
Високоєфективні технологічні процеси в приладобудуванні

УДК 620.192.63

ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ З КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ, КЕРАМІКИ ТА ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ*Бабченко О. В., Румбешта В. О., Зарубієва Ю. С.**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",
м. Київ, Україна*

Запропоновано ефективний акустичний метод контролю виробів з композитних матеріалів, кераміки, пружних елементів. Цей метод контролю базується на пристрої, який являє собою пристрій генерації акустичного сигналу та систему прийому, обробки й аналізу акустичних сигналів-відгуків. Обробка отриманого сигналу надає змогу чітко визначити наявність дефектів у контрольованому об'єкті за шістьма параметрами. Також розглянуто основні характеристики та переваги цього методу. Запропоновано новий метод автоматизованого неруйнівного контролю якості, оскільки час прийому та обробка сигналу, завдяки сучасній комп'ютерній техніці, може обмежуватися декількома секундами. Тому автоматизацію даного методу акустичного контролю можна впроваджувати на автоматизованих виробничих лініях.

Ключові слова: *ефективний метод, акустичний контроль, композитні матеріали, пружини, кераміка.*

Вступ. Постановка проблеми

У час активного розвитку нанотехнологій гостро постає питання ефективного контролю виготовлених деталей на наявність внутрішніх макродефектів кристалічної структури матеріалу (включення, неоднорідність речовини, пори, тріщини). Такі дефекти суттєво впливають на міцнісні та пружні характеристики деталей, що призводить до зменшення робочого ресурсу та передчасного руйнування деталі, чи погіршенню точності роботи вузла чи приладу в цілому, в яких використовуються дефектні деталі.

Наразі відзначається бурхливий розвиток методів і засобів неруйнівного контролю матеріалів і виробів. Переважно це прилади, що реалізують метод контролю з використанням контактної рідини. У той же час були визначені області, в яких застосування контактних методів контролю недостатньо ефективно. Це контроль виробів із забрудненою поверхнею без спеціальної зачистки, дефектоскопія гарячих і холодних виробів, високошвидкісний контроль, дефектоскопія з низькими експлуатаційними витратами тощо. Тому в останні роки спостерігається інтенсифікація досліджень і розробок у напрямку створення засобів оцінки якості виробів безконтактними способами.

Існує безліч методів неруйнівного контролю, серед яких можна виділити такі види контролю як акустичний, ультразвуковий, магнітний, рентгеноконтроль, вібраційний, за допомогою вихрових токів, тепловий тощо. Але всі вони в даний час потребують певного часу на проведення вимірювань, та майже не мають автоматизації процесу контролю в техніці.

Отже постає питання щодо створення нового більш ефективного механопружного акустичного методу неруйнівного контролю деталей, який би легко піддавався автоматизації та вилучив людину з процесу контролю, що суттєво

зменшив похибку виміру, пов'язану з людським чинником.

Постановка задачі дослідження

На сьогодні спостерігається широке використання композитних матеріалів у приладобудуванні (ПБ). Отже, постає питання щодо підвищення якості контролю таких деталей. Найважливішими особливостями композитних матеріалів є твердість і міцність матеріалу, що на пряму залежить від щільності прилягання їх кристалічних решіток. До контролю таких властивостей необхідні нові підходи, які дозволяють дати оцінку щільності по всьому об'єму контрольованої деталі.

Певне значення у сучасному ПБ мають пружні елементи – пружини, мембрани, сильфони, де велике значення мають забезпечення високоточних характеристик пружності даних деталей. Контроль їх пружності (чи жорсткості) у даний час здійснюється за допомогою механічних систем реєстрації величини пружної деформації при певних механічних навантаженнях. Такий метод потребує великої трудомісткості та не забезпечує необхідної точності виміру, він потребує складних та малоефективних вимірювальних комплексів. Через це часто при виготовленні великих партій таких виробів робиться тільки вибірко-вий контроль, що не забезпечує додержання заданих характеристик для всієї партії.

Наразі існують певні методи неруйнівного акустичного контролю, за допомогою яких можна контролювати дефекти в композитних, керамічних та пружних деталях. Серед всіх інших слід виділити такі методи як акустико-емісійний метод [1], котрий полягає у випромінюванні пружних хвиль матеріалом контрольованого об'єкту в наслідок внутрішньої динамічної локальної перебудови його структури. Такі явища, як виникнення і розвиток тріщин, перетворення кристалічної структури, рух скупчень дислокацій, – є найбільш характерними джерелами акустичної емісії. Перетворювачі, що контактують з контрольованим об'єктом, приймають пружні хвилі і дозволяють встановити наявність джерела емісії, а при обробці сигналів, що проходять від декількох перетворювачів – також розташування джерела.

