

Франківськ, 2002. 15 Козоріз А.В. Розробка установки автоматизованого контролю якості обсадних труб// Дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук. – Івано-Франківськ, 2003. 16 Вісков О.В. Підвищення вірогідності та інформативності акустичного контролю трубних виробів// Дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук. – Івано-Франківськ, 2003. 17 Векерик В.В. Акустичний контроль геометричних параметрів обсадних колон в свердловині// Дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук. – Івано-Франківськ, 2004. 18 ГСТУ-320.02829777.001-95 Положення про службу неруйнівного контролю в нафтовій і газовій галузях. 19 ГСТУ-320.02829777.002-95 „Інструкція по проведенню неруйнівного контролю нарізних труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації”. 20 ГСТУ-320.02829777.014-99 Неруйнівний контроль та оцінка технічного стану металоконструкцій бурових веж в розібраному і зібраному стані. 21 ГСТУ-320.02829777.013-99 Рекомендації по проведенню неруйнівного контролю бурового обладнання.

22 СТП 320.00135390.067-2002 „Оцінка технічного стану вежових підйомників для збирання баштових веж (ПВК-1, ПБУ-35, ПВ2-45, ПВ5-60, ПВЛ) та механізмів підіймання щоглових веж (МПВ, МПВА)”. 23 СТП 320.00135390.068-2002 „Оцінка фактичного технічного стану основ бурових веж”. 24 СТП 320.00135390.069-2002 „Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації відамортизованого обладнання для видобутку нафти і газу”. 25 СТП 320.00135390.070-2002 „Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації технологічного транспорту і спецтехніки”. 26 СТП 320.00135390.071-2002 „Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації відамортизованого обладнання для ремонту свердловин. 27 СОУ 11.1-20077720.003:2004 Арматура фонтанна головки колонні. Контроль технічного стану. Методи неруйнівні. 28 СОУ 60.3-30019801-007:2004 Магістральні газопроводи. Неруйнівний контроль при капітальному ремонті.

УДК 620.179+622.24.053

ПРО ПІДХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРУБНИХ КОЛОН МЕТОДАМИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

© Карпаш О.М., Зінчак Я.М., Попович В.Я., 2005

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

© Криничний П.Я., 2005

Науково-виробнича фірма „Зонд”, м. Івано-Франківськ

Розглянуто підходи до контролю якості згинчування різьбових з'єднань колон. Запропоновано метод визначення напружено-деформованого стану металу з'єднувальних елементів. Розроблено технічні засоби і методики контролю якості з'єднувальних елементів трубних колон, які дають можливість своєчасно виявити в цих елементах дефекти повздожньої орієнтації, що значно зменшує кількість відмов бурильних колон.

Одним із важливих завдань підвищення експлуатаційних характеристик буріння є забезпечення працездатності трубних колон (бурильних, обсадних, насосно-компресорних). Для вирішення такого завдання проведено глибокі теоретичні та експериментальні дослідження, розроблені і впроваджені технології і технічні засоби. Однак дослідники основну увагу приділяють експлуатаційній надійності труб, хоча аналіз аварій з трубними колонами пока-

зує [1], що 15 % відмов пов'язано з поломками з'єднувальних елементів. Як з'єднувальні елементи у бурильних колонах застосовують:

- муфти – для з'єднування труб однакового діаметра;
- перевідники – для з'єднування труб різного діаметра;
- замки – для швидкого розбирання і збирання колони під час спуско-піднімальних операцій.

У процесі роботи на з'єднувальні елементи діють ті ж фактори, що й на трубну колону в цілому, але умови експлуатації і фактори, що сприяють їх відмовам, є більш жорсткими:

- вони інтенсивніше зношуються, бо їх зовнішній діаметр більший за діаметр з'єднуваних труб;
- у них на відносно малій довжині зосереджені два потужних концентратори напружень (різьби);
- у багатьох випадках вони використовуються для з'єднання труб різного діаметра, що викликає додаткову концентрацію напружень.

