

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**БІЛОУС
АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ**

УДК 621.9.048.4

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ВІДЦЕНТРОВИХ
КОМПРЕСОРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі технічного сервісу Сумського національного аграрного університету Міністерства аграрної політики та продовольства України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Тарельник В'ячеслав Борисович,
Сумський національний аграрний
університет м.Суми, завідувач кафедри
технічного сервісу

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мовшович Олександр Якович,
Науково-виробниче підприємство
“Оснастка” м.Краматорськ, заступник
директора з наукової роботи

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Бородінов Володимир Олександрович,
Виробничо-технічний центр Харківської
філії державного підприємства
“Харківстандартметрологія”, м. Харків,
директор

Захист відбудеться «26» травня 2011 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий «22» квітня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відцентрові компресори застосовуються в багатьох галузях промисловості, таких як нафтова, хімічна, енергетична та ін. Високі режимні параметри сучасних відцентрових компресорів: робочі тиски до 500 МПа, швидкості руху робочого середовища до 100 м/с, швидкості обертання ротора до 15000 об/хв викликають необхідність застосування нових композиційних матеріалів, а також розроблення нових технологічних методів виготовлення, спрямованих на підвищення якості відповідальних деталей відцентрових компресорів.

Досвід експлуатації компресорного обладнання свідчить про те, що більшість відмов, компресорних агрегатів, що обслуговуються, відбуваються внаслідок порушення їх працездатності. Слід зазначити, що в 80% випадків вихід із ладу ротора компресора й ущільнювального вузла трапляється через зношування (або руйнування) підшипникових шийок вала ротора й захисних втулок масляних ущільнень.

Виходячи з умов роботи відцентрових компресорів, технічні вимоги до робочих поверхонь деталей можна розділити на вимоги до матеріалу основи та вимоги до її робочих поверхонь. Так, підшипникові шийки вала ротора повинні протистояти механічному зношуванню, а матеріал основи сприймати динамічні навантаження, пов'язані з роботою компресорного агрегату протягом усього життєвого циклу. У свою чергу, робоча поверхня захисних втулок повинна протистояти інтенсивному механічному й кавітаційному зношуванню, а матеріал її основи не повинен зазнавати корозійного впливу робочого середовища.

Відомі технології виготовлення деталей відцентрових компресорів дуже трудомісткі, вимагають застосування дорогого спеціалізованого обладнання, контролю якості на всіх стадіях виробничого циклу.

Таким чином, створення перспективних енергоефективних технологій виготовлення деталей відцентрових компресорів при забезпеченні необхідних експлуатаційних характеристик є актуальним завданням та визначає напрямок дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі технічного сервісу Сумського національного аграрного університету у рамках завдань держбюджетних НДР МОН України «Розробка технології підвищення зносостійкості захисних втулок компресорного й насосного обладнання» (ДР № 0106U00261А); «Дослідження фізико-механічних властивостей поверхневих шарів деталей насосного й компресорного обладнання, сформованих методом електроерозійного легування» (ДР № 0107U002137); «Розробка структурно-параметричної моделі технології зміцнення деталей роторів відцентрових машин» (ДР № 0107U008645), крім цього виконувалися госпдоговори між СНАУ й ТОВ «Тріз» (м. Суми) за темами: «Розробка технології підвищення надійності та довговічності відповідних деталей насосного та компресорного обладнання» (договір № 11-05 від 01.12.05р.); «Дослідження фізико-механічних властивостей поверхневих шарів деталей насосного та компресорного обладнання, сформованих методом електроерозійної цементації» (договір № 32-06 від 01.12.06р.), у яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є забезпечення якості робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів за рахунок упровадження інтегрованих технологій виготовлення із застосуванням запатентованих нових способів зміцнення, що дозволить підвищити виробничі та експлуатаційні характеристики обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз умов роботи й базових технологічних процесів виготовлення відповідальних деталей відцентрових компресорів для виявлення резервів підвищення параметрів якості й зниження технологічної собівартості;

- проаналізувати й систематизувати існуючі способи підвищення якості поверхонь деталей машин, що працюють в умовах підвищених навантажень і агресивних середовищ, розглянути можливість розроблення нового прогресивного способу їх виготовлення;

- провести дослідження впливу способу електроерозійної цементації на параметри поверхневих шарів деталей машин;

- розробити математичну модель впливу технологічних параметрів інтегрованої технології на властивості формованої поверхні для забезпечення продуктивності та економічності технологічної операції;

- розробити методику спрямованого вибору інтегрованої технології виготовлення деталей відцентрових компресорів при найменших витратах;

- упровадити результати досліджень у практику виготовлення деталей відцентрових компресорів.

Об'єкт дослідження – інтегровані технологічні процеси виготовлення деталей відцентрових компресорів, що працюють в умовах підвищених навантажень і агресивних середовищ.

Предмет дослідження – параметри способу зміцнення робочих поверхонь відповідальних деталей відцентрових компресорів на основі електроерозійної цементації.

