

ДОСВІД ІНСТИТУТУ ТРУБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ІМ. Я.Є. ОСАДИ З НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТРУБ

При ультразвуковому контролі якості циліндричних виробів (труб і прутків) виникають труднощі з введенням пучка променів ультразвукових хвиль у заданому напрямку. Для ультразвукових перетворювачів промисловість виготовляє переважно плоску п'єзокераміку. А у згаданих об'єктах контролю поверхня є циліндричною. Тому з усього пучка променів такого перетворювача на поверхню контролюємого виробу промені падають під потрібним кутом тільки вздовж вузької смужки. А більша частина променів на результат не працює, створюючи при цьому сигнали перешкод.

При контролі труб і прутків діаметром менше 100 мм переважно використовують іммерсійний варіант акустичного контакту. Згадану проблему вирішують фокусуванням пучка ультразвукових хвиль у лінію, яка паралельна до осі труби. При цьому відстань між трубою та перетворювачем вибирають таку, при якій фокус пучка ультразвукових хвиль знаходиться близько до осі труби (за умови, що труба заповнена водою та її стінка вільно пропускає звук).

Зазвичай для фокусування пучка променів, що випромінюються перетворювачем, використовують тонкі плоско-увігнуті лінзи з органічного скла. На жаль, цей спосіб не позбавлений недоліків. По-перше, лінзи рано чи пізно відшаровуються. По-друге, у лінзі залишається 40 % (за амплітудою) звукової енергії, через що в лінзі виникає ревербераційний шум із непередбачуваним його впливом на амплітуду ехо-сигналу, що реєструється від дефекту. Крім цього, при великому сортаменті труб, що контролюються, треба мати й великий набір перетворювачів з різними фокусними відстанями та частотами. Співробітники ДП «Науково-дослідний і проектно-технологічний інститут трубної промисловості ім. Я.Є. Осади» (м. Дніпро) у середині 90-х років минулого століття у своїх розробках позбулися перерахованих недоліків фокуруючих перетворювачів. Для цього лінзу замінили на рефлектор. На рис. 1 у двох проекціях наведено схему такого перетворювача, де: 1 – корпус перетворювача з п'єзоелектричною пластиною 2. У цьому корпусі є демпфер п'єзопластини, який зроблено із суміші епоксидної смоли з феровольфрамовим порошком. 3 – наскрізні отвори у цьому корпусі для кріплення двома гвинтами 5 до конусного рефлектора 4. На рис. 1 п'єзоелектричний перетворювач (ПЕП) знаходиться у вихідному положенні, коли акустична вісь 6 перетинається з віссю контрольованої труби 7. У такому положенні ПЕП-а амплітуда ехо-сигна-

лу від поверхні труби є найбільшою. За цією ознакою легко знайти і точно налаштувати (виставити) ПЕП у вихідне положення.

На рис. 1 позначено спрощений (прямокутний) п'єзоелемент з співвідношенням сторін від 1/4 до 1/6. Реально вертикальні краї цього елемента повинні мати таку ж кривизну, як у конусного рефлектора. Але в умовах виробництва труб виготовити п'єзоелемент такої форми не вдається. Практика показала, що і прямокутний п'єзоелемент з поставленим завданням успішно справляється.

Потрібну форму поверхні джерела, що випромінює, можна отримати за допомогою маски, накладеної поверх п'єзопластини. Це може бути мікропористий пінопласт завтовшки 1...2 мм. Площа п'єзопластини, що екранується, є паразитною ємністю, яка зменшує амплітуду ехо-сигналу від дефекту. Тому її площа має бути якомога меншою величиною (не більше 40 % від загальної площі п'єзоелемента). Рефлектор треба виготовляти з цілісного кругляка або товстостінної труби, діаметр якої у 2,5...4,0 рази більший за діаметр контрольованих труб. Кращий матеріал для рефлектора – латунь. Бронза не підходить, її крупнозернистість створює певний фон (при частоті ультразвуку 5 МГц і більше). На жаль, виготовлення рефлекторів не є рентабельним, використовуються лише один або два невеликі фрагменти з однієї заготовки. Але на спеціальних верстатах виготовлення рефлекторів може коштувати дешевше. Роздільне виготов-