Ехометод [1] заснований на реєстрації ехосигналів від дефектів. На екрані індикатора зазвичай спостерігають надісланий імпульс, відбитий від протилежної поверхні контрольованого об'єкту імпульс і ехосигнал від дефекту. Час приходу цих імпульсів пропорційний глибині розміщення дефекту і товщині контрольованого об'єкту.

Імпедансний метод [1] істотно відрізняється від розглянутих вище методів. Він заснований на аналізі зміни механічного або вхідного акустичного імпедансу ділянки поверхні контрольованого об'єкту, з яким взаємодіє перетворювач. У низькочастотному методі імпедансу перетворювачем є стрижень, що коливається, притиснутий до поверхні контрольованого об'єкту. Появу підповерхневого дефекту у вигляді розшарування зменшує механічний імпеданс контрольованого об'єкту, робить розташовану над дефектом ділянку поверхні гнучкішою,

в ньому легше збуджуються огинаючі коливання. У результаті змінюється режим коливань стрижня, зокрема, зменшується механічна напруга на приймальному елементі 4, що служить ознакою дефекту.

Недоліками зазначених методів є неможливість контролю щільності прилягання кристалічних ґраток в об'ємі контрольованого об'єкту, а саме цей показник є вирішальним у формуванні якісних характеристик деталі.

За основу для створення запропонованого методу контролю було взято механо-пружний акустичний метод, так як він дає змогу перевіряти найширший спектр матеріалів, і є абсолютно безпечним, на відміну від рентгенівського контролю. Він базується на новому методі неруйнівного контролю – механо-пружному акустичному контролі, який оснований на реєстрації виникаючої акустичної емісії у масі контрольованого об'єкту при його пружному деформуванні. При цьому виникає взаємне переміщення елементів кристалічних ґраток на атомному рівні, перерозподіл навантажень на їх зв'язках, що супроводжується так званим «тертям кристалів». Звичайно це призводить до виникнення акустичного фону, величина якого визначається і величиною навантаження, і величиною щільності, жорсткості, пружності контрольованого матеріалу.

У порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю [2] такий метод має важливі переваги: високу чутливість до найбільш небезпечних дефектів типу тріщин і включень, можливість контролю щільності речовини, велику продуктивність, можливість вести контроль безпосередньо на робочих місцях без порушення технологічного процесу, низькою вартістю контролю, та можливістю автоматизації.

Акустичні механо-пружні методи контролю дозволяють отримати інформацію про дефекти, розташовані на значній глибині в виробах зі композитних, керамічних, чи металевих матеріалів. Ще одною важливою характеристикою такого контролю є те, що він легко піддається автоматизації, і завдяки великій продуктивності суттєво зменшує час контролю та дозволяє отримати об'єктивну картину якості виробу, у вигляді томографії.

Принцип запропонованого методу контролю

Для вирішення виникаючих проблем нами було запропоновано новий, більш ефективний метод контролю якості деталей виготовлених методом спікання порошків (металевих або керамічних), або пружних деталей (типу пружини, мембрани, сильфони). Даний метод контролю [3] базується на пристрої, який являє собою пристрій генерації акустичного сигналу та систему прийому, обробки та аналізу акустичних сигналів-відгуків.

Пристрій генерації акустичного сигналу необхідний для формування акустичної емісії у масі об'єкту контролю. Він збуджує внутрішні міжкристалічні рухи, які випромінюють акустичні хвилі. У якості системи прийому акустичних сигналів було взято п'єзоелектронний датчик, що фіксує акустичні хвилі-відгуки. Після чого отриманий сигнал посилюється, відфільтровується від сторонніх шумів, та направляється до центрального процесора, який аналізує

отриманий сигнал і робить висновок щодо виду дефекту в контрольованому об'єкті.

Такий метод забезпечує однакові умови задавання контрольованого сигналу акустичної емісії одного енергетичного рівня, який виникає в об'єкті контролю при кожній процедурі перевірки якості, що підвищує точність інформації. Якість деталі визначається характеристиками отриманого контрольованого сигналу-відгуку. Цей сигнал характеризується наступними якісними показниками:

- ✓ чіткість форми сплеску сигналу;
- ✓ підвищення швидкості його проходжень через об'єкт;
- ✓ різний час згасання сигналу;
- ✓ кути зростання та спаду сигналу.

За такими показниками можна зробити припущення щодо щільності кристалічної структури маси контрольованого об'єкту, наявності в його об'ємі таких макродефектів, як тріщини, пори та включення.

Принцип роботи установки ґрунтується на ударному збудженні в контрольованому об'єкті власних загасаючих коливань і вимірі часу, амплітуди акустичних коливань, збуджених ударом, та різні умови згасання сигналу. Схематичний вигляд установки зображено на рис. 1.

