УДК 669.14.018.25

Д-р техн. наук З. А. Дурягіна, канд. техн. наук Т. Л. Тепла

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНОЇ ТРИВКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Проведено аналіз різних видів руйнувань деталей машин та елементів конструкцій енергетичного обладнання. Ефективність запропонованих науково-технологічних рішень підтверджена їх промисловою апробацією в умовах ТЕС Західного регіону України, що дозволяє їх використати у проектній документації ВАТ «Львів-ОРГРЕС».

Ключові слова: *плазмова обробка, поверхневе покриття, лопатки турбін, енергетика.*

Провідна роль енергетики у розвитку без вийнятку всіх галузей народного господарства передбачає подальше вдосконалення технологій виготовлення та експлуатації енергетичного обладнання. При цьому підвищуються вимоги до раціонального вибору економнолегованих, технологічних, екологічно безпечних конструкційних матеріалів та впровадження сучасних технологій інженерії поверхні готових виробів з них для збільшення ресурсу працездатності за умов експлуатації.

Традиційно склалося, що основними конструкційними матеріалами енергетичного обладнання переважно є низьколеговані сталі перлітного класу, корозійнотривкі сталі ферито-мартенситного та аустенітного класу, високонікелеві сплави, титанові та ванадієві сплави, деякі кольорові сплави на основі міді. Серед означених матеріалів за критеріями надійності, економічними чинниками та технологічністю перевагу віддають саме корозійнотривким сталям [1, 3].

Відомо, що для виготовлення робочих та направляючих лопаток турбін, що працюють за умов помірних температур (до 450–500 °С), дросельних шайб, регулюючих клапанів, бандажних стрічок переважно використовують надійні в експлуатації та добре вивчені хромисті корозійнотривкі сталі ферито-мартенситного класу марок 10Х13 та 20Х13 [4].

Обладнання теплових електростанцій (ТЕС) Західного регіону України знаходиться у незадовільному стані та постійно потребує профілактичних ремонтів або відновлення окремих його частин. Зокрема, для підвищення корозійно-механічної тривкості раціонально використовувати радіаційно-променеві методи поверхневої обробки. Щоб визначитись для яких конкретно деталей запропоновані методи найбільш доцільні та ефективні нами вивчені основні типи ушкоджень деталей машин та елементів конструкцій енергетичного обладнання Добротвірської, Бурштинської та Ладижинської ТЕС, що виготовлені із корозійнотривких сталей ферито-мартенситного класу.

Металографічні дослідження проводили на оптичних мікроскопах МІМ-8 та «Neophot-2» за різних збільшень. Мікрошліфи, виготовлені з ушкоджених деталей, піддавали травленню різними реактивами. Для сталей перлітного класу використовували 4 % розчин азотної кислоти в етиловому спирті, для аустенітних сталей – царську горілку, а для сталей ферито-мартенситного класу – фераль.

Вивчення умов роботи основних конструкційних матеріалів енергетичного устаткування терплоенергетики (корозійнотривких сталей ферито-мартенситного класу 10Х13, 20Х13, 30Х13, аустенітного класу 12Х18Н9, 12Х18Н10Т та низьколегованих сталей перлітного класу марок 12ХМФ, 12Х2МФСР), дозволяють стверджувати, що їх ушкодження бувають переважно двох типів:

- ерозійне або абразивне зношування. При цьому зовні деталі покриваються неглибокими пітингами, розмір яких з часом поступово збільшується. В цьому випадку пітингова або точкова корозія перетворюється у виразкову корозію. Характер ерозійного пошкодження залежить від структурного класу сталей та режимів експлуатації (рис. 1).

- руйнування деталей за механізмом корозійного розтріскування або водневого окрихчення в результаті комплексної дії на матеріал робочого тиску та перегрітої пари (при дисоціації якої в пароводяному тракті генерується водень). За цих умов на поверхні та у підповерхневих шарах деталей утворюються макро- та мікротріщини, що поширюються транскристалітно або інтеркристалітно (рис. 2).

