

13. **Тангаев А.И.** Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 211 с.

14. **Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с.

Рукопис подано до редакції 18.03.13

УДК 621.74: 669.131.7

В.В. ЛУНЬОВ, докт. техн. наук, проф.

ДВНЗ «Запорізький національний технічний університет»

А.С. АМЕЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., В.В. ВАСИЛЬЄВ, магістр

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ВИЛИВОК З ВИСОКОМІЩНОГО ЧАВУНУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ СЛУЖБОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Виконано дослідження серійних чавунних виливків для теплоенергетичного господарства типу «фітинг» із ВЧ-45 та ВЧ-45 легованого молібденом та сурьмою, обрано оптимальні методики для їх ультразвукового обстеження, зроблено висновки що до відмінності у властивостях та особливостях проникнення ультразвукових хвиль.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Виробництво теплоенергетичного устаткування є важливим економічним і екологічним завданням. Це визначає актуальність завдання підвищення надійності і довговічності роботи і коефіцієнта корисної дії енергетичного устаткування, у тому числі і теплообмінників, фітингів та ін.. Надійність і економічність роботи цих агрегатів визначається працездатністю радіаторів - вузлів, що працюють в умовах підвищених тисків і в агресивному середовищі.

Теплообмінники підрозділяються на промислові і побутові. Випуск побутових радіаторів уперше був налагоджений ще в 40-х роках на Московському чавуноливарному заводі ім. Войкова (Росія)[1]. Були створені різні типи радіаторів, розроблені технології їх виробництва.

Особливі вимоги при литті радіаторів та фітингів пред'являються до металу виливка. Сплав повинен володіти:

- міцністю;
- зносостійкістю;
- корозійною стійкістю;
- герметичністю.

Такими матеріалами зазвичай служать сталь, чавун і деякі кольорові сплави. Проте, висока вартість сталі і кольорових сплавів, а також низькі ливарні властивості цих сплавів обмежують широке їх застосування в якості матеріалу для виливків гідросистем і теплоенергетичного устаткування. Найбільш широке застосування при виготовленні фітингів отримав чавун, як дешевший, доступніший і хороший ливарний матеріал [2]. Однією з основних вимог, що пред'являються до чавуну, є його герметичність.

З метою вивчення герметичності чавунів багатьма дослідниками були проведені ряд дослідів, які проливають світло на природу герметичності чавунів. Герметичність визначають різними способами: мінімальною товщиною стінки, що витримує заданий тиск, максимальним тиском до появи течії, витратою рідини і газу через стінку певної товщини при постійному тиску, тому неможливо зіставити результати окремих дослідників.

Так, наприклад, Г. Тамман і Г. Брейдемейер запропонували метод визначення пористості чавуну фарбувальними речовинами.

У США застосовується електропневматичний метод випробування на герметичність. Швидкість витоку стислого повітря з порожнини виливка контролюється електричними датчиками. Метод придатний для перевірки різних за об'ємом зразків при різних тисках і дозволяє якісно оцінити герметичність, автоматизувати процес випробування і автоматично сортувати виливки по герметичності.

Герметомер, створений в Санкт-Петербурзькому політехнічному інституті (Росія), заснований на визначенні кількості газу, що просочився через стінку зразка за певний час. Герметичність визначають з досить високою точністю. Недолік - низька продуктивність і необхідність

виготовлення спеціальних зразків.

На підприємствах, що випускають гідравлічну апаратуру і устаткування, випробування на герметичність проводять на спеціальних стендах. До робочої порожнини виробу впродовж певного часу під тиском підводиться робоча рідина. За величиною втрати тиску визначається герметичність робочої порожнини.

В Одеському політехнічному університеті проводилися дослідження герметичності сірих чавунів, піддаючи зразок, вирізаний з вилівка, односторонньому тиску рідини (газу). Результати випробування чавунів різного складу ілюструють вплив графітової і усадкової пористості на характер фільтрації рідини. Аналіз показує, що кількість рідини, що просочилася, і, отже, величина герметичності, що визначилася при цьому, залежать від пористості в сплаві, а також від властивостей металевої основи.

