

недоліки відомих методів, зокрема не потребує спеціалізованої команди процесора, не допускає блокування роботи ОС, є простим у реалізації для багатьох процесів під різні типи операційних систем.

Літератури

1. Coffman E.G., Elphick M.J., Shoshani A. System deadlocks // Computing Surveys, Vol.3, No.2, June 1971. – Pages: 67 – 78.
2. Nima Kaveh, Wolfgang Emmerich. Deadlock detection in distribution object systems // Software Engineering Notes, Vol.26, No.5, September 2001. – Pages: 44 – 51.
3. Saddek Bensalem, Jean-Claude Fernandez, Klaus Havelund, Laurent Mounier. Confirmation of deadlock potentials detected by runtime analysis // International Symposium on Software Testing and Analysis – Portland, Maine, USA, 2006. – Pages: 41 – 50.
4. Савенко О.С., Кльоц Ю.П., Мостовий С.В. Дослідження та аналіз блокування процесів в комп'ютерній системі // Вісник ХНУ – 2007. – №3. - Т. 1. – С.248-251
5. Савенко О.С., Мостовий С.В. Модель прогнозування стану процесів в комп'ютерній системі // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: ХАІ, 2008. - №5 (32). – С.109-115
6. Мостовий С.В. Система прогнозування стану процесів в персональному комп'ютері // Сборник трудов VIII международной конференции "Интеллектуальный анализ информации" (ИАИ-2008) – Киев: Просвіта, 2008. – С.308-314
7. Мостовий С.В. Алгоритми і програмні засоби прогнозування стану процесів в персональному комп'ютері // Вісник ХНУ – Хмельницький: ХНУ, 2008. – №5. – С.124-130

Надійшла 17.12.2009 р.

УДК 621.515

В.В. СЛАВІН

Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ

В статті розглянуто основні причини виникнення несправностей ротора турбокомпресора та їх вплив на стан робочих поверхонь вала ротора. Проаналізовано сучасні способи відновлення робочих поверхонь вала ротора, їхні переваги та недоліки. Наведено апробований технологічний процес відновлення ротора методом ремонтних розмірів.

In the article principal reasons of origin of disrepairs of rotor of turbo-compressor and their influence are considered on the state of workings surfaces of vala rotor. The modern methods of proceeding in the workings surfaces of vala, their advantages and failings, are analysed. The technological process of proceeding in a rotor is resulted by the method of repair sizes.

Ключові слова: ротор турбокомпресора, робочі поверхні, несправності ротора, умови технічної експлуатації, спрацювання, знос, способи відновлення.

Турбокомпресор є агрегатом, який перетворює кінетичну енергію відпрацьованих газів в обертовий момент коліс ротора (40 – 250 тис. об/хв⁻¹), одне з яких подає стиснуте повітря до циліндрів двигуна, в результаті отримуємо більшу потужність двигуна, меншу витрату пального, а відпрацьовані гази мають меншу кількість шкідливих речовин, які надходять в атмосферу із випускного трубопроводу. В разі порушення роботи систем двигуна та недотримання правил і умов експлуатації турбокомпресорів виникають несправності. Несправності виникають внаслідок збільшення радіальних та осьових зазорів в спряжених деталях (вал ротора – втулка підшипник), якщо їх вчасно не виявити, тоді будуть мати місце граничні пошкодження деталей турбокомпресора, які зменшать ймовірність використання в подальшому переваги турбокомпресора. Граничні зазори виникають через недостатню кількість масла на робочих поверхнях та неякісну його подачу, або масло забруднене абразивними частинками через неперіодичну заміну масла чи погану якість фільтрування. Забруднене масло призводить до абразивного зносу, що є результатом ріжучої або дряпаючої дії на робочі поверхні деталі. В якості абразивних частинок виступають часточки двоокису кремнію (пісок), окисли алюмінію, які мають твердість значно більшу ніж метал пар тертя. Розмір частинок рівний з величиною зазору і коливається в межах 5...120 мкм у вигляді пилу. Забруднення дрібними частинками масла не виявляється візуально, проте викликає підвищений знос підшипників, коли абразивна часточка розташовується між двома поверхнями тертя. Через спрацювання циліндро-поршневої групи двигуна відбувається забруднення масла пальною сумішшю (хімічне забруднення), що викликає перегрів підшипників, зношення вала ротора турбокомпресора. Вся негативна дія вище несправностей внаслідок недотримання умов та правил технічної експлуатації призведе до спрацювання робочих поверхонь основних деталей та вузлів, виникнення необхідності капітального ремонту турбокомпресора. Капітальний ремонт турбокомпресорів, тому необхідно, що це агрегат, в якому не можна замінити лише одну деталь (кільце, втулку, ротор), спрацювання однієї деталі говорить про спрацювання решти деталей [1].

