

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ ГРУНТОВИХ НАСОСІВ

**Вступ.** Високі механічні і теплові навантаження, дія різних агресивних середовищ на деталі, які супроводжують роботу різного технологічного устаткування, викликають зношення і підвищений ризик виникнення аварій та техногенних катастроф у машинобудуванні і енергетиці. Найважливіший показник надійності і довговічності устаткування – стан поверхневого шару його деталей, оскільки руйнування конструкційного матеріалу починається з його поверхні. Утворення різних дефектів на поверхні виробу внаслідок абразивного зношення, дії активних середовищ тощо призводить до втрати необхідних якісних характеристик деталей устаткування.

Проблема зношення робочих поверхонь обумовлює необхідність широкого застосування різних способів зміцнення поверхонь при ремонті і відновленні деталей машин і механізмів. Використання різних методів поверхневого зміцнення деталей практично завжди економічно вигідне, оскільки дозволяє підвищити ресурс їх роботи та виготовляти деталі з більш дешевих матеріалів. При цьому дорогі матеріали, що забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики, наносяться на поверхню деталей у вигляді тонкого захисного покриття [1].

Використання методів поверхневого зміцнення конструкційних матеріалів дозволяє вирішити багато найважливіших технічних завдань, але при цьому у кожному конкретному випадку потрібний ретельний підхід при виборі способу зміцнення або нанесення захисних покриттів.

Крім цих способів існують також методи, які не пов'язані з відновленням поверхні матеріалів, а їх суть полягає у встановленні закономірностей між внутрішнім станом деталей устаткування та їх зношенням. Ці методи дозволяють оцінити загальний технічний стан обладнання, за необхідності провести поглиблений аналіз його технічного стану, визначити причини зростання досліджуваних параметрів, встановити дефекти і їх усунути, тобто підвищити надійність експлуатації устаткування та збільшити термін його роботи.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є аналіз сучасних методів збільшення ресурсу роботи ґрунтових насосів, визначення їх переваг і недоліків та можливостей для застосування.

**Результати роботи.** Одним з основних видів обладнання на збагачувальних фабриках, в системах золо- і шлаковидалення на теплових та гідроелектростанціях, у системах очищення розчину на бурових установках, на підприємствах з виробництва цементу, технологічних лініях дроблення тощо є ґрунтові насоси (рис. 1).

Вони застосовуються для перекачування піщано-гравійних, гравійних, шлакових, золо-шлакових та інших гідросумішей. Ґрунтові насоси виконуються різних типорозмірів з продуктивністю від 20 до 8000 м<sup>3</sup>/год. Потужність двигуна коливається від 20 до 2000 кВт.

До основних методів збільшення ресурсу роботи ґрунтових насосів відносяться:

- газополум'яне і плазмове напилення та наплавлення деталей насоса;
- відновлення деталей насоса методом корундування;
- методи контролю внутрішнього стану насоса.