© З. А. Дурягіна, Т. Л. Тепла, 2010

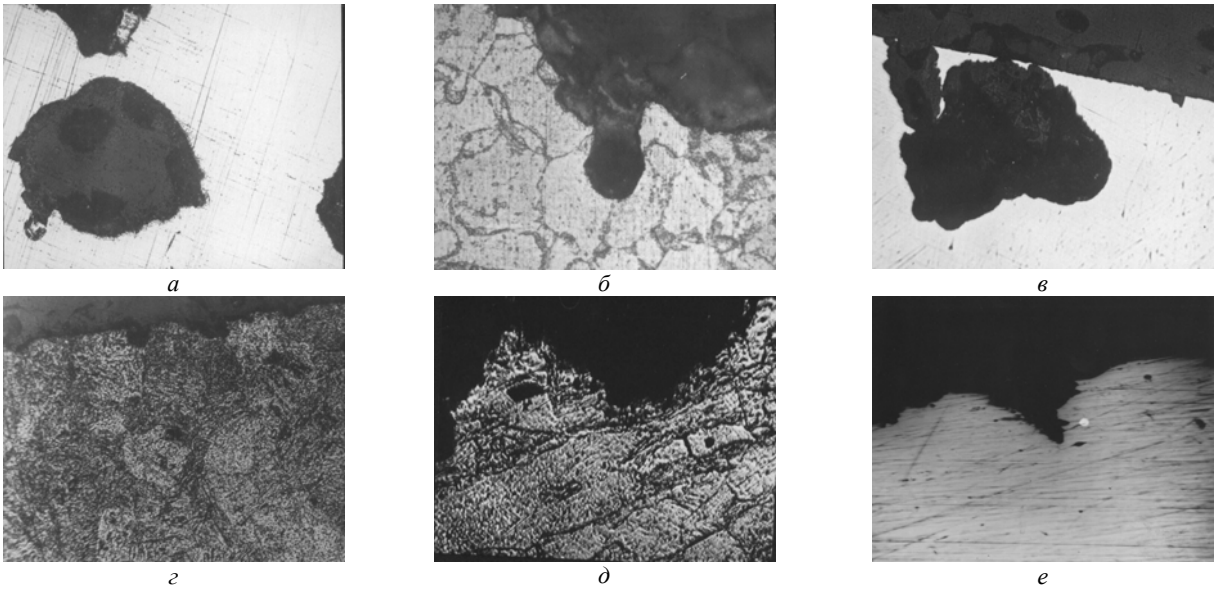


Рис. 1. Пошкодження на робочих поверхнях лопаток турбін після роботи у середовищі перегрітої пари при 500 °С, 10 років: *а*, *б*, *г* – пітинги округлої форми; *в* – підповехневий пітинг; *е* – клиноподібний пітинг, × 100; *д* – виразкова корозія, × 300

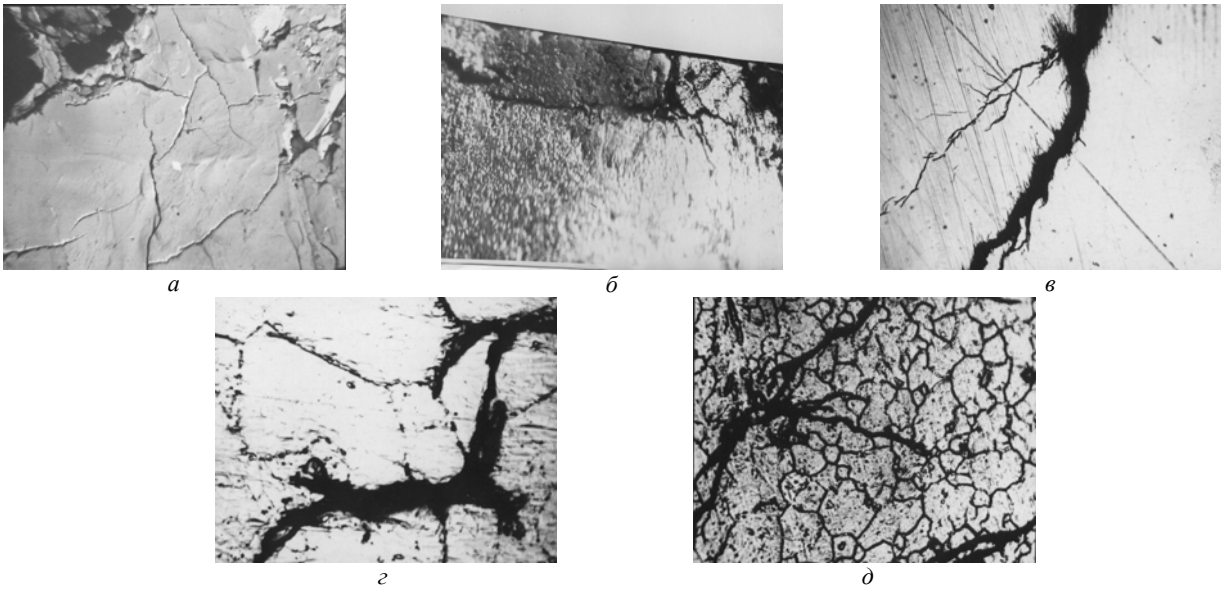


Рис. 2. Види корозійних ушкоджень деталей машин енергетичного обладнання:

а – дросельна шайба (20Х13); *б* – торець лопатки турбіни з стелітовою пластиною (20Х13), × 100; *в*, *г* – труби пароперегрівачів (15ХМФА); д) бандажні стрічки (10Х13); × 300

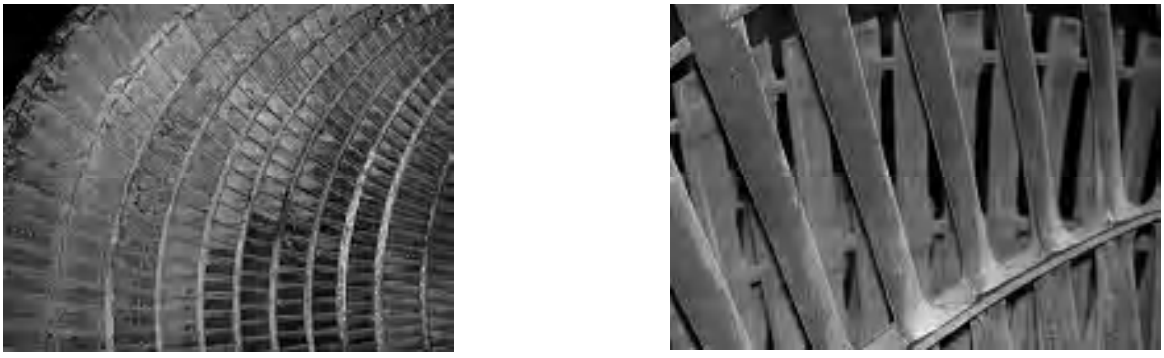
Існують різні методи боротьби з даними небезпечними видами руйнування [5, 6]. Першочерговим вважається підтримка лужнього (pH 9,3–10,7) балансу для водного середовища ТЕС. Слід відмітити, що додоткове збільшення лужності до pH 12 за рахунок додавання фосфатів небажано, оскільки приводить до утворення залізофосфатних відкладень на поверхні деталей, що інтенсифікує корозійні процеси. Не дають очікуваних результатів у даному випадку і конструкторські рішення, оскільки зміна технології виготовлення деталей переважно вдорожчує вартість таких запобіжних заходів. Традиційно також використовують методи азотування робочих кромок лопаток турбін, електроіскрове зміцнення робочої поверхні, припайку захисних пластин, наплавку твердосплавними стелітовими сплавами, термомеханічну обробку поверхні тощо. Крім того, розробляються та досліджуються нові, складнолеговані сталі

ферито-мартенситного класу, впровадження яких потребує тривалих випробувань та відпрацювання технології виготовлення з них напівфабрикатів та деталей. Але ці методи не повністю задовольняють експлуатаційним вимогам, що ставляться до деталей енергетики.

Широке використання в якості конструкційних матеріалів теплоенергетики знаходять також хромонікелеві сталі аустенітного класу, які характеризуються більш високими значеннями жароміцності при температурах вищих за 650–700 °С. Цьому сприяє більша щільність упакування гранецентрованої кристалічної гратки цих сталей, порівняно з об'ємноцентрованою кубічною граткою ферито-мартенситних сталей, для міграції атомів у якій необхідна дія більш великої зовнішньої енергії. Тому процеси знеміцнення матеріалів цього структурного класу відбуваються менш інтенсивно, ніж для сталей перлітного або ферито-мартенситного класів. Крім того аустенітні сталі мають більшу густину та вищий коефіцієнт лінійного розширення, ніж хромисті сталі. В той самий час теплопровідність аустенітних сталей помітно нижча, ніж сталей ферито-мартенситного класу, з чим пов'язані певні труднощі при термічній та технологічній обробці цих матеріалів. Завдяки великій кількості дефіцитного та дорогого легувального елементу цих сталей, а саме, нікелю вони досить дорогі. Враховуючи відсутність фазових перетворень при нагріві та охолодженні аустенітних сталей, термічною обробкою не вдається суттєво змінити їх механічні властивості. Тому вироби з них, як правило, піддають аустенізації від температури 1080–1180 °С з наступним старінням при температурі 700–900 °С.

