦКТИ, 1987. – 105с.

2. *Современные методы упрочнения поверхностей деталей машин. Аналитический обзор: Научно-технический прогресс в машиностроении / под ред. К.В. Фролова.* – Москва: ИМАШ АН СССР, 2009. – Вып. 9.1 – С. 205–271.
3. *Мулин Ю.И. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья / Ю.И. Мулин, А.Д. Верхотуров.-Владивосток: Дальнаука, 1999. – 110с.*
4. *Большаков В. И. Об эффективности защитных покрытий деталей газотурбинных двигателей / В. И. Большаков, В. И. Харченко, В. Н. Журавель – // Перспективные задачи современной науки : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2002 – С. 109 – 1*
5. *Большаков В. И. Етапи ідентифікації параметричних технологій та шляхи їх реалізації / В. И. Большаков, В. М. Волчук, Ю. У. Дубров // Вісник НАН України, – 2013 – № 8. С. 66-72.*
6. *Мацевитый В. М. Способ контроля качества адгезии износостойких покрытий / В. М. Мацевитый, Л. М. Романова, В. М. Береснев // Применение прогрессивных инструментальных материалов и методов повышения стойкости режущего инструмента. – Краснодар, 1983. – С. 93–94.*
7. *Zenz E. The effect of a thin coating of insulation material on the performance of cutting tools / E. Zenz, D. Pnueli and Z. Rozeann // У. Vac. Sci. Technol.– 1979. – Vol. 53. – P. 337–344.*

УДК 621.926.5:539.215

**Науменко Ю.В., Герасимович І.О., Ойцюсь В.О., Ярута О.М.**

*Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне)*

**ДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ РУХУ ЗЕРНИСТОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ПРИ МАЛОМУ ЗАПОВНЕННІ КАМЕРИ БАРАБАННОЇ МАШИНИ**

**Машини барабанного типу**, завдяки низьці переваг, знаходять широке застосування в промисловості будівельних матеріалів та інших галузях виробництва. Парадоксальною особливістю таких систем є поєднання граничної простоти конструкції та вкрай складної для описування поведінки оброб-

люваного середовища, переважно зернистого.

Зважаючи на недетермінованість чинників робочого процесу барабанних машин, описати його можна лише за допомогою узагальнених динамічних характеристик способів переробки, як критеріїв ефективності