В умовах ПрАТ «КЗГО» з високоміцного чавуну постійно виготовляють фітинги для систем енергорозподілення теплоносіїв, а також для власних потреб при ремонтах пневмотранспортних систем перекачування піску вакуумом, але відсоток браку при цьому складає до 30%, отже є усі передумови для проведення ультразвукових досліджень структури серійних чавунних виливок, до теперішнього часу ультразвукові обстеження проводилися лише на сталевих виливках, з метою детального дослідження видів дефектів спираючись на досвід колег було прийнято рішення провести обстеження типових чавунних виливок.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Використовувати ультразвук для контролю металевих дефектів вперше запропонував радянський вчений С.Я. Соколов. Перші роботи з ультразвукового структурного аналізу чавуну в нашій країні належать Химченко Н.В., Циглеру Р. і Герстнеру Р., Бивирту Г.

Ультразвукова дефектоскопія чавуну розвивалася складним шляхом. В 1950-х роках, коли бурхливо розроблялися основні закони й методики ультразвукового контролю сталі, чавун був визнаний недефектоскопічним через велике загасання ультразвуку в ньому, і як об'єктом контролю ним практично не займалися. Дійсно, у сірого чавуну низьких марок, такого як СЧ-10 і нижче, коефіцієнт загасання ультразвуку в кілька разів перевищував його значення для сталі, але для СЧ-20 і більш високих марок чавуну істотних перешкод для дефектоскопії не існувало.

Спочатку була звернута увага на зв'язок форми графітних включень зі швидкістю поздовжньої хвилі ультразвуку, відомо, що модуль Юнга чавуну з кулястим графітом більш ніж у два рази перевищує модуль Юнга чавуну із пластинчастим графітом [2]. Швидкість поздовжньої хвилі ультразвуку  $V_l$  як величина, прямопропорційно залежна від модуля Юнга, також змінюється зі зміною форми графіту. Крива, що описує вплив форми графіту на величину  $V_l$ , вона надалі тиражується в багатьох роботах [2,3]. Вид залежності незмінний, але крива може зміщуватися по осі  $V_l$  при зміні структури металевої основи, розміру графітних вкладень або ступеня евтектичності.

Для опису форми графітних включень звичайно обчислюють відсоток вмісту кулястого графіту. Якщо чомусь цей метод не підходить, можна скористатися шкалами форми графіту, наведеними в ДСТ 3443-87. Пропонується оцінювати форму графіту відношенням площі включень до їхнього обсягу. Морфологічний коефіцієнт, запропонований для опису форми графіту, враховує, крім геометричного опису ще й частоту появи графітних включень певної форми. Яким чином не була описана форма графіту, вплив її на величину швидкості поздовжньої хвилі ультразвуку незмінний, [2].

Фізично ефект зниження  $V_l$  у чавуні із пластинчастим графітом можна пояснити зміною фази хвилі при її багаторазових відбиттях усередині графітних включень, якщо змоделювати графітні включення мікротріщинами. Поява мікротріщин викликає додаткове акустичне загасання, обумовлене частковим відбиттям звукової енергії від межі тріщина-середовище, що справедливо також для пластівок графіту. Досліджено вплив об'ємної частки сферичних і еліпсоїдних пор у металі на  $V_l$ . Відповідно теорії множинного хвильового розсіювання за допомогою досить складних математичних обчислень було доведено, що  $V_l$  знижується зі зменшенням об'ємної частки несучільностей, і що  $V_l$  для зразка зі сферичними порами, більше, ніж для еліпсоїдних. Результати обчислень підтверджені експериментальними даними, отриманими на зразках. Робота може служити математичним обґрунтуванням впливу кількості й розміру кулястого й вермикулярного графіту на  $V_l$  [2].

При застосуванні ультразвукового контролю форми графітних включень для промисловос-

ті потрібно визначити величину  $V_l$ , що відповідає прикордонному значенню кулястої й вермикулярної форм графіту. Для різних товщин і технологій величина прикордонної  $V_l$  коливається від 5,10 км/с (товстостінні виливки) до 5,26 км/с і до 5,50 км/с, [2,3].

Запропоновано використовувати для визначення форми графіту таку відому акустичну характеристику, як відхилення сигнал-перешкода. Для виміру цієї характеристики потрібен тільки перший донний сигнал, вона мало залежить від товщини виливки. Відношення сигнал-перешкода залежить від трьох акустичних параметрів матеріалу:  $V_l$ , коефіцієнта розсіювання ультразвуку й тривалості ультразвукового імпульсу.