З огляду на це для підвищення корозійно-механічної тривкості деталей машин енергетичного обладнання раціонально використовувати методи інженерії поверхні, а саме плазмове наплавлення. Як було встановлено нами, при цьому на поверхні виробів вдається формувати захисні бар'єрні шари з регульованим структурно-фазовим станом. Так, на Добротвірській ТЕС здійснено відновлення робочих кромок лопаток циліндра низького тиску турбіни № 5 К 90130 останньої ступені ротора, що виготовлені зі сталі 20Х13 (рис. 3). Лопатки виготовляють на Полтавському турбінобудівному заводі, де їх поверхню відразу захищають стелітовими пластинами. Такі пластини, через особливості технології їх закріплення та несуцільність прилягання до основного матеріалу (сталь 20Х13) з часом інтенсивно руйнуються самі та спричиняють ознаки корозійних ушкоджень тілу лопаток у вигляді відшарувань, гострих клиноподібних пітингів, що поступово розростаються у тріщини (рис. 4). Природа утворення даного виду руйнування може бути пов'язана або з корозійним розтріскуванням, коли поряд із агресивним середовищем існує додатковий вплив залишкових напружень, або водневим окрихченням при наявності у агресивному робочому середовищі іонів H^+, HS^-.

Досліджені нами лопатки турбін працюють як деталі останньої ступені ротора низького тиску. На кожному роторі знаходиться 98 лопаток, висота кожної з яких 1100 мм. Враховуючи геометричні розміри окремої лопатки та швидкість обертання ротора (3000 об/хв), розбаланс ротора у один кілограм ваги по відношенню до ваги всього ротора викликає утворення відцентрової сили, що створює максимально допустиму амплітуду коливання ротора в 30 мікрон. При більшій амплітуді здійснюється аварійна зупинка турбіни для запобігання руйнувань у результаті виникнення резонансних явищ. Тому слід прискіпливо слідкувати за станом поверхні лопаток турбін, зупиняти турбіни на профілактичні ремонти та, по можливості, відновлювати робочі кромки обладнання. При профілактичних ремонтах такі лопатки демонтують та проводять заміну ушкодженої лопатки або здійснюють відновлення тільки стелітових пластин. Це трудомісткий та дуже дорогий процес.



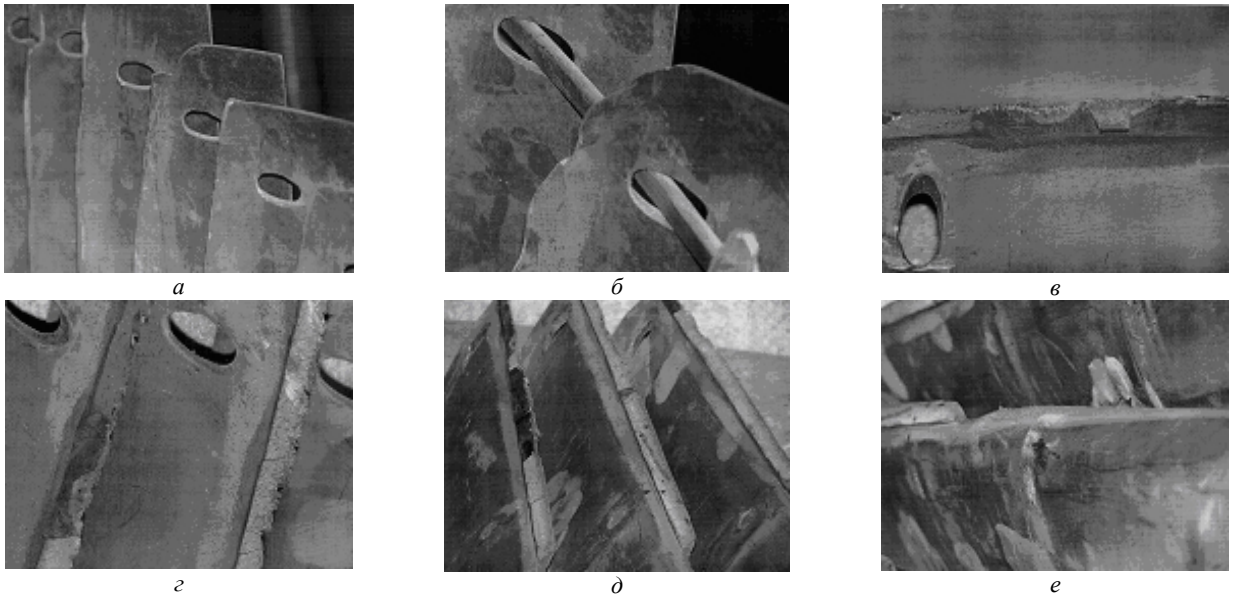
а *б*

Рис. 3. Турбіна низького тиску К 90130 Добротвірської ТЕС, лопатки якої виготовлені із сталі 20Х13:

а – загальний вид; *б* – фрагмент турбіни

Як показали наші порівняльні дослідження, за п'ять років експлуатації лопатка турбіни із стелітовою пластиною піддається руйнуванню, що виявляється в утворенні тріщин, пітингів, виразок (рис. 5, *б*). У той самий час лопатка турбіни з нанесеним за нашими рекомендаціями плазмовим покриттям порошком ніобію показує високу надійність при експлуатації. За аналогічний термін роботи на її поверхні не виявлено ознак жодних пошкоджень (рис. 5, *в*). Нами встановлено оптимальний режим плазмової обробки, що полягає у наступному: тонкодисперсний порошок ніобію вдмухується в активну зону в атмосфері аргону або азоту при тривалості імпульсу $1 \cdot 10^{-5}$–$2 \cdot 10^{-6}$ с з величиною критичного теплового потоку порядку $(2–6) \cdot 10^9$ Вт/м^2.

Отже, захист поверхні лопатки турбіни плазмовим наплавленням дрібнодисперсним порошком ніобію виявився ефективнішим, ніж традиційний спосіб захисту за допомогою стелітових пластин. Лопатка турбіни із сталі марки 20Х13 з нанесеним у такий спосіб покриттям показана на рис. 5, *а*. По-перше, суцільність та гарна адгезія створеного плазмового покриття буде практично повністю виключати можливість розбалансу ротора. По-друге, такі покриття, як показали наші дослідження [7, 8, 9, 10], особливо надійні за умов агресивних середовищ з pH 11, що відповідає реальним умовам експлуатації ротора низького тиску. Тому відпадає необхідність підлуження робочого середовища до pH > 12, коли зростає інтенсивність корозійних пошкоджень внаслідок небажаного утворення на поверхні виробів залізофосфатних відкладень. Для порівняння наведено зображення лопатки турбіни із стелітовими пластинами (рис. 5, *б*, *в*), з якого випливає, що навіть під час її виготовлення існують певні макродефекти, які потім у процесі роботи турбіни розкриваються у тріщини.

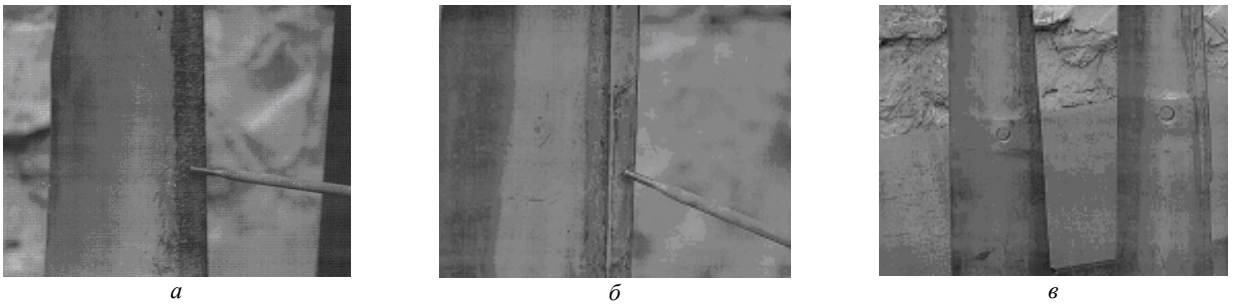


а *б* *в*

г *д* *е*

Рис. 4. Основні види пошкоджень лопаток турбіни низького тиску зі сталі 20Х13:

а, *б* – абразивне зношування, *в* – МКК, *г* – пітинги з ознаками виразкової корозії; *д*, *е* – відшарування, тріщини



а *б* *в*

Рис. 5. Захист робочої поверхні лопатки турбіни низького тиску:

а – за допомогою плазмового наплавлення поверхні; *б* – традиційний із стелітовою пластиною; *в* – порівняння двох методів захисту