Методи дослідження. На основі методу системного аналізу досліджені конструкторсько-технологічні вимоги до деталей відцентрових компресорів, а також існуючі методи підвищення їх якості. Метод спрямованого вибору технологій зміцнення деталей дозволив із усього різноманіття технологій зміцнення визначити найбільш оптимальну за показником досягнення якості й найменшої собівартості. Для оцінки якості поверхневого шару після зміцнення, його суцільності, глибини й будови зон підшару проводився металографічний аналіз зразків на оптичному мікроскопі «Неофот-2». Оцінка впливу зміцненого шару на механічні властивості матеріалу основи була проведена за стандартною методикою відповідно до ДСТУ 7855-84 (випробування на розтягування), ДСТУ 25.502-79 (випробування на утому). Оцінка зносостійкості зміцненого шару проводилася на машині тертя СМЦ-2 із застосуванням методу штучних баз за ДСТУ 16524-72.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що був запропонований новий підхід до розроблення інтегрованої технології та принципів побудови процесів для забезпечення необхідної якості робочих поверхонь найбільш економічними методами. Для цього:

- запропонований, розроблений і досліджений новий спосіб зміцнення поверхневого шару деталей (цементація методом електроерозійного легування), що дозволяє забезпечити необхідну якість поверхонь деталей машин, знизити трудомісткість і зменшити технологічну собівартість процесу (Пат. 82948 Україна, МПК С 23 С 8/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням);

- розроблена математична модель керування параметрами якості поверхневих шарів деталей відцентрових компресорів, яка дозволяє вирішувати практичне завдання вибору технологічних режимів роботи обладнання й часу обробки для забезпечення заданої якості робочих поверхонь;

- набуло подальшого розвитку застосування спрямованого вибору інтегрованої технології забезпечення необхідної якості робочих поверхонь деталей найбільш економічними методами.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі полягає у розробленні інтегрованої технології зміцнення робочих поверхонь відповідальних деталей відцентрових компресорних машин, яка дозволила забезпечити їх необхідну якість найбільш економічними методами. Запропонований новий спосіб зміцнення поверхневого шару деталей, що дозволив зменшити технологічну собівартість процесу при забезпеченні конструкційних параметрів якості.

Інтегрована технологія забезпечення якості робочих поверхонь деталей компресорного обладнання була відпрацьована на Лебединському дослідно-експериментальному заводі «Темп» (м. Лебедин Сумської області), на прикладі захисної втулки масляного ущільнення, яка дозволила зменшити технологічну собівартість продукції і отримати економічний ефект 13940 грн. Результати дисертації впроваджено на ВАТ СНВО ім. М. В.Фрунзе (м. Суми); у філії «Укргазенергосервіс» Гайсинському управлінні (м. Гайсин); АТ «НВАТ ВНДІкомпресормаш» (м. Суми).

Особистий внесок здобувача. Результати теоретичних і експериментальних досліджень, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Серед них: аналіз умов роботи і конструкційних особливостей відповідальних деталей компресорного обладнання, визначення факторів, які впливають на їх працездатність; обґрунтування планів і програм експериментів з визначення параметрів якості поверхневих шарів робочих поверхонь деталей і методів, якими можна їх досягти; виконання експериментальних досліджень щодо зміцнення поверхневого шару зразків конструкційних сталей способом електроерозійної цементації і її вплив на фізико-

механічні властивості матеріалу, обробка і узагальнення отриманих результатів; участь у впровадженні результатів на промислових установках.

Постановка завдань досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим керівником.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й були схвалені на: Міжнародному науковому симпозиумі «Гідродинамічна теорія мастила – 120 років (Орел, 2006 р.); 12-й, 13-й, 14-й і 16-й міжнародних науково-методичних конференціях «Технології XXI століття» (Алушта, 2005, 2006, 2007, 2010 р.р.); 11-й Міжнародній науково-технічній конференції «Ущільнення й ущільнювальні технології машин і механізмів» (Вроцлав-Кудова Здрой, 2007 р.); 11-й Міжнародній науково-технічній конференції «Герметичність, вібронадійність і екологічна безпека насосного й компресорного обладнання» (Суми, 2005 р.).

Публікації. Основні положення дисертації відображені в 15 наукових працях, із яких 10 статей у наукових фахових виданнях ВАК України і 1 патент України.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку літератури. Загальний обсяг дисертації становить 164 сторінки, із них 79 рисунків по тексту, 9 рисунків на 10 сторінках; 28 таблиць по тексту; 3 додатка на 8 сторінках; 131 найменування використаних літературних джерел на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета й завдання досліджень, наведені її наукова новизна й практична цінність.

У першому розділі аналізуються умови роботи деталей відцентрових компресорів, основні причини виходу їх з ладу, а також існуючі технологічні способи підвищення якості робочих поверхонь, що безпосередньо впливають на ресурс даних деталей.

Аналіз патентної й науково-технічної літератури свідчить про те, що всі існуючі способи підвищення якості поверхневих шарів деталей мають як переваги, так і недоліки. Обґрунтовано встановлено, що найбільш перспективним способом формування поверхневих шарів відповідальних деталей відцентрових компресорів є цементация методом електроерозійного легування.

У другому розділі описані методика і результати проведених експериментальних досліджень впливу інтегрованих технологій на якість сформованих поверхонь, обґрунтований вибір застосовуваних матеріалів і типу обладнання. Експерименти були проведені на обладнанні кафедри технічного сервісу.

Електроерозійне легування проводилося на установках «ЕЛ-8А» і «ЕЛ-9» графітовим електродом марки ЕГ-4 в автоматизованому режимі (рис. 1) у діапазоні енергій розряду (W_p) від 0,6 до 6,8 Дж. Як матеріали катода використовували: армко-залізо, 12Х18Н10Т, 30Х13, 40Х та інші.