На дефектоскопічність чавунних виливків впливають кілька факторів, але в першу чергу – структура. Дефектоскопія виливків з кулястим графітом більш ефективна ніж із пластинчастим.

Чималоважливий вплив на дефектоскопічність виливка має шорсткість контактної поверхні. Звичайно дефектоскопії піддають виливки які пройшли обрубку й піскоструминну обробку. Якщо виливок виготовлений із застосуванням кокілю, то в більшості випадків поверхня його настільки гладка й рівна, що не вимагає механічної обробки.

При литті в піщані форми поверхня виходить грубіше й, якщо її шорсткість більше чим  $Rz$  40, то для контактного способу контролю необхідна механічна обробка, тому що вірогідність контролю при збільшенні шорсткості різко падає.

Введення ультразвукових коливань у виливок здійснюють контактним або імерсійним способами. При імерсійному засобі введення коливань здійснюють через шар води. Цей засіб використовують під час лабораторних випробуваннях або під час автоматичного контролю серійної продукції. Контактним засобом коливання вводять через тонкий шар мастила, використовують під час ручного контролю. Для чавунних виливків в якості контактної мастила застосовують в'язку рідину типу вазелін або солідол. Пошук дефектів ведуть шляхом послідовного переміщення перетворювача щодо поверхні виливка, досліджуючи в такий засіб весь контрольований обсяг [3].

Для виявлення координат дефектів типу внутрішньої пористості, у якості ідеального розсіювача й поглинача звукової хвилі, найбільше підходить дзеркально-тіньовий метод ультразвукової дефектоскопії. Суть його полягає у тому, що на початку визначають величину амплітуди донного сигналу (відбитого від площини, паралельної поверхні введення ультразвукового сигналу) на бездефектній ділянці виливка. Потім, якщо при переміщенні перетворювача по контактній поверхні виливка, з'являється зменшення амплітуди донного сигналу  $\geq 6$  дБ, фіксується координата центру перетворювача, що й позначає границю передбачуваного дефекту, [4].

Для оцінки чутливості ехо-методу дефектоскопії, тобто виявлення дефекту по відбиттю сигналу від нього, необхідно провести попередньо експеримент на еталонному зразку зі штучними відбивачами. Якщо дзеркально-тіньовий метод можна застосувати для виявлення дефектів типу пористості, тоді ехо-метод можна застосувати для дефектів, що володіють здатністю відбивати звукову хвилю – це пори, раковини, тріщини.

Дефектоскопія поверхневих дефектів чавунного лиття зводиться до визначення глибини проникнення дефекту всередину виливка. Якщо дефект досить глибокий, то його знаходять дзеркально-тіньовим методом. Якщо ж глибина поверхневого дефекту не перевищує 10-15 мм і потрібна висока точність контролю, то дзеркально-тіньовий метод не підходить. У цьому випадку може виявитися інформативним метод поверхневих хвиль.

Ливарям важливо знати, потрапив підповерхневий дефект у зону припуску, чи ні, тобто максимумно точно визначити глибину його залягання. Для цієї мети найбільше підходить ехо-метод дефектоскопії, що дозволяє по положенню відбитого від дефекту імпульсу на екрані дефектоскопа оцінити глибину залягання відбивача [4].

**Постановка завдання.** У зв'язку з тим, що відсоток браку при виготовленні виливок типу «фітинг» є дуже високим, що впливає на збільшення собівартості, а також у зв'язку із проведенням досліджень із легуванням високоміцного чавуну молібденом та сурмою та вплив цих компонентів на структуру є невивченим було вирішено провести ряд досліджень в умовах ПрАТ «КЗГО» на чавунних виливках серійного виробництва з високоміцного ВЧ-45 та ВЧ-5 легованого молібденом та сурмою.

Метою дослідження є доведення ефективності ультразвукового контролю чавунних виливок при серійному виробництві з метою підвищення ефективності неруйнівного контролю та зменшення витрат при його застосуванні замінюючи застарілі, неефективні та енергоємні мето-

ди неруйнівного контролю.