Висновки

Запропонований нами метод захисту поверхні лопаток турбіни здійснюється як фінішна технологічна операція перед монтажем обладнання. За умов, коли є необхідність відновити робочі поверхні демонтованих деталей під час планово-профілактичного ремонту обладнання, запропонована методика є також ефективною, оскільки не потребує спеціального обладнання, екологічно чиста та може бути легко автоматизована. Тому, на основі наших технологічних рекомендацій виробничо-технічний відділ Галременерго вніс доповнення в інструкцію ТІ 510–136 «По огляду, контролю і ремонту робочих лопаток турбін останніх ступеней» щодо діючих технологічних процесів по ремонту лопаток турбін. Очікуваний економічний ефект від впровадження наплавлення вихідних лопаток турбіни К–200–130 згідно з актом про використання матеріалів наукових досліджень складає 8 908 902 гривень (із розрахунку на одну турбіну).

Цим підтверджена коректність розвинутих нами теоретичних положень про роль структурних бар'єрів [патент] та розроблених на цій основі практичних рекомендацій.

Перелік посилань

1. Вайнман А. Б. Водородное охрупчивание элементов котлов высокого давления / А. Б. Вайнман, Р. К. Мелехов, О. Д. Смиян. – К. : Наукова думка, 1990. – 272 с.
2. Солонин М. И. Новые конструкционные материалы активных зон реакторов / М. И. Солонин, Ф. Г. Решетников // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 4. – С. 24–27.
3. Найдич Ю. В. Поверхностные свойства расплавов и твердых тел и их использование в материаловедении / Ю. В. Найдич. – К. : Наукова думка, 1991. – 280 с.
4. Дурягіна З. А. Оптимізація структурно-фазового стану поверхні нержавіючих сталей лазерним легуванням / З. А. Дурягіна // Вісник ДУ «Львівська політехніка» : Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні і приладобудуванні. – 2000. – № 394. – С. 116–120.
5. Дурягіна З. А. Вплив режимів іонної імплантації азотом на корозійно-електрохімічні властивості феритомартенситних сталей / З. А. Дурягіна, Т. Л. Івашко // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів : спец. вип. журналу ФХММ : в 2- х т. – Львів : ФМІ ім. Г. Карпенка. – 2006. – Т. 2. – № 5. – С. 696–701.
6. Хромченко Ф. А. Технология ремонта рабочих лопаток паровых турбин / Ф. А. Хромченко // Сварщик. – 2001. – № 1 (17). – С. 13–17.
7. Дурягіна З. А. Поверхневі явища при формуванні градієнтних структур / З. А. Дурягіна, Г. В. Лазько, Т. Л. Івашко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» : Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні і приладобудуванні. – 2003. – № 480. – С. 137–142.
8. Дурягіна З. А. Використання плазмової обробки для оптимізації фізико-механічних властивостей нержавіючих сталей / З. А. Дурягіна, Т. Л. Івашко // Міжнар. зб. наук. праць Донецького Національного ТУ : Донецьк : вид-во Укр. Інформаційного центру «Наука. Техніка. Технологія». – 2005. – С. 206–209.
9. Дурягіна З. А. Поверхневі явища в спеціальних сплавах після плазмового оплавлення / З. А. Дурягіна, Т. Л. Івашко, А. Ю. Юхимчук // Металознавство та обробка матеріалів. – 2006. – № 2. – С. 8–14.
10. Підвищення зносотривкості корозійнотривких сталей комплексним легуванням ніобієм та азотом / [З. А. Дурягіна, Х. Б. Василів, В. В. Широков, Т. Л. Івашко] // Зб. наук. праць Донецького НТУ «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». – 2006. – С. 126–129.

Одержано 18.05.2010

Z. A. Duryagina, T. L. Tepla

POWER EQUIPMENT MACHINES DETAILS CORROSIVE-MECHANICAL DURABILITY ENCREASE METHOD BY PLASMA TREATMENT

Проведен анализ разных видов разрушений деталей машин и элементов конструкций энергетического оборудования. Эффективность предложенных научно-технических решений подтверждена промышленной апробацией на ТЭС Западного региона Украины при позволении использовать их в проектной документации ВАТ «Львов-ОРГРЕС».

Ключевые слова: *плазменная обработка, поверхностное покрытие, лопатки турбин, энергетика.*

The analysis of the various types of energy machines and some construction elements destruction are provided. The proposed scientific and technological solutions efficiency was proved by industrial verification at Ukraine West region HES (heat electric station). Scientific results are used in JVC «Lviv-ORGRES» company project documentation

Key words: *plasma treatment, superficial surface, turbine blades, energy.*