Рис. 1. Схема зміцнення поверхні в автоматизованому режимі

Зміцнення деталі 1 проводилося на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16К20. Вібратор 2 через перехідник 3 кріпився в різцетримачеві 4 (рис. 1). Підведення електрода 5 здійснювалося механізмами верстата. Вибір режимів автоматизованого зміцнення (частота обертання шпинделя, подача) проводився, виходячи із заданої продуктивності процесу.

Для дослідження структури й виміру мікротвердості поверхневого шару при автоматизованому процесі зміцнення використовувалися зразки $\varnothing 16 \times 10$ мм, з яких потім виготовляли шліфи. Поверхня шліфа була орієнтована перпендикулярно до поверхні електроерозійного зміцнення.

Металографічними дослідженнями встановлено, що сформований зміцнений поверхневий шар ($h_{сл}$) складається з двох зон (рис. 2).

Рис. 2. Структура зміцненого поверхневого шару при електроерозійній цементации: $h_б$ - «білий» шар твердий шар, який не зазнає травлення звичайними реактивами; h_n - перехідний шар (дифузійна зона).

Шліфи досліджували на оптичному мікроскопі «Неофот-2», де проводилася оцінка суцільності, товщини й будови зон підшару - дифузійної зони й зони термічного впливу. Одночасно проводився дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості в поверхневому шарі й по глибині шліфа від поверхні. Вимірювання мікротвердості проводилося за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 вдавненням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н (відповідно до ДСТУ 9450-76).

Контроль шорсткості зміцненої поверхні здійснювався згідно з ДСТУ 2789-73 шляхом зняття й обробки профілограм на профілометри-профілографі мод. 201 заводу «Калібр» (м. Москва).

Ультразвукова обробка здійснювалася на базі токарно-гвинторізного верстата 16К20 із застосуванням магніострикційного перетворювача ПМС-39 і ультразвукового генератора УЗУ-030.

Для дослідження якісних параметрів поверхневого шару були виготовлені зразки згідно з рис. 3. Подальша обробка зразків проводилася за схемою, наведеною на рис. 4.

Рис. 3. Ескіз зразка для електроерозійної цементації: 1, 3 – робочі поверхні зразка; 2, 4 – технологічні поверхні

Рис. 4. Схема застосування інтегрованих технологій для кожного зразка: 1 – електроерозійна цементація (ЕЦ) + ультразвукова обробка (УО); 2 - ЕЦ + УО + шліфування (ШЛ); 3 – ЕЦ + ШЛ; 4 – ЕЦ

Випробування на зносостійкість проводилися на машині тертя СМЦ-2 за схемою: кільце - плоский зразок. Кільця виготовлялися зі сталей 40Х і 12Х18Н10Т і базового матеріалу захисної втулки (монель-метал+зносостійке покриття). Як контртіло використовувався прямокутний зразок із твердого сплаву Т15К6 із шорсткістю робочої поверхні $Ra = 1,6$ мкм. Випробування проводилися в умовах обмеженого змащування. Як мастило використовувалося масло індустріальне І20А.

Оцінка зносостійкості проводилася за лінійним зношуванням поверхні зразків. Для оцінки зносостійкості застосовувався метод штучних баз за ДСТУ 16524-72.

ДюрOMETричний аналіз проведених досліджень показав, що незалежно від матеріалу й режиму електроерозійної цементації мікротвердість зміцненого шару в міру поглиблення плавно знижується й переходить у мікротвердість основи.

Аналіз експериментальних даних свідчить про те, що на глибину зміцненого шару істотно впливає як час обробки, так і енергія розряду. Варто зазначити, що в першому наближенні між глибиною зміцненого шару й енергією розряду, а також тривалістю обробки існує експоненціально зростаюча залежність (табл. 1).

Таблиця 1

Середньостатистичні значення якісних параметрів поверхневих шарів зразків зі сталі 12Х18Н10Т та 40Х

Енергія розряду, W_p , Дж	Час легування, хв	Загальна глибина шару $h_{ш}$, мкм	Мікротвердість, НV	Шорсткість Ra , мкм
Сталь 12Х18Н10Т				
0,6	1	30	950	0,85
1,41		71	900	1,40
2,83		96	840	5,90
3,4		101	870	8,60
6,8		115	900	12,00
0,6	5	48	1013	0,95
1,41		134	1101	1,35
2,83		200	974	6,30
3,4		210	960	8,50

6,8		250	1100	12,3
0,6	10	51	1006	1,20
1,41		145	995	1,85
2,83		220	930	6,40
3,4		230	1001	8,85
6,8		275	1050	14,5
Сталь 40X				
0,6	1	35	950	0,90
1,41		146	900	1,70
2,83		215	980	6,00
3,4		230	960	8,70
6,8		270	1010	13,50

Продовження табл. 1

Енергія розряду, W_p , Дж	Час легування, хв	Загальна глибина шару $h_{ш}$, мкм	Мікротвердість, HV	Шорсткість Ra, мкм
0,6	5	50	987	0,85
1,41		377	993	2,10
2,83		658	1001	6,20
3,4		722	997	9,10
6,8		910	1050	12,60
0,6	10	55	1002	0,95
1,41		424	989	1,50
2,83		757	1100	6,30
3,4		833	1050	9,00
6,8		1060	1001	14,30

Експериментальні дослідження (табл. 1) показують, що глибина зміцненого шару залежно від матеріалу основи, часу легування й енергії розряду може змінюватися від 30 мкм (для сталі 12X18H10T при $W_p=0,6$ Дж, тривалістю обробки 1 хвилина) до 1060 мкм (для сталі 40X при $W_p=6,8$ Дж, тривалістю обробки 10 хвилин).

