위상잠금 광-적외선 열화상 기술을 이용한 Aluminum 6061-T6 시험편의 결함검출

Defect detection of Aluminum 6061-T6 using Lock-in photo-infrared thermography technique

*김민근[1], #김경석[2], 양승필[3], 김성식[4], 김현민[5], 송재근[6]

*M. K. Kim[1], #K. S. Kim(gsckim@chosun.ac.kr)[2], S. P. Yang[3], S. S. Kim[4], H. M. Kim[5], J. G. Song[6]

[1] 조선대학교 첨단부품소재공학과, [2]조선대학교 기계설계공학과, [3]동아인재대학교 안경공학과, [4]목포대학교 자동차공학과, [5]조선대학교 첨단부품소재공학과, [6]조선대학교 LARC

Key words : Infrared thermography, Lock-in, Defect detection, Aluminum 6061-T6, Defect depth, Defect size

1. 서론

적외선 열화상 기술(Infrared Thermography)은 적외선 카메라를 이용하여 대상체의 표면의 복사에너지를 검출하여 이를 온도로 환산하여 실시간으로 영상을 제공함으로써 응력해석, 두께측정, 피로한계치 분석, 전력설비 열화진단, 의료진단, 결함검사등 그 응용범위가 점차 확대되고 있다. 금속결함 검출에 적용되는 경우, 열확산계수가 큰 금속 재료일수록 검출소자의 샘플링 한계로 인하여 결함을 찾는데 어려움이 있다. 따라서 이러한 문제 해결방안으로 위상잠금(Lock-in) 기법을 이용하여 열확산계수가 큰 금속의 내부결함을 검출할 수 있다. 이 위상잠금 기법은 낮은 샘플링에서도 표면의 미세한 변화를 감지할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 열확산계수가 높은 Aluminum 6061-T6 결함시험편을 열확산계수가 상대적으로 낮은 STS304 시험편과의 비교를 통하여 Aluminum 6061-T6 의 결함검출 분해능을 측정하고자 하며 이는 검사대상체의 수명평가예측에 중요한 정보를 제공할 것이다. [1]

2. 이론

2.1 위상잠금 광-적외선 열화상

위상잠금 적외선 열화상 기법은 함수발생기(Function generator)통해 조화함수형태로 대상체에 광원을 입사하고, 대상체에 입사한 적외선 에너지를 동기화된 검출소자를 통해 받아들여 신호처리를 통하여 획득하고자 하는 위상, 진폭을 구하는 방법이다.[2] 이 기법은 Fig. 1과 같다.

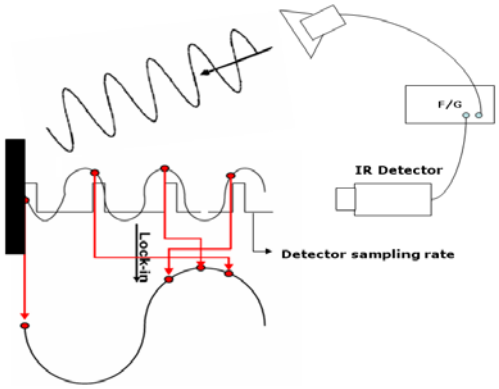


Fig. 1 Signal processing of lock-in infrared thermography

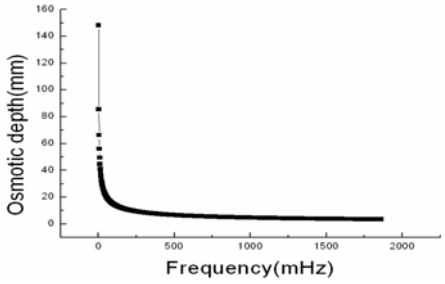
2.2 광원침투 깊이

결함검출에 있어서 재료자체의 물성치, 그 중 열확산 계수(thermal diffusivity)가 가장 중요한 인자이다. 열확산계수는 열전달계수와 밀도와 정압비열의 함수로써 나타낼 수 있는데 이를 통해 광원의 침투깊이를 예측할 수 있다. 식(1)은 광원 침투깊이에 요인을 주는 인자를 나타내었다.