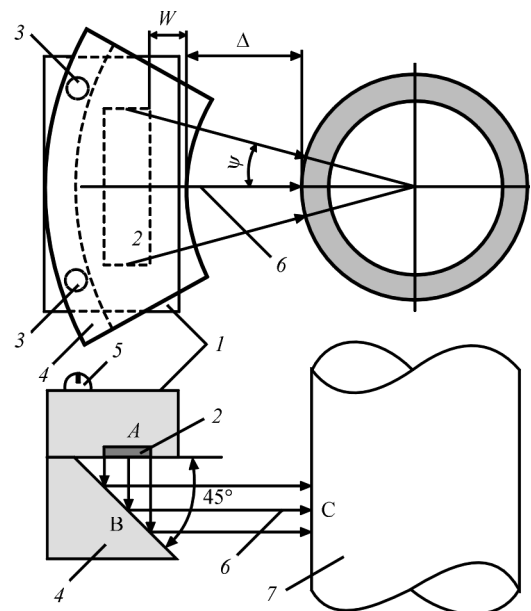


Рис 1. Схема акустичного вузла з конусним рефлектором, який знаходиться у вихідному положенні щодо труби, що контролюється

лення рефлекторів та перетворювачів дозволяє застосовувати різні комбінації одного рефлектора з перетворювачами різних частот та навпаки.

При контролі поверхня п'єзоелемента перебуває у контакті з водою. Якщо на контроль подаються погано вимиті труби після хімічної обробки, на п'єзокераміку слід наклеїти скотч, щоби зберегти срібне покриття. При цьому скотч збільшує і коефіцієнт проходження ультразвуку через цю межу.

Одним рефлектором можна контролювати труби, що відрізняються за діаметром у 2,0...2,5 рази. При контролі труби максимального діаметра відстань Δ (між краєм рефлектора та поверхнею труби) має бути не менше 10 мм. А відстань від цього ж краю рефлектора у зворотному напрямку W (до п'єзоелемента) має бути такою, при якій не реєструється ехо-сигнал від гострого краю рефлектора. При частоті ультразвуку 10 МГц ця відстань має бути щонайменше 3 мм. Для інших частот цю відстань треба визначати практично. А взагалі цей сигнал контролю не заважає. Його можна використовувати для вибору початку розгортки на екрані дефектоскопа.

Рефлектор фокусує пучок променів лише у площині поперечного перерізу труби. Налаштування механоакустичного вузла (МАВ) установки для контролю труб починають із пошуку вихідного положення, при якому вісь конусного рефлектора перетинається з віссю контрольованої труби (верхня проекція на рис. 1). При цьому положенні від поверхні труби виходить ехо-сигнал найбільшої амплітуди. З його допомогою налаштування МАВ-а виконується легко та з великою точністю. Для цього спочатку треба візуально зорієнтувати перетворювач так, щоби поверхня п'єзопластини A була спрямована перпендикулярно до осі труби (нижня проекція на рис. 1). Потім переміщенням перетворювача вгору/вниз треба знайти йому таке положення, при якому ехо-сигнал від поверхні труби виходить найбільшим. Після цього у цьому положенні треба уточнити попереднє налаштування (яке робилося на око), теж домагаючись максимальної амплітуди ехо-сигналу від труби. А закінчується попереднє налаштування МАВ-а суміщенням фокусу рефлектора з віссю контрольованої труби. Цю операцію найкраще виконувати за допомогою набору шаблонів потрібної довжини або двох-трьох шаблонів регульованої довжини. Шаблон може мати вигляд рейки чи стрижня. Узявши в руку такий шаблон, притискаємо один край до труби, а до іншого краю шаблону наближаємо гострий край рефлектора до упору з ним. Після цього положення ПЕП-а фіксуємо.

Використання запропонованих шаблонів не є обов'язковим. Вони можуть допомогти тільки

працівникам, які не мають досвіду налаштування МАВ-а. Справа в тому, що при переміщенні ПЕП-а зліва направо від поверхні труби формується ехо-сигнал з двома максимумами. Перший з них виникне тоді, коли фокус пучка ультразвукових хвиль буде на поверхні труби, а другий – від цієї ж поверхні, але тоді, коли уявний фокус пучка звукових хвиль поєднається з уявною віссю труби. А у проміжку між цими положеннями амплітуда ехо-сигналу змінюється слабо, через що не завжди вдається виконати точне налаштування. І тільки тоді, коли фокус уявного пучка променів опиняється за віссю труби, починається різке зниження амплітуди відбитого сигналу.

Менший радіус кривизни рефлектора є вихідним параметром для подальших розрахунків. Тому його значення бажано інструментом для креслення, а ще краще штампом нанести на вільну та доступну оку поверхню самого рефлектора. А його непрацюючі «ріжки», що виступають попереду, ближче до труби, бажано видалити.

