

초음파 스펙트럼분석에 의한 동전형 결함 탐상

A Evaluation of Penny-Shaped Flaw by Analyzing a Ultrasonic spectrum

김 홍 기*, 전 계 석**

(Heung-Ki Kim, Kye-Suk Jun)

요 약

본 논문에서는 고체내부에 존재하는 결함의 에지(edge)에서 회절되는 반사신호의 스펙트럼을 해석하여 결함의 크기를 결정하는 방법을 연구하였다.

실험을 위하여 순도 99.99[%]의 알루미늄 재료를 샘플로서 선택하고 표면에서 20[mm] 깊이에 반경 3500[μm], 높이 1000[μm]의 동전형 결함을 제작하였다. 결함의 탐상은 피치-캐치법으로 하였으며, 스펙트럼분석에 의한 결함의 기존의 펄스 반사법에 의한 측정값과 비교하였다.

Abstract

In this paper, the technique that determined the size of flaw existing in solid material by analyzing the spectrum of the diffracted signal signal from the edge of flaw has been studied.

In this experiment, an aluminum(purity 99.99[%]) has been chosen as a sample and the penny-shaped flaw with radius of 3500[μm] and height of 1000[μm] has been fabricated in depth of 20[mm] from its surface.

The flaw has been detected using the pitch-catch method. Its size has been evaluated by the spectrum analysis and compared with the measured values from the conventional pulse echo method.

I. 서 론

고체재료의 표면이나 내부에 존재하는 결함의 크기, 형태, 방향 등을 정량적으로 측정하여 평가하는 방법은 비파괴검사분야에 있어서 매우 중요한 기술이다.^{1,2)}

초음파 현미경은 고체내부에 존재하는 결함의 형태를 영상으로 나타낼수 있으나 그 크기를 양적으로 정확하게 산출하기에는 고도의 기술이 필요하며

³⁾ 펄스 반사법에 의한 결함 크기의 결정은 재료나 시스템 구성요소의 특성, 음향 감쇠, 음향 임피던스 등에 의해 커다란 영향을 받기때문에 이러한 방법을 통해 결함의 크기를 예측하는데는 많은 어려움이 있다.⁴⁾

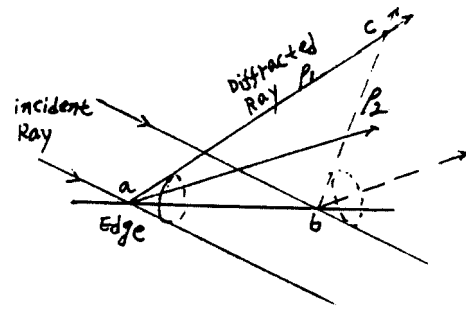
본 논문에서는 초음파 현미경이나 기존의 펄스 반사법을 이용한 결함에 나쁜 영향을 주는 재료나 구성요소의 특성, 음향감쇠, 음향 임피던스 등과는 무관한 주파수 스펙트럼 분석법으로서 초음파가 결함부분에 사각입사할때 결함의 에지에서 회절되는 반사파의 주파수 스펙트럼을 정량적으로 분석을 하여^{5,6,7)} 동전형 결함의 크기를 보다 정밀하고 간편

* 경희대학교 전자공학과 박사과정

** 경희대학교 전자공학과 교수

하게 산출하는 방법을 연구하였다.

본 실험에서는 중심주파수 500[KHz]인 EMAT (Electro Magnetic-Acoustic Transducer) 변환기를 사용하여 비접촉간격 0.1[mm]에서 알루미늄 내부에 존재하는 반경 3500[μm], 높이 1000[μm]의 동전형 결함을 피치-캐치법에 의해 측정하며 결함의 크기는 스펙트럼 분석기를 이용하여 정량적으로 산출한다. 이 산출된 결함의 크기는 중심주파수 5 [MHz]의 구면형 변환기를 사용하는 펄스 반사법에 의하여 측정된 값과 비교분석된다.

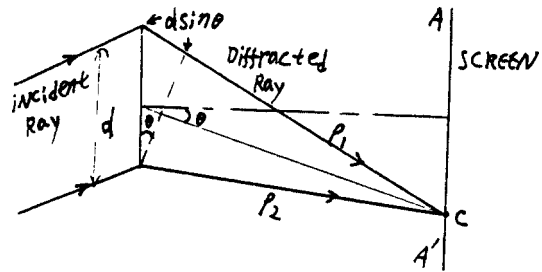


(a) 초음파의 입사와 회절

II. 주파수 스펙트럼 해석에 의한 결함 탐상

1) 동전형 결함에서의 회절과 결함의 크기

초음파 신호(ray)가 그림 1-(a)와 같이 가장자리 a, b 부분에 입사하면 콘(cone) 모양의 회절이 발생되며 c점에서는 가장자리 a, b에서 회절된 두개의 초음파가 간섭을 일으켜서 두개의 초음파의 위상이 같으면 보강간섭(constructive interference)이 되고 위상이 반대이면 소멸간섭(destructive interference)이 된다.