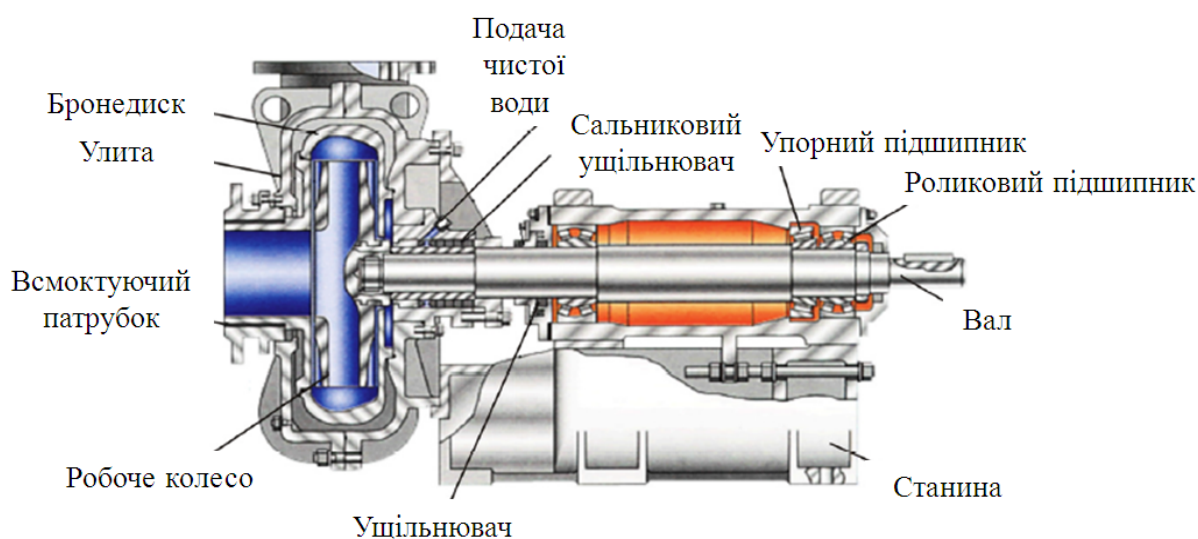


Рисунок 1 – Устрій ґрунтового насоса

Суть процесів газополум'яного напилення та наплавлення полягає у нанесенні металевого порошку у полум'я горючих газів у суміші з киснем на попередньо підготовлену поверхню деталі або виробу. У якості горючого газу застосовують балонний або генераторний ацетилен, а також пропан і водень.

Використання у якості матеріалів для напилювання порошків дає можливість змінювати у широкому діапазоні фізико-механічні властивості покриттів, отримувати не лише зносостійкі, тверді та щільні покриття, але і пористі, що забезпечує надійне змащення поверхонь ковзання та збільшує термін служби з'єднань. В залежності від призначення та матеріалу деталі, умов її експлуатації, контактів поверхонь, що з'єднуються, і інших чинників процес відновлення ведуть різними методами: газополум'яним напиленням без наступного розплавлення, з наступним розплавленням та газопорошковим наплавленням [2, 3].

Газополум'яне напилення порошку без наступного розплавлення використовують при відновленні деталей, які не підлягають у процесі експлуатації ударним, знакозмінним навантаженням, кавітації, нагріву до температур вище 350°C. Економічно вигідно оновлювати поверхні деталей зі зносом до 2 мм на сторону з термічно оброблених і необроблених сталей.

Газополум'яне напилення порошку з наступним оплавленням нанесеного шару будь-яким джерелом теплоти, включаючи полум'я газового пальника, дає можливість оновлювати деталі з чавуну та сталей різних марок. Метод використовують для нанесення зносостійких покриттів при зносі 1,3-1,8 мм на сторону. Відновлені при цьому деталі стійкі проти корозії, абразивного зносу, дії високих температур.

Газополум'яне напилення з одночасним оплавленням (газопорошкове наплавлення) використовують для відновлення деталей з сірого чавуну, сталевого лиття, конструкційних і нержавіючих хромонікелевих сталей, які працюють при ударних навантаженнях та підвищених температурах. При відновленні деталей, які піддаються хіміко-термічній обробці, з поверхні спочатку видаляють шар підвищеної твердості, потім проводять газопорошкове наплавлення.

Технологічний процес газополум'яного відновлення деталей включає наступні операції:

- підготовка поверхні деталі для напилення або наплавлення і порошкових матеріалів;
- газополум'яне напилення або наплавлення;
- механічна обробка нанесеного покриття;
- контроль якості відновлюваної поверхні.

Одним з прогресивних способів відновлення деталей є плазмове напилення порошкових матеріалів. Цей спосіб має великі переваги у порівнянні з газополум'яним нанесенням покриттів: можливість напилення покриттів практично з будь-яких матеріалів, вища продуктивність процесу, вищі щільність і міцність зчеплення покриття з основою.

Металопокриття утворюється у результаті напилення порошкових або дровових матеріалів, які подаються до газоелектричного струменя плазмотрона.

У якості робочих газів використовують технічний азот, аргон, водень, аміак або їх суміші. При цьому застосовують вольфрамові лантановані катоди. Якщо робочим газом служить повітря, то використовують гафнієві або цирконієві катоди. При відновленні деталей використовують порошки на нікелевій основі грануляцією 5-160 мкм.

Перед нанесенням покриття поверхню деталі після очищення та миття піддають струминно-абразивній обробці.

