

НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 669.14.018.25

З.А. Дурягіна, Т.Л. Тепла

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інженерного матеріалознавства та прикладної фізики

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ РАДІАЦІЙНО-ПРОМЕНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНОЇ ТРИВКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

© Дурягіна З.А., Тепла Т.Л., 2007

Проаналізовано різні види руйнувань деталей машин та елементів конструкцій енергетичного обладнання. Ефективність запропонованих науково-технологічних рішень підтверджена їх промисловою апробацією за умов роботи ТЕС Західного регіону України. Наукові результати роботи використані у проектній документації ВАТ “Львів – ОРГРЕС”.

Analyses the various type of destruction the part of machines and some elements of construction. Efficiency of the proposed scientific and technological solutions has been proved by their industrial verification at TPP of the Western region of Ukraine. Scientific results are used in the project documentation of the “Lviv – ORGRES” company.

Вступ. Провідна роль енергетики у розвитку без винятку 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, 2].

Відомо, що для виготовлення робочих та напрямних лопаток турбін, що працюють за умов помірних температур (до 450–500 °С), дросельних шайб, регулюючих клапанів, бандажних стрічок переважно використовують надійні у експлуатації та добре вивчені корозійнотривкі хромисті сталі ферито-мартенситного класу марок 10X13 та 20X13 [4].

Мета роботи. 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 найбільше доцільні та ефективні, вивчені основні типи ушкоджень деталей машин та елементів конструкцій енергетичного обладнання Добротвірської, Бурштинської та Ладижинської ТЕС, що виготовлені із корозійнотривких сталей та низьколегованих сталей перлітного класу.

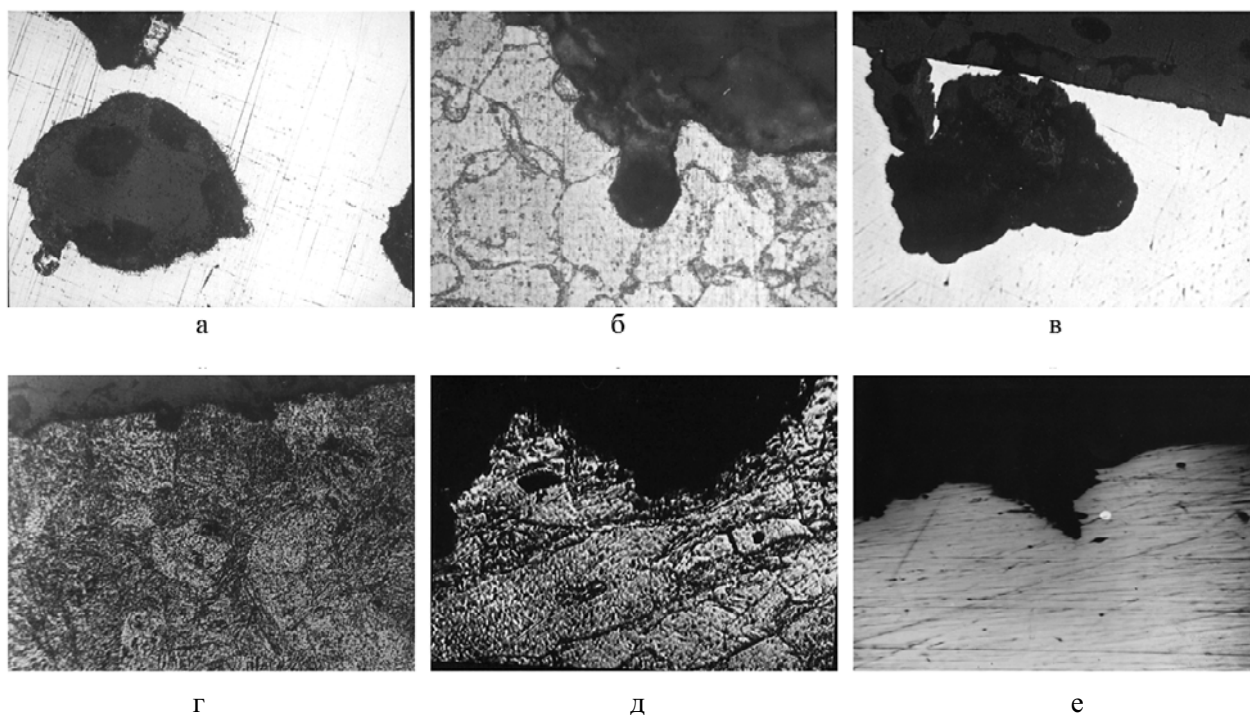
Металографічні дослідження проводили на оптичних мікроскопах МІМ-8 та “Neophot-2” за різних збільшень. Мікрошліфи, виготовлені із ушкоджених деталей, піддавали травленню різними