(b) 간섭에 의한 초음파의 세기

그림 1. 에지에서의 회절신호
Fig. 1. The diffracted ray from an edge

그림 1-(b)는 그림 1-(a)의 회절간섭에 의한 초음파의 세기(초음파진폭의 제곱에 비례)를 설명하기 위한것으로서 ρ_1, ρ_2 는 두개의 회절된 파가 c점까지 도달한 거리로서 $|\rho_1 - \rho_2| = d \sin \theta$ 이라고 할때 $d \sin \theta = n\lambda$ (λ : 파장, $n=1, 2, 3, \dots$)인 경우에 초음파의 세기는 최대가 되고 $d \sin \theta = (n+1/2)\lambda$ 일때 초음파의 세기는 0이 된다. 그림 2는 파장의 변화에 의한 초음파의 세기를 보여준다.

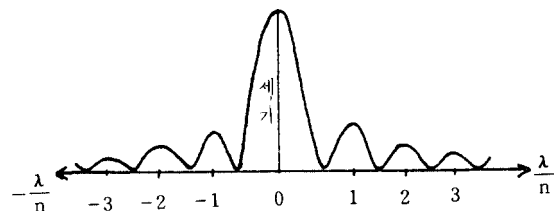


그림 2. 파장에 따른 초음파의 세기
Fig. 2. Ultrasonic wave intensity with wavelength

그림 1과 같이 c점에서 회절 간섭된 신호를 주파수 스펙트럼 분포를 통하여 스펙트럼 분포의 첨두와 첨두사이의 간격을 구하므로써 결함의 크기를 산출할 수 있다.

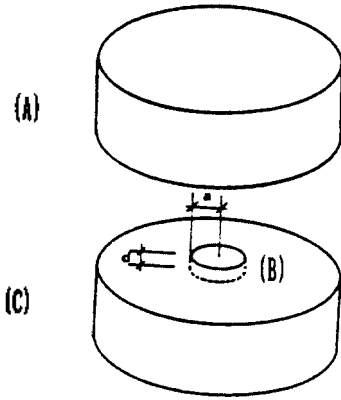
III. 실험 및 고찰

3-1. 실험

핑파 발생용 EMAT의 구조는 문헌[11]의 내용과 같이 N개의 영구자석과 나선형의 코일로 구성되어 있으며 입사각 $\theta=45^\circ$, 빔폭 $\phi=41^\circ$, 중심 주파수

$f_0=500$ [KHz]인 횡파 성분을 얻기 위하여 자속밀도 $B=3000$ [Gauss]인 NdFe인 자석($5 \times 5 \times 10$ [mm]) 4개를 사용하였으며, 동자기장에 사용된 재료는 동의 순도는 99.9[%]이고, $\phi=0.2$ [mm]인 에나멜 코일로써 타원형으로 32번 감았다.

샘플은 그림 3과 같이 중심을 절단한 후 길이를 무시할 수 있을 정도(100 μm)의 동전형 결함을 Endmill 을 이용하여 만들었다. 한편 접합부분의 수평오차를 5/1000까지 한 다음 재료에 고열을 가하고 금속접착제(solder < Zn : 90%, Sn : 10% >)를



a : 반경 d : 길이

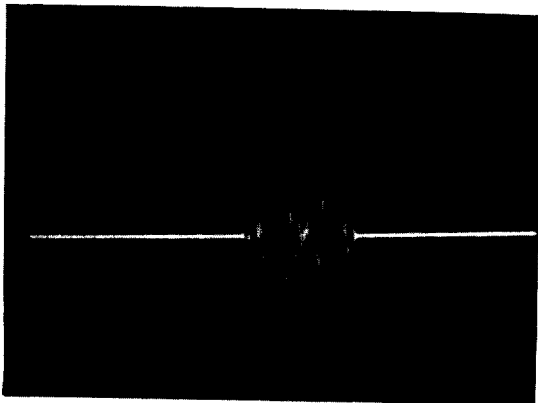
그림 3. 샘플 모형
Fig. 3. A model of the sample

바른다음 (A)과 (C)을 결합시켜 Press로 압착하여 정착시켰다.

