

Joanna WILCZARSKA

e-mail: asiulazol@utp.edu.pl

Zakład Pojazdów i Diagnostyki, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

## Zastosowanie metod ultradźwiękowych w procesie regeneracji części maszyn

### Wstęp

Szerokie zastosowanie metod badań nieniszczących wynika zarówno z potrzeby diagnozowania maszyn, utrzymania bezpieczeństwa, jak i niezawodności oraz gotowości technicznej na wymaganym poziomie. Niewątpliwą zaletą, która promuje badania metodami ultradźwiękowymi jest prostota i bezpieczeństwo oraz na ogół niskie koszty przeprowadzanych badań. Wymienione cechy zdają się przeważać na korzyść badań nieniszczących, a w szczególności metod ultradźwiękowych [Deputat i in., 2007].

Zastosowanie metod ultradźwiękowych pozwala na wykrywanie wad, ich selekcję, ocenę oraz rejestrację, archiwizację i pomiar własności materiału [Deputat i in., 2011].

Istnieje potrzeba stosowania metod ultradźwiękowych w procesie wykrywania wad materiałowych, a zwłaszcza stosowania ich w procesie regeneracji części maszyn.

Celem pracy jest wskazanie ogólnych zasad przeprowadzania badań ultradźwiękowych, opisanie stosowanych metod oraz przedstawienie możliwości cyfrowego ultradźwiękowego defektoskopu CUD.

### Zasady prowadzenia badań metodami ultradźwiękowymi

W badaniach defektoskopowych metodami ultradźwiękowymi wykorzystuje się zjawiska rozchodzenia się fal mechanicznych, ich odbicia i załamania na granicy różnych ośrodków, dyfrakcji oraz interferencji. Według Lewińskiej-Romickiej [2001] zjawiska te stosowane są w:

- defektoskopii różnych obiektów,
- pomiarach grubości obiektów,
- mikrodefektoskopii materiałów,
- mikroskopii ultradźwiękowej,
- emisji akustycznej, badaniu właściwości (własności) materiałów, np. w badaniu własności mechanicznych ciał stałych,
- badaniu stanu materiałów, np. w pomiarze naprężeń,
- badaniu złóż geologicznych,
- analizie właściwości i określaniu poziomu płynów,
- pomiarach natężenia przepływu cieczy,
- diagnostyce i terapii medycznej.

Zastosowanie metod ultradźwiękowych, oprócz pomiaru wielkości geometrycznych, umożliwia również rozpoznanie [Lewińska-Romicka, 2001]:

- wewnętrznych nieciągłości obiektów,
- mikropęknięć powierzchniowych i podpowierzchniowych,
- ubytków korozyjnych,
- pęcherzy gazowych,
- wtrąceń niemetalicznych,
- zmian struktury materiału,
- niedoskonałości kryształów w postaci dyslokacji,
- stałych sprężystości materiału,
- wytrzymałości, twardości, wymiaru ziarna.

- Prowadzenie badań obiektów metodą ultradźwiękową polega na:
- wprowadzeniu do obiektów fal ultradźwiękowych (fal sprężystych), czyli drgań mechanicznych o częstotliwościach wyższych od 20 kHz, a badanie polega na przesuwaniu głowicy po powierzchni obiektu (skanowanie),
  - detekcji sygnałów, spowodowanych przez fale po przejściu przez obiekt.

### Metody badań ultradźwiękowych

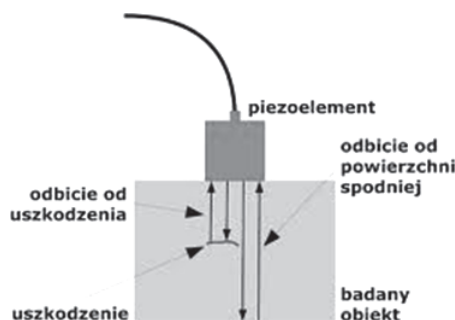
Badanie metodami ultradźwiękowymi pozwala na kontrolę obiektów otrzymywanych głównie w wyniku procesów walcowania, odlewania,

kucia oraz przeciągania. Obiekty do badań mogą być wykonane ze stali ferrytycznych, austenitycznych oraz niklu i stopów niklu, stopów ołowiu, miedzi i jej stopów, cynku, cyrkonu, aluminium, wolframu, tytanu, tantal, metali spiekanych, niemetalu jak np. materiałów kompozytowych, tworzyw ceramicznych, w tym porcelany technicznej i ceramiki ogniotrwałej oraz drewna, tworzyw sztucznych, szkła, gumy, betonu.

Metody ultradźwiękowe znajdują zastosowanie również w badaniach połączeń – głównie złączy spawanych stali ferrytycznych, połączeń klejonych, nitowanych, lutowanych. Jedną z największych zalet metody ultradźwiękowej jest jej przydatność w ocenie dużych gabarytowo obiektów, np. prętów, rur.

