

УДК 620.179.621.534.1

КОМПЛЕКСНА ДЕФЕКТОСКОПІЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОПЕРЕКАЧУЮЧИХ АГРЕГАТИВ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Берник З.А., 2005
ГПУ "Львівгазвидобування"

© Учанін В.М., 2005
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

Представлено нову концепцію комплексної дефектоскопії деталей газоперекачуючих агрегатів, що знаходяться в довготривалій експлуатації, яка збільшує надійність їх подальшої роботи. Показано можливість збільшення вірогідності контролю на основі застосування методів неруйнівного контролю, побудованих на різних фізичних принципах. Представлено особливості застосування вихрострумового методу та його ефективність при контролі деталей цих агрегатів

Надійність використання газоперекачуючих агрегатів (ГПА) компресорних станцій, які тривалий час експлуатуються у надзвичайно важких умовах (значні динамічні навантаження, суттєві перепади тисків тощо), в основному залежить від технічного стану їх деталей і вузлів. Підвищення надійності обладнання довготривалої експлуатації можливе на основі проведення систематичного контролю з метою своєчасного виявлення експлуатаційних дефектів з використанням сучасних методів неруйнівного контролю (НК). При цьому ефективність дефектоскопії деталей збільшується при проведенні комплексного НК, так як очевидно, що одночасне застосування методів, що базуються на різних фізичних ефектах, дозволяє досягнути більшої ефективності за рахунок різної чутливості цих методів до дефектів різного типу, розмірів, орієнтації тощо [1-3].

З огляду на істотну різницю фізичних основ рі-

зних методів НК ефективний комплексний НК може здійснюватись на основі порівняльного аналізу переваг та недоліків кожного з методів при НК конкретних деталей та вузлів, оскільки тільки такий аналіз дозволяє досягнути необхідного взаємного доповнення методів і збільшення загальної вірогідності контролю при оптимізації об'єму контрольних операцій і вартості їх проведення.

В цьому аспекті практичний інтерес представляє розробка обґрунтованої процедури комплексного дефектоскопічного обстеження деталей ГПА 10 ГКН дотискуючих компресорних станцій, ресурс яких перевищив нормативний термін. В табл. 1 приведено перелік деталей, які підлягають дефектоскопії, марка матеріалу, з якого виготовлена деталь, зони контролю для кожної деталі і рекомендовані методи НК.

Таблиця 1 – Перелік деталей ГПА 10 ГКН, що підлягають обов'язковому дефектоскопічному обстеженню

Назва деталі	Марка матеріалу	Зона контролю	Метод контролю
1	2	3	4
Силовий циліндр	Чавун ЧС 21-44	Дзеркало силового циліндра в районі камери згорання, маслопроводів, отвір	ВС
		Поверхня по периметру навколо вихлопних вікон і в прилеглий зоні	ВС
		Поверхня по периметру навколо продувальних вікон і в прилеглий зоні	ВС

Продовження табл. 1.