Орієнтацію фронту хвилі abv , випромінюваної ПЕП-ом, щодо контрольованої труби показано на рис. 2. Щоб виявити в трубі дефекти поздовжньої орієнтації (тріщини), ПЕП разом із рефлектором треба змістити від вихідного положення вгору в напрямку перпендикуляра до акустичної осі перетворювача і контрольованої труби на величину Y (рис. 2). Цим зміщенням забезпечується потрібний кут падіння ультразвукових хвиль на поверхню труби. При контролі поперечними хвилями цей кут дорівнює $\beta = 16...17^\circ$. Згідно з рис. 2 $Y = R \cdot \sin \beta$.

На практиці величину цього зсуву обчислюють за спрощеною формулою $Y = D/7$, де D – діаметр контрольованої труби. На рис. 2 літерами abv позначений фронт однієї з хвиль, що формуються конусним рефлектором. Кривизна фронту є циліндричною. Цей фронт хвилі є ідеальним тільки у тому випадку, коли в об'єкт контролю треба вводити звук за нормаллю. А якщо в циліндричний об'єкт контролю треба вводити звук під певним кутом, фронт падаючих на об'єкт хвиль повинен мати вигляд евольвенти кола, центр якого збігається з центром об'єкта контролю, а його радіус

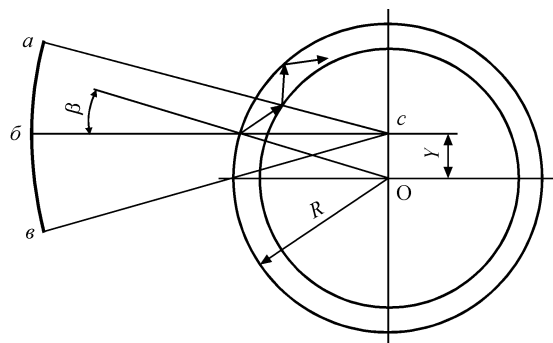


Рис. 2. Орієнтація фронту хвилі abv , випромінюваної ПЕП-ом, щодо контрольованої труби

r менший за радіус контрольованого об'єкта R (рис. 3, а). Справедливість цього явища впливає з суті самої евольвенти – це лінія, яку малює кінець розрізаного кола шляхом поступового спрямування лінії цього ж кола (або розмотування з натягом тонкої нитки, намотаної на трубу). Отже, лінія, що малюється, є завжди перпендикулярною до радіусу вже спрямованої частини цього кола, яка є дотичною до свого кола. Тому, якщо поверхня випромінювача хвиль матиме вигляд евольвенти, його промені ковзатимуть поверхнею свого кола, тобто падатимуть під кутом 90° . А на поверхню концентричного кола більшого діаметра вони падатимуть вже під гострим кутом. Згідно з рис. 3, а залежність між радіусом об'єкта контролю R , радіусом кола евольвенти r і кутом падіння β фронту хвилі на поверхню контрольованої труби виражається формулою [Загоруйко В.С. Авт. свид. СССР №201752, Бюлл. изобр., 1967, № 18]:

$$\sin \beta = r/R \quad (1)$$

Ці ідеальні умови для контролю труб складно реалізувати. Проблемою є евольвентна кривизна, яку виготовити не так просто. Але позитивним моментом є те, що довжина акустичних хвиль, які використовуються, усього лише на один порядок менша за розміри використовуваних об'єктів – труб, рефлекторів, п'єзопластин та інших елементів. Це дозволяє на обмеженій, але для нас прийнятній ділянці довжини евольвенти замінити її циліндричною поверхнею. На рис. 3, б показано, як невелике зміщення точки O' (на 0,1 довжини звукової хвилі) від кола O дозволяє вивести формулу для розрахунку допустимого кута розкриття ψ ПЕП-а, що використовується. З рис. 3, б наочно видно, що лінія кола, проведена з центру O' , у межах великої дуги розміром 2ψ практично співпадає з евольвентою. Приймаючи допустиму норму зазначеного відхилення циліндричного фронту хвилі від евольвентної не більше 0,1 частини довжини хвиль у рідині навколо труби, склали математичне рівняння для обчислення кута ψ . Воно вийшло трансцендентним, яке у радикалах не обчислюється. Але розклавши тригонометричну функцію у ступеневий ряд і обмежившись першими двома членами цього ряду, отримали формулу для обчислення приблизного значення граничного кута сходження ψ циліндричного фронту хвилі, що падає на поверхню контрольованої труби під одним і тим же кутом β :

$$\psi \leq \frac{2}{\sqrt[3]{Df \sin \beta}}, \quad (2)$$

де розмір кута ψ виражений у рад, діаметр труби D – у мм, частота ультразвуку f – у МГц, а кут падіння β акустичної осі ПЕП-а на поверхню труби – у градусах.

