

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.891:631

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.169-174>

Ю.В.Кулешков, проф., д-р техн. наук, **М.І. Черновол**, проф., академік НААН України, д-р техн. наук, **М.В. Красота**, доц., канд. техн. наук, **Т.В. Руденко**, доц., канд. техн. наук, **Є.К. Солових**, проф., д-р техн. наук, **Р.А. Осін**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет м. Кропивницький, Україна
e-mail: kul090455@gmail.com; krasotamv@ukr.net; r-t-v@mail.ua; ruslan_osin@ukr.net

Підвищення довговічності турбокомпресора внаслідок ремонтного впливу

Для відновлення деталей машин можуть застосовуватися різноманітні способи відновлення і зміцнення. Однак далеко не всі способи можуть забезпечити необхідний ресурс для відновлення і зміцнення деталей, що працюють в абразивному та корозійному середовищі середовищах. Одним із сучасних напрямків підвищення зносостійкості та іншими властивостями відновлювальних покриттів є використання композиційних матеріалів. В цій статті представлені результати досліджень щодо розробки нового способу відновлення і зміцнення деталей композиційними матеріалами заснованими на використанні хімічного парофазного осадження металів CVD - методу (Chemicikal Vapor Deposition) шляхом розкладання металоорганічних сполук. Показано, що розроблений композитний матеріал, отриманий CVD – методом розкладання металоорганічних забезпечує підвищення зносостійкості не менше ніж в 2,0...2,2 раз в порівнянні з новими деталями.

композиційний матеріал, парофазне осадження металів, Chemicikal Vapor Deposition – метод, розкладання металоорганічних сполук

Постановка завдання. Турбокомпресор призначений для примусової подачі в циліндри двигуна збільшеного заряду повітря. Це сприяє поліпшенню процесу згоряння палива, підвищенню середнього індикаторного тиску, об'ємній потужності і зменшенню питомої маси дизеля без істотної зміни його габаритних розмірів. Наддування є загально визнаним і найбільш раціональним напрямком форсування ДВЗ.

В дизелях з газотурбінним наддувом досягається часткове використання енергії газів, що відпрацювали, в результаті чого підвищується термічний ККД і потужність дизеля. За умови правильного вибору турбокомпресора і системи наддуву для даного дизеля забезпечується істотне підвищення економічності без зниження його ресурсу і надійності.

Турбокомпресор складається з відцентрового одноступінчатого компресора з лопатковим дифузоровим і радіальною відцентровою турбіною.

Вал ротора турбокомпресора обертається в бронзовому підшипнику типу хитної втулки. Підшипник, встановлений в центральній бобишці середнього корпусу з визначеним зазором. Шар мастила в зазорі між підшипником, втулкою і центральною бобишкою середнього корпусу, подається під тиском 294...392 кПа. Підшипник турбокомпресора змащується мастилом, що надходить по каналу, просвердленому в середньому корпусі.

Звичайно турбокомпресор працює при високих частотах обертання - $n=20000...45000 \text{ хв}^{-1}$ та в умовах підвищених температур відпрацьованих газів – 400...500°C, які містять хімічно агресивні сполучення. Ці особливості накладають істотний відбиток на роботу спряжень турбокомпресора.

Так, попадання абразиву разом з мастилом в підшипниковий вузол через високу частоту обертання валу турбокомпресора, веде до виходу його з ладу внаслідок зносу, як самого вала так і підшипника та отвору в бобишці середнього корпусу.

Термічні напруги, що виникають при роботі турбокомпресора можуть привести до виникнення тріщин в корпусі турбіни. Пошкоджені ущільнення і попадання газів, що відпрацювали, в середній корпус веде до нагрівання підшипника і виходу його з ладу. Всі ці дефекти та пошкодження можуть привести до виходу турбокомпресора з ладу, експлуатація турбокомпресора при таких дефектах неприпустима.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі аналізу впливу ряду факторів: навантаження, частоти обертання, ступеня забруднення мастильного середовища, конструктивних особливостей вузлів, сполучень на інтенсивність зношування та динаміку накопичення втомних пошкоджень, а також з урахуванням накопиченого досвіду підвищення працездатності деталей та вузлів були проаналізовані можливі шляхи підвищення довговічності, деталей внаслідок рементного впливу.