Головною проблемою при ремонті турбокомпресорів є ремонт ротора, із спрацьованими робочими поверхнями; в більшості випадків його замінюють на новий через відсутність спеціального обладнання та ефективного способу відновлення. Щоб вирішити дану проблему, в статті представлені способи ремонту ротора турбокомпресора. Ремонт ротора включає методи та способи відновлення робочих поверхонь вала ротора, які дають змогу повторно використовувати ротор, і зменшити тривалість знаходження турбокомпресора в ремонті. Для ремонту турбокомпресорів нині використовують поширений спосіб ремонту турбокомпресорів із заміною спрацьованих деталей на нові (оригінальні), стандартного розміру. Щодо доцільності ремонту ротора, зазначимо той факт, що новий ротор коштує 1/3 частину вартості нового турбокомпресора, а капітальний ремонт складе 50 – 80 % вартості нового турбокомпресора, а в деяких випадках і більше, тому що ротори в запчастини не надходять. Хоча це швидкий ремонт, але вимагає значних ресурсів для придбання запасних частин. Тому ми скористаємося шляхом використання способів, що відновлюють спрацьовані робочі поверхні вала ротора та корпусних деталей турбокомпресора. Варто зазначити, що турбокомпресор є високотехнологічною конструкцією, прецизійний агрегат, допуски на виготовлення та деформацію деталей знаходяться в межах 5 мкм [2].

На даний час, накопичено значний досвід ремонту роторів турбокомпресорів. Технологічний процес ремонту складається із способів відновлення, які забезпечують необхідний рівень експлуатаційних властивостей відновлених деталей. Відновлюваною частиною ротора є вал. Вал складається з робочих поверхонь під підшипник ковзання та з'єднаний зварюванням тертям колесом турбіни. Якщо колесо турбіни має пошкодження поверхні внаслідок потрапляння твердих сторонніх предметів (рис. 1), ротор одразу бракується.

При ремонті ротора, коли колесо турбіни в задовільному стані, ми можемо відновити вал ротора. Залежно від характеру дефекту, всі способи відновлення вала ротора можна розділити на дві групи: відновлення вала ротора із спрацьованими робочими поверхнями, і механічними пошкодженнями. До способів відновлення вала із спрацьованими поверхнями належить зварювання тертям, гальванічне нарощування покриттів, електроіскровий (спосіб нарощування), механічна обробка. Механічні пошкодження вала ротора, усуваємо пластичною деформацією (правка) [3].

Спосіб зварювання тертям тепер у світі, а особливо в країнах з високим рівнем розвитку промисловості, є одним із способів, технологічні процеси якого найбільш інтенсивно розвиваються. Суть зварювання тертям полягає в обертанні однієї деталі щодо іншої (рис. 3).



Рис. 2. Колесо турбіни

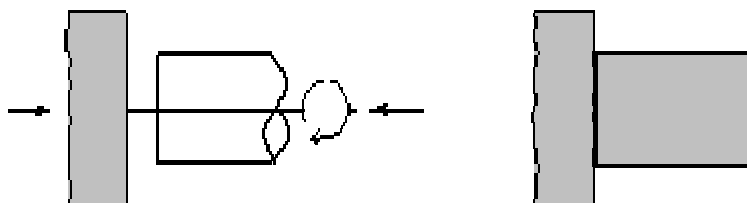


Рис. 3. Зварювання тертям в стик, заготовки та колеса турбіни

З'єднання колеса турбіни і заготовки відбувається в стик, на установці СТ110 (рис. 4). Обертальний та поступальний рух здійснює циліндрична деталь, а заготовка закріплена в рухомій бабці. З протилежної сторони установки, на одній осі із заготовкою в бабці закріплено колесо турбіни, вона закріплена нерухомо. Подача рухомої заготовки може бути як ручна або автоматична. В процесі роботи установки, під дією сил тертя (між поверхнею колеса та заготовки) відбувається нагрівання кромek деталей до температури плавлення (950-1300 °C), розташовані на поверхні півки оксидів руйнуються, та видавлюються із зони контакту в радіальному напрямку. В результаті виникає пластична деформація, очищені від оксидів поверхні деталей зближуються до виникнення міжатомних зв'язків, і металургійних реакцій, що супроводжуються взаємною дифузією атомів. Під дією стискаючого зусилля відбувається витіснення металу із стикy, і зближення зварюваних поверхонь (осаджування). Коли виділяється тістоподібний матеріал з зони стикy, блокування з нерухомою деталлю припиняється, і продовжується спільне обертання обох деталей. Обертання припиняють, і деталі витримують до повного охолодження [4].