Тому своєчасне виявлення і вилучення з експлуатації дефектних з'єднувальних елементів з метою підвищення працездатності трубної колони, є актуальним завданням. Вирішити його можна з допомогою засобів і методик неруйнівного контролю.

Розглянемо один із підходів до контролю якості згвинчування різбових з'єднань колон.

Відомо, що усі з'єднання бурильної колони збираються із певним монтажним напруженням. При холодному збиранні з'єднання може бути ефективним тільки за рахунок селективного підбору різбових пар, що досить важко реалізовувати на практиці. Спростити підбір різбових пар і одночасно підвищити якість збирання дозволило використання нагрівання з'єднувальних елементів. Але й у цьому випадку міцність з'єднання залишається низькою. Так як спряження „бурильна труба – з'єднувальний елемент” збираються з певним натягом, то у крайових ділянках виникають значні напруження. Експериментально підтверджено [2], що у межах ± 30 мм від першого повного витка різби замкового елемента для основної площини трикутної різби після гарячого з'єднання тангенційні напруження на внутрішній поверхні висадженої частини труби перевищують границю текучості металу. Це значно знижує міцність з'єднання, на з'єднувальних елементах виникають поздовжні тріщини.

Тому суттєво важливим є контроль натягу у різбовому з'єднанні. Проведені авторами теоретичні та експериментальні дослідження напружено-деформованого стану різбових з'єднань труб нафтового сортаменту показали, що при натягах в межах можливості застосування лінійної теорії пружності зовнішній діаметр охоплюючої деталі змінюється пропорційно величині діаметрального натягу. Отримано математичний вираз, із якого можна визначити зміну зовнішнього діаметра замкової деталі ΔD_2 , яка викликана натягом δ_2 [3]:

$$\Delta D_2 = 2 \frac{A^*}{\mu_2} \cdot \frac{r^*}{R_2} (1 - \nu_2), \quad (1)$$

де ΔD_2 - збільшення зовнішнього діаметра охоплюючого циліндра; R_2 - зовнішній радіус охоплю-

ючого циліндра до збирання; A^* і r^* - коефіцієнти, які залежать від геометричних розмірів деталей з'єднання та їх пружних характеристик і визначаються за окремими математичними виразами; ν - коефіцієнт Пуассона; μ - модуль зсуву.

При натягах в межах можливості застосування лінійної теорії пружності величина ΔD_2 змінюється пропорційно величині діаметрального натягу. Таким чином, встановлена можливість розробки простих засобів і технологій контролю якості і згвинчування різбових з'єднань шляхом вимірювання зміни зовнішнього діаметра охоплюючої деталі безпосередньо після згвинчування з'єднання з натягом, а також під час експлуатації. Такий контроль можна реалізувати як традиційними неруйнівними методами (ультразвуковий, оптичний, тощо), так і за допомогою інструментальних засобів з високим класом точності. При цьому одержані залежності справедливі для будь-яких типів з'єднань з натягом.

В Україні і за кордоном широко впроваджуються засоби і методики неруйнівного контролю бурильного інструменту і бурового обладнання, в яких акцентується велика увага на виявлення дефектів поперечної орієнтації, що виникають внаслідок знакозмінних навантажень і зустрічаються найчастіше [6]. Практика експлуатації трубних колон показує, що дефекти поздовжньої орієнтації також зустрічаються у з'єднувальних елементах трубних колон.

Розглянемо шляхи вирішення проблеми виявлення таких дефектів.

Виходячи з того, що для виявлення поперечних дефектів частіше застосовують ультразвукові методи (вони найбільш технологічні і прості), було вирішено застосувати їх і для виявлення дефектів поздовжньої орієнтації в тілі з'єднувальних елементів. Такий підхід був оправданий і економічно: для широкого впровадження достатньо комплектувати вже використовувану серійну ультразвукову апаратуру спеціалізованим п'єзоперетворювачем і методикою контролю.