$$\mu = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f}} \qquad (1)$$

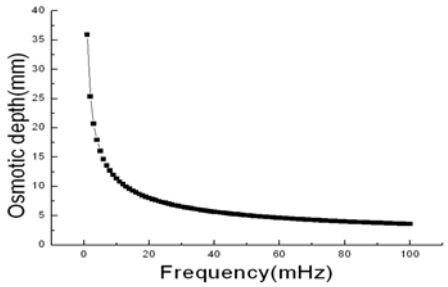
여기서 μ는 침투깊이, $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$는 열확산계수, f는 검출 한계 주파수이다. 동일 재료에 대해 열확산계수는 상태량이므로 f의 변화에 따라 침투 깊이를 결정할 수 있다.[3] 식(1)에 대한 침투깊이에 따른 주파수 값을 Fig. 2 에 나타내었다.

열전달계수(k)	밀도(ρ)	비열(c)	열확산계수(α)
167 W/m-K	2700 kg/m^3	896 J/kg-K	6.9*10^{-5}m^2/s



(a) Aluminum 6061-T6

열전달계수(k)	밀도(ρ)	비열(c)	열확산계수(α)
16.2 W/m-K	8000 kg/m^3	500 J/kg-K	4.05*10^{-6}m^2/s



(b) STS 304

Fig. 2 Estimation of Osmotic depth to each frequency

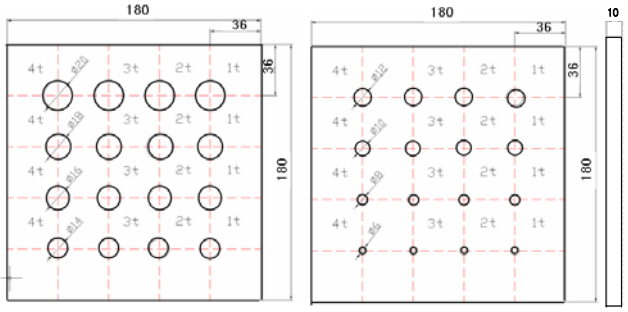
이론적으로 Aluminum 6061-T6 시험편의 경우, 1373 mHz 이하의 주파수에서 4mm 결함깊이를 검출할 수 있으며, STS 304 시험편의 경우, 80 mHz 이하의 주파수에서 4 mm 결함을 검출할 수 있다.

2.3 결함크기

결함검출에 있어서 금속재질의 결함사이즈에 의한 영향이 있다. 열전달이 깊이 방향으로만 일어나는 것이 아니라 실제 3차원적인 형태로 열전달이 진행되므로 금속재료에 따라 열확산계수가 상이하므로 결함크기 또한 고려해야한다.

3. 실험방법 및 실험결과

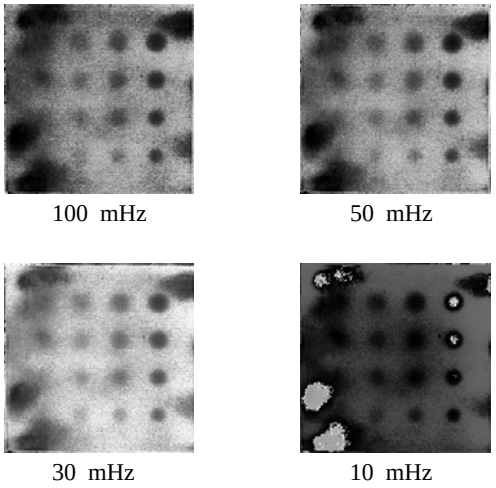
본 연구를 수행하기 위하여 Aluminum 6061-T6 시험편의 후면에 결함깊이, 결함크기별로 가공하였으며, 위 시험편과의 비교를 위해 STS 304 시험편을 동일하게 가공하였다. Fig. 3 은 시험편의 형상을 나타내었다.



(a) specimen I (b) specimen II

Fig. 3 Schematic of artificial specimens with defects (unit: mm)