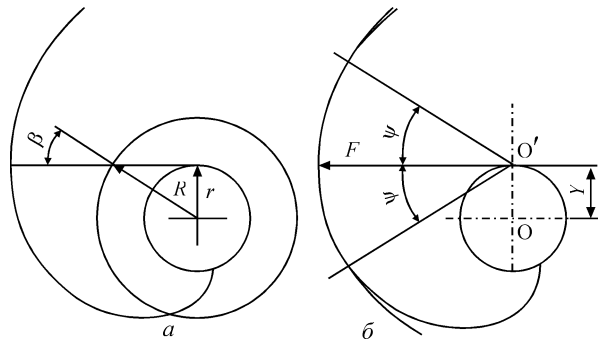


Рис. 3. Евольвента кола радіусом r (а), збіг цієї ж евольвенти з частиною кола з центром у точці O' (б)

Далі необхідно врахувати ще й інший розмір неприпустимого дефекту – його довжину вздовж труби. І тут виникає інша проблема. Норми на довжину та глибину контрольованого відбивача у стандартному зразку (СЗ) усі (як виробники, так і споживачі труб) вважають нормою і на довжину неприпустимого дефекту (хоча про це ніде і нічого не сказано). Через це у числовому вимірі довжина та глибина неприпустимого дефекту відрізняються у десятки разів. Тому при контролі труб визначити глибину, довжину та орієнтацію дефекту, маючи лише один аргумент – амплітуду ехо-сигналу, неможливо.

Для наочності та практичного застосування далі йтиметься про конкретну задачу. Розрахуємо параметри механоакустичного вузла для контролю шліфованих труб діаметром ≥ 6 мм і товщиною стінки ≥ 1 мм. У катаних трубах найнебезпечнішим дефектом є тріщина. Переважна кількість їх орієнтована вздовж труби з невеликим відхиленням на $1...2^\circ$. На щастя, тріщини виявляються надійніше за інші дефекти, але тільки у тому випадку, якщо їх глибина $\geq 1/3$ довжини поперечної хвилі, що використовується:

$$h/\lambda_t \geq 0,33, \quad (3)$$

де h – глибина тріщини; λ_t – довжина поперечної хвилі.

Формулу (3) отримано експериментальним шляхом. При глибині тріщин менше зазначеної крива залежності амплітуди ехо-сигналу $A = f(h/\lambda_t)$ швидко знижується, наближуючись до структурних шумів (див. рис. 6).

Виходячи з експериментальної залежності (3), визначаємо частоту ультразвукових хвиль контролю вибраних труб. У нормативних документах контролю труб ультразвуком вказано розміри штучних дефектів, за якими треба налаштовувати механічну частину установки контролю труб і чутливість дефектоскопа для виявлення неприпустимих дефектів. Штучні дефекти є поздовжніми канавками певної глибини, довжини і ширини. У переважній кількості нормативних документів глибина поздовжньої канавки дорівнює 10 % товщини стінки труби, але не більше за обумов-

лену величину. При цьому немає прямих вказівок на те, що розміри зазначених канавок є ще й нормою для розмірів дефектів, що виявляються. Але всі (як виробники, так і споживачі труб) розуміють ці розміри саме так. А дефектоскоп під час контролю генерує лише один головний параметр – амплітуду ехо-сигналу. По ній ще можна судити про глибину штучної канавки та реальної тріщини. Але для вимірювання довжини канавки та виявлення косих тріщин треба знаходити інші рішення. Через це дуже часто виникають конфлікти між споживачем і виробником труб. Для вирішення цих проблем ми вибрали наступний варіант контролю. Оскільки глибина і довжина тріщин вимірюються за взаємно перпендикулярними напрямками, з'являється можливість їх індивідуально розпізнавати та визначати розміри. Глибина тріщин у десятки разів менша за їх довжину. Щоб отримати від них потрібну амплітуду, треба за напрямком вертикалі до осі труби збільшити розмір п'єзоелемента, а пучок ультразвукових хвиль, що генерується рефлектором, сфокусувати на тріщині. А щоби виявлялися ще й косі тріщини, цей же пучок ультразвукових хвиль в іншому напрямку (вздовж труби) треба зменшити і цим розширити його діаграму спрямованості хвиль, що випромінюються в цій площині. Математична залежність між параметрами такого пристрою має вигляд [Ермолов И.Н. (1992) Контроль ультразвуком (краткий справочник). Москва, ЦНИИТМАШ]:

$$\Theta = \arcsin[n\lambda/a], \quad (4)$$

где Θ – кут розкриття основної пелюстки діаграми спрямованості випромінювача вздовж труби (2°); n – коефіцієнт, значення якого залежить від форми випромінювача та його діаграми спрямованості (у режимі ехо-сигналу на рівні 0,5 його значення дорівнює 0,26); λ – довжина хвилі у воді; a – радіус випромінювача, який у нашому випадку еквівалентний половині ширини перетворювача b у горизонтальній площині:

$$b = 2a = 2n\lambda/\sin 2^\circ = 2 \cdot 0,26 \cdot 0,15 / 0,035 = 2,2 \text{ мм.}$$

