재료의 표면 및 표면직하 특성평가를 위한 고주파수 주사음향현미경

High-frequency Scanning Acoustic Microscope for Surface and Sub-surface Characterization

*김정석[1], #장경영[2]

*C. S. Kim[1], #K. Y. Jhang(kyjhang@hanyang.ac.kr[2]

[1] 한양대학교 자동차공학과, [2] 한양대학교 기계공학부

Key words : Elastic Modulus, Equal Channel Angular Pressing, Acoustic Microscope

1. 서론

미소 역학적으로 영률, 전단 탄성계수, 프와송비, 벌크 탄성계수, 람상수 등의 기계적 물성을 정확하게 측정하는 분석기술이 마이크로화 나노화 되어 가는 첨단 과학기술분야에서 대단히 중요시 되고 있다 [1-2]. 본 연구에서는 우수한 내식성, 성형가공성, 용접성 등으로 자동차 및 선박, 건축자재로 각광 받는 소재인 알루미늄 5052 합금과 6005 합금에 강소성변형을 도입하여 소성변형을 가하여 소성변형 전과후 음향현미경을 이용하여 고주파수 표면파의 속도를 측정하고 이를 이용하여 탄성계수를 정밀 측정하고자 한다. 그리고 ECAP 강소성 변형이 탄성계수 변화에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험방법

ECAP 으로 얻어진 소재의 경우 결정립 크기가 마이크로미터 이하로 매우 미세하므로 초소성과 같은 부가적인 성질을 얻을 수 있으므로 매우 효과적인 가공기술이다. 본 연구에 사용된 알루미늄 5052 상용 압출재는 재료는 500℃, 1 시간 용체화 처리 후 공냉 하였다. 알루미늄 6005 상용 압출재는 재료는 530℃, 90 분간 용체화 처리 후 공냉 하였다. ECAP 은 Φ= 90°, Ψ=40° 다이로 150℃에서 3 mm/s 로 가공하였다. ECAP 가공 후 170℃에서 2 시간 동안 어닝링처리를 실시하였다. 음향렌즈는 구형의 표면을 가지므로 음향렌즈 초점을 갖게 한다. 렌즈는 접촉매질 즉, 증류수를 통해서 시편의 표면에 초음파가 전달되게 된다. 만일 음향렌즈의 조리개각이 표면에서 표면파의 발생을 만족하는 임계각을 포함한다면 탐촉자에 수신된 신호는 시편의 표면에서 직접 반사한 신호와 시편의 표면에서 발생되어진 표면파에 의한 두 신호간의 상호간섭의 결과로 수신된다 [3-4]. 표면파 속도는 높은 주파수 (최대 1 GHz)의 톤버스트파를 발생할 수 있는 초음파현미경 (Olympus, Model: Al1G670)을 사용하여 측정했다.

3. 실험결과

Fig. 1 은 Al 5052 에 대한 음향이미지 사진을 나타내었다. 결과와 같이 1 패스 후에 가공방향으로 연신된 많은 결정립 구조를 볼 수 있다. 이는 4 패스가 됨에 따라서 큰 소성변형에 의해서 결정립계의 재배열로 초기 결정립계의 명확한 구분이 어렵게 되었다. 이후 어닐링 처리에 의해서도 4 패스와 어떠한 차이도 구분되지 않았다.

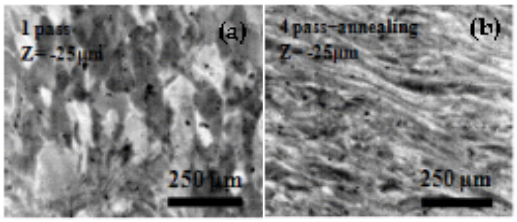

Fig. 1 AM images of Al 5052 alloy with ECAP process and heat treatment. (a) is 1 pass ECAP, (b) is annealing after 4 pass ECAP.