1	2	3	4
Поршень силового циліндра	Чавун ЧС 21-40	Поверхня днища поршня	ВС
		Робоча поверхня поршня	ВС
		Посадочна поверхня під вставку поршня	ВС
		Вставка силового поршня, посадочні місця	ВС
		Вставка силового поршня, посадочні місця	КД
Кришка силового циліндра	Чавун ЧС 21-40	Вогнева частина днища в зоні отворів під ГВК, ПК свічки	ВС
		Посадочне місце під ГВК	ВС
		Те ж під ПК	ВС
		Посадочне місце під ГВК, ПК свічки запалювання	КД
Причепний шатун	Сталь 40	Шатунні пальці – робоча поверхня	ВС
		Шатунні пальці – різьбова частина	КД
Колінчатий вал	Сталь 60 ХФП	Корінні шийки – поверхня	ВС
		Корінні шийки – суцільність металу	УЗД
		Галтелі шийки	КД
		Шатунні шийки – поверхня	ВС
		Шатунні шийки – суцільність металу	УЗД
		Галтелі шийки	КД
Шпильки кріплення противаги	Сталь 15 Х	Поверхнева різьба	КД
Противага валу	Сталь 40	Посадочна поверхня та відкриті поверхні для шпильок	ВС
Головний шатун	Сталь 40	Стажні болти – поверхня	ВС
		Стажні болти – різьба	КД
		Кріпильні болти великої головки – різьбова частина	КД
Шток компресорного поршня	Сталь 40 Х	Різьбова частина штока з двох сторін – робоча поверхня	КД
		Різьбова частина штока з двох сторін – суцільність металу	УЗК
Компресорний поршень	Чавун ЧС 18-36	Поверхня поршня в районі канавок під кільцями:	
		D=250	ВС
		D=197	ВС
Вкладиші шатунних підшипників	Бронза Б-83	Робоча та торцева поверхня по периметру	КД
Вкладиші корінних підшипників			КД
Вкладиші опорно-упорного підшипника			КД
Приставний підшипник	Бронза Б-83	Шийка вала – поверхня	ВС
		Шийка вала – суцільність металу	УЗД
		Робоча поверхня вкладишів	КД
Ланцюг приводу допоміжного валу	Сталь 40 Х	Втулка ланцюга поверхні	ВС
		Щока поверхні	ВС

Примітка: КД – кольорова дефектоскопія, ВС – вихрострумова дефектоскопія, УЗД – ультразвукова дефектоскопія.

Аналіз табл. 1 показує, що деталі ГПА характеризуються різноманітністю геометричних форм та марок матеріалу. Це визначає різну контролепридатність деталей, яка визначається легкістю доступу до

зони контролю. З огляду на це, деталі були згруповані за функціональним призначенням, можливістю забезпечення максимальної чутливості і достовірності при застосуванні конкретного методу НК, а та-

кож можливістю доступу до зони контролю.

Водночас необхідно зауважити, що в існуючій керівній документації по обслуговуванню ГПА 10 ГКН вказуються тільки прогнозовано можливі дефекти деталей і місця їх можливого виникнення. Конкретні методи, прилади або методики виявлення цих дефектів не наведено. Тому при розробці методик контролю конкретних деталей в даній роботі використано певні напрацювання авторів при дефектоскопії аналогічних об'єктів в інших галузях [1-3].

Неруйнівний контроль деталей ГПА проводиться підчас середнього та капітального ремонтів. Всі деталі демонтуються, промиваються і зачищаються від нагару. Після цього їхні поверхні підлягають візуально-оптичному огляду. Для оцінки стану поверхні деталей використовується лупа 10-кратного збільшення, а у важкодоступних зонах (внутрішні поверхні) використовуються волоконно-оптичні інтроскопи. На рис. 1 показано схему використання гнучкого інтроскопа ЭВГ 10 для пошуку дефектів на внутрішній поверхні силового циліндра. Цим методом виявляються поверхневі тріщини, язви, волосовими, риси, закати тощо.

Кольорова дефектоскопія різбових частин кріпильних деталей, посадочних місць проводиться за загальноприйнятою методикою з використанням аерозольного способу нанесення дефектоскопічних матеріалів. Як дефектоскопічні матеріали використовується набір фірми MR-Chemie: MR-68 – пенетрант червоний, MR-70 – проявник, очисник - MR-88. Чутливість комплекту MR-Chemie відповідає II класу по ГОСТ 18442-80. Досвід показує, що з урахуванням фактичної шорсткості поверхні контрольованих деталей ($R_a=0,32$), цей метод дозволяє виявляти поверхневі тріщини і інші несуттєвості з шириною (діаметром) розкриття 1-3 мкм і більше, глибиною більше 15-20 мкм.