А щоби ехо-сигнал від тріщини підняти над рівнем шумів, розмір п'єзоелемента по вертикалі (поперек труби) треба збільшити у 3...6 разів за горизонтальний розмір. Запропонований діапазон значень коефіцієнта посилення ехо-сигналу K_ϕ обумовлений такими обставинами. При значенні цього коефіцієнта менше 2-х майже не помітно користі від рефлектора, а при його значенні більше 6-ти через бовтання труби під час контролю можуть з'являтися невиявлені неприпустимих дефектів. Оптимальне значення $K_\phi = 4 \pm 1$. Обчислюємо довжину п'єзопластини по вертикалі $a = 2,2 \cdot 4 = 9$ мм. Оскільки фокусувати пучок звукових хвиль можна лише у ближ-

ній зоні випромінювача (у нашому випадку відбивача), обчислимо межю ближньої зони нашого ПЕП-а. По вертикалі ближню зону треба вираховувати за формулою [Ермолов И.Н. (1981) Теория и практика ультразвукового контроля. Москва, Машиностроение]:

$$N_a = a^2/2\lambda = 9^2/(2 \cdot 0,15) = 270 \text{ мм.}$$

Результат цього розрахунку показує, що він у десятки разів більший за обраний. А це означає, що фокусування буде виконане бездоганно.

Аналогічним чином можна обчислювати розміри акустичного вузла і для наступного діапазону контрольованих труб діаметрами від 14 до 32...34 мм тощо.

Вирішивши проблему виявлення косих тріщин, ми позбавили себе можливості автоматично визначати довжину дефектів. Їхню довжину і раніше визначали сумнівно, а тепер тим більше. Цю проблему можна вирішити лише за допомогою електронних лічильників, здатних при обертанні труби вести облік дефектів, виявлених підряд (без пропусків) вздовж однієї і тієї ж утворюючої контрольованої труби (з відхиленням близько $\pm 20^\circ$). При цьому крок подачі труби за один оберт повинен бути в 2 рази менший від наступної величини – довжини канавки у СЗ мінус 2 мм, тобто ширини п'єзоелемента вздовж труби. Дефект вважається неприпустимим, якщо від нього лічильником буде зафіксовано два і більше ехо-сигнали, що реєструються поспіль без пропусків. Якщо після першого сигналу через один оберт труби другий ехо-сигнал не з'явився, значить, дефект коротше за допустимий, і лічильник обнулиться. Якщо в одному перерізі труби можуть бути дві і більше тріщини, зміщені по периметру, то стільки ж має бути і лічильників, які працюють по черзі. Априорі вважаємо, що двох лічильників достатньо. Якщо запропонованих лічильників немає, тоді після кожної зупинки трубопротяжного механізму (через виявлений дефект) трубу треба подати назад на чверть метра, повернути її вручну на пів оберта (долаючи тертя трубопротяжного механізму) і знову проконтролювати. Якщо дефект знову буде виявлений, то, швидше за все, він протяжний, і у цьому треба переконатися візуально на екрані дефектоскопа. У іншому випадку дефект допустимої довжини і контроль труби можна продовжувати.

Досі йшлося про контроль труб поперечними хвилями. Але труби з товщиною стінки менше одного міліметра, і особливо менше 0,5 мм, доводиться контролювати хвилями Лемба. Ці хвилі – результат дії резонансу, а товщина стінок у трубах може бути не стабільною як по довжині труби, так і по периметру. У результаті так само не стабільним вийде й результат контролю. Радикальне вирішення

цієї проблеми – збільшення частоти ультразвуку до 15...20 МГц. А за відсутності таких дефектоскопів доводиться користуватися тими, що є. При контролі труб хвилями Лемба налаштовувати акустичний вузол доводиться на на дотик, зміщуючи ПЕП вгору/вниз та ближче/далі від труби, до отримання прийняттого результату. При цьому діапазон зміщення ПЕП-а вгору збільшується до половини радіуса контрольованої труби (замість $D/7$).