При електроерозійній цементації з підвищенням енергії розряду шорсткість поверхні зростає. Слід зазначити, що суцільність зміцненого шару на всіх досліджуваних зразках - 100%.

Застосування запропонованої інтегрованої технології, яка полягає в електроерозійній цементації і ультразвуковій обробці поверхні, дозволяє збільшити зносостійкість робочої поверхні, збільшити міцність на розрив і утомну міцність самої деталі. Для досягнення найбільшої утомної міцності доцільне застосування інтегрованої технології, що передбачає електроерозійну цементацію з подальшою ультразвуковою обробкою. Зміцнення зразків методом електроерозійної цементації приводить до збільшення в 1,1 разу межі міцності й у 1,04 раза границі плинності для зразків зі сталі 40X та в 1,04 і 1,06 відповідно для зразків зі сталі 12X18H10T. Застосування додатково ультразвукової обробки збільшує межу міцності випробовуваних матеріалів у 1,22 раза для зразків зі сталі 40X, у 1,7 раза для зразків зі сталі 12X18H10T. Запропонована технологія є найбільш ефективною й дозволяє збільшити зносостійкість зміцнених зразків порівняно із зразками без зміцнення в 7,80 разу (для матеріалу 40X) і в 11,50 раза (для матеріалу 12X18H10T) і в 1,20 і 1,10 раза відповідно порівняно з базовим матеріалом захисної втулки (монель-металл+захисне покриття).

У третьому розділі встановлений вид аналітичних залежностей, що дозволяють визначити вплив інтегрованих технологій на якісні параметри поверхневого шару деталей.

На підставі проведених досліджень запропонована математична модель, що описує вплив енергії розряду на глибину зміцненого шару при електроерозійній цементації, і розроблена методика, що дозволяє визначати константи рівняння прогнозування глибини зміцненого шару (енергію активації дифузії E і максимальну глибину зміцненого шару h_{max}). Також був розроблений алгоритм пошуку раціональних варіантів інтегрованих технологій підвищення якості

робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів, що дозволяє прогнозувати енергетичні параметри електроерозійної цементації для формування зміцненого шару необхідної глибини.

Етап 1. Одержання аналітичних залежностей глибини зміцненого шару від енергії розряду при електроерозійній цементації. Вихідними даними для моделювання є експериментальні результати дослідження параметрів якості поверхневих шарів зразків при електроерозійній цементації.

На підставі експериментальних досліджень встановлено, що при електроерозійній цементації сталі між глибиною зміцненого шару (h_c) і величиною зворотної енергії розряду $(W_p)^{-1}$ до періоду насичення, коли $h_c = h_{\max}$, існує експоненціально спадна залежність

$$h = a_1' \cdot e^{\frac{b_1}{W_p}}, \quad (1)$$

де a_1' , b_1 – коефіцієнти рівняння; (W_p) – енергія розряду.

З підвищенням енергії розряду глибина зміцненого шару зростає тим швидше, чим більша енергія активації дифузії (E). Для визначення a_1' , b_1 в області точок $\left(\ln(h)_i, \frac{1}{W_{p_i}}\right)$ проводимо пряму так, щоб величина всіх відхилень відповідала умові

$$U = \sum_{i=1}^N \left[\ln(h)_i - \ln(h) \left(\frac{1}{W_{p_i}} \right) \right]^2 \Rightarrow \min,$$

де N – кількість режимів, на яких проводилася електроерозійна цементація.

Методом найменших квадратів визначаємо коефіцієнти рівняння (1):

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{W_{p_i}} \sum_{i=1}^N \ln(h)_i - N \sum_{i=1}^N \frac{1}{W_{p_i}} \cdot \ln(h)_i}{\left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{W_{p_i}} \right)^2 - N \sum_{i=1}^N \frac{1}{W_{p_i}^2}}, \quad (2)$$

$$a_1' = \exp \left[\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \ln(h)_i - b_1 \sum_{i=1}^N \frac{1}{W_{p_i}} \right) \right]. \quad (3)$$

Згідно з отриманими залежностями здійснені розрахунки коефіцієнтів і визначений вид кривої регресії (1). Аналогічні розрахунки зроблені для часу легування $T = 2, 3, 5, 7, 10$ хвилин.

Підставляючи отримані коефіцієнти (2) і (3) в (1), визначається вид аналітичних залежностей глибини зміцненого шару від енергії розряду для всіх матеріалів зразків.

Етап 2. Побудова статистичних кривих $h = f(W_p)$ залежно від трудомісткості процесу електроерозійної цементації $T = 1, 2, 3, 5, 7, 10$ хв (рис.5).