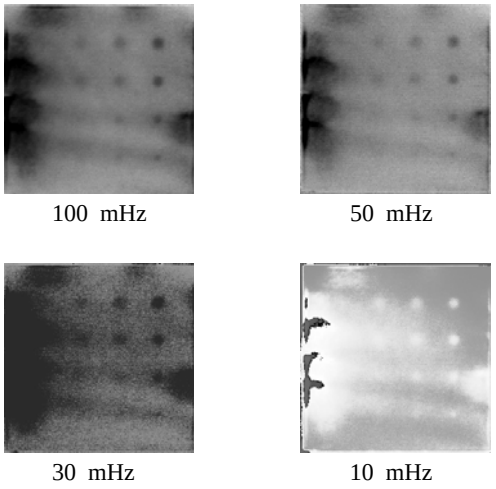
시험편의 표면에 방사페인트를 도포하여 방사율을 0.95 로 유지하였다. 위상잠금기법을 이용하여 열원과 검출소자를 동기화 시켜 주파수의 변화(1 Hz ~ 10 mHz)를 주어 위상이미지(Phase map)를 신호처리를 통하여 결함검출을 행하였다. 실험 결과를 Fig. 4, Fig. 5에 나타내었다.



100 mHz 50 mHz

30 mHz 10 mHz

(a) specimen I

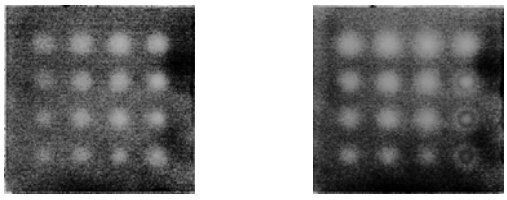


100 mHz 50 mHz

30 mHz 10 mHz

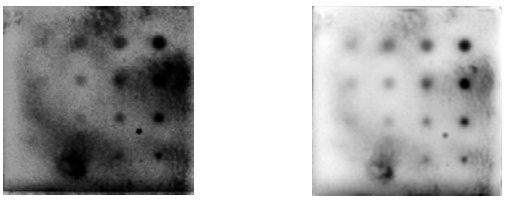
(b) specimen II

Fig. 4 Defect detection of Aluminum 6061-T6 to each frequency



50 mHz 10 mHz

(a) specimen I



50 mHz 10 mHz

(b) specimen II

Fig. 5 Defect detection of STS 304 to each frequency

4. 결론

본 연구에서는 위상잠금 광적외선 열화상을 이용한 Aluminum 6061-T6 시험편을 비교적 결함검출이 용이한 STS 304 시험편과의 비교를 통하여 결함검출 분해능을 평가하였다. Aluminum 6061-T6 시험편의 최적 주파수 대역은 100 mHz 로 이는 침투깊이와 3축으로의 열전도에 대한 영향인자를 고려하여 실험적으로 얻은 값이며 최적주파수이하의 주파수 대역은 열원 침투깊이는 증가하나 검사시간의 증가로 비파괴 검사측면에서 효율성이 떨어진다고 볼 수 있다. 최적주파수 대역에서 결함크기가 $\phi 6$ 일 때 결함깊이는 2 mm 까지 검출이 가능하며, $\phi 6$ 이상의 결함에 대해서는 2 mm 이상의 결함깊이까지 검출이 가능하다. 즉 크기가 작고 깊이가 깊은 Aluminum 6061-T6시험편의 결함은 결함을 찾는데 어려움이 있다. 반면 STS304 시험편의 경우, $\phi 6$ 일 때 3 mm 결함까지 검출이 가능하고 $\phi 6$ 이상의 결함에 대해서는 4 mm 까지 결함모두가 검출이 가능 하다. 이는 두 재질간의 열확산계수, 표면으로 열전도에 기인한 것으로 사료된다. 또한 시험편의 방사페인트 도포의 불균일성에 따른 시험상의 오차도 무시할 수 없는 요인이라 사료된다.

후기

본 연구는 2008년도 방사선 비파괴 신뢰성 향상사업의 지원을 받아 수행되어졌다.

참고문헌

1. Kang, K. S., Choi, M. Y., Park, J. H., Kim, K. S., and Yang, S. M., "Determining size and location of subsurface defects of steel plate by lock-in thermography", 12th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Test, 48, 2006

2. Wu, D., Busse, G., "Lock-in thermography for evaluation of materials", Rev. Gen. Therm., Vo1. 37, 693-703, 1998

3. Busse, G., "Infrared and thermal testing: technique of infrared thermography", Nondestructive Testing Handbook Series 3(3rd Ed), X. P. V. Maldague, P. O. Moore Ed., ASNT, Columbus, USA, 318-328, 2001

4. Maldague, X. P. V., "Trends in optical nondestructive testing and inspection", Rastogi, P. K., Elsevier Science, Switzerland, 591-633, 1992