Для кріплення та налаштування перетворювача з конусним рефлектором розроблено простий та зручний механоакустичний пристрій (МАП), який чудово працює вже другий десяток років на ТОВ «Дніпровський завод прецизійних труб» (Дніпропетровська обл.). Ескіз МАП-а представлено на рис. 4. За допомогою струбцини 2 весь механізм збору навішується на борт акустичної ванни 1 або на рамку (1 на рис. 5). Фіксується МАП у потрібному місці двома гвинтами 3. Таке кріплення дозволяє легко та швидко зняти з ванни весь механізм для спільної або роздільної заміни рефлектора та перетворювача. До цієї ж струбцини гвинтами прикріплено кронштейн 4, а до нього куток 11. Обидва вони призначені для фіксації осі 5. Діаметр верхньої частини цієї осі дорівнює 6 мм, а нижче знаходиться різьбова частина $M 10 \times 1$, після якої йде гладка частина осі діаметром 7,5 мм, а на самому кінці – коротка частина діаметром 4 мм. Точити цю вісь треба на токарному верстаті з одного встановлення (кріплення). Порушення цієї вимоги призведе до «виляння» ПЕП-а при налаштуванні акустичного вузла.

Кронштейн 4 і куточок 11 виконані так, щоб вісь 5 весь час була у притиснутому стані (без люфту у вертикальному напрямку). У верхній частині осі є отвір $\varnothing 1$ мм для шпильки, яка вставляється після складання всього механізму і злегка пригинається, щоб не випадала. Ця шпилька призначена для обертання осі 5 за допомогою зйомного коловорота при налаштуванні МАП-а. До складу механізму входить ще одна важлива деталь – платформа 6. У верхній її частині є різьбовий отвір для осі. Крок цього різьблення обу-

мовлює товщину платформи (не менше 1,5 мм). Ширина платформи по горизонталі має бути не менше 50 мм, а довжина різьбової частини осі 5 залежить від сортаменту контрольованих труб. Різьблення на осі 5 призначене для переміщення платформи, а з нею і перетворювача, на потрібну величину. Довжина різьбової частини осі дорівнює $1/7$ частини діаметра найбільшої труби плюс 20 % запасу. А якщо треба буде контролювати труби хвилями Лемба, то зміщення перетворювача збільшиться до $1/4$ частини діаметра контрольованої труби. Крок різьблення величиною 1 мм на налаштувальній осі 5 обраний не випадково. Оскільки вимірювання величини зміщення акустичної осі перетворювача від вихідного положення до робочого ведеться у мм, то перемістити перетворювач на необхідну величину за допомогою різьбового гвинта з кроком 1 мм можна без будь-яких шкал і з великою точністю. Для цього треба надіти на гвинт коловорот з прорізом для шпильки і обертати його, відраховуючи потрібну кількість обертів, у тому числі і його десяти частки. Після налаштування коловорот з осі треба зняти, щоб випадково його ніхто не зачепив. Платформа 6 у запропонованому механізмі змінює орієнтацію перетворювача ще й у горизонтальній площині. Для цього у платформі є підпружинений шток 12 і опорний гвинт 7. Повертаючи цей гвинт в один чи інший бік, ми досягаємо максимальної амплітуди ехо-сигналу від поверхні С3 або контрольованої труби. У вихідному положенні перетворювача цим гвинтом ми виставляємо його акустичну вісь перпендикулярно до осі труби.

У запропонованому механізмі пружина розміщена якнайдалі від агресивної води. Але надійно врятувати її цим не вдається. Тому періодично пружину треба змащувати солідолом. Без цієї процедури міжвитковий простір засмічується іржею і пружина перестав працювати. Подовжувач 8 на рис. 4, а показаний тільки контуром, а на рис. 4, б показані ще й прикріплені до подовжувача рефлектор 9 і перетворювач 10.

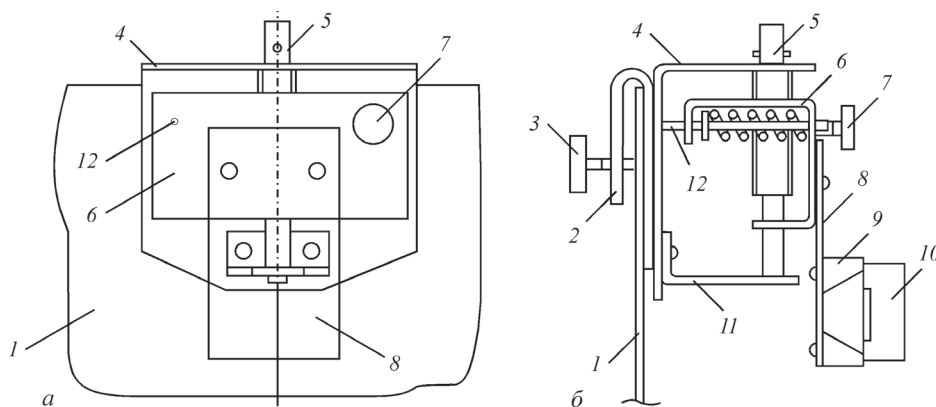


Рис. 4. Схема механізму для кріплення та орієнтації рефлекторного перетворювача: а – вид зверху; б – вид збоку

