

초음파현미경에서 V(z)곡선을 이용한 세라믹/금속 접합계면의 비파괴 평가

Nondestructive Evaluation of Seramics/Metals Interface Using V(z) Curve of Scanning Acoustic Microscopy(SAM)

조동수*, 박익근*, 김용권**, 이철구***

*서울산업대학교 NDE연구센터

**서울산업대학교 에너지·환경전문대학원

***서울산업대학교 기계공학과

1. 서 론

전자 제품에 사용되는 부품·소재의 신뢰성 품질 평가를 위해 정밀한 모터의 제어기술, 첨단 신호처리 기술, 압전소자 기술의 발달로 미세변화 계측의 재현성, 고분해능, 표면과 내부의 이미징 관찰, 또한 미소부위에서 재료의 누설탄성표면파의 음속(V_{LSAW})측정이 가능한 초음파현미경에 대한 연구가 최근 들어 활발히 진행되고 있다 [1~2]. 본 연구에서는 새로운 비파괴적 재료특성 평가 기법으로 초음파현미경(SAM)을 활용하고자 한다. 즉 초음파현미경의 누설탄성표면파(Leaky Surface Acoustic Wave; LSAW)의 전파 모델링 및 V(z) 곡선의 시뮬레이션을 수행하고 이 결과에 근거하여 탄성변형 영역에서 열응력 하에서 음속이 변화하는 것을 이용하여 접합계면 부근에 존재하는 잔류열응력의 크기와 분포를 추정하고자 한다.

2. 관련이론

2.1 초음파현미경

Fig. 1에서 #2와 같이 디포커스모드에서는 렌즈각도의 범위에서 입사하는 초음파 중 스넬의 법칙(Snell's law)에 의해 제2임계각(2nd critical

angle)이 되는 부분에서 누설탄성표면파(LSAW)가 발생한다. 누설탄성표면파의 전파속도 V_{LSAW} 는 다음과 같이 표현할 수 있다[3].

$$V_{LSAW} = \frac{V_w}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{V_w}{2f\Delta z}\right)^2}} \quad (1)$$

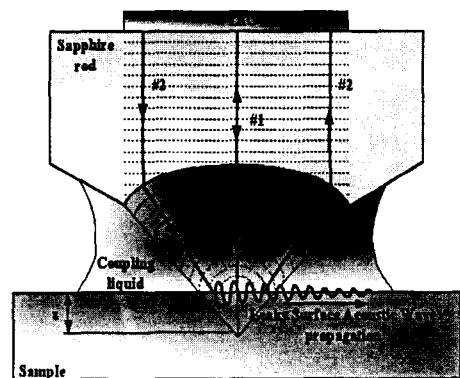


Fig. 1 Details of acoustic lens and interference of acoustic waves

2.2 반사함수와 위상반전

음향 임피던스 Z은 다음과 같이 표현된다.

$$Z = \rho C \quad (2)$$

여기서 ρ 는 재료의 밀도이고 C 는 재료의 종파 음속이다. SAM에서는 집속형 렌즈를 사용하기 때문에 음파가 θ 의 각도로 물(couplant)에서 시험편으로 입사하고 반사와 굴절이 생기게 된다. Z_L^f 는 접촉매질에서의 음향임피던스이고, Z_L^i 와 Z_L^r 는 시험편에서의 종파와 횡파의 음향임피던스이다. 등방재료(isotropic material)에서의 반사합수 R 은 다음과 같이 주어진다.

$$R = \frac{Z_L^i \cos^2 2\theta_T^i + Z_L^r \sin^2 2\theta_T^i - Z_L^f}{Z_L^i \cos^2 2\theta_T^i + Z_L^r \sin^2 2\theta_T^i + Z_L^f} \quad (3)$$

여기서, $Z_n^m = \rho^m C_n^m / \cos \theta_n^m$ ($m=f, s; n=L, T$)은 음향 임피던스이다. ρ^m, C_n^m 그리고 θ_n^m 은 각각 밀도, 음속, 반사 또는 굴절각이다. 윗첨자 f, s 는 매질과 금속을 나타내며, 아래첨자 L, T 는 종파 및 횡파를 뜻한다.