Перевірка якості металу крупногабаритних колінчатих валів ультразвуковим методом проводиться за стандартними методиками описаними, зокрема, в роботі [1]. Окремий практичний інтерес представляє приклад контролю суцільності металу різбової частини штоку компресорного поршня. Штоки можуть мати в зоні різби тріщини втомного походження, які поширюються від впадини різби перпендикулярно до осі штоку (рис. 2).

На екрані ультразвукового дефектоскопа (рис. 2, верхня частина) видно строго регулярні луноімпульси від витків різби. При цьому луноімпульс від тріщини має порівняно більшу амплітуду і легко виділяється. Контроль проводять з торцевої поверхні. При цьому прямий перетворювач розміщується близько від краю. Контроль здійснюється з допомогою ультразвукового суміщеного перетворювача діаметром 12 мм. Робоча частота контролю 2,5 МГц.

Параметри перетворювача вибрані в результаті експериментального підбору кута розкриття звукового променя перетворювачів різних діаметрів і різної частоти на робочому стандартному взірці з надрізом різцем в основі різби (ширина надрізу - 0,2 мм, глибина - 0,1 мм). Представлена методика при налаштуванні на таких взірцях забезпечує можливість виявляти короткі тріщини на стадії їх початкового розвитку. Необхідний акустичний контакт забезпечується малою шорсткістю поверхні торців штока ($R_a=1,25$) та використанням спеціального контактного гелю.

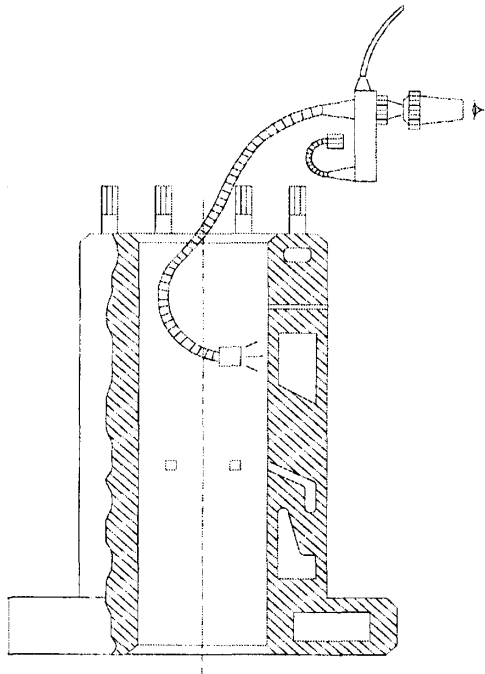


Рис. 1. Схема огляду внутрішньої поверхні силового циліндра гнучким ендоскопом

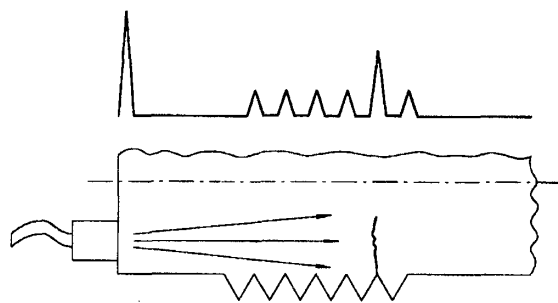


Рис. 2. Схема ультразвукового контролю різби на наявність тріщин

Більшість деталей ГПА контролюються методом кольорової дефектоскопії з 1996 р. Набутий досвід показує, що кольоровий метод при високій чутливості контролю не забезпечує необхідної продук-

тивності. Насамперед це пов'язано з необхідністю ретельної підготовки поверхні виробу перед контролем і операцією змивання контролюючих речовин після його проведення. Це збільшує час простою ГПА під час ремонтів. Проведені нами роботи показали, що необхідне збільшення продуктивності контролю при збереженні необхідної чутливості може забезпечити вихрострумний метод [2-4]. Потрібно наголосити, що дуже важливою перевагою вихрострумного методу при контролі деталей в експлуатації є можливість контролю забруднених маслом або нагаром поверхонь без істотного зменшення чутливості. Стосовно контролю деталей ГПА вихрострумний метод дозволяє забезпечити ряд специфічних вимог, зокрема:

- високу чутливість до коротких і неглибоких тріщин;
- високу локальність контролю (особливо це важливо для контролю деталей з криволінійною поверхнею, наприклад у зоні галтельних переходів, внутрішньої поверхні отворів або пазів);
- відстроювання від змін зазору між датчиком і контрольованою поверхнею;
- відстроювання від впливу краю деталі;
- можливість роботи в умовах компресорних станцій (бути легким, захищеним від пилу й вологи, мати автономне живлення і просту індикацію результатів);
- в комплекті дефектоскопу повинні бути датчики для контролю труднодоступних місць (отворів, пазів тощо).

Вихрострумний контроль деталей ГПА побудований на основі галузевого стандарту [3], згідно з яким в основу методики покладено вихрострумні дефектоскопи типу ЛЕОТЕСТ ВД 3.03 та ЛЕОТЕСТ ВД 4.03 (розробник – ПП Центр “Леотест-Медіум”,

Львів) [4-5]. Необхідно наголосити, що вказані дефектоскопи повністю задовольняють вказаним вище вимогам. В дефектоскопах типу ЛЕОТЕСТ реалізовано автогенераторний метод вихрострумного контролю, який передбачає повне розділення впливу дефекту і завад (таких як зазор або край) завдяки використанню двоконтурних автогенераторів і високій чутливості до змін імпедансу датчика в автономному режимі. Дефектоскопи забезпечуються датчиками "олівецьового" та Г-подібного типу з високою чутливістю до коротких тріщин та локальністю контролю, а також (при необхідності) спеціальними датчиками для контролю отворів, різьби, вузьких пазів тощо. Робоча частота контролю - 4 МГц. Дефектоскопи забезпечують можливість відстроювання від краю контрольованого виробу при довільному напрямку сканування і комфортні умови для роботи оператора при проведенні контролю завдяки невеликим розмірам, вазі та автономному живленню. Дефектоскопи атестуються органами Держспоживстандарту України.

Методика вихрострумного контролю передбачає розподіл контрольованої поверхні деталей на окремі самостійні зони контролю (ОСЗК). ОСЗК - це ділянка контрольованої поверхні, в межах якої переміщення вихрострумного датчика не приводить до помітних змін настроювання приладу та його чутливості до дефектів. Тобто, в межах кожної окремої ОСЗК можна проводити контроль без перестроювання дефектоскопа. В ОСЗК виділяються, як правило, крайові зони і зони з різною кривизною контрольованої поверхні, зони з різного матеріалу та іншими особливостями. Як приклад, на рис. 3 показано напрямки сканування при розділенні деталі на крайові та конічні або циліндричні ОСЗК.

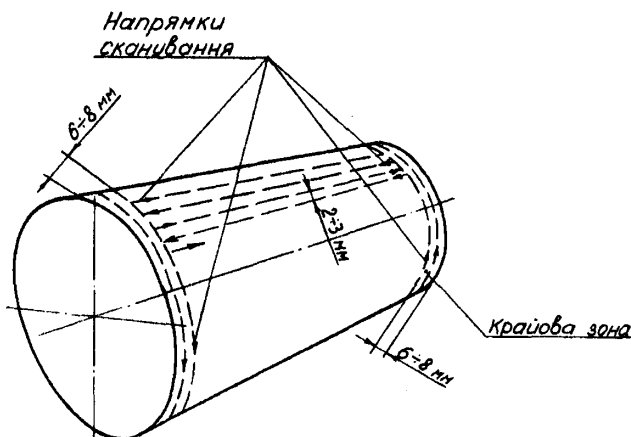


Рис. 3. Сканування деталі при вихрострумному контролі в зоні циліндричних або конічних поверхонь і зоні краю

В нашому випадку передбачено виділення таких ОСЗК:

- плоскі поверхні (силові та компресорні поршні, кришки силових циліндрів тощо);
- циліндричні поверхні (силові циліндри та вставки, силові та компресорні поршні, штоки компресорних поршнів, кришки циліндрів, шийки колінчатих валів тощо);
- крайові зони, особливо край отворів силових циліндрів;
- зони пазів силових та компресорних поршнів.