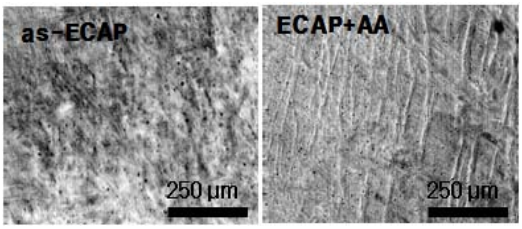

Fig. 2 AM images of Al 6005 alloy with ECAP process and heat treatment. (a) is as-ECAP, (b) ECAP+AA (100℃,25h aging).

Fig. 2 는 Al 6005 에 대한 음향이미지 사진을 나타내었다. 결과와 같이 ECAP 후에 전단변형띠를 볼 수 있다. 어닐링후에는 전단변형띠간의 간격이 조대화됨을 관찰하였다. Table 1 은 음향재료신호를 이용하여 음향이미지 상에서 밝은 곳과 어두운 곳에 대해서 10 개의 지점에 대해 측정하고 이에 대한 평균 표면파의 속도로부터 계산한 표면파의 속도와 동적탄성계수를 나타내었다. 상용 알루미늄 5052 의 프와송비는 0.33 으로 밀도는 2700 kg/m^{3}으로 가정하였다. 밝은 부분에서 표면파의 속도는 2991 m/s이고 어두운 부분에서는 2807 m/s로 측정되었다. 동일 지점에 대한 속도 측정에 대한 오차는 ±1 m/s였으며 속도로부터 계산한 탄성계수는 73.9 GPa이고 측정오차는 ±0.05 GPa로 매우 정밀한 측정결과를 나타내었다. 결정립에 관계없이 모든 결정립들에서 Al 5052 합금의 전체평균 탄성계수는 69.5~70.3 GPa로 측정되었다.

Table 1 Surface wave velocity and elastic modulus measured by acoustic material signature

	A (bright)		B (dark)	
	$V_{R\,(m/s)}$	$E_{SAM\,(GPa)}$	$V_{R\,(m/s)}$	$E_{SAM\,(GPa)}$
solution	2991	73.9	2807	65.1
1 pass	2986	73.7	2803	64.9
4 pass	2916	70.3	2913	70.1
4 pass+ann.	2917	70.4	2916	70.3

4. 결론

알루미늄 5052 합금과 6005 합금의 탄성특성의 변화에 대한 강소성 변형과 어닐링효과를 연구하고 개개의 결정립에서 탄성계수를 정밀하게 측정하고자 하였다. ECAP 가공으로 1 μm 이하의 초미립 결정립를 얻을 수 있었다. 강소성 변형 및 열처리와 재료의 탄성특성 간에는 밀접한 상관성를 보였다. 미소영역의 정밀측정이 가능한 음향재료신호을 이용하여 개개의 결정면에 대한 탄성계수의 측정이 가능하였으며 표면 및 표면직하에서의 탄성특성이미지를 성공적으로 얻을 수 있었다.

후기

이 논문은 2010 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0007349).

참고문헌

1. Luo, J. K., Flewitt, A. J., Spearing, S. M., Fleck, N. A. and Milne, W. I., “Young''s modulus of electroplated Ni thin film for MEMS applications,” Materials Letters, 58, 2306-2309, 2004.
2. Jen, S. U. and Wu, T. C. “Young''s modulus and hardness of Pd thin films,” Thin Solid Films, 492, 166-172, 2005.
3. Bamber, M. J., Cooke, K. E., Mann, A. B. and Derby, B. “Accurate determination of Young’s modulus and Poisson’s ratio of thin films by a combination of acoustic microscopy and nanoindentation,” Thin Solid Films, 398-399, 299–305, 2001.
4. Cao, H. S., Hunsinger, J. J. and Elkedim, O. “Determination of elastic modulus of nanocrystalline iron and titanium of acoustic microscopy,” Scripta Materialia, 46, 55-60, 2005.