реактивами. Для сталей перлітного класу використовували 4 % розчин азотної кислоти в етиловому спирті, для аустенітних сталей – царську горілку, а для сталей ферито-мартенситного класу – ферраль.

Результати роботи та їх обговорення. Вивчення умов роботи основних конструкційних матеріалів теплоенергетичного устаткування (корозійнотривких сталей ферито-мартенситного класу 10X13, 20X13, 30X13, аустенітного класу 12X18Н9, 12X18Н10Т та низьколегованих сталей перлітного класу марок 12ХМФ, 12Х2МФСР) дозволяє стверджувати, що їх ушкодження бувають переважно двох типів:

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

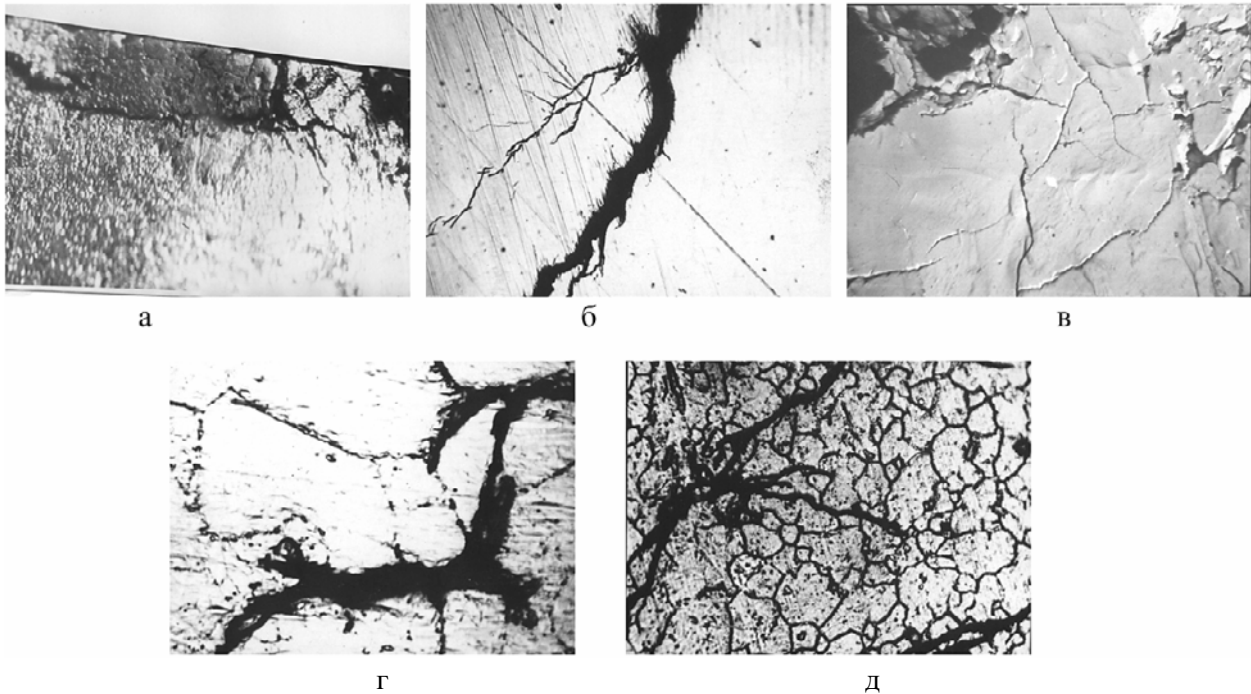
- руйнування деталей за механізмом корозійного розтріскування або водневого окрихчення внаслідок комплексної дії на матеріал робочого тиску та перегрітої пари (при дисоціації якої у пароводяному тракті генерується водень). За цих умов на поверхні та у підповерхневих шарах деталей утворюються макро- та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