Після зварювання тертям, вал ротора рекомендується перевірити на скручування і на розрив. Перевірку на скручування проводимо на стенді КИ-24605. Момент сили 150...200 Н/м (15...20 кгс/м). Перевірку на розрив проводимо пресом П-6324. Розривне зусилля не менше 180-10³ Н (18-10³ кгс). Перевірці піддається 100 % валів ротора. Далі виконуємо механічну обробку деталі, знімаємо грат з заготовки, що утворився під час зварювання тертям. Надаємо валу необхідні розміри, виконуємо фаски, надаємо робочій поверхні вала шорсткості, згідно з технічною документацією на капітальний ремонт турбокомпресора. Після слюсарно-механічної обробки, робочі поверхні вала ротора гартуємо СВЧ на глибину 1...3 мм, з наданням твердості за шкалою HRC₃ не менше 52. Деталь піддаємо термічній обробці – відпуску, для зняття внутрішніх напружень після зварювання тертям. Перевіряємо якість зварювання,

тріщини що виявляються люмінесцентним контролем або через лупу 6-кратного збільшення, не допускаються. При зварюванні тертям, порівняно з електричним, витрати енергії зменшуються у 5...10 разів. Перевагами цього виду зварювання є екологічність, відсутність газовиділень і випромінювання [5].

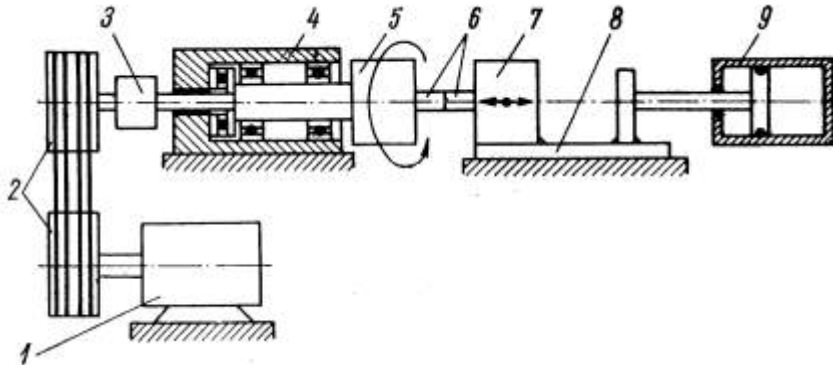


Рис. 4. Принципова конструктивна-кінематична схема установка СТ110 для зварювання тертям:

- 1- привід обертання шпинделя; 2 – пасова передача; 3 – фрикційна муфта для зчеплення шпинделя з приводним пристроєм;
4 – пристрій для гальмування шпинделя; 7 – два затискача для кріплення зварюваних заготовок; 5 – передня бабка з шпинделем що несе на собі обертаючий затискач 6; 8 – задня бабка з нерухомим затиском; 9 – пневматичні або гідравлічні циліндри, що забезпечують створення необхідного робочого (осьового) тиску машини