### Metoda echa

Metoda echa (Rys. 1) jest metodą najczęściej stosowaną. Stosowanie tej metody pozwala na dostęp tylko do jednej powierzchni obiektu, z której prowadzi się skanowanie. Polega ona na odbiciu fal od powierzchni obiektów i od nieciągłości obiektów.



Rys. 1. Badanie elementu metodą echa [Śliwiński, 1993]

Wada materiałowa jest obszarem o akustycznej oporności falowej różniącej się od akustycznej oporności falowej badanego ośrodka. Jeżeli w badanym ośrodku następuje zjawisko odbicia fal, to oznacza występowanie nieciągłości. Aby zlokalizować i zwymiarować wadę materiałową znajdującą się w ośrodku wykorzystuje się echo nieciągłości. Pojawia się ono między impulsem początkowym, stanowiącym zobrazowanie sygnału, wzbudzającym przetwornik ultradźwiękowy do drgań a echem dna obiektu. Położenie dna obiektu wzdłuż wyskalowanej podstawy czasu defektoskopu zawiera informację o odległości nieciągłości od powierzchni przesuwu głowicy.

Zakresem obserwacji nazywa się zakres, w którym jest wyskalowana podstawa czasu defektoskopów ultradźwiękowych. Znajomość czasu przejścia fali ultradźwiękowej oraz prędkości danego rodzaju fali dźwiękowej w badanym materiale pozwala na zlokalizowanie nieciągłości. Droga fal ultradźwiękowych  $l$  opisana jest zależnością [Lewińska-Romicka, 2001]:

$$l = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

gdzie:

$c$  – prędkość danego rodzaju fali ultradźwiękowej, w określonym materiale, [m/s] lub [mm/μs],

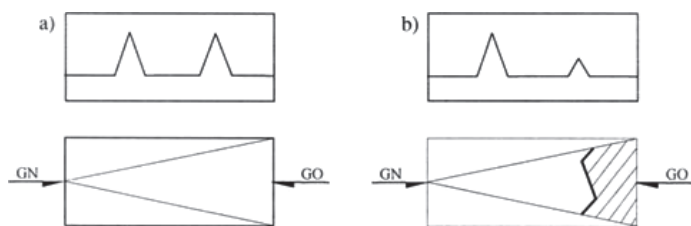
$t$  – czas przejścia fali ultradźwiękowej, [s] lub [μs].

Liczba 2 w mianowniku informuje, że droga fali w badaniach metodą echa jest dwukrotnie większa od odległości reflektorów od głowicy.

### Metoda przepuszczania (metoda cienia)

Podczas badania metodą przepuszczania (Rys. 2), dwie oddzielne głowice umieszczone są naprzeciwko siebie, na przeciwnych powierzchniach obiektu. Jedna jest głowicą nadawczą, druga pełni rolę głowicy odbiorczej. Sygnał obserwowany na ekranie, stanowi impuls

fali, która przechodzi przez obiekt. Jeżeli na drodze fali znajduje się nieciągłość, rejestrowany impuls ma mniejszą amplitudę, niż gdy nieciągłość nie występuje. Nieciągłość w obiekcie badanym osłabia energię fali przechodzącej od głowicy nadawczej do głowicy odbiorczej. Położenie i wymiary nieciągłości względem głowic świadczą o osłabieniu fali (wiązki fal).



Rys. 2. Schemat badania metodą przepuszczania: a) element bez wad, b) w elemencie istnieje wada [Jazdon i Przybyliński, 1999]

W metodzie przepuszczania analiza amplitudy impulsu przechodzącego oraz pomiar szerokości tego impulsu pozwala na ocenę wymiarów nieciągłości. Wadą tej metody jest konieczność jej dwustronnego dostępu do badanego obiektu, oraz konieczność umieszczenia głowic naprzeciwko siebie. Ta konieczność wymaga stosowania specjalnych uchwytów, oraz kwalifikuje metodę cienia przede wszystkim do badań zautomatyzowanych [Jazdon i Przybyliński, 1999].

W badaniach metodą cienia wymagane jest, aby na całej drodze wiązka miała jednakowy przekrój, umożliwi to jednakowy wpływ wad o podobnych wielkościach, znajdujących się na drodze wiązki w różnych odległościach od przetwornika odbiorczego. Spełnione może to być tylko wtedy, gdy tzw. pole bliskie przetwornika będzie rozciągać się na całą grubość prześwietlanego materiału.

#### Metoda rezonansu

Metoda rezonansu polega na wytworzeniu w badanym materiale fali stojącej i obserwacji występowania maksimum amplitudy tej fali. Fala stojąca powstaje w wyniku interferencji fal padających i odbitych, gdy grubość badanego elementu jest całkowitą wielokrotnością połowy długości fali. Rozróżnić można dwie odmiany rezonansu:

- metodę rezonansu fali ciągłej,
- metodę rezonansu impulsowego.

Zakres grubości, jaki można mierzyć tą metodą, zawiera się w granicach od około 0,1 do kilkudziesięciu milimetrów, a dokładność pomiarów od 0,1 do 3%, w zależności od rodzaju aparatury.