*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 – підповерхневий пітинг;
е – клиноподібний пітинг, × 100; д – виразкова корозія, × 300*

Існують різні методи боротьби з цими небезпечними видами руйнування [3, 5]. Першочерговим видом вважається підтримка лужного (рН 9,3 – 10,7) балансу для водного середовища ТЕС. Потрібно відмітити, що додаткове збільшення лужності до рН 12 за рахунок додавання фосфатів небажано, оскільки приводить до утворення залізофосфатних відкладень на поверхні деталей, що інтенсифікує корозійні процеси. Не дають очікуваних результатів у цьому випадку і конструкторські рішення, оскільки зміна технології виготовлення деталей переважно вдорожчує вартість таких запобіжних заходів. Традиційно також використовують методи азотування робочих кромek лопаток турбін, електроіскрове зміцнення робочої поверхні, припаювання захисних пластин,

наплавлення 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 машин. Але ці методи не задовольняють експлуатаційні вимоги, що ставляться до обладнання енергетики.



*Рис. 2. Види корозійних ушкоджень деталей машин енергетичного обладнання:
а – дросельна шайба (20Х13); б – торець лопатки турбіни із стелітовою пластиною (20Х13), $\times 100$;
в, г – труби пароперегрівачів (15ХМФА); д – бандажні стрічки (10Х13); $\times 300$*

Широке використання як конструкційні матеріали теплоенергетики знаходять також хромо-нікелеві сталі аустенітного класу, які характеризуються вищими значеннями жароміцності при температурах, вищих за 650–700 °С. Цьому сприяє більша щільність упакування грансцентрованої кристалічної ґратки цих сталей, порівняно із об'ємноцентрованою кубічною ґраткою ферито-мартенситних сталей, для міграції атомів у якій необхідна дія більшої 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. У той самий час теплопровідність аустенітних сталей помітно нижча, ніж сталей ферито-мартенситного класу, з чим пов'язані певні труднощі під час термічної та поверхневої обробки цих матеріалів. Завдяки великій кількості дефіцитного та дорогого легувального елемента цих сталей, а саме нікелю, вони досить дорогі. Враховуючи відсутність фазових перетворень під час нагрівання та охолодження аустенітних сталей термічною обробкою не вдається істотно змінити їх механічні властивості. Тому вироби з них, як правило, піддають аустенізації від температури 1080–1180 °С з подальшим старінням в інтервалі температур 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 [6, 7]. Так, на Добротвірській ТЕС здійснено відновлення робочих кромek лопаток циліндра низького тиску турбіни № 5 К 90130 останнього ступеня ротора, що виготовлені зі сталі 20Х13 (рис. 3). Лопатки виготовляють на Полтавському

турбінобудівному заводі, де їх поверхню відразу захищають сталітовими пластинами. Такі пластини, через особливості технології їх закріплення та несучільність 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 цього виду руйнування може бути пов'язана або з корозійним розтріскуванням, коли поряд із агресивним середовищем існує додатковий вплив залишкових напружень, або з водневим окрихченням за наявності у агресивному робочому середовищі іонів H^+ , HS^- .