3-2. 결과 및 고찰

그림 4는 샘플에 초음파를 입사시켰을때 동전형 결함의 에이지에서 회절간섭된 다중반사파를 time-gate 하여 분리한 한개의 반사신호이고 그림 5는 그림 4에 대한 주파수 스펙트럼분포이다.

그림 5에 나타난 바와 같이 3개의 큰 스펙트럼 분포와 좌우로 좁고 peak가 적은 2개의 스펙트럼 분포 모양이 나타나있는데 이것은 그림 4에서와 같이 3개의 회절 신호와 좌우로 peak가 적은 두개의 신호를 뜻한다.



수직 : 1v / div 수평 : 5μsec / div
수신각 : 45° 반경 : 3500μm

그림 4. 시간영역에서 분리된 회절신호
Fig. 4. Time-gated signal

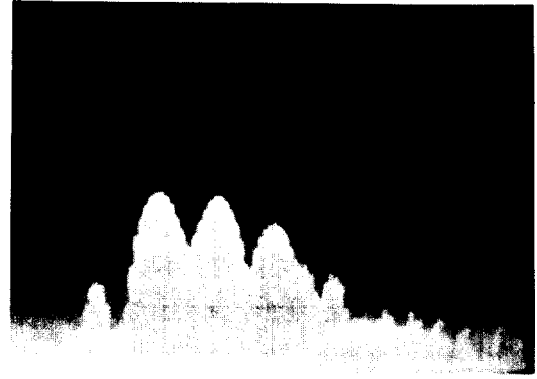


그림 5. 동전형 결함의 스펙트럼 분포
Fig. 5. Spectra of penny-shaped flaw
(측정기 : HP 8590B)

표 1은 식(1)에 의해서 스펙트럼 분포의 첨두와 첨두사이의 간격을 평균하여 결함의 크기를 산출한 값으로 실제의 결함의 길이와 비교하면 3[%]의 오차를 나타내었다.

$$a = C_s / 2 \sin(\theta'_s) (\Delta f)_{av} \tag{1}$$

여기서 a는 결함의 변형, C_s는 횡파의 속도, θ'_s = (π/2) - θ, (Δf)_{av}는 첨두와 첨두사이의 간격의 평균 값이다.

표 1. Δf에 의한 결함의 크기 비교

수신각θ's	Δf(KHz)	flaw의 반경(μm)	오차(%)
45°	600	3395	3.0

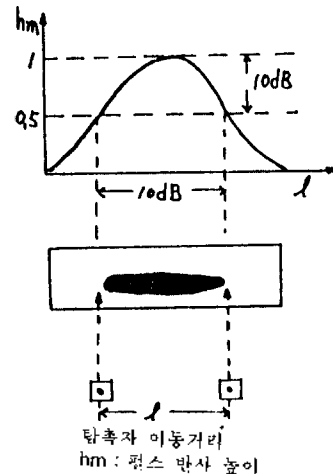


그림 6. 펄스반사법에 의한 결함탐상
Fig. 6. The evaluation of flaw by pulse echo method

그림 6은 10[dB] drop을 이용한 펄스반사법으로서 탐촉자를 화살표 방향으로 이동해가면 펄스반사가 발생되며 결함의 끝에서 펄스반사가 없어진다. 이때 탐촉자의 이동거리와 펄스반사의 높이를 plot하여 곡선상에서 결함의 길이를 구하는 것이다.

표 2는 중심주파수 5[MHz]인 구면형 PZT 변환기를 사용하여 펄스반사에 의한 10[dB] drop법으로 동전형 결함의 크기를 5번 측정된 것을 평균하여 나타낸값으로 실제결함의 길이와 비교하면 14.3[%]의 오차를 나타내었다.

표 2. 펄스반사에 의한 결함의 크기 측정값

순번	측정값	실제의 크기	오차	평균오차
1	4004	3500	14.4	14.3
2	4007	3500	14.5	
3	4000	3500	14.3	
4	3993	3500	14.1	
5	3998	3500	14.2	

표 3은 표 1과 표 2를 비교한 것으로서 펄스반사에 의해 측정된 결함의 길이는 주파수 스펙트럼 분석에 의해 측정된 결함의 길이보다 4.77배의 오차를 나타내었다.

표 3. 표 1과 표 2의 비교

측정법	측정값	실제길이	오차
주파수 스펙트럼 분석법	3395	3500	3.0
펄스 반사법	4000	3500	14.3

주파수 스펙트럼 분석법에서 스펙트럼 분석기의 측정한계 때문에 Δf 를 정밀하게 산출하는데에 어려움이 있었으며 이러한 문제는 오차의 큰 원인이 되었다.