### Cyfrowy ultradźwiękowy defektoskop CUD

Cyfrowy ultradźwiękowy defektoskop CUD (Rys. 3) służy do wykonywania badań ultradźwiękowych materiałów i urządzeń, a także do badania szczelności. Konstrukcja tego defektoskopu w technice cyfrowej jest w dużym stopniu zintegrowana ze współczesnymi komputerami.

Urządzenie umożliwia [Michnowski, 2014]:

- badanie spoin cienkich 2÷8 mm,
- badanie cienkich spoin ze stali austenitycznej,
- badanie spoin pachwinowych,
- badanie według dowolnych specjalistycznych procedur.

Defektoskop CUD wyposażony jest w skaner i mapę wykrytych wad. Charakteryzuje się zautomatyzowaną podstawą czasu. Posiada katalog głowic ultradźwiękowych oraz katalog badanych materiałów. Ma możliwość archiwizowania wyników badań oraz zapamiętania dużej liczby nastawień np. do pomiarów grubości, badania spoin itd.

Głowice ultradźwiękowe są elementami służącymi do wprowadzania fal ultradźwiękowych do obiektów oraz do odbioru fal powracających.



Rys. 4. Głowice ultradźwiękowe [Michnowski, 2014]

Wśród głowic można wyróżnić m.in. [Michnowski, 2014]:

- pojedyncze (normalne),
- podwójne,
- skośne (kątowe),
- do skanera.

**Głowice pojedyncze** posiadają jeden przetwornik ultradźwiękowy, który w przypadku stosowania metody echa jest jednocześnie nadajnikiem oraz odbiornikiem fal ultradźwiękowych.

W badaniach metodą przepuszczania, przy zastosowaniu dwóch pojedynczych głowic, jedna głowica z pojedynczym przetwornikiem pełni rolę źródła a druga głowica stanowi odbiornik emitowanych fal ultradźwiękowych.

**Głowice podwójne** posiadają dwa przetworniki ultradźwiękowe. W przypadku badań metodą echa jeden przetwornik stanowi źródło fal ultradźwiękowych, a drugi pełni rolę odbiornika [Śliwiński, 1993]. Na rys. 4 pokazano dostępne na rynku głowice ultradźwiękowe.

**Głowice kątowe** mają bardzo rozległy zakres stosowania. Służą do badań metali, ceramiki, tworzyw syntetycznych, kompozytów i innych materiałów. Przykładowe użycie głowic to badania spoin, badania odkuwek i elementów walcowych, badania osi i wałów, itd.

**Głowice do skanera** posiadają dwa przetworniki: jeden badawczy oraz drugi, który jest odbiornikiem fali powierzchniowej. Defektoskop CUD może za pomocą tych głowic wyznaczać mapy wad (sonogramy), co jest unikalną cechą tego urządzenia.

### Porównanie zalet i wad przedstawionych metod – wnioski

- **Metoda echa** ma dużą czułość, co jest najważniejszą jej zaletą i pozwala na wykrywanie bardzo małych wad w dużych obiektach. Często zdarza się, że do badania obiektu dostęp jest tylko jednostronny, dlatego ta metoda jest jedyną, która można zastosować.
- **Metoda cienia** wykorzystywana jest głównie do badania obiektów wykonanych z materiałów silnie tłumiących fale ultradźwiękowe, przy których nie sprawdza się metoda echa oraz do wykrywania nieciągłości położonych tuż pod powierzchnią obiektu. Natomiast wadą tej metody jest konieczność dwustronnego dostępu do badanego obiektu oraz konieczność umieszczenia głowic naprzeciwko siebie. Wymaga to stosowania specjalnych uchwytów oraz kwalifikuje metodę cienia przede wszystkim do badań zautomatyzowanych [Jazdon i Przybyliński, 1999].
- **Metoda rezonansu** znalazła zastosowanie w defektoskopii do wykrywania rozwarstwień, braku przyczepności w różnych połączeniach (lutowanych, klejonych itp.), a także zmian grubości w wyniku, np. zużycia ciernego lub korozji.

#### LITERATURA

- Deputat J., Mackiewicz S., Szelażek J., 2007. *Problemy i techniki nieniszczących badań materiałów. Wybrane wykłady*. Biuro Gamma Bogusław Osuchowski, Warszawa
- Deputat J., Mackiewicz S., Szelażek J., 2011. *Ultradźwiękowe badania materiałów w pytaniach i odpowiedziach*. Biuro Gamma Bogusław Osuchowski, Warszawa
- Jazdon A., Przybyliński B., 1999. *Technologia napraw maszyn i pojazdów. Przewodnik do ćwiczeń laboratoryjnych*. Wyd. ATR, Bydgoszcz
- Lewińska-Romicka A., 2001 *Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii*. WNT, Warszawa
- Śliwiński A., 1993. *Ultradźwięki i ich zastosowania*. WNT, Warszawa
- Michnowski W., 2014. *Instrukcja obsługi defektoskopu CUD*. Zakład Badań Materiałów ULTRA, Wrocław.