Особливість застосування ультразвукового методу для виявлення дефектів поздовжньої орієнтації щодо з'єднувальних елементів полягає в тому, що контроль повинен забезпечувати виявлення тріщин та інших дефектів порушення суцільності металу, орієнтованих вздовж твірної з'єднувального елемента, як на поверхнях, так і в товщі металу.

Оптимальна чутливість засобів контролю забезпечується кутом введення α ультразвукових коливань (УЗК) у виріб, що контролюється. Вона максимальна тоді, коли УЗК падають на поверхню дефекту під кутом 90° . Досягнути максимальну чутливість можна за різних схем прозвучування

з'єднувального елемента. Розглянемо деякі із них.

Під час хордового прозвучування (рис. 1, а) похилий п'єзоперетворювач працює за суміщеною схемою. Кут введення α визначається з виразу

$$\alpha = \arcsin \frac{r}{R} = \arcsin \frac{R-S}{R} = \arcsin \left(1 - \frac{S}{R} \right), \quad (2)$$

де R, r - радіуси відповідно зовнішньої і внутрішньої поверхонь з'єднувального елемента; S - товщина стінки.

При умові, що $\alpha = \arcsin(1 - S/R)$ забезпечується умова для виявлення дефектів поздовжньої орієнтації на внутрішній поверхні (УЗК поширюються перпендикулярно площині дефекту). Однак, за даної умови відсутня гарантія виявлення дефектів на зовнішній поверхні. Для реальних конструкцій з'єднувальних елементів труб нафтового сортаменту кут α знаходиться в межах від 48° до 72° .

Під час прозвучування за схемою, зображеною на рис. 1, УЗК проходять через усю товщу металу. Тут можливі два варіанти.

При використанні роздільно-суміщеного п'єзоперетворювача (рис. 1, б) УЗК багатократно відбиваються від стінок виробу, тому спостерігається розсіювання і суттєва втрата ультразвукової енергії.

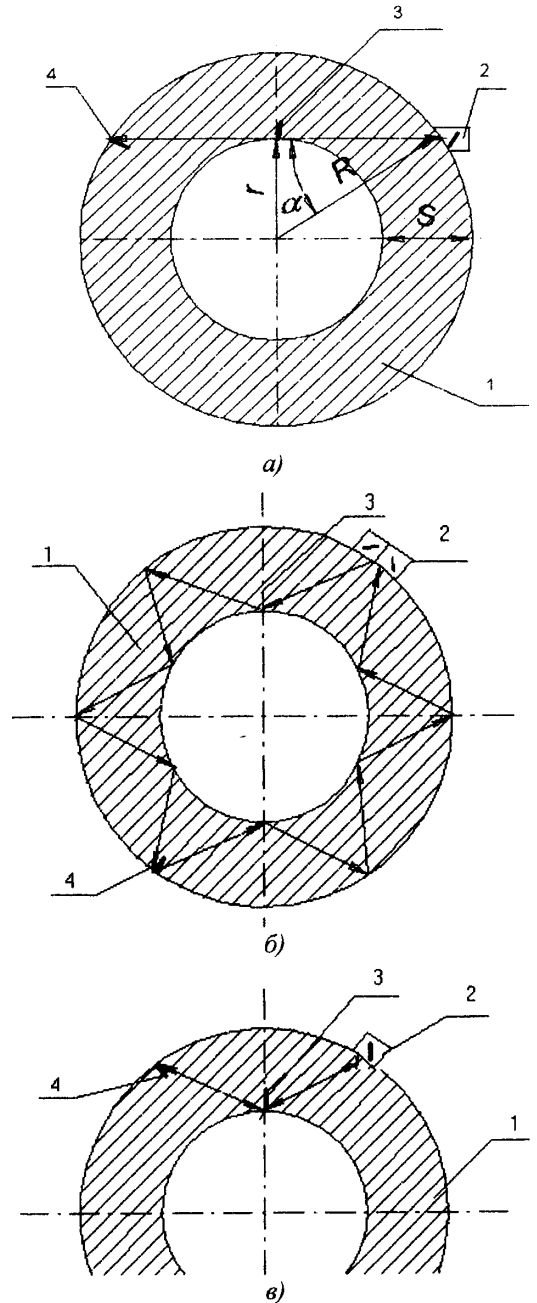
Контроль за схемою (рис. 1, в) здійснюється за суміщеною схемою похилим п'єзоперетворювачем. При цьому виявляються дефекти як на зовнішній, так і на внутрішній поверхнях, а також у виробі. Втрата енергії набагато менша, ніж у попередньому варіанті. Очевидно, що цей спосіб є найбільш прийнятний для нашого випадку. Тому зупинимось на ньому більш детально.