Рис. 5. Залежність глибини зміцненого шару від енергії розряду при різній трудомісткості процесу для зразка зі сталі 12Х18Н10Т

Етап 3. Побудова крайових кривих для моделі залежності глибини зміцненого шару від енергії розряду і трудомісткості процесу електроерозійної цементації. Із сукупності теоретичних кривих (рис. 5) відбираються залежності, що відповідають максимальній дослідній трудомісткості процесу $T=10$ хв з відповідними їм коефіцієнтами рівняння (1). Знаходиться крива функції $h = f(T)$ при максимальній дослідній енергії розряду $W_p = 6,8$ Дж. Для цього використовуються точки перетину кривих $h = f(W_p)$ при різній трудомісткості з лінією, що відповідає $W_p = 6,8$ Дж (вертикальна пунктирна лінія), на рис.5.

Поле розподілу отриманих точок для всіх зразків наведені на рис. 6 а.

Рис. 6: а) поле розподілу точок у координатах $x = W_p$, Дж; $y = T$, хв для зразка зі сталі 12Х18Н10Т; б) залежність глибини зміцненого шару від трудомісткості процесу для зразка зі сталі 12Х18Н10Т

Таким чином, між глибиною цементованого шару й енергією розряду існує експоненціально зростаюча залежність (рис. 6 б).

Етап 4. Побудова просторової моделі. Просторова модель має вигляд

$$h = f(W_p, T) = k \cdot f(W_p) \cdot f(T), \quad (5)$$

де k - коефіцієнт узгодження функцій $f(W_p)$ і $f(T)$,

$$k = \frac{2}{f(W_{p_{6,8}}) + f(T_{10})};$$

$f(W_{p_{6,8}})$ і $f(T_{10})$ – значення функцій $f(W_p)$ і $f(T)$ при енергії розряду 6,8 Дж і трудомісткості 10 хвилин відповідно;

$$f(W_p) = a_1' \cdot e^{\frac{b_1}{W_p}}; \quad f(T) = a_2' \cdot e^{\frac{b_2}{T}}.$$

Таким чином, результуюча просторова модель має вигляд

$$h = f(W_p, T) = k \cdot a_1' \cdot e^{\frac{b_1}{W_p}} \cdot a_2' \cdot e^{\frac{b_2}{T}}. \quad (6)$$

Згідно з отриманою моделлю залежність глибини зміцненого шару « h » від режиму легування (енергії розряду « W_p ») і часу легування « T » для всіх матеріалів зразків можна зобразити графічно (рис. 7).

Рис. 7. Модель залежності виду $h = f(W_p, T)$ для зразка зі сталі 12X18H10T

Етап 5. Визначення математичної моделі лінії рівня.

Згідно із залежністю (4) проводиться пошук глибини зміцненого шару « h » щодо трудомісткості « T »:

$$T = f(W_p, h) = \frac{b_2}{\ln(h) - (\ln(k \cdot a_1' \cdot a_2') + \frac{b_1}{W_p})} = \frac{b_2}{\ln(\frac{h}{k \cdot a_1' \cdot a_2'}) - \frac{b_1}{W_p}}. \quad (7)$$

Використовуючи результати моделювання згідно із залежностями (6), (7), вирішується пряме й зворотне завдання пошуку раціональних параметрів інтегрованих технологій підвищення якості робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів.

Пряме завдання зводиться до пошуку трудомісткості процесу електроерозійної цементації при змінному параметрі – енергії розряду та заданому параметрі - глибині зміцненого шару.

Рис. 8. Процедура вирішення прямого завдання

Для заданого значення глибини зміцненого шару проводиться раціональний вибір технологічного режиму на існуючому обладнанні, якому відповідає лінія рівня тривимірної моделі (рис. 8 а), згідно з визначеними технологічними параметрами (глибини зміцненого шару, енергії розряду) визначається трудомісткість процесу (рис. 8 б).

Вирішення зворотного завдання (рис. 9 а, б) зводиться до пошуку глибини зміцненого шару деталей відцентрових компресорів при змінному параметрі – енергії розряду й заданому параметрі - трудомісткості процесу електроерозійної цементації. Згідно із заданим обмеженням щодо трудомісткості виконання операції та значення енергії розряду в площині (W_p, T) знаходиться точка перетину (рис. 9, а). Піднімаючи перпендикуляр до перетину з поверхнею тривимірної моделі, визначається точка на відповідній лінії рівня. Відкладаючи висоту лінії рівня, визначається величина зміцненого шару (рис. 9 б).

Рис. 9. Процедура вирішення зворотного завдання

У четвертому розділі систематизовані питання, пов'язані з методологією спрямованого вибору та синтезу інтегрованих технологій досягнення необхідної якості поверхневого шару деталей.

Завдання оптимізації вирішується методом лінійного програмування. При цьому критерієм оптимізації є

$$\omega = f(\alpha, \lambda),$$

де α – змінний параметр, який залежить від параметрів (енергія розряду, подача, частота обертання шпинделя та ін.); λ – набір технологічних обмежень, таких, як: шорсткість поверхні, мкм: $0,4 \leq Ra \leq 0,8$; глибина зміцненого шару, мм: $0,1 \leq h \leq 2$; твердість поверхні тертя, HV: $800 \leq H\mu \leq 3000$.