펄스반사법에 의한 측정에서는 단순하고 간단한 측정방법이었지만 오차가 많았으며 오차를 줄이기 위하여 여러번 측정하여 평균을 얻어야 하는 불편한 점이 있었으며 결함의 끝부분에서의 펄스반사신호를 식별하기 어려웠던 관계로 오차가 발생되었는데 원인은 결함의 에이지에서 발생된 회절신호와 반사신호와의 간섭에 의한 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구에서 고체내부에 존재하는 결함의 에이지에서 회절되는 반사신호의 스펙트럼을 해석하여 결함의 크기를 결정하는 방법을 연구하였다. 고체내부에 존재하는 결함에 초음파가 사각입사되면 결함의 에이지에서 회절과 반사가 일어나고 이들 신호는 서로 간섭을 일으키며, 스펙트럼 분포에서 연속적인 주기적 파형을 나타낸다. 이 주기적 파형의 첨두와 첨두사이의 간격(Δf)을 구함으로서 동전형 결함의 크기를 결정할 수 있었으며, 실험값과 실제값은 3[%]의 오차범위내에서 좋은 일치됨 보여주었다.

본 실험에서는 기존의 펄스반사법에 의하여 결함의 크기를 측정된 결과 14.3[%]의 큰 오차를 나타내었으며 오차가 커서 미소한 결함의 크기를 정밀 측정하는데는 부적합함을 알수있었다. 따라서 본 연구의 결과 초음파 스펙트럼 해석기법은 비파괴 검사분야에서 결함의 크기를 정밀 탐상하는데 보다 유용한 방법으로 그 활용이 기대된다.

參 考 文 獻

1. 전 계석, "초음파 현미경 시스템의 개발과 그 응용", 한국과학기술단, 목적기초연구 최종보고서, 1990.
2. Keller, J.B. "Diffraction by an Aperture" J.Acoust. Soc. Am. 31, 694, 1959.
3. Whaley, H.L. and Adler, L. "Flaw Characterization by Ultrasonic Frequency Analysis" Mater. Eval. 29 (8), 182-188, 1971.
4. Simpson, William A. "Time-Frequency-Domain Formulation of Ultrasonic Frequency Analysis" J. Acoust. Soc. Am. 56(6), 1776-1781, 1974.
5. Whaley, H.L. and Adler, L. "Determining the Size of Flaws in Materials" Instruments and Control Systems. 98-102, 1971.
6. Adler, et al. "Ultrasonic Flaw Determination by Spectral Analysis" United States Patent, Appl No : 111, 958, 1971.
7. Adler, L. and Lewis, K. "Scattering of a Broadband Ultrasonic Pulse by Discontinuities" IEEE Trans. Son. Ultrason Su-23, No 5, 1976.
8. Achenbach, J.D "Diffraction of Ultrasonic Waves by Penny-shaped cracks in Metal : Theory and Exper-

iment" J. Acoust. Soc. Am. 66(6), Dec. 1979.

9. 이명훈, 고대식, 전계석 "초음파 스펙트럼에 의한 결함의 크기측정" 전자공학회 하계 학술대회 논문집, 61 1-614, 1990. 7

10. Y.H.Pao and W. Sachse "Interpretation of Time Records and Power Spectra of Scattered Ultrasonic Pulses in Solids" J. Acoust. Soc. Am., Vol54, Oct. 1974. p. 1478-1486.

11. C.M.Fortunko et al, "Electromagnetic-acoustic-Transducer / synthetic-Aperture System for Thick-weld Inspection" U.S.Department of COMMERCE, 1984.

12. H.K.Kim et al. "Design and fadrication of EMAT for excitation of SAW", 한국음향학회지 9권 3호, 1990. 8.

▲ 김 홍 기(정회원) 1945년 1월 15일



1968년 2월 27일 : 광운대학교
응용 전자공학 학사
졸업

1978년 2월 27일 : 연세대학교
대학원 졸업

1988년 2월 27일 : 경희대학교
대학원 전자공학과
석사과정 수료

1987년 4월 ~ 현재 : 중앙직업훈련원 전자과 근무

▲ 이 광 석(정회원) 1944년 9월 30일



1969년 : 연세대학교 전기공학
과 졸업(공학사)

1973년 : 연세대학교 대학원
졸업(공학석사)

1983년 : 연세대학교 대학원졸
업(공학박사)

1984년 ~ 1985년 : 미국 스텐포
드대학교 W. W.
HAN SEN LAB.

현재 : 경희대학교 전자공학과 교수(주관심분야 : 초
음파 영상처리 및 비파괴검사 등)