Необхідно відмітити, що абразивне зношування превалює над усіма іншими: близько 40% деталей мають чисто абразивне зношування і 50% – абразивне зношування в комбінації з іншими видами зношування й руйнувань поверхневого шару [1].

Постановка проблеми. Поступовий знос в процесі експлуатації характерний для валу турбокомпресора, підшипника і центрального отвору бобишки середнього корпусу, ці поверхні найбільш піддаються змінанню і механічному стиранню.

Робоче колесо турбіни піддається, головним чином, газовій корозії. Для робочого колеса компресора більш характерним є абразивний знос частками, що попадають разом з повітрям, що нагнітається.

Таким чином, бачимо, що практично всі деталі турбокомпресора піддаються зносу. Найбільше зустрічається пошкодження середнього корпусу турбокомпресора.

Середній корпус турбокомпресора – деталь до якої кріпиться корпус турбіни і компресора, в якому монтуються підшипниковий вузол турбокомпресора.

Середній корпус компресора виготовляється з алюмінієвого сплаву АЛ-9 виливанням в кокіль з послідуною механічною обробкою.

Основними дефектами корпусу середнього є зношування отворів під втулку.

Причиною зношування отвору під втулку слідує рахувати змінання і механічне стирання, а при утворенні зазору достатньої величини превалюючим є абразивне зношування.

У випадку наявності абразивного зношування механічне пошкодження поверхневого шару відбувається в результаті мікрорізання і дряпання абразивними частинками [1].

Величина зношування центрального отвору під втулку, як правило, не перевищує 0,5...0,6 мм на діаметр, а в 80 % випадках складає 0,1...0,2мм. Зношування зовнішніх поверхонь середнього корпусу незначне, рідко перевищує 0,25...0,30 мм на діаметр.

Турбокомпресор є загалом швидкохідною машиною (частота обертання валу досягає 45000 хв⁻¹) що працює в умовах підвищених температур. Тому будь-які пошкодження його деталей, а особливо середнього корпусу суттєво впливають на працездатність турбокомпресора.

Так пошкодження проушин та різьби під шпильки може призвести до порушення герметичності, прориву відпрацьованих газів в середній корпус, що може викликати прискорене зношування його підшипникового вузла і виходу турбокомпресора з ладу.

З іншого боку зниження тиску масла призведе до швидкого виходу з ладу

підшипникового вузла, оскільки при недостатньому тиску масла, вал компресора буде безпосередньо контактувати з втулкою, що при таких обертах призведе до швидкого її нагрівання і зношування.

Зношування центрального отвору під втулку веде до порушення вихідної посадки спряження корпус-середній-втулка, що призводить до повертання втулки в корпусі, розігрівання підшипникового вузла до швидкого виходу з ладу, що призводить до аварійного виходу з ладу всього турбокомпресору.

Конструкційні матеріали, поверхні яких мали б одночасно високі характеристиками міцності, а також антифрикційні і антикорозійні властивості, можуть бути отримані шляхом нанесення спеціальних покриттів. Для нанесення покриттів із заданими фізико-механічними властивостями існують різні технології. Однією з найбільш перспективних в цій області можна визнати технологію хімічного парофазного осадження (CVD-метод). Даний метод практично не має обмежень за хімічним складом застосовуваних для нанесення матеріалів [2, 3].

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка пропозицій щодо підвищення довговічності алюмінієвих деталей турбокомпресора під час їх відновного ремонту шляхом зміцнення найбільш відповідальних робочих поверхонь хімічним парофазним осадженням металів (Chemical Vapor Deposition).

Результати вирішення основних завдань. Реальний шлях підвищення довговічності отвору під втулку - отримання на поверхні зміцнюючого покриття із заданими фізико механічними властивостями. Отримувані покриття повинні добре чинити опір абразивному зношуванню.