**Викладення матеріалу та результати.** Для виявлення дефектів типу внутрішньої пористості, у якості розсіювача й поглинача звукової хвилі, використовували дзеркально-тінювий метод ультразвукової дефектоскопії, через наявність у технічному арсеналі ПрАТ «КЗГО» відповідного устаткування. Суть методу полягає у тому, що спочатку визначають величину амплітуди донного сигналу на бездефектній ділянці виливка, а потім, якщо при переміщенні перетворювача по контактній поверхні виливка, з'являється зменшення амплітуди донного сигналу то фіксується координата центру перетворювача, що й позначає границю передбачуваного дефекту.

Приклад виміру координат пористості. Контролювалася виливка типу «фітинг», виготовленої на заводі ПрАТ "КЗГО", Кривий Ріг, із чавуну з кулястим графітом марки ВЧ-45. Виміри проводилися по чистій литій поверхні.

Критерій 5 дБ виявився застосовним тільки для перетворювача діаметром 50 мм. Для досліджень були обрані 5-ть серійних виливок зі спеціально виконаним попередньо прорізом у одному й тому ж місці, що імітує край дефекту. Перетворювач пересували щодо краю пропила й вимірювали амплітуду донного сигналу, що відповідає певному положенню центру перетворювача. Виміри проводилися на литій контактній (Rz 160) поверхні й по обробленій Rz 40 та Rz 20.

Для оцінки чутливості ехо-методу дефектоскопії, тобто виявлення дефекту по відбиттю сигналу від нього, проводився попередньо експеримент на еталонному зразку зі штучними відбивачами, для отримання середньостатистичних показників.

Моделлю дефекту типу одиничної пори може служити штучний проріз циліндричної форми. На виливку типу «фітинг» з контрольованого чавуну ВЧ-45 та ВЧ-45 легованого сурмою та молібденом, проводилося вимірювання відбитого сигнал від торців прорізів циліндричної форми діаметром 2, 3, 4, 6 мм на глибині 10, 15, 30 мм. Виміри велися прямим сполученням перетворювачем діаметром 10 мм і частотою 1,2 МГц по литій поверхні. За результатами вимірів побудовані АРД-діаграми, які дозволяють, знаючи амплітуду відбитого від дефекту сигналу й відстань до дефекту від поверхні уведення, визначити еквівалентний діаметр дефекту. Слід відзначити, що проникнення ультразвукових хвиль у ВЧ-45 легованому легованому сурмою та молібденом є суттєво кращим і відрізняється від звичайного ВЧ-45, що свідчить про більш щільну та міцну структуру.

При дефектоскопії великої серії однотипних виливків можлива часткова або повна автоматизація процесу, а також побудова АРД-діаграм з мінімальною похибкою.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Неоднорідність структури матеріалу. Наявність крупнозернистості структури, мікроскопічно неоднорідної фізико-хімічної системи викликає сильне розсіювання ультразвукових, послабляє корисний сигнал.

У наш час ультразвукова дефектоскопія чавунних виливків широко застосовується за кордоном. Створюються автоматичні установки для контролю пористості й різних видів дефектів чавунних виливків. У нашій країні дефектоскопія чавуну майже не проводиться, через відсутність надійних методик контролю, відсутності фінансування у цій сфері, та зниження темпів виробництва чавунних виливок за сучасними ливарними технологіями.

Ультразвуковий контроль структури чавуну може дати змогу зменшити кількість недоліків металографічного методу, однак його застосування стримується тим, що акустичні характеристики залежать від технологічних особливостей одержання чавуну, його хімічного складу, конфігурації виливка та ін., тому для конкретного виду чавуну, відлитого на конкретному заводі, необхідно розробляти свою методику. Ультразвуковий метод найбільш ефективний при контролі структури чавунних виливків великих партій при стабільній технології лиття.

Можливо, підвищення вимог до якості виливків послужить поштовхом до рішення проблеми.

### *Список літератури*

1. Основы современной энергетики. Под ред. **Е.В. Аметистова**, 2004, с. 38 - 42
2. Отопление и тепловые сети. Учебник. **Ю.М. Варфоломеев, О.Я. Кокорин**, 2006, с. 54
3. **Разумов-Раздолов К. Л.** Неразрушающий контроль в промышленности // «РИТМ» (Ремонт Инновации Технологии Модернизация). – 2010. - №9. с. 36 - 39.
4. **Л.В. Воронкова** Ультразвуковой контроль чугуновых отливок. – М.: 1998.

Рукопис подано до редакції 23.03.13