3. 시험장치 및 방법

3.1 시험장치

본 연구에 사용한 초음파현미경(HSAM220)의 전반적인 구성은 Fig. 2에 나타내고 있다.

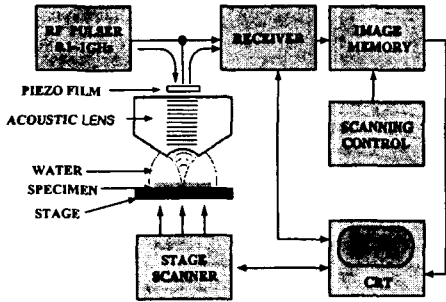


Fig. 2 Schematic diagram of scanning acoustic microscope (SAM)

4. 결과 및 고찰

4.1 V(z)곡선에 의한 접합부 평가

Fig. 3은 초음파 현미경으로 $Al_2O_3+Cr_2O_3$ 층에 열충격을 가한 후의 시험편에서 얻은 $V(z)$ 커브를 보여주고 있다. 초기 상태의 Δz 는 $300^\circ C$, $500^\circ C$ 의 열충격 후의 Δz 과 변화가 없었다.

Fig. 4은 실험편의 Ni층으로 초기 상태의 $V(z)$ 곡선과 $300^\circ C$ 의 열충격을 준 시험편의 $V(z)$ 곡선은 별다른 차이가 나타나지 않았지만, $500^\circ C$ 의 열충격 하에서는 Δz 의 변화를 발견할 수 있다.

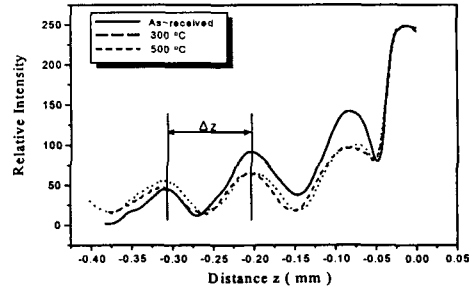


Fig. 3 Experimental result of $V(z)$ curve in $Al_2O_3+Cr_2O_3$ layer

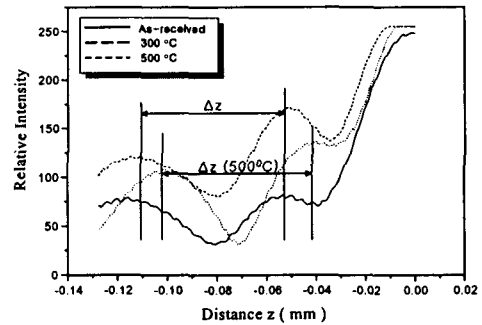


Fig. 4 Experimental result of $V(z)$ curve in Ni layer

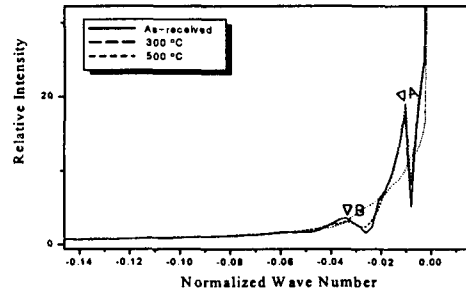


Fig. 5 Inversion of experimental result of $V(z)$ curve in $Al_2O_3+Cr_2O_3$ layer

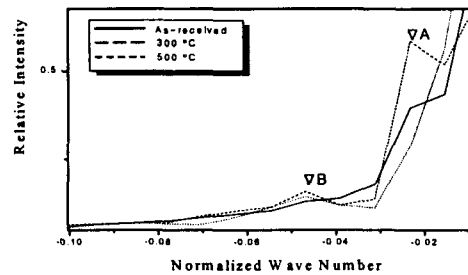


Fig. 6 Inversion of experimental result of $V(z)$ curve in Ni layer

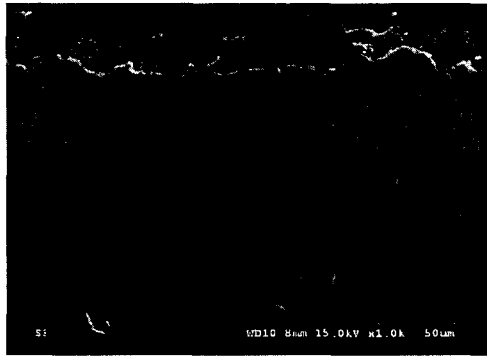


Fig. 7 SEM image of specimen thermal shock in 500°C ($\times 1000$)