УЗК, випромінювані п'єзоперетворювачем, уводяться в тіло з'єднувального елемента під кутом α в площині його поперечного перерізу, відбиваються від внутрішньої поверхні або дефекту і приймаються тим же п'єзоперетворювачем. Знаходження дефектів забезпечується прямим і двічі відбитими променями УЗК. За їхньою амплітудою на екрані дефектоскопа судять про наявність або відсутність поздовжнього дефекту.

Для прозвучування всього об'єму тіла з'єднувального елемента необхідно здійснити зигзагоподібне сканування його поверхні з кутовим кроком t вздовж периметра і кроком s вздовж твірної (рис. 2). Величина кроку t залежить від кута введення УЗК, крок s визначається протяжністю дефекту, який необхідно знайти. Більш повну уяву про схему сканування дає рис. 3 – на ньому зображено хід променів УЗК і супроводжуючі його зображення на екрані дефектоскопа.

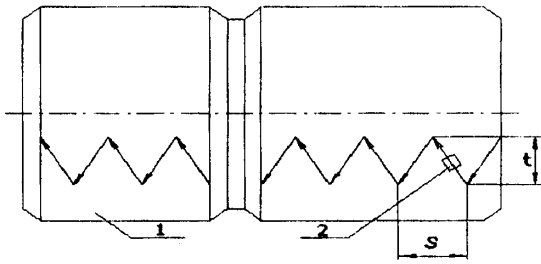
Настроювання апаратури проводиться на спеціальному стандартному зразку. Контрольований виріб бракується, якщо під час контролю на лінії

розгортки дефектоскопа з'являється луна-імпульс від дефекту з амплітудою, співрозмірною або більшою за амплітуду сигналу від штучного дефекту.



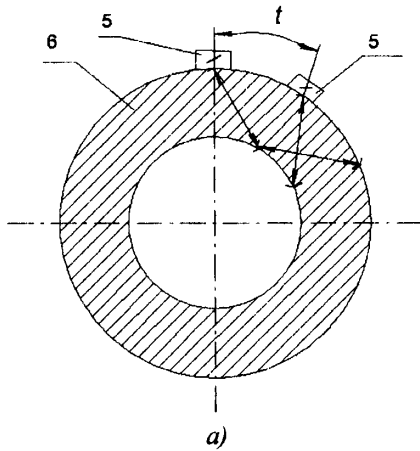
1 – з'єднувальний елемент; 2 – п'єзоперетворювач; 3 – дефект на внутрішній поверхні з'єднувального елемента; 4 – дефект на зовнішній поверхні з'єднувального елемента

Рис. 1. Схеми прозвучування з'єднувального елемента: хордове (а), роздільно-суміщеним (б) і суміщеним (в) п'єзоперетворювачами