В ремонтному виробництві, при використанні методу гальванічних покриттів найчастіше використовують залізнення, і рідше – хромування, цинкування та нікелювання. Спосіб залізнення широко використовують при відновленні валів роторів турбокомпресорів. Нанесення гальванічного покриття на зношені поверхні вала ротора турбокомпресора є ефективним способом відновлення посадки. Катодом при цьому служить деталь, а анодом – металічна пластина. В якості анода застосовують заготовки із низько вуглецевої сталі, для отримання рівномірного покриття. Анод (заготовка) має повторювати форму катода (деталі). Відношення між анодною та катодною поверхнею $S_a: S_k = 1-2$. Спосіб залізнення характеризується добрими техніко-економічними показниками: витратні матеріали та аноди дешеві та недефіцитні; високий вихід металу по струму (85-95 %) та продуктивність – швидкість осадження заліза становить 0,2-0,5 мм/год.; товщина твердого покриття – 0,8-1,2 мм; можливість в широких межах регулювати властивості покриттів (мікротвердість – 1600-7800 МПа) залежно від його призначення обумовлює універсальність процесу; достатньо висока зносостійкість твердих покриттів, не поступаючись зносостійкості загартованої сталі. При залізненні застосовують гарячий (60-90 °C) електроліт, що дозволяє проводити залізнення з високою щільністю струму та високою продуктивністю. Перевагами методу гальванічних покриттів є відсутність термічного впливу на деталь, що викликає небажані зміни структури та механічних властивостей; отримання з великою точністю заданої товщини покриття, що призводить до зниження мінімуму припуску на наступну механічну обробку та її трудомісткості або зовсім виключення обробки; осадження покриттів із заданими непостійними по товщині фізико-механічними властивостями; одночасне відновлення великої кількості деталей, що зменшує трудомісткість та собівартість одиниці виробу; можливість автоматизації виробництва [6].

Метод ремонтних розмірів – це механічна обробка (шліфування) робочих поверхонь валів роторів турбокомпресорів. Відновлюють наявні дефекти: геометричну форму (задири, риски, еліпсність) під раніше встановлений розмір. Новий ремонтний розмір буде рівний номінальному розміру деталі, мінус сума величин зносу і припуску на обробку. Ремонтні розміри вала ротора можуть бути вільними або стандартними. Обробка поверхонь деталі під ремонтний розмір ефективна у випадку, якщо механічна обробка при зміні розміру не призведе до ліквідації термічно обробленого поверхневого шару деталі (1...3 мм, для вала ротора). Тоді у відповідальній деталі дефекти поверхні усуваються механічною обробкою до раніше заданого ремонтного розміру (наприклад, робочі поверхні вала ротора), а іншу (простішу і менш дорожчу деталь) замінюємо новою відповідного розміру (втулку). У цьому випадку з'єднанню буде повернена первинна посадка (зазор), вал ротора має розміри відмінні від первинних, ремонтні розміри і допуски встановлює технічна документація на капітальний ремонт [7].

Відновлення деталей під ремонтні розміри характеризується простотою і доступністю, низькою трудомісткістю (у 1,5- 2,0 рази менше, ніж при зварюванні) і високою економічною ефективністю, збереженням взаємозамінюваності деталей в межах ремонтного розміру. Недоліки способу, збільшення номенклатури запасних частин і ускладнення організації процесів зберігання деталей на складі, комплектування і складання. У випадку вільних розмірів для досягнення початкового зазору в з'єднанні з поверхнею деталі, зазвичай, обробляють до видалення спотвореної геометричної форми, і виготовляють для з'єднання менш дорожчу деталь під цей розмір. Вал ротора турбокомпресора піддають механічній обробці (шліфування), втулку-підшипник виготовляють під розмір вала, з зазором втулки по валу 0,003...0,005 мм. У разі використання стандартного ремонтного розміру для досягнення початкового зазору в з'єднанні, поверхню більш дорожчої деталі обробляємо тільки до видалення слідів зносу, знімаємо ще деякий шар матеріалу з метою отримати необхідну посадку, із заздалегідь виготовленою менш дорожчою деталлю, яка має стандартний ремонтний розмір (вал ротора шліфують під ремонтний розмір і втулку виготовляють під цей ремонтний розмір). Таким чином, збирання з'єднань із вільними ремонтними розмірами завжди

пов'язана з підгонкою «по місцю», і її застосовують у випадках, коли важливо максимально зберегти деталь (ротор турбокомпресора), а виготовлення втулки не пов'язано з великими технологічними складнощами, та виявляється можливим в умовах індивідуального виробництва. В нашому випадку, ротор турбокомпресора є досить складною деталлю, він відновлюється одним із перелічених способів, а бронзовий підшипник (марки БрОС10-10) ротора виготовляється під ремонтний або вільний розмір, із забезпеченням необхідного зазору [7].