На технологічному рівні завдання вирішується за рівнянням (необхідна умова):

$$\exists_{\xi \in \theta} P_{0\xi} = \bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^{\psi} \{P_i\} \vee \exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi} \vee \exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_{\zeta} \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon},$$

де $\exists_{\xi \in \theta} P_{0\xi}$ – існуючий варіант вирішення завдання; $\bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^{\psi} \{P_i\}$ – сукупність етапів вирішення завдання; $\exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi}$ – наявність методів вирішення завдання на кожному етапі; $\exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_{\zeta}$ – наявність засобів технологічного оснащення, здатних реалізувати необхідні методи; $\exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}$ – наявність в обладнанні необхідних технологічних режимів для реалізації кожного методу.

Множина рішень на якісному рівні (достатня умова) буде описуватися як

$$\forall_{k \in X} P_{0k} = \{P_0 \mid \lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}\},$$

тобто для всіх існуючих варіантів вирішення завдання (сукупності інтегрованих технологій) закладені критерії щодо якості процесу повинні перебувати в діапазоні допустимих значень технологічних обмежень щодо шорсткості поверхні, глибини зміцненого шару й твердості поверхні тертя.

Множина варіантів вирішення завдання, оптимізованих за технологічною собівартістю має вигляд

$$\{C_{P_0}\} = \bigcup_{k \in X} \{C_{P_0}(k) \mid \begin{array}{l} \exists_{\xi \in \theta} P_{0\xi} = \bigcap_{\psi=1}^m \Gamma^{\psi} \{P_i\} \vee \exists_{\phi=1}^{\varphi} M_{\phi} \vee \exists_{\zeta=1}^{\chi} STO_{\zeta} \vee \exists_{\varepsilon=1}^{\tau} TP_{\varepsilon}, \\ \forall_{k \in X} P_{0k} = \{P_0 \mid \lambda_{P_0}^{\min} \leq \lambda_{P_0} \leq \lambda_{P_0}^{\max}\} \end{array} \}.$$

Раціональний варіант технології з урахуванням сукупності доступних матеріалів основи визначається з масиву мінімізованих рішень (рис. 10).

Рис.10. Формування матриці технологій реалізації завдання виготовлення деталей відцентрових компресорів

Завдання оптимізації варіантів рішення за економічними критеріями (мінімумом технологічної собівартості) вирішується як

$$P_0^{opt} = \lim_{C_{max} \rightarrow \min} P_0 \mid C_{max} \in \{C_{P_0}\}.$$

Результатом спрямованого вибору технології виготовлення деталей відцентрових компресорів будуть технологічні процеси, що дозволяють забезпечити необхідну якість їх робочих поверхонь найбільш економічними методами.

У п'ятому розділі наведена реалізація завдання підвищення якості робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів, формалізовані необхідні й достатні умови існування варіантів рішення, що дозволяють розробити оптимальну технологію їх виготовлення.

Використання системи спрямованого вибору технології виготовлення й методу синтезу інтегрованої технології дозволили забезпечити необхідну якість робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів найбільш економічними методами.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені: на Лебединському дослідно-експериментальному заводі «Темп» (м. Лебедин Сумської області); ВАТ СНВО ім. М.В. Фрунзе (м. Суми); у Філії «Укргазэнергосервіс» Гайсинському управлінні (м. Гайсин); АТ «НВАТ ВНДІкомпресормаш» (м.Суми).

У додатках наведено акти впровадження інтегрованої технології у виробництво, креслення захисної втулки масляного ущільнення.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене науково-практичне завдання забезпечення якості робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів за рахунок упровадження інтегрованих технологій виготовлення із застосуванням нових способів зміцнення, що дозволило збільшити експлуатаційні характеристики агрегатів найбільш економічними методами.

1. На основі системного аналізу особливостей експлуатації й досвіду виготовлення найбільш відповідальних деталей відцентрових компресорів обґрунтована необхідність пошуку й розроблення нового, більш прогресивного й економічного способу обробки.

2. Аналіз існуючих методів підвищення якості деталей відцентрових компресорів свідчить про те, що всі вони мають як свої переваги, так і недоліки. Виходячи з економічних показників процесів (ціна обладнання, енергетичні витрати, трудомісткість, екологічність та ін.), був обґрунтовано вибраний метод електроерозійного легування, а на його основі запропонований новий спосіб підвищення якісних параметрів відповідальних деталей відцентрових компресорів – електроерозійна цементация.

3. Проведені експериментальні дослідження виявили що:

- для досягнення найбільшої утомної міцності доцільне застосування інтегрованої технології, що передбачає електроерозійну цементацию з подальшою ультразвуковою обробкою;
- зміцнення деталей методом електроерозійної цементации приводить до збільшення в 1,1 раза межі міцності та у 1,04 раза границі плинності для зразків зі сталі 40X і в 1,04 і 1,06 відповідно для зразків зі сталі 12X18H10T. Подальше застосування ультразвукової обробки збільшує межу міцності випробовуваних матеріалів у 1,22 раза для зразків зі сталі 40X та в 1,7 раза для зразків зі сталі 12X18H10T;
- інтегрована технологія, що полягає в зміцненні поверхні деталей електроерозійною цементацией з подальшою ультразвуковою обробкою, є найбільш ефективною й дозволяє збільшити зносостійкість зміцнених зразків порівняно зі зразками без зміцнення в 7,80 раза (для матеріалу 40X) і в 11,50 раза (для матеріалу 12X18H10T) і в 1,20 і 1,10 раза відповідно порівняно з базовим матеріалом захисної втулки (монель-метал та захисне покриття).