Fig. 5은 Fig. 3에서 얻은 실험적 데이터 $V(z)$ 커브를 FFT(fast fourier transform)분석을 한 것이다. A, B값은 각각 종파, 횡파의 임계각 및 파수를 나타내고 있다. 이 파수를 이용하여 종파 및 횡파의 음속을 알 수 있다. 하지만, 초기 상태와 300°C에서는 Fig. 5와 같이 종파와 횡파의 음속의 변화는 없는 것으로 생각되나, 500°C의 열충격에 의한 시험편 $V(z)$ 커브의 FFT 결과는 종파와 횡파의 임계각이 소실되어 나타나지 않았다. 그 이유에 대해서는 다양한 실험조건에 의한 실험적 검증이 필요하다고 생각된다. Fig. 4의 결과에 의하면 Ni층 $V(z)$ 곡선의 FFT분석 결과는 500°C에서 종파 및 횡파의 음속 변화와 임계각 변화를 예상할 수 있다. 그러나 Fig. 6는 FFT분석 그래프를 확대한 결과로써 피크를 나타나는 부분의 데이터가 3개 밖에 안되어 정확한 피크 이동을 찾기가 어려웠다. 열충격에 의한 음속의 변화는 접합부에 열응력이 존재하고 있다는 뜻이고, Fig. 7에서 보는바와 같이 들뜸(delamination), 기공(void), 같은 결함이 없는 것으로 봐서 열응력이 해방되지 않고 구속되어 있음을 예측할 수 있다. 따라서 접합부층에 열잔류응력이 존재하고 있는 것으로 생각되고 그 잔류열응력이 음속의 변화에 주요 원인이 된 것으로 생각된다.

5. 결론

세라믹/금속 접합부의 고장분석에 초음파현미경의 $V(z)$ 곡선을 적용하고 그 유용성 유무를 실험적으로 검증하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 세라믹/금속($Al_2O_3+Cr_2O_3/Mo+Mn/Ni$) 접합계

면 해석에 적용할 수 있는 초음파현미경의 $V(z)$ 곡선의 전파모델링 및 시뮬레이션용 프로그램을 개발하였다.

- 2) 세라믹/금속의 각층에 대한 음속과 임계각의 시뮬레이션 결과는 이론값과 잘 일치하였으며 매우 유용함을 알 수 있었다.
- 3) 세라믹/금속 접합부의 음속변화 실험을 수행한 결과 접합 계면인 Mo-Mn층에서 631.7m/s의 미소 음속 변화를 확인할 수 있었다. 이 음속의 변화 값은 열충격에 의해 접합부에서 해방되지 못해 존재하고 있는 잔류응력의 영향으로 추정된다. 접합계면 부근에 존재하는 잔류열응력의 크기와 분포를 정량적으로 추정하기 위해서는 보다 많은 모의 시험편의 제작과 최적 시험조건의 선정에 의한 재현성 있는 실험 데이터의 확보가 필요하다.

참고문헌

1. 송세안 : 각종 현미경 분석기술의 진보와 응용, Polymer Science and Technology, 12(1), 2001, 98~107
2. 정규원, 이종덕, 송준태 : 초음파현미경의 원리와 응용, 전기전자재료학회, 12(1) (1999), 55~62
3. T.Kobayashi, J.Kushibiki, and Chubachi : Improvement of measurement accuracy of line-focus-beam acoustic microscope system, IEEE Ultrasonics symposium, 739~742 (1992)