Технологія відновлення вала ротора механічною обробкою під ремонтний розмір складається із наступних операцій: підготовка вала ротора (перевірка та правка центрових отворів, усунення радіального биття ротора), вибір режиму шліфування, процес шліфування, фінішна операція. Даний спосіб та технологічний процес відновлення робочих поверхонь вала ротора, апробований на базі ПП «Громов» м. Хмельницький. Технологічний процес наступний: спочатку перевіряють центри вала ротора, які мають бути без задири, а поверхня має бути блискучою. Якщо центри ротора не задовільняють вимогам, їх нарізають на токарному верстаті. Теж саме роблять із канавками на втулці валу під ущільнюючі кільця, зі сторони колеса турбіни. Ці канавки, які мають спрацювання по ширині більше ніж вказано в технічній документації, проточують різцем під збільшену товщину кільця. Наступним кроком є визначення радіального биття поверхонь вала. Спершу вал ротора встановлюють у відповідні центри пристосування з мікронним індикатором (рис. 5), та визначають биття поверхонь вала ротора в чотирьох точках (в місцях посадки підшипника, в місцях посадки котушки), звіряючи отримані значення з допустимим в нормативно технічній документації на капітальний ремонт турбокомпресора [8]. У випадку коли радіальне биття поверхонь вала ротора в допустимих межах, тоді він надходить на операцію шліфування, а якщо биття поверхонь вала більше 0,007 мм, це вказує на недопустиму деформацію вала ротора. Тоді його необхідно правити із допомогою ручного пресу.



Рис. 5. Прилад ПБ-500М

Правлять вал з невеликим перегином (0,010...0,015 мм) і наступним зняттям напружень перегином в зворотній бік (рис. 6). Якщо вал поправлений, значення радіального биття в межах допустимого, необхідно виконати операцію старіння (нагрівають в муфельній печі до температури 180 °С, витримують 4 години, охолоджують з піччою), після чого знову треба проконтролювати биття, воно має бути не більше 0,005 мм. Радіальне биття поверхонь вала ротора виникає внаслідок несприятливих умов експлуатації турбокомпресорів, коли з'являються залишкові деформації: вигин, скручування, викривлення і вм'ятини вала [8].

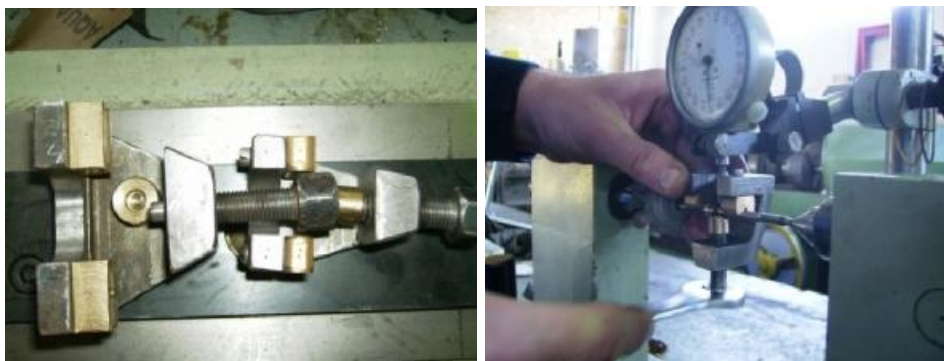


Рис. 6. Процес правлення вала ротора ручним пресом

Після усунення биття робочих поверхонь вала відбувається операція шліфування вала ротора на круглошліфувальному верстаті, під ремонтний розмір. Щоб надати робочим поверхням правильної геометричної форми та однакових розмірів, використовуємо відповідні режими: повздовжня подача шліфувального круга 0,0025 мм, швидкість обертання шліфувального круга 35 м/с, швидкість обертання шпинделя 1500 об/хв, (режими процесу шліфування розраховані для ротора ТКР-7н1). Операцію шліфування виконують відповідним шліфувальним кругом марки 24А10ПС27 (карбід кремнія), із застосуванням охолоджувальної рідини (емульсола 5...8 %, кальцинованої соди 0,2 %, решта – вода). Вал ротора турбокомпресора встановлюють в центри круглошліфувального верстата, де відбувається його шліфування під наступний ремонтний розмір або відповідно до чистоти робочих поверхонь (знімають 0,10...0,15 мм) (рис. 7). Під час кругового зовнішнього шліфування з повздовжньою подачею, головний рух з встановленою швидкістю здійснює шліфувальний круг, ротор також обертається з певною швидкістю. Фінішною є операція полірування, яка призначена для кінцевої обробки вала ротора дрібнозернистим абразивом, зі зв'язкою (оливою, сумішшю воску, парафіну, скла з гасом) нанесеного на поверхню круга, диска або стрічки з м'якого еластичного матеріалу [8]. Полірування після шліфування надає робочим поверхням шорсткість 0,32 мкм робочої поверхні вала ротора. Полірування вала ротора виконується на

цьому ж верстаті абразивними шкурками із номером зерен 125...28 мкм, рис. 8. Шорсткість робочих поверхонь має бути не більше 0,32 мкм, а під масловідбивач і кільце ущільнювача – 1,25 мкм. Овальність і конусність поверхні валу під підшипник, не повинні перевищувати 0,005 мм. Після відновлення вала ротора допускається биття робочої поверхні 0,05 мм; биття поверхні під втулку ущільнювача не більше 0,05 мм [8].