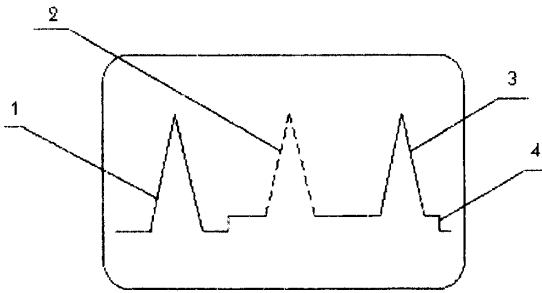


1 – з'єднувальний елемент; 2 – п'єзоперетворювач

Рис. 2. Схема сканування з'єднувального елемента суміщеним п'єзоперетворювачем



а)



б)

1 – зондуєчий імпульс; 2, 3 – відповідно імпульс від дефекту, розташованого на внутрішній та на зовнішній поверхні з'єднувального елемента; 4 – імпульс схеми АСД; 5 – п'єзоперетворювач; 6 – з'єднувальний елемент

Рис. 3. Схема розповсюдження УЗК (а) та зображення на екрані дефектоскопа під час сканування суміщеним п'єзоперетворювачем (б)

Критеріями оцінки розмірів знайденого дефекту і його місцезнаходження є:

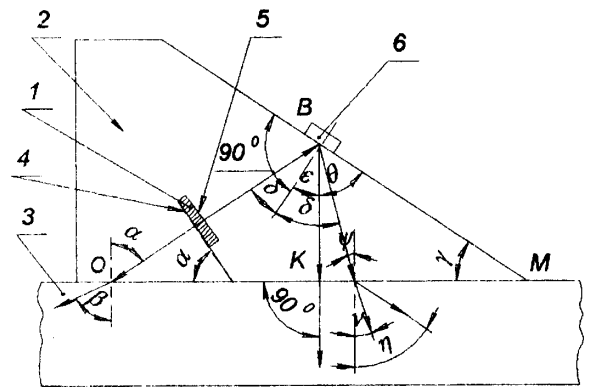
- інтервал неперервного пересування луна-імпульсу вздовж лінії розгортки під час поперечного сканування – чим він більший, тим більша площа відбиття, а значить і розміри дефекту;

- положення максимуму амплітуди луна-імпульсу, що пересується – чим ближче він до зондуєчого імпульсу, тим ближче знайдений дефект до внутрішньої поверхні з'єднувального елемента і навпаки.

Підтвердити наявність дефекту у виробі можна шляхом його прозвучування УЗК, уведеними під різними кутами.

Однак слабим місцем в ультразвуковому контролі тіла з'єднувальних елементів є відсутність інформації про стан акустичного контакту між п'єзоперетворювачем і виробом, який контролюється, що може призвести до необгрунтованого бракування. Цей недолік був ліквідований шляхом розробки спеціалізованих п'єзоперетворювачів. Авторами запропоновано п'єзоперетворювач [5], у якому використовується ефект двостороннього випромінювання УЗК п'єзоелектричним елементом. Схему такого п'єзоперетворювача зображено на рис 4.

П'єзоелемент 1 встановлено в корпусі 2, нахиленому під кутом α до поверхні контрольованого виробу 3. Кут α вибирається із умов найкращого виявлення дефекту. УЗК, які випромінюються поверхнею 4 п'єзоелемента, вводиться в контрольований виріб під кутом β , а УЗК, випромінювані поверхнею 5, попадають на відбивач 6 під кутом δ .



1 – п'єзоелемент; 2 – корпус п'єзоперетворювача; 3 – контрольований виріб; 4, 5 – випромінюючі поверхні п'єзопластини; 6 – відбивач