Відносно невисока термічна дія на поверхню деталі високотемпературного плазмового струменя при задовільній міцності зчеплення покриття з основою дозволяє ефективно використовувати цей процес при відновленні великогабаритних деталей, наприклад, колінчастих валів.

До недоліків процесу слід віднести недостатню стійкість плазмотрона, високу витрату газів, низький коефіцієнт використання порошку, особливо при відновленні деталей малих діаметрів.

Процес плазмового напилення можна реалізувати і з наступним оплавленням покриття, як і при газопорошковому наплавленні.

При відновленні деталей застосовується плазмове наплавлення порошковими матеріалами. На відміну від напилення при плазмовому наплавленні деталь не є електронейтральною. Тому плазмові пальники при наплавленні працюють у легших умовах і їх стійкість значно вища, ніж плазмотронів плазмового напилення.

У якості присадних матеріалів застосовують порошкові матеріали на нікелевій і залізній основах, а також різні дровові матеріали. Порошки на залізній основі доцільно наплавляти у середовищі азоту, а на нікелевій основі – у середовищі аргону. Плазмове наплавлення застосовують при відновленні тарілок клапанів двигунів.

Робота з абразивним ґрунтом призводить до швидкого зношення робочих коліс та захисних бронедисків насосів.

На закордонних фабриках збагачення для відновлення бронедисків і робочих коліс застосовується метод корундування. За цим методом захисту деталей металеві корпуси насосів можуть бути використані декілька разів. Зношені поверхні деталей відновлюються до вихідних розмірів за допомогою нанесення шару абразивної маси. Абразивний шар можна наносити без термічного зміцнення. У зв'язку з цим великого значення набуває можливість реставрувати на місці зношені металеві деталі: корпус улит і колеса насосів. Нанесення абразивних покриттів на поверхні, що реставруються, здійснюють вручну при нормальних температурах [4].

Технологія виготовлення деталей з абразивних сумішей зводиться до приготування суміші, її пресування, просочування і полімеризації. У якості

заповнюючої абразивної суміші використовується електрокорунд. Для склеювання зерен абразивного матеріалу застосовується бакеліт марок А та Б. Абразивною сумішшю заповнюють прес-форму. Для підвищення міцності виробів застосовують металевий каркас. Формування і пресування робочих коліс піщаних і ґрунтових насосів здійснюють у кілька прийомів:

- на піддоні з маточиною, оточеною двома напівобоймами, – формування диска;
- з вкладанням сухарів і встановленням крильчатки – формування крильчатки.

Перше і друге пресування відбувається із зусиллям преса 100 т, третє – 400 т. Для додання необхідної міцності виробу деталей на піддоні або в прес-формі піддається полімеризації при температурі 100-180°C протягом 8 год. Потім деталь просочується бакелітом і знову полімеризується. Відформовану деталь можна зберігати до полімеризації не більше 20-30 год. Улити насосів спочатку покривають абразивною сумішшю у торці, а потім пресують у прес-формі. Далі абразивна суміш наноситься на поверхню улити. Після пресування під тиском 3-5 МПа деталь піддають полімеризації. Після зниження температури до 60-70°C уливу витягають і за допомогою пензля на її поверхню наноситься бакеліт марки В до повного насичення, потім процес полімеризації повторюється.

Застосування способів контролю внутрішнього стану насоса з метою збільшення ресурсу його роботи полягає у використанні методів неруйнівного контролю [4-6].

Основними методами контролю є наступні:

- механічний (полягає у вимірюванні геометричних розмірів деталей машин);
- електричний (здійснюється безпосереднє вимірювання електричних величин та дозволяє за непрямыми параметрами встановлювати стан частин машин);
- вібраційний (відбувається вимірювання параметрів різних вібраційних процесів, які обираються у залежності від типу механізмів, що діагностуються, амплітудного і частотного діапазонів вимірюваних коливань);
- акустичний (полягає у вимірюванні пружних коливань, які поширюються у складових частинах машин, що рухаються, у результаті їх зіткнення, характер яких змінюється у результаті зношування складових частин);
- ультразвуковий (здійснюється реєстрація відбитих від меж розподілу двох середовищ спрямованих ультразвукових коливань);
- метод ударних імпульсів (полягає у вимірюванні і реєстрації механічних ударних хвиль, що виникають при зіткненні твердих тіл);
- тепловий (відбувається вимірювання температури нерухоливих і рухоливих об'єктів, що діагностуються);
- електромагнітні (полягають у реєстрації магнітних полів розсіювання, що виникають над дефектом, визначенні магнітних властивостей об'єктів, що діагностуються, вимірюванні магнітних опорів, змін магнітного потоку і магнітної проникності);
- спектрографічний і хімічний (використовуються для кількісного визначення продуктів зношування у мастилi і його хімічного складу);
- радіаційний (здійснюється реєстрація зміни інтенсивності випромінювання об'єкта діагностування);
- фотоелектричний (полягає у вимірюванні освітленості).

Розглянемо більш детально метод вібраційної діагностики для прогнозування залишкового ресурсу роботи ґрунтових насосів.

Діагностика устаткування за вібрацією, що збуджується у ньому, – найбільш ефективний спосіб попередження серйозних інцидентів, оскільки більш ніж у 80% випадків появи незворотних змін стану окремих вузлів змінюються різні параметри вібрації машини. Навіть при стрибкоподібній зміні стану окремих вузлів періодичний

контроль вібрації дозволяє виявити незворотні зміни стану до того, як виникне відмова даної машини або обладнання.

Вібрація насосних агрегатів істотно зростає зі збільшенням гідроабразивного зношування. Для встановлення залежності часу напрацювання насосних агрегатів від гідроабразивного зношування необхідно на кожному насосі встановити вібродатчики, що передають інформацію про роботу насоса на загальний пульт машиніста насосної станції.

При дослідженні частотного спектра можна виявити складові, що відносяться безпосередньо до певних збудливих сил. Майже усі спектри механічних коливань мають також важливі складові з частотами, пов'язаними з рухами окремих вузлів і деталей машин. Утворення і розвиток дефекту призводить до появи у спектрі таких складових амплітуди, які зростають у міру зміни параметрів дефекту. Частоти, на яких спостерігаються ці складові, можуть бути заздалегідь розраховані за конструктивними параметрами об'єкта діагностування і за частотою обертання. Отже, при діагностуванні наявність дефектів може бути виявлена на ідентифікаційних частотах.

Об'єктом діагностування за цим методом є підшипники кочення. Ідентифікаційні частоти визначаються частотою перекочування тіл кочення по зовнішньому кільцю. У якості параметрів вимірювання найчастіше використовуються вібропереміщення, віброшвидкість та віброприскорення.

Поява на частотному спектрі піка у певній частотній смузі з супергармоніками (кратні гармонії) свідчить про наявність конкретного виду дефекту. Якщо на спектрограмі підшипника кочення пікова смуга збігається з частотою обертання вала насоса, то це може бути пов'язане з його дефектом (неврівноваженість), дефектом з'єднувальної муфти, вигином вала тощо. Якщо пік зі своїми гармонійними складовими збігається з більшістю частотних значень елементів підшипника, то це означає, що починається наддопустиме коливання, при якому необхідно зупинити насос.

Для прикладу на рис.2 наведено результати вимірювання вібрації насоса на опорних підшипниках вала за допомогою вібродатчиків, встановлених на корпусі переднього і заднього підшипників. Виміри проводилися через кожні 300 год.