Дослідженнями багатьох авторів було доведено, що для максимального підвищення зносостійкості з'єднань, що працюють в умовах корозійного, механічного і абразивного зношування поверхні деталей повинна бути хімічно інертними до хімічно агресивних компонентів і володіти мікротвердістю не нижче 17 ГПа. У цьому випадку вплив абразивних частинок на поверхню набуває характеру пружного відтискування, а не різання [4].

Одним з найбільш перспективних напрямків, в області отримання покриттів із заданими фізичними, хімічними і механічними властивостями, є спосіб «хімічного парофазного осадження» металів (Chemical Vapor Deposition). Цей метод дає можливість отримувати широкий спектр різних за хімічним складом, структурою та властивостями нано, мікро і макро покриттів. При цьому твердість отриманих покриттів може сягати значень, що суттєво перевищують 17 ГПа

Якщо порівняти CVD-процес з іншими методами отримання металевих покриттів, такими як гальванічне осадження, дифузійна металізація, газополуменового і плазмового напилення, лазерна і газопорошкового наплавлення та інші, то можна відзначити наступні переваги:

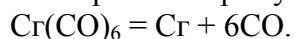
- висока швидкість металізації до 10 мкм / хв;
- висока щільність (беспористість) покриттів, що пояснюється особливим механізмом зростання шару (при термічному розпаді, атоми решітки металу розташовуються впритул один за одним, забезпечуючи майже теоретичну щільність незалежно від матеріалу деталі), що дозволяє отримувати шорсткість поверхні $R=2.5...0.32$ мкм;
- технологія CVD-процесу дозволяє здійснювати рівномірне осадження на поверхню підкладки, що забезпечує нанесення покриття на поверхню складної конфігурації;
- мікротвердість покриттів до 32,0 ГПа;
- міцність зчеплення покриття з матеріалом підкладки до 260 МПа;

- температурні інтервали ведення процесу від 70 до 650 °С;
- можливість металізації металів і неметалічних матеріалів (кераміки, пластмас, гуми та ін.);
- процес екологічно чистий проводиться по замкнутому циклу і легко піддається автоматизації [4, 5].

Суть методу термічного розкладання МОС в газовій фазі полягає в тому, що вихідна сполука, яка була в рідкому або твердому стані, перекладається в газоподібний шляхом випаровування або сублимації. Отримана газова суміш подається в реакційну камеру. При попаданні на парів МОС на поверхню деталі, яка нагрівається до температури розкладання використовуваної сполуки МОС відбувається металізація цієї поверхні.

Осадження покриттів може проводитися як у вакуумі, так і в середовищі транспортуючих газів. Механізм утворення покриттів CVD-методу полягає в термічному розкладанні МОС. При цьому металізуючи поверхню підкладки знаходиться в оточенні газової суміші, що включає в себе пари металоорганічних сполучень, молекули якого постійно перемішуються в усіх напрямках в обсязі реакційної камери, що дозволяє їм вступати в контакт з усіма поверхнями підкладки, що мають температуру, необхідну для розкладання даної сполуки.

Для відновлення і зміцнення деталей доцільно застосовувати хромові покриття, одержувані термічною дисоціацією гексакарбоніла хрому $\text{Cr}(\text{CO})_6$ в газовій фазі:



Це металорганічне сполучення на основі хрому дозволяє отримувати якісні хромові покриття із заданою мікротвердістю в межах від 12,0 до 20,0 ГПа. До основних технологічних параметрів процесу відносяться температура підігріву $\text{Cr}(\text{CO})_6$ і температура підкладки.

Встановлено що процес утворення хромових покриттів починається при температурі 290°C максимальна швидкість росту покриття спостерігається при 300 С. При подальшому підвищенні температури розкладання парів карбоніла хрому починається не на поверхні деталі, а в об'ємі камери, що є негативним явищем для якісної металізації поверхні деталі.

Вміст зміцнюючої фази карбіду хрому Cr_3C_2 із зростанням температури поступово знижується, що призводить до зниження мікротвердості покриття. Змінюючи режим CVD-процесу, можна задавати мікротвердість покриттів, яка постійна по перетину і не залежить від товщини покриття, в межах 12,0... 20,0 ГПа [4].