На рис. 5 наведено схему автономної механоакустичної рами (каретки) 1 з двома МАП-ми. У цій рамці є дві призми 7, які власною вагою рамки спираються на контрольовану трубу. Щоби під час контролю рамка не проверталася, передбачено стаціонарний стопорний гвинт 9. Для цього гвинта у рамці вздовж труби є щілина завдовжки 15...20 мм. Пересуваючи рукою рамку вздовж труби, можна швидко знайти в ній дефектну ділянку.

Для контролю труб з різних боків використовуються два МАП-и, які кріпляться до поперечних бортів рамки або ванни з різних боків. Переміщенням МАП-ів ближче до труби або від неї здійснюється суміщення його фокусу з віссю труби. Так як при ослабленому кріпленні струбици порушується орієнтація МАП-у, переміщати його треба дискретно, спочатку через 3...5 мм з надійною фіксацією та підналаштуванням орієнтації перетворювача у горизонтальній та вертикальній площині, добиваючись щоразу максимальної амплітуди ехо-сигналу від відбивача у стандартному зразку. А для точного нала-

штування зміщувати МАП треба з дискретністю 1...2 мм. Довжину ванни вздовж труби можна зменшити до такої величини, коли акустична вісь правого перетворювача буде нижча за ліву (рис. 5). Виставляти акустичні осі перетворювачів на одній лінії привабливо, але не бажано, щоб не мати неприємностей із впливом сигналу від одного дефектоскопа або каналу на інший. Як герметизувати імерсійну ванну та як стабілізувати трубу, що обертається під час контролю, кожен конструктор може вирішити самостійно. Ми ж давно відмовилися від будь-яких точених деталей: втулок, шайб, прокладок тощо, а використовуємо призми, опори та інші пристрої, положення яких у міру зносу можна коригувати та надалі використовувати.

Протікання води усуваємо великими листами вакуумної гуми, які з обох боків ванни шайбами (призначеними для максимального діаметра контрольованих труб) притискаємо до стінки ванни з внутрішньої сторони. А з зовнішнього боку ванни V-подібними призмами з капроліту стабілізуємо труби. Розташування призми регульоване, що дозволяє однією призмою, у міру її зношування, стабілізувати труби від малого до найбільшого розміру. Так само експлуатуються і гумові шайби для утримання води у ванні.

Наведемо результати контролю труби 16×1,5 мм. На зовнішній поверхні цієї труби є поздовжній U-подібний паз змінної глибини, ширина якого 0,3 мм, а глибина на довжині 200 мм плавно змінюється від 0 до 0,5 мм. Для побудови залежності амплітуди ехо-сигналу від глибини пазу амплітуди сигналів вимірювалися за шкалою на екрані дефектоскопа. Нижче наведено результати контролю зазначеної труби двома ПЕП-ми для різних частот: 5 МГц (рис. 6, а) і 10 МГц (рис. 6, б).

На рис. 6 глибина пазу представлена у двох вимірах: абсолютному (у мм) та відносному (до довжини поперечної хвилі, якою ведеться контроль). На графіках чітко видно, що по глибині пазу, тріщини та інших подібних дефектів амплітуди ехо-сигналів від них швидко знижуються, не доз-

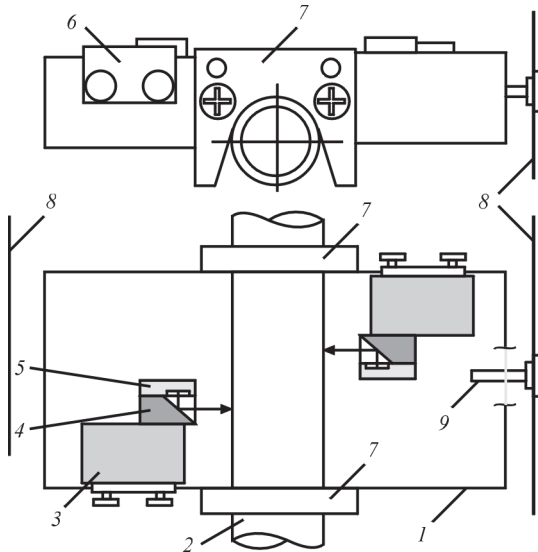


Рис 5. Схема рамки з двома МАП-ми в акустичній ванні: 1 – рама для підвішування блоків; 2 – труба, що контролюється; 3 – контрольючий блок; 4 – рефлектор; 5 – МАП; 6 – струбцина; 7 – ярмо; 8 – стінка ванни з водою; 9 – важіль для пошуку виявленого дефекту