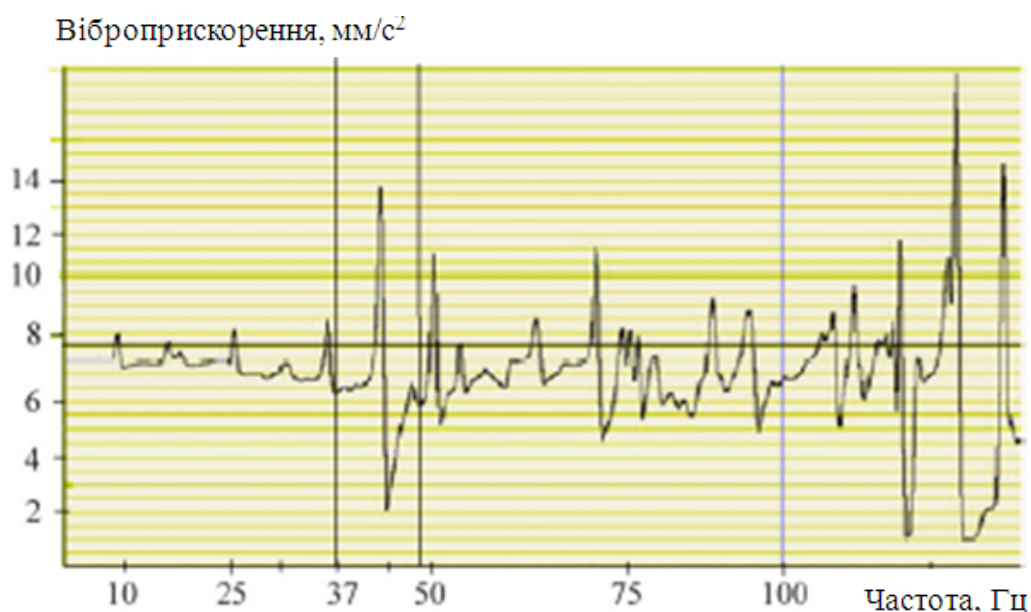


Рисунок 2 – Вигляд діаграми діагностування стану ґрунтового насосу за допомогою вібродатчиків

На рис.2 можна побачити стрибок віброприскорення при експлуатації насоса протягом 30 діб. Це свідчить про те, що відбулося граничне зношування робочого колеса, після чого елементи підшипника підлягають граничним вібраціям, які неминуче призведуть до його поломки [4].

Отже, даним методом можна спрогнозувати термін поломки устаткування і запланувати його технічне обслуговування та ремонт.

**Висновки.** Розглянуто сфери застосування та устрій ґрунтових насосів. Вони застосовуються для перекачування різних гідросумішей на гірничопромислових, алмазо- і золотодобувних підприємствах, теплоелектростанціях тощо.

До основних методів збільшення ресурсу роботи ґрунтових насосів відносяться: газополум'яне і плазмове напилення та наплавлення їх деталей, метод корундування, методи контролю їх внутрішнього стану.

Проаналізовано основні характеристики даних методів контролю, а також переваги і недоліки та можливості для застосування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Suchanek J., Smrkovsky J., Bias P. Erosive and hydroabrasive resistance of hardfacing materials. *Wear*. 1999. Vol. 233–235. P.229-236.
2. Корнеев В.Н., Родичев А.Ю., Семенов А.В. Методы восстановления и упрочнения деталей газопламенным напылением. *Сварочное производство*, 2014. № 2. С.40-43.
3. Гончаров В.С., Васильев Е.В., Попов А.Н. Упрочняющие газопламенные покрытия. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2014. № 6-1. С.39-41.
4. Брусова О.М. К вопросу повышения срока службы ґрунтовых насосов. *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*, 2014. № 10. С.98-106.
5. Смирнов А.Н. Неразрушающие и разрушающие испытания сварных соединений: учеб. пособ. Кемерово: ГУ КузГТУ, 2009. 187с.
6. Камель Г.І., Гасило Ю.А., Івченко П.С., Романюк Р.Я. Контроль якості зварювання. Т.1. Неруйнівні методи контролю: навч. посіб. Кам'янське: ДДТУ, 2018. 240с.

Надійшла до редколегії 27.05.2019.

UDC 621.785.5: 621.793.6

DOI 10.31319/2519-2884.35.2019.42

KRUGLYAK I.V., Ph.D., Associate Professor,  
Doctoral Student

Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine

### RESEARCH OF RESIDUAL STRESSES ON COATINGS OBTAINED USING COMPOSITE POWDER MATERIALS

**Introduction.** The formation of protective coatings in composite saturating media occurs under non-stationary temperature conditions [1-9]. The temperature changes in time, first due to external heating, and then due to ignition leads to the fact that neither thermal nor chemical equilibrium until the process is complete and the products are cooled. The rates of chemical processes are determined by kinetic laws that depend both on temperature and on diffuse factors. However, assuming, at least at the stage of heating, that the inhibition of diffuse processes of the gas phase is small, and the rate of temperature change is small, com-