Дослідження міцності зчеплення покриття з основою показали, що при збільшенні температури процесу до 350 °С вона зростає. При подальшому підвищенні температури міцність зчеплення покриття суттєво знижується, що пояснюється утворенням в об'ємі камери дисперсного хромового порошку, який потрапляючи на підкладку він знижує адгезію.

Аналіз властивостей хромових покриттів, отриманих CVD-методом, дозволяє вважати їх придатними для зміцнення деталей, зокрема деталей турбокомпресора. Можливість вирішення питань зміцнення деталей шляхом впровадження технологічних процесів з використанням МОС дозволить значно знизити вплив абразивних частинок на поверхні деталей, що сполучаються і істотно підвищити довговічність.

Висновки:

1. Відновлені поверхні корпусу середнього турбокомпресора CVD-методом термічного розкладання МОС дозволяють успішно протистояти абразивному і гідро абразивному зношуванню, що суттєво, в 2,0...2,5. рази, підвищує зносостійкість зношених поверхонь під втулку підшипника.

2. Спосіб CVD-методу термічного розкладання МОС дає можливість отримувати широкий спектр різних за хімічним складом, структурою та властивостями покриттів. При цьому твердість отриманих покриттів може сягати значень, що суттєво перевищують 17 ГПа, а це дає змогу робочим поверхням втулок протистояти навіть абразивному зношуванню.

Список літератури

1. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 252 с.
2. Ерохин М.Н., Чупятов Н.Н. Применение химического парофазного осаждения для повышения износостойкости прецизионных деталей гидравлических систем машин и оборудования в животноводстве. *Вестник ВНИИМ*. 2013. №4(12). С. 61- 64.
3. Козырева, Л.В. Получение металлических наноразмерных покрытий на волокнистых материалах. *Нанотехнологии – производству - 2008: Труды Междунар. научн.-практ. конф. Москва: Концерн «Наноиндустрия». 2009. С. 158 – 161.*
4. Козырева, Л.В. Ресурсосберегающие нанотехнологии на предприятиях технического сервиса: монография. Тверь: ТГТУ, 2010. 188 с.
5. Козырева Л.В. Применение CVD-метода металлоорганических соединений в технологиях изготовления и восстановления деталей подъемно - транспортирующих машин. *Вестник ФГОУ ВПО МГАУ*. 2008. № 1. С. 104 -108.

References

1. Hrushhov, M.M., & Babichev, M.A. (1970). Abrasive wear [Abrasive wear]. Moscow: Nauka [in Russian].
2. Erohin, M.N. & Chupjatov, N.N. (2013). Primenenie himicheskogo paraofaznogo osazhdenija dlja povyshenija iznosostojkosti precizionnyh detalej gidravlicheskih sistem mashin i oborudovanija v zhivotnovodstve [The use of chemical vapor deposition to increase the wear resistance of precision parts of hydraulic systems of machinery and equipment in animal husbandry]. *Vestnik VNIIM – Bulletin VNIIM*. 2013. №4(12). S. 61- 64. [in Russian].
3. Kozyreva, L.V. (2009). Poluchenie metallicheskih nanorazmernyh pokrytij na voloknistyh materialah [Obtaining metallic nanoscale coatings on fibrous]. *Nanotechnology - manufacturing – 2008. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Moskva: Konzern «Nanoindustrija». 2009. S. 158 – 161. [in Russian].*
4. Kozyreva, L.V.(2010). Resursosberegajushhie nanotehnologii na predpriyatijah tehničeskogo servisa [Resource-saving nanotechnology at technical service enterprises] . Tver': TGTU [in Russian].
5. Kozyreva, L.V. (2008). Primenenie CVD-metoda metalloorganicheskih soedinenij v tehnologijah izgotovlenija i vosstanovlenija detalej podemno - transportirujushhij mashin. [Application of CVD-method of organometallic compounds in technologies of manufacturing and restoration of parts of lifting and transporting machines]. *Vestnik FGOU VPO MGAU – Bulletin FSEI HPE MSAU, 1*, 104 -108 [in Russian].