Рис. 7. Операція шліфування ротора турбокомпресора ТКР-7 Н1



Рис. 8. Операція полірування вала ротора

До недоліків представлених методів відноситься висока трудомісткість процесів, необхідність складного та дорогого обладнання і оснащення. В зв'язку з тим, що покриття нанесені на вал, випробовують значну напругу від відцентрових сил, спостерігається їх сколювання і відшарування.

Спосіб ремонту турбокомпресорів Чернова В.И. полягає у відновленні вала ротора електроіскровим методом (спосіб нарощування), призначений не тільки для відновлення вала ротора, він може бути використаний при відновленні підшипників ковзання, корпусних деталей турбокомпресора, тобто він є універсальним. Технічний результат досягається тим, що в способі ремонту турбокомпресорів, що включає відновлення вала ротора електроіскровим методом і заміну зношених деталей на нові, вал ротора відновлюють середньо- і високовуглецевими сталями в механізованому режимі, на установках з енергією розряду 1,66-2,0 Дж, частотою обертання електрода 3000-3500 об/хв, подачею електрода 0,15-0,3 мм/об, частотою обертання золотника 8-12,5 об/хв, із зносом робочих поверхонь до 70 мкм на діаметр за один прохід. Вибір наплавочних електродів здійснюють на електроіскровій установці "Елітрон 22БМ", що забезпечує зазначені діапазони режимів. Встановлено, що мікротвердість покриттів, нанесених на вал ротора зі сталі 40Х сталлю 85, становить HV480-504, при вихідній твердості матеріалу вала HV445-452. Таким чином, електроіскровий метод дає змогу підвищити мікротвердість поверхонь пари тертя "вал ротор-втулка підшипника", тим самим створити умови для збільшення їх середнього міжремонтного ресурсу. Триботехнічні випробування відновлених електроіскровим методом пар тертя "вал ротора – втулка підшипника" показали, що їхній коефіцієнт тертя в 1,17-1,20 рази менше, навантаження до заїдання в 1,36-1,42 рази більше, а інтенсивність зношування в 3,82-7,16 рази нижча [9].

В даній роботі ми розглянули методи ремонту ротора турбокомпресора. Перерахували причини та несправності, які впливають на стан робочих поверхонь вала ротора і призводять до передчасного виходу з ладу турбокомпресора. Проаналізовано сучасні способи відновлення робочих поверхонь вала ротора, їхні переваги та недоліки. Описано технологічний процес відновлення вала ротора методом ремонтних розмірів при заміні втулки, даний спосіб є практичним та апробований на ремонтному підприємстві з індивідуальним виробництвом. Серед усіх способів ремонту турбокомпресора відновленням зношених деталей, перспективним можна назвати електроіскровий, який забезпечує 100 % технічний рівень, і підвищення середнього міжремонтного ресурсу турбокомпресорів. Експлуатаційні випробування відремонтованих турбокомпресорів з відновленням зношених деталей електроіскровим методом показали, що нижня границя прогнозованого середнього ресурсу становить 5600 годин, що вже вище за середній ресурс нових турбокомпресорів у два рази.

Література

1. Беднарский В.В. Организация капитального ремонта автомобилей: Учебное пособие – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 592 с.
2. Карагодин В.И., Митрохин Н.Н. Ремонт автомобилей и двигателей Учеб. для студ. сред. проф. учеб. заведений. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 496 с.
3. Антонов В.И., Разумова Л.Н. Турбокомпрессоры тракторных и комбайновых дизелей: Технические требования на капитальный ремонт. – М.: ГОСНИТИ, 1988. – 54 с.
4. <http://turbotehsnab.ru>.
5. <http://www.oooass.com>.
6. <http://www.turbo-ufo.ru>.
7. www.dvigatel.astrakhan.net.
8. <http://www.rusturbocom.ru>.
9. <http://www.labstend.ru>.

Надійшла 21.12.2009 р.