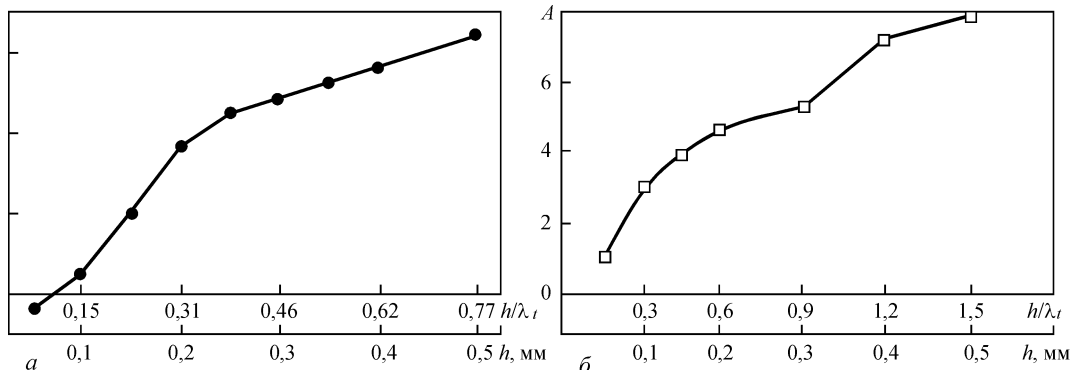


Рис. 6. Залежності амплітуди ехо-сигналу від пазу з глибиною, що плавно змінюється

воляючи перебракувати продукцію, що є дуже важливим.

Конусний рефлектор можна використовувати і для виявлення в трубах поперечних дефектів. Вигляд цього рефлектора та його кутові розміри $\gamma = 45^\circ - \beta/2$ наведено на рис. 7.

Налаштування перетворювача треба вести у тій площині, де знаходиться і вісь труби. У цьому положенні ведеться і контроль труб, тобто без зміщення перетворювача вгору/вниз. Для полегшення налаштування перетворювача у СЗ треба виготовити допоміжний поперечний паз по всьому периметру труби. Глибина його може бути в 1,5...2,0 рази більша за нормативну. А налаштувати чутливість дефектоскопа та перевіряти її в динамічному режимі треба за нормативним від-

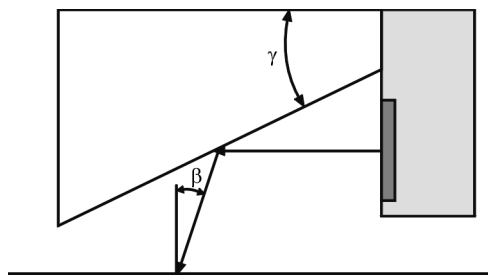


Рис. 7. Конусний рефлектор

бивачем. Ці відбивачі на СЗ повинні бути рознесені так, щоби можна було об'єктивно виконати перевірку налаштування установки у динамічному режимі.

Таким чином, при контролі труб пропонується використовувати дугоподібні ПЕП-и необхідних розмірів і частот.

В.С. Загорюлько

ДП «Науково-дослідний і проектно-технологічний інститут трубної промисловості ім. Я.Є. Осади» (м. Дніпро)

ПЕРЕДПЛАТА 2023

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.			
	місяць	квартал	півроку	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 12 випусків на рік. ISSN 0005-111X. Передплатний індекс 70031.	280	840	1680	3360
«Сучасна електрометалургія», видається з 1985 р., 4 випуски на рік. ISSN 2415-8445. Передплатний індекс 70693.	–	280	560	1120
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 0235-3474. Передплатний індекс 74475.	–	280	560	1120
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X. Передплатний індекс 21971.	560	1680	3360	6720

*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою банделероллю.

** Журнал «The Paton Welding Journal» містить статті, отримані від авторів з усього світу і вибірково переклади на англійську мову статей з журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електрометалургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль».

Передплату на журнали можна оформити по каталогам передплатних агентств «УКРПОШТА», «Преса», «Прес Центр», «АС Медіа» та у видавництві. Передплата через видавництво з любого місяця на любой термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.

Передплата на електронну версію журналів.

Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.

Передплата через сайт видавництва:

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription>
 На сайті видавництва у 2022 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2020 рр.

ВИДАВНИЦТВО

Міжнародна Асоціація «Зварювання»
 03150, Київ, вул. Казимира Малевича, 11
 Тел./факс: 38044 205-23-90
 E-mail: journal@paton.kiev.ua
<https://patonpublishinghouse.com>