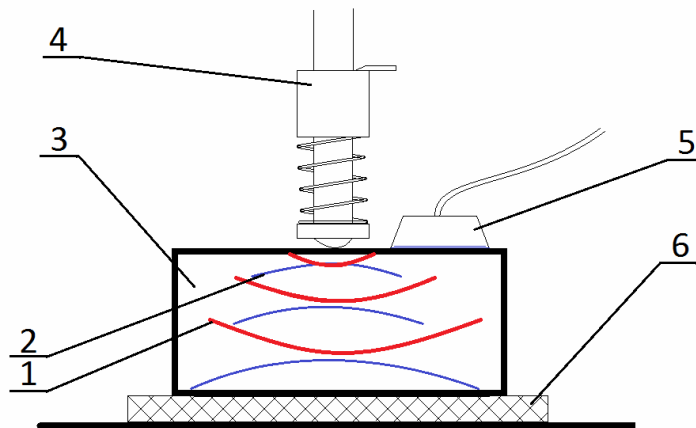


Рис. 1. Схема установки: 1 – збуджуюча акустична хвиля, викликана пружним ударом; 2 – акустична хвиля-відгук; 3 – контрольований об'єкт; 4 – ударний пристрій; 5 – пристрій прийому акустичного сигналу-відгуку; 6 – акустично невідна підкладка

Зразок кладеться горизонтально на акустично невідну підкладку. Збудження коливань відбувається пружним ударом по центральній частині зразка за допомогою зовнішнього акустичного збудника імпульсу у вигляді ударного інструмента. При цьому в об'ємі зразку будуть збуджуватись горизонтальні протифазні коливання з частотою власних коливань самого зразка, акустичний сигнал відгуку якого буде надходити до п'єзоелектронного приймача як ехо-сигнал. Така схема збудження і прийому коливань дозволяє звести до мінімуму вплив зовнішніх чинників на процес вимірювання. Мікропроцесорний блок

здійснює автоматичне керування процесом вимірювання та обробку результатів відповідно до відомих залежностей. Прийняті сигнали отримують в такому випадку у вигляді сплесків чіткої форми. Підвищення швидкості його проходження через зразок і його згасання на значних кутах, зростання і спад сигналу, характеризує щільність структури контрольованого об'єкту, відсутність у ньому інших дефектів, що свідчить про якісні характеристики деталі.

Приклад таких сигналів показано на рис. 2.