4. На основі експериментальних даних була розроблена математична модель визначення параметрів електроерозійної цементации, яка забезпечує керування параметрами процесу і дозволяє виконувати завдання з підбору обладнання та нормування технологічної операції.

5. Застосування системи спрямованого вибору інтегрованої технології дозволило оптимізувати вибір технологічних методів, що забезпечило необхідну якість робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів найбільш економічними методами.

6. Позитивні результати промислового впровадження інтегрованих технологій, які базувалися на способі електроерозійної цементации, (на Лебединському дослідно-експериментальному заводі «Темп» (м. Лебедин Сумської області); ВАТ СНВО ім. М.В. Фрунзе (м. Суми); у Філії «Укргазенергосервіс» Гайсинському управлінні (м. Гайсин); АТ «НВАТ ВНДІкомпресормаш» (м. Суми)) довели високу технічну та економічну доцільність запропонованої технології. Економічний ефект від упровадження основних положень роботи у виробництво становив 57.99 тис. грн.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Белоус А. В. Повышение долговечности ответственных узлов деталей компрессорного, насосного оборудования и технология их восстановительного ремонта / Ю. Л. Смертяк, А. В. Белоус // Компрессорная техника и пневматика. – 2004. – №3. – С. 34-35.

Здобувач провів аналіз методів відновлювального ремонту компресорного та насосного обладнання.

2. Білоус А.В. Особливості виготовлення й ремонту захисних втулок масляних ущільнень відцентрових машин / В. Б. Тарельник, А. В. Білоус // Вісник Сумського національного аграрного університету. - Суми : СумДУ, 2004. - №11. – С.97-102.

Здобувач провів аналіз умов роботи і конструкційних особливостей захисних втулок. Визначив фактори, які впливають на працездатність деталі.

3. Білоус А. В. Исследование качественных параметров поверхностных слоев при электроэрозионной цементации армко-железа и стали 12X18H10T / В. Б. Тарельник, А. В. Білоус // Вісник Сумського національного аграрного університету. – Суми : СумДУ, 2005. - №11. – С. 115-119.

Здобувач провів експериментальні дослідження і проаналізував отримані результати.

4. Білоус А. В. Особливості формування поверхневих шарів при електроерозійному легуванні сталей 40Х та 12Х18Н10Т твердими зносостійкими матеріалами / В. Б. Тарельник, А. В. Білоус, В. П. Яременко // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - Харків : ХНТУ, 2006. - №47. – С. 299-303.

Здобувач провів експериментальні дослідження і проаналізував отримані результати.

5. Белоус А.В. Влияние энергетических параметров электроэрозионной цементации на качественные параметры поверхностных слоев конструкционных сталей / А.В. Белоус // Вісник Сумського державного університету. – Суми : СумДУ, 2006. - №12(96). – С. 158-162.

6. Белоус А.В. Математическая модель определения глубины упрочненного слоя при электроэрозионной цементации / В. Б. Тарельник, А. В. Белоус // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2007. - №17. – С.3-7.

Здобувачем досліджена залежність глибини зміцненого шару від енергетичних параметрів обладнання.

7. Белоус А.В. Влияние электроэрозионной цементации на фазовый состав поверхностного слоя конструкционных сталей / В.Б. Тарельник, А.В. Белоус // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – Сумы, 2008. - №1(11). – С. 90-92.

Здобувачем підготовлені експериментальні матеріали і проведений аналіз фазового складу поверхневого шару зразків конструкційних сталей.

8. Белоус А.В. Технология упрочнения поверхностей деталей машин методом электроэрозионной цементации / В. Б. Тарельник, А. В. Белоус // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. - №4. – С.27-31.

Здобувачем запропонована і обґрунтована доцільність використання нового способу зміцнення поверхонь деталей машин.

9. Білоус А.В. Дослідження залежності якісних параметрів поверхневих шарів від часу легування при електроерозійній цементації сталей / В.Б. Тарельник, А.В. Білоус // Вісник Сумського національного аграрного університету «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – Суми : СНАУ, 2008. - №2. – С. 119-124.

Здобувачем досліджена залежність глибини зміцненого шару від часу обробки.

10. Белоус А.В. Методика определения зависимостей влияния интегрированных технологий на качественные параметры рабочих поверхностей защитной втулки / А.В. Белоус // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків : НТУ, 2010. - №96. – С. 67-75.

11. Белоус А.В. Разработка системы направленного выбора интегрированной технологии изготовления защитных втулок / А. В. Белоус // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. - №25. – С.120-127.

12. Пат. 82948 Україна, МПК С 23 С 8/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням. / В.С. Марцинковський, В.Б.Тарельник, А.В.Білоус; заявл. 13.09.2006; опубл. 26.05.2008, бюл. № 10 – 3 с.

Здобувачем запропонований новий спосіб електроерозійного легування поверхонь деталей машин.

13. Белоус А.В. К вопросу изготовления и ремонта защитных втулок масляных уплотнений центробежных машин / В. Б. Тарельник, А. В. Белоус // «Технологии XXI века» : 12-я Междунар. научно-метод. конф. : сб. статей.– Алушта, 2005. – С. 48-49.