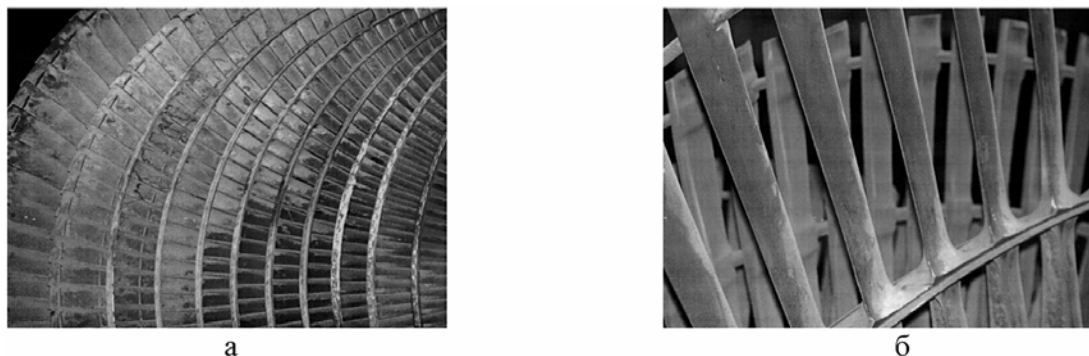


Рис. 3. Турбіна низького тиску К 90130 Добротвірської ТЕС, лопатки якої виготовлені із сталі 20Х13:
а – загальний вигляд; б – фрагмент турбіни