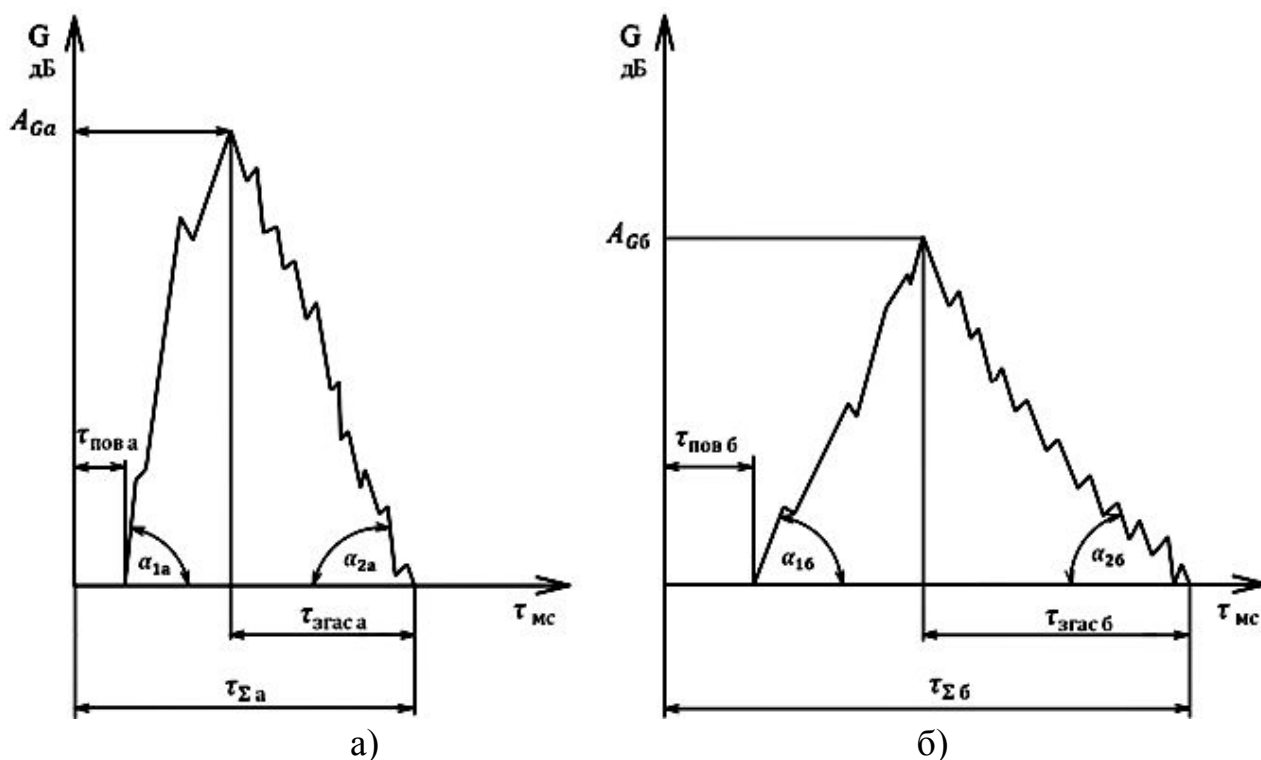


Рис. 2. Спектрограми сигналів відгуків для а) бездефектного зразку; б) зразку з дефектами

Обробка результатів здійснюється за такими показниками:

1. Швидкість проходження акустичної емісії, як час повертання сигналу – $\tau_{\text{пов}}$.
2. Амплітуда сплеску A_G – як потужність акустичного сигналу.
3. Кут сплеску акустичного сигналу – α_1 .
4. Кут згасання акустичного сигналу – α_2 .
5. Час згасання акустичної хвилі – $\tau_{\text{згас}}$.
6. Загальний час проходження акустичної хвилі донизу і уверх, як час проведення процедури вимірювання – τ_{Σ} .

При порівнянні сигналів якісного і дефектного зразків, для них справедливі такі вирази :

$$\begin{aligned} \checkmark \tau_{\text{пов а}} < \tau_{\text{пов б}}; & \quad A_{Gа} > A_{Gб}; & \quad \alpha_{1а} > \alpha_{1б}; \\ \checkmark \alpha_{2а} > \alpha_{2б}; & \quad \tau_{\text{згас а}} < \tau_{\text{згас б}}; & \quad \tau_{\Sigma а} < \tau_{\Sigma б}. \end{aligned}$$

У переважній більшості випадків контроль вихідних матеріалів і готової продукції проводиться за спеціально виготовленими зразками - еталонами. Найбільш відповідальним є контроль пружних і міцнісних характеристик спікаємих виробів, який здійснюваний методами статичного механічного навантаження зразків із записом діаграми навантаження і руйнівного зусилля. Це відбирає багато часу, потребує кваліфікованих фахівців, та оскільки контроль проводиться тільки за відібраною партією зразків, не може забезпечити перевірку всієї партії виробленої продукції [4]. Істотне зниження трудомісткості контролю пружних елементів типу пружини, мембрани, сільфони, може бути досягнуто заміною статичних випробувань на динамічні з вимірюванням динамічних модулів пружності і подальшим їхнім аналізом на наявність дефектів.

Запропонований метод контролю легко піддається автоматизації, позаяк час прийому та обробка сигналу, завдяки сучасній комп'ютерній техніці, може обмежуватися декількома секундами. А встановлення такої установки на автоматизовану лінію дає стовідсотковий контроль виготовленої продукції.

Висновки

У результаті проведення досліджень було запропоновано більш ефективний механо-пружний акустичний метод, який дозволяє контролювати деталі, виготовлені за технологією композитних матеріалів, кераміки, пружних елементів, які широко використовуються в сучасному приладобудуванні. За допомогою такого методу можна контролювати щільність структури контрольованої деталі, що напряду впливає на якість та надійність виготовлених деталей.

Подальші дослідження стосуються математичного підґрунтя даного методу, проектування та створення автоматизованої системи контролю, яка за допомогою мікропроцесорів та створених алгоритмів робила би висновки щодо якості контрольованих деталей.

Література

1. Сухоруков В. В. Неразрушающий контроль. Акустические методы контроля. – М.: Высшая школа, 1991. – 287 с.
2. Румбешта В. О. Сучасні методи контролю порошково спікаємих виробів / В. О. Румбешта, О. В. Бабченко, І. А. Ткаченко // Вісник Київського Національного Університету Технологій та Дизайну. - 2011. – 168 с.
3. Babchenko O. Quality Control Method For Powder Melted Tool Plates. XIII International PhD Workshop OWD 2011. Polish-Japanese Institute of Information Technology, Warsaw 2011. – 523 p.
4. Румбешта В. А. Гибкие производственные системы: Методические указания к изучению курсов «Интегрированные системы оптического производства» и «Автоматика и автоматизация производства» / В. А. Румбешта, И. В. Максимчук. – Киев, КПИ, «Укрвузполиграф», 1990. – 48 с.

*Надійшла до редакції
25 квітня 2012 року*

© Бабченко О. В., Румбешта В. О., Зарубієва Ю. С., 2012