Здобувачем проаналізовані методи виготовлення і ремонту захисних втулок масляних ущільнень.

14. Белоус А.В. Проблема изготовления защитных втулок масляных уплотнений центробежных машин / Б. Антошевский, В.Б. Тарельник, А.В.Белоус // «Уплотнения и уплотнительные технологии машин и механизмов» : 11-я Международная научно-техн. конф. : сб. статей. – Вроцлав-Кудова Здрой, 2007. – С. 129-135.

Здобувач провів аналіз умов роботи і конструкційних особливостей захисних втулок. Визначив фактори, які впливають на працездатність деталі.

15. Белоус А.В. Новая технология упрочнения поверхностей деталей роторов центробежных машин / В.Б. Тарельник, А.В. Белоус // «Технологии XXI века»: 14-я Междунар. научно-метод. конф. : сб. статей. – Алушта, 2007. – С. 7-9.

Здобувачем запропонована нова технологія і обґрунтована доцільність використання нового способу зміцнення поверхонь деталей машин.

АНОТАЦІЇ

Білоус А.В. Забезпечення якості робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів із застосуванням інтегрованих технологій. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.02.08 – технологія машинобудування. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2011 р.

Дисертація присвячена питанням підвищення якості робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів за рахунок раціонального технологічного забезпечення. На основі аналізу особливостей роботи деталей відцентрових компресорів розроблена принципово нова технологія забезпечення необхідної якості робочих поверхонь. Розроблена методика спрямованого вибору інтегрованої технології дозволила економічно обґрунтовано визначити технологічні методи й засоби технологічного оснащення, необхідні для забезпечення якості робочих поверхонь відповідальних деталей.

Економічний ефект від упровадження основних положень роботи у виробництво становить 57,99 тис. грн.

Ключові слова: технологічний процес, інтегрована технологія, якість поверхні, точність обробки, деталі відцентрових компресорів, ультразвукова обробка.

Белоус А.В. Обеспечение качества рабочих поверхностей деталей центробежных компрессоров с применением интегрированных технологий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2011 г.

Диссертационная работа состоит из вступления, 5 разделов, выводов, списка использованных источников, приложений.

Диссертация посвящена вопросам повышения качества рабочих поверхностей деталей центробежных компрессоров за счет рационального технологического обеспечения.

Первый раздел посвящен анализу литературы по вопросам текущего состояния проблемы, связанной с повышением качества рабочих поверхностей ответственных деталей компрессорного оборудования. Анализ условий работы ответственных деталей центробежных компрессоров ставит сложные технологические задачи по обеспечению их качественных параметров. Базовые технологические процессы изготовления деталей центробежных компрессоров не отвечают постоянно растущим требованиям к компрессорным агрегатам или по параметрам качества, или по технологической себестоимости. Разработка и поиск новых технологических решений по обеспечению параметров качества деталей центробежных компрессоров является перспективным направлением и требует дальнейшего исследования.

Во втором разделе представлена принципиально новая технология обеспечения требуемого качества рабочих поверхностей ответственных деталей центробежных компрессоров. Предложен новый способ упрочнения поверхностного слоя деталей методом электроэрозионной цементации. Экспериментальные исследования указывают на перспективность использования данного способа упрочнения рабочих поверхностей.

В третьем разделе описана математическая модель управления параметрами качества поверхностных слоев ответственных деталей, которая позволила решить технологическую задачу выбора энергетических параметров оборудования и рассчитать время обработки в зависимости от предъявляемых требований по качеству.

В четвертом разделе представлена методика направленного выбора интегрированной технологии, которая позволила экономически обоснованно определить технологические методы и

средства технологического оснащения, необходимые для обеспечения требуемого качества рабочих поверхностей ответственных деталей.

Пятый раздел посвящен промышленному внедрению результатов диссертационной работы, описывает практическое применение разработанных моделей и методик. Экономический эффект от внедрения основных положений работы в производство составляет 57,99 тыс. грн.

Ключевые слова: технологический процесс, интегрированная технология, качество поверхности, точность обработки, детали центробежных компрессоров, ультразвуковая обработка.

Belous A.V. Securit of quality of working surfaces of details of centrifugal compressors with application of the integrated techniques. - the Manuscript.

The thesis on deriving of scientific extent of a Cand.Tech.Sci. on a trade 05.02.08 - manufacturing engineering. National technical university «Kharkov polytechnic institute», Kharkov, 2011

The thesis is devoted questions improvement of quality of working surfaces of details of centrifugal compressors at the expense of rational technological security. On the basis of the analysis of features of operation of details of centrifugal compressors basic new technique of security of necessary quality of working surfaces is developed. The designed technique of the directed sampling of the integrated technique has allowed economically обоснованно to define technological methods and the means of technological equipment necessary for security of quality of working surfaces of strength members.

Economic benefit of a heading of substantive provisions of operation in manufacture makes 57,99 thousand грн.

Keywords: the process, the integrated technique, quality of a surface, exactitude of handling, a detail of centrifugal compressors, ultrasonic handling.

Підписано до друку 13.04.2011.

Формат 60x90/16. Ум.друк.арк. 1,1. Обл. -вид.арк.0,9. Тираж 100 прим. Замовлення № 514. Папір ксероксний. Гарнітура Times New Roman Cyr.

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського- Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру ДК №3062 від 17.12.2007р.