Рис. 4. Схема для розрахунку параметрів п'єзоперетворювача

Під час відбивання проходить трансформація УЗК: поперечна хвиля входить в тіло виробу по нормалі (пряма ВК), а поздовжня хвиля (пряма ВN), розпавшись на границі розділу на дві складові (поздовжню і поперечну) – під кутами η і ν . Так як швидкість поширення поперечних хвиль C_t приблизно удвічі менша від швидкості поширення поздовжніх хвиль C_l [4], то поперечна хвиля дає можливість оцінити стан акустичного контакту. Використання в якості інформативного параметру поздовжньої хвилі неможливо, так як її відбитий імпульс зливається із зондуємим. Вхідження відбитих поперечних хвиль (пряма ВК) у контрольований виріб по нормалі повинно забезпечуватися правильним вибором кута γ відбивача. Залежність γ від кута нахилу п'єзопластини α і швидкостей поширення поздовжніх і поперечних хвиль виражається рівнянням Снелліуса [3]

$$\frac{\sin \delta}{C_t} = \frac{\sin \beta \varepsilon}{C_l}, \quad (3)$$

де δ - кут падіння поздовжніх хвиль на відбивачі, ε - кут поширення поперечних хвиль, які утворюються після відбивання.

Із трикутника ВКМ знаходимо, що

$$\gamma = 90^\circ - \theta,$$

де θ - кут між відбивачем і напрямом поширення поперечних хвиль, $\theta = 90^\circ - \varepsilon$.

Тоді $\gamma = \varepsilon$, а $\sin \gamma = \sin \varepsilon$, і з трикутника ОВК знаходимо, що

$$\delta = 90^\circ - (90^\circ - \alpha) - \varepsilon = \alpha - \varepsilon,$$

або, враховуючи, що $\gamma = \varepsilon$, $\delta = \alpha - \gamma$.

Провівши певні математичні перетворення, одержимо, що

$$\gamma = \arctg \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha + C_t / C_l}. \quad (4)$$

Такий кут γ забезпечує падіння поперечної хвилі перпендикулярно основі призми п'єзоперетворювача і поверхні контрольованого виробу. Виготовлені за такими параметрами п'єзоперетворювачі були використані в установці „Ремонт-1”, призначеній для заміни дефектних з'єднувальних елементів на трубах нової конструкції, і дали можливість суттєво підвищити достовірність контролю

з'єднувальних елементів та виключити необґрунтоване бракування.

Установки „Ремонт-1” впроваджені в Ухтинській НГРСГБ, а також у Республіці Куба.

Висновки:

1) розроблено метод визначення напружено-деформованого стану металу з'єднувальних елементів;

2) розроблені технічні засоби і методики контролю якості з'єднувальних елементів трубних колон дають можливість своєчасно виявити в цих елементах дефекти поздовжньої орієнтації, що значно зменшує кількість відмов бурильних колон;

3) підвищено достовірність контролю ультразвуковим п'єзоелектричним перетворювачем, який забезпечує спостереження за акустичним контактом;

4) розробленими технічними засобами можна комплектувати діючі стаціонарні, переносні та пересувні лабораторії неруйнівного контролю для розширення їх функціональних можливостей.

1. Андрейчук И.С., Пелех В.Г., Бондурин Г.П. та інші. Работоспособность бурильных труб в условиях Прикарпатья // Нефтяная и газовая промышленность. – Київ : Техніка. 1982. - №3 – С. 57. 2. Мочернюк Д.Б., Козаченко Н.И. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния материала в резьбовой части бурильных труб// Известия вузов. Нефть и газ. – 1979. - №2. – С. 15-19. 3. Карпаш О.М., Бажалук Я.М., Зінчак Я.М. та ін. Про один з підходів до контролю якості скручування різьбових з'єднань у трубах нафтового сортаменту. Міжнар. наук.-техн. збірн. „Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”. – Львів: Світ, 1992. - № 29. 4. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М. : Машиностроение. – 1981. – 108 с. 5. А.с. №1569696. Перетворювач для ультразвукової дефектоскопії // Зінчак Я., Карпаш О., Бажалук Я. та інші. – Бюл. „Открытия изобретения, промышленные образцы, товарные знаки”, №21, 1989. 6. О.Карпаш, П.Криничний, С.Крижанівський та інші. Неруйнівний контроль труб нафтового сортаменту. – Івано-Франківськ, :Факел, 2001. 380 с.