Yuriy Kuleshkov, Prof., Dsc., **Mikhail Chernovol**, Prof., Academician of the NAAS of Ukraine, DSc., **Timofey Rudenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mikhail Krasota**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yevhenii Solovykh**, Prof., Dsc., **Ruslan Osin**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Improve the Durability of a Turbocharger as a Result of Repair Work

A turbocharger is a unit of modern internal combustion engines designed to boost it. Since a drive of the turbocharger is most often carried out from the energy of the exhaust gases, the conditions of its operation can not be called favorable: the temperature of the exhaust gases sometimes reaches 700⁰C, high chemical activity of the exhaust gases, high speed of rotation of the turbine. The consequence of difficult operating conditions is the wear of its elements. One of the main causes of wear of the active elements of the turbocharger is abrasive wear.

Various methods of restoration and strengthening can be used to restore machine parts. However, not all methods can provide the necessary resource for the restoration and strengthening of parts working in abrasive and corrosive environments. One of the modern directions of increasing the wear resistance and other properties of reducing coatings is the use of composite materials. This article presents the results of research on the development of a new method for restoring and strengthening parts with composite materials based on the use of chemical vapor deposition of metals CVD - method (Chemical Vapor Deposition) by decomposition of organometallic compounds. It is shown that the developed composite material obtained by the CVD-method of decomposition of organometallic compounds provides an increase in wear resistance of at least 2.0...2.2 times in

comparison with new parts composite material. Vapor-phase deposition of metals, Chemicikal Vapor Deposition-method, decomposition of organometallic compounds.

composite material, vapor phase deposition of metals, Chemicikal Vapor Deposition method - decomposition of organometallic compounds

Одержано (Received) 24.10.2021

Прорецензовано (Reviewed) 29.10.2021

Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021

УДК 621.74:669.15

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.174-181>

В.К. Аветісян, доц., канд. техн. наук, **Н.М. Колпаченко**, доц., канд. екон. наук,
В.Л. Маніло, асист., **Д.П. Ащанулов**, асп.

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

О.В. Сайчук, проф., д-р техн. наук, **О.І. Біловод**, доц., канд. техн. наук, **Ю.Б. Скоряк**, асист.

Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

e-mail: oleksandra.bilovod@pdaa.edu.ua

Аналіз якості структуроутворення виливків корпусних деталей з сірого чавуну

Виконано статистичний аналіз якості корпусних деталей в умовах виробництва. У якості критерію використовували магнітний метод неруйнівного контролю якості за коерцитивною силою. Статистичну оцінку проводили на двох типах деталей: корпусах роздавальної коробки передач і корпусах коробки зміни передач які виготовлені із чавунів СЧ15, СЧ18 і СЧ20 відповідно. Обидва типи деталей характеризуються близькою товщиною стінок.

корпусні виливки, пластинчастий графіт, коерцитиметр, мікрорентгеноспектральний аналіз, термоелектронна емісія, сірий чавун

Постановка проблеми. Серед номенклатури деталей, що виготовляються, важливе місце займають корпусні – із сірого чавуну. Аналіз показав, що немає ні однієї сільськогосподарської машини, яка не мала б таких деталей. Частка таких виробів у кількісному співвідношенні для різних одиниць сільськогосподарської техніки становить 3,5-45%, що у більшості випадків визначає ресурс машини. Особливо це відноситься до корпусних деталей, відсоток яких становить від 1,7-24%. Ці вироби відрізняються значною різноманітністю: масою, складною геометрією, об'ємом, умовами роботи.

Широке використання деталей із сірого чавуну обумовлена низкою факторів: технологічністю матеріалу (гарні ливарні властивості і оброблюваність різанням), експлуатаційними властивостями та достатньою надійністю. Технологія плавки чавуну це важлива частина конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення корпусних деталей. Удосконалення систем контролю технологічного процесу плавки спрямоване на отримання високоякісного сплаву з поліпшеними фізико-механічними характеристиками. Контроль процесу, відповідно до критеріїв оцінки показників роботи засобів автоматизації у контурах регулювання температури, дають змогу визначити відхилення від заданого температурного режиму плавлення за складом шлаку [1].