Перед проведенням вихрострумowego контролю необхідно на контрольованій поверхні видалити грубі нашарування, напливи, зарубки та інші неоднорідності. Заповнення дефекту маслом, нагаром та іншими неелектропровідними речовинами не впливає на чутливість контролю. Слід пам'ятати, що на чутливість контролю впливає шорсткість контрольованої поверхні. Тому ділянки з аномальною шорсткістю необхідно виділяти в окрему зону, в якій необхідно зменшити чутливість приладу або провести

шліфування поверхні. Сканування контрольованої поверхні необхідно проводити з кроком приблизно 2 мм. Швидкість переміщення датчика повинна бути не більше 10 - 20 мм/с. При скануванні важливо забезпечувати перпендикулярне положення датчика відносно контрольованої поверхні, для цього використовують прості насадки на датчик.

При розробці методики вихрострумowego контролю особливої уваги було приділено зоні отворів, пазів та галтельних переходів, що є конструктивними концентраторами напружень. Зокрема, при проведенні контролю пазу він розподіляється на дві окремі ОСЗК – зона плоскої частини пазу і кутова зона. В межах цих зон настроювання дефектоскопу проводиться окремо. При контролі кутових зон датчик встановлюється під кутом 45° відносно стінки пазу для чого передбачено спеціальні насадки (рис. 4 а). Положення датчика вихрострумowego дефектоскопа при контролі галтельного переходу показано на рис. 4 б).



Рис. 4. Положення вихрострумowego датчика при контролі кутових зон пазів (а) та галтельних переходів (б)

Розроблена методика вихрострумowego контролю деталей ГПА пройшла дослідно-промислово перевірку при проведенні чергових ремонтів агрегатів компресорних ряду станцій, що знаходяться в експлуатації з 1965 р. [4]. Під час проведення контролю виявлено дефекти типу тріщина довжиною від 3 мм і більше. Тріщини довжиною 3 мм виявлено, зокрема, в зоні центрального отвору кришки силового циліндра. Виявлені дефекти були підтверджені при кольоровій дефектоскопії. Особливо важливо зауважити, що вихрострумовим методом було виявлено дефекти, які були пропущені при проведенні кольорової дефектоскопії. Це підтверджує високу ефективність вихрострумowego методу і одночасно обґрунтовує необхідність застосування комплексного контролю. Водночас потрібно наголосити, що продуктивність вихрострумowego контролю є в 3-4 рази більша за продуктивність контролю кольоровим методом, що

дозволяє значно зменшити загальний час зупинки компресорів при проведенні ремонтів.

Представлені дослідження виконуються в рамках регіональної програми визначення залишкового ресурсу конструкцій, споруд і машин тривалої експлуатації та розробки заходів щодо продовження терміну їх безаварійної роботи.

1. Дефектоскопія при техніческом диагностировании автомобилей. З.А. Берник Б.М. Ладницький, И.П. Белокур, В.Н. Учанин В.Н. – К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 1993. - 143 с. 2. Берник З.А., Колодій Б.И., Учанин В.Н., Орловский А.А. Особенности вихрострумowego контроля стыковых сварных соединений емкостей химического оборудования из аустенитных сталей // Физико-химическая механика материалов. – 1989. - № 4. - С. 113 - 115. 3. ГСТУ В.2.3-0001201.02-2000. Експлуатація, технічне обслугову-

вання і ремонт обладнання і споруд нафтоперекачувальних станцій. Ч.2. Дефектоскопія валів нафтоперекачувальних насосів // В.А. Корнійчук, Б.І.Стоян, В.І.Дуля, С.О.Смолка, В.М.Учанін. – К.: Держнафтогазпром України. – 2000. – 54 с. 4. Учанін В.М., Берник З.А. Вихрострумний контроль деталей агрегатів компресорних станцій // Фізичні

методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. - Вип. 7. Львів: ФМІ НАН України. – 2002. - С. 103 - 105. 5. Учанін В.Н., Черленевский В.В. Вихретоковий дефектоскоп для обнаруження поверхностних трещин // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Львів: ФМІ НАН України. – 1999. - С. 108 - 110.