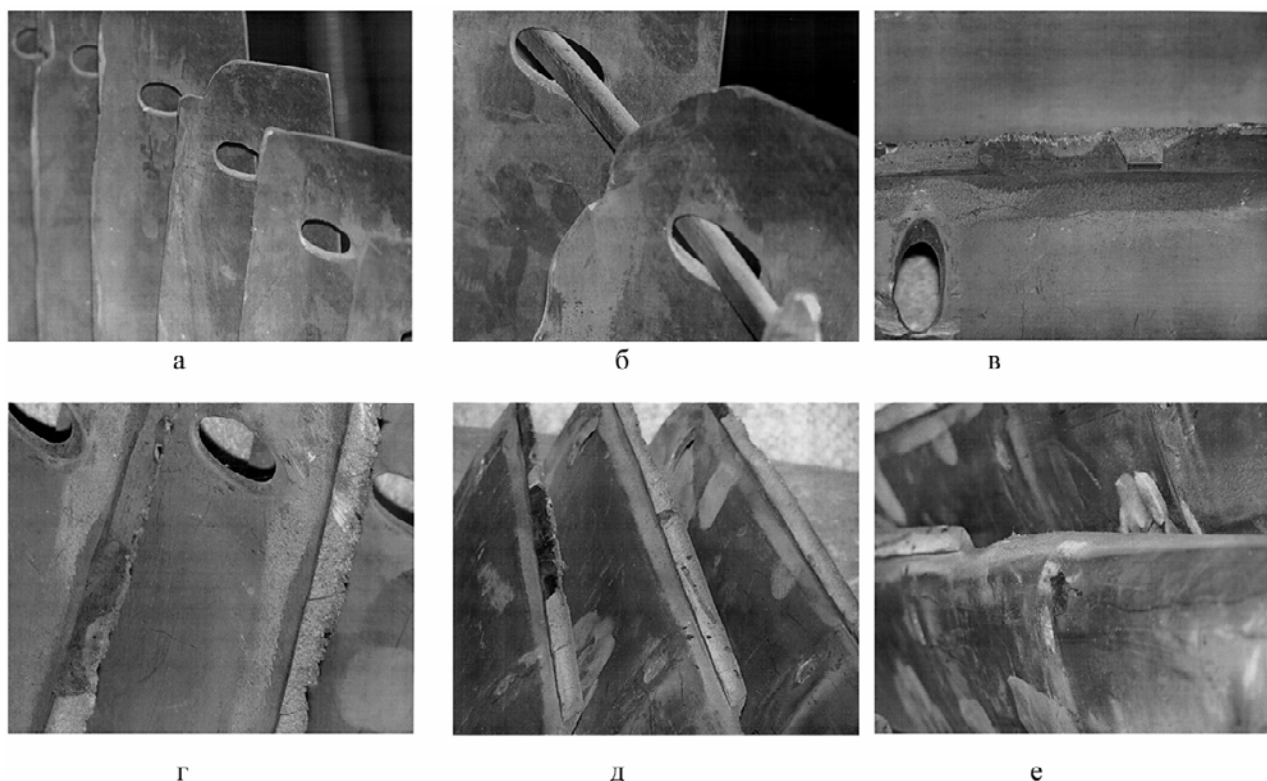


Рис. 4. Основні види пошкоджень лопаток турбіни низького тиску зі сталі 20Х13:
а, б – абразивне зношування; в – МКК; г – пітинги з ознаками виразкової корозії;
д, е – відшарування, тріщини

Досліджені нами лопатки турбін працюють як деталі останнього ступеня 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 щодо ваги всього ротора спричиняє утворення відцентрової сили, що створює максимально допустиму амплітуду коливання ротора в 30 мікрон. При більшій амплітуді здійснюється аварійне зупинення турбіни для запобігання руйнувань внаслідок виникнення резонансних явищ. Тому потрібно прискіпливо слідкувати за станом поверхні лопаток турбін, зупиняти турбіни на профілактичні ремонти та, по можливості, вчасно відновлювати робочі кромки обладнання. Під час профілактичних ремонтів такі лопатки демонтують та проводять заміну ушкодженої лопатки або здійснюють відновлення тільки стелітових пластин. Це трудомісткий та дуже дорогий процес.

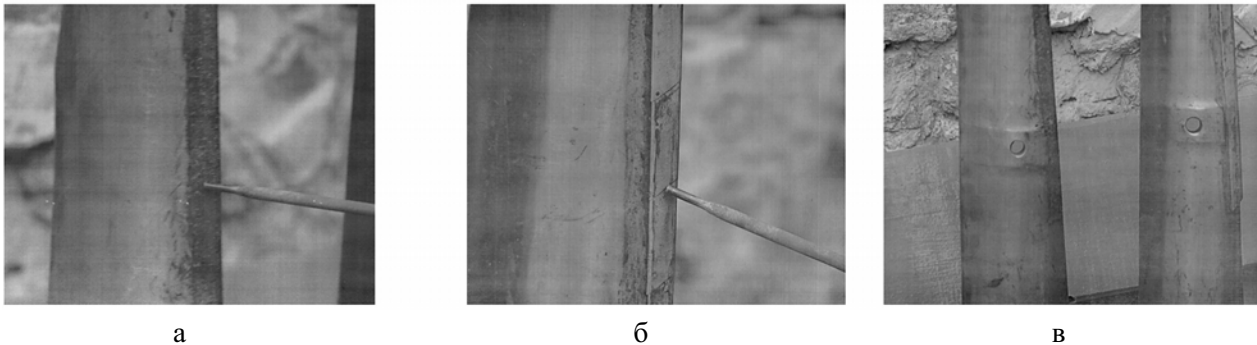


Рис. 5. Захист робочої поверхні лопатки турбіни низького тиску:
а – за допомогою плазмового наплавлення поверхні;
б – традиційний із стелітовою пластиною; *в* – порівняння двох методів захисту

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 під час експлуатації. За аналогічний термін роботи на її поверхні не виявлено жодних ознак пошкоджень (рис. 5, в). Нами встановлено оптимальний режим плазмової обробки, що полягає ось у чому: тонкодисперсний порошок ніобію вдмухується в активну зону у 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/м².