УДК 681.3.06+681.518.54.621.51

КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ

© Горбійчук М.І., Козуляк М. І., Скріпка О.А., 2005

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розглянуті питання діагностики технічного стану газоперекачувальних агрегатів і приведена структурна схема обчислювача базових показників роботи центробіжного нагнітача з використанням нейромереж

Необхідність суттєвого розширення робіт в області діагностування газоперекачувальних агрегатів (ГПА), в першу чергу з газотурбінним приводом, які складають переважну більшість у загальній кількості ГПА газової промисловості, створення і впровадження діагностичних систем нерозривно пов'язані з вирішенням таких проблем, як підвищення надійності ГПА, зменшення термінів на їх освоєння та витрат на експлуатацію, економія паливо-енергетичних ресурсів тощо [1].

Забезпечення всебічної технічної діагностики ГПА, що є обов'язковою вимогою автоматизованої системи контролю його технологічного стану, потребує впровадження наступних автоматизованих діагностичних систем: оперативної вібродіагностики, спектральної вібродіагностики, параметричної діагностики, діагностики технологічного обладнання, діагностики технологічних трубопроводів, діагностики запірної арматури [2].

Згідно [3] встановлено види, періодичність і точність вимірювань, необхідних для діагностики і прогнозування технологічного стану обладнання компресорних станцій, місця відбору діагностичних параметрів. Розроблено також ряд методик та норм [4, 5], в яких наведено алгоритми оцінки технологічного стану ГПА.

Досвід створення і експлуатації об'єкта, комплекс алгоритмів діагностування і прогнозування технічного стану ГПА дозволив сформулювати ряд положень, які визначають загальний і доцільний підхід до вирішення діагностичних задач.

На стадії проведення циклу теоретичних і експериментальних досліджень по одержанню діагностичних моделей і підтвердженню їх адекватності

виправдане використання загальноматематичних методів: статистичних правил розпізнавання і прийняття рішень, лінійних і нелінійних методів розділу підмножин в просторі станів, методів апроксимації та оптимізації пошуку при діагностуванні [1]. Процедура проведення цих операцій при формуванні моделей повинна ґрунтуватися як на загальних принципах теорії подібності і аналізу розмірності, так і на теоретичних і експериментальних результатах, що пов'язані з фізикою процесів, які протікають у ГПА. Слід зауважити, що процедури діагностування й прогнозування технічного стану вузлів і елементів ГПА досить різноманітні як за функціональною структурою, так і за формою представлення результатів. Разом з тим необхідно регулярно приймати рішення по подальшому технічному обслуговуванню ГПА. В цих умовах використання дискретної діагностичної інформації про стан окремих вузлів і систем, як правило, є не досить обумовленим. Необхідно брати до уваги стан агрегату в комплексі.

Розглянемо як об'єкт діагностування нагнітач. При моделюванні нагнітачів велике значення має теорія подібності і розмірності [6], на основі якої можна виділити групу суттєвих параметрів із яких можна скласти п'ять безрозмірних комбінацій. Детальний аналіз впливу таких безрозмірних комбінацій на течію газу в нагнітачі, проведений в монографії Ріса В. Ф. [6], показав, що тільки два із них є визначальними, а саме: $\varphi = \frac{4Q}{\pi D^2 u}$ і $M = \frac{u}{\sqrt{gzRT}}$, де Q

- об'ємна витрата газу, приведена до умов всмоктування; D - діаметр робочих лопаток нагнітача; u - колова швидкість робочого колеса; z - коефіцієнт