Отже, захист поверхні лопаток турбін плазмовим наплавленням дрібнодисперсним порошком ніобію виявився ефективнішим, ніж традиційний спосіб захисту за допомогою стелітових пластин. Лопатка турбіни із сталі марки 20X13 з нанесеним у такий спосіб покриттям показана на рис. 5, а. По-перше, суцільність та гарна адгезія створеного плазмового покриття практично повністю унеможливуватиме розбаланс ротора. По-друге, такі покриття, як показали наші дослідження [3, 5–7], особливо надійні за умов агресивних середовищ із рН 11, що відповідає реальним умовам експлуатації ротора низького тиску. Тому відпадає необхідність підключення робочого середовища до рН > 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), яке свідчить, що навіть під час її виготовлення існують певні макродефекти, які потім під час роботи турбіни розкриваються у тріщини.

Висновки. Запропонований нами метод захисту робочої поверхні лопаток турбін низького тиску формуванням плазмових покриттів можна здійснювати як фінішну технологічну операцію перед монтажем обладнання. За умов, коли є необхідність відновити робочі поверхні демонтованих деталей під час планово-профілактичного ремонту обладнання, запропонована методика також ефективна, оскільки не потребує спеціального обладнання, екологічно чиста та може бути легко автоматизована. Тому, враховуючи розроблені технологічні рекомендації, у виробничо-технічному відділі Галремергеро внесли відповідні доповнення в інструкцію ТІ 510 – 136 “По огляду, контролю

і ремонту робочих лопаток турбін останніх ступеней” щодо діючих технологічних процесів з ремонту лопаток турбін. Відповідно до акту про використання матеріалів наукових досліджень, очікуваний економічний ефект від впровадження плазмового наплавлення порошками ніобію поверхні вихідних лопаток турбіни К-200-130 становить 8 908 902 грн. (із розрахунку на одну турбіну).

Отже, втілення розроблених практичних рекомендацій підтверджує коректність розвинутих нами теоретичних положень про ефективність формування на поверхні деталей машин енергетичного обладнання структурних бар’єрів регульованого структурно-фазового стану методами інженерії поверхні [8].

1. Водородное охрупчивание элементов котлов высокого давления / Вайнман А.Б., Мелехов Р.К., Смиян О.Д. АН УССР. Физико-механика / Ин-т. им. Г.В. Карпенко. – Киев: Наук. думка, 1990. – 272 с. 2. Солонин М.И., Решетников Ф.Г. Новые конструкционные материалы активных зон реакторов // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 4. – С. 24–27. 3. Дурягіна З.А. Оптимізація структурно-фазового стану поверхні нержавіючих сталей лазерним легуванням // Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2000. – № 394. – С. 116–120. 4. Хромченко Ф.А. Технологія ремонту робочих лопаток парових турбін // Сварщик. – 2001. – № 1 (17). – С. 13–17. 5. Дурягіна З.А., Лазько Г.В., Івашко Т.Л. Поверхневі явища при формуванні градієнтних структур // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – № 480. – 2003. – С. 137–142. 6. Дурягіна З.А., Івашко Т.Л. Використання плазмової обробки для оптимізації фізико-механічних властивостей нержавіючих сталей // Міжнар. зб. наук. пр. Донецьк. Нац. ТУ. – Донецьк: Вид-во Укр. Інформаційного центру “Наука. Техніка. Технологія”. – 2005. – С. 206–209. 7. Дурягіна З.А., Івашко Т.Л., Юхимчук А.Ю. Поверхневі явища в спеціальних сплавах після плазмового оплавлення // МОМ. – 2006. – № 2. – С. 8–14. 8. Пат. 17292 UA, B21F21/00. Структурний бар’єр на поверхні конструктивних елементів атомного енергетичного обладнання / З.А. Дурягіна, В.І. Алімов, Т.Л. Тепла, А.П. Штихно. – Заявл. 03.04.2006; Опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.