2006년도 춘계 학술발표대회 발표논문, 2006년 5월, 강원도 삼척

초음파 서모그라피를 이용한 용접 결함 검사

A Welding Defect Inspection using an Ultrasound Excited Thermography

조 재완, 정 진만, 최 영수, 정 승호, 정 현규
한국 원자력 연구소 미래원자력 기술개발단

ABSTRACT In this paper, the applicability of an UET(ultrasound excited thermography) for a defect detection of the welded receptacle is described. An UET(ultrasound excited thermography) is a defect-selective and fast imaging tool for damage detection. A high power ultrasound-excited vibration energy with pulse durations of 280ms is injected into the outer surface of the welded receptacle made of Al material. An ultrasound vibration energy sent into the welded receptacle propagate inside the sample until they are converted into the heat in the vicinity of the defect. The injection of the ultrasound excited vibration energy results in heat generation so that the defect is turned into a local thermal wave transmitter. Its local heat emission is monitored by the thermal infrared camera. And they are processed by the image recording system. Measurement was performed on aluminum receptacle welded by using Nd:YAG laser. The observed thermal image revealed two area of defects along the welded seam.

1. 서 론

균열 또는 접합면의 결함 등이 존재하는 물체에 고에너지(2㎾) 초음파(20㎑)를 입사시키면 균열, 결함부위의 표면에서 국부적인 열이 발생한다[1-3]. 이러한 열을 적외선 열 영상 카메라로 관측하면 물체 내에 존재하는 결함을 신속하게 검출할 수 있다. 물체에 초음파 여기 진동에너지를 인가하여 결함부위에서 국부적으로 발생되는 열을 적외선 열 영상 카메라로 관측 진단하는 것을 초음파 여기 서모그라피라 한다[4]. 초음파 여기 탄성파가 구조물에 전달될 때 결함 부위에서만 선택적으로 발열현상이 야기되므로 결함을 신속 정확하게 측정할 수 있다. 초음파 서모그라피를 이용한 비파괴 결함진단은 주로 항공기, 자동차 등의 복합재료의 결함검출에 사용되고 있다[5-6].

본 논문에서는 초음파 여기 서모그라피를 이용한 알로미늄 용접 용기의 결함 검출에 대해 기술한다. 알루미늄은 중성자에 대해 투명(transparent) 하므로 원자력 시설의 중성자 계측용 센서의 밀봉 용기 재료로 이용되고 있다. 밀봉 용기에 결함이 있으면 물이 침투하여 센서의 오동작이 유발된다. 알루미늄 용기의 용접 결함을 검출하기 위하여 초음파 여기 서모그라피를 이용하였다. 펄스형태의 초음파 여기 진동 에너지를 알루미늄 용접 용기 외면에 입사시켰다. 초음파 여기 진동에너지 입사에 따른 알루미늄 용접 심(seam) 라인의 결함 부위에서의 국부적인 발열(핫 스팟)을 적외선 열 영상 카메라로 검출하였다.

2. 초음파 여기 서모그라피

그림 1은 초음파 서모그라피의 원리를 나타내고 있다. 결함이 있는 구조물에 짧은 펄스의 초음파 진동 에너지를 가하면 균열, 박리(delamination) 등의 결함 부위에서 미세한 움직임이 야기된다. 이러한 움직임은 마찰 또는 히스테리시스에 의한 것으로 볼 수 있으며 이에 의해 결함 부위에서만 국부적으로 열이 발생한다. 결함 부위의 선택적 발열현상을 적외선 열 영상 카메라로 관측하면 전체적으로 어두운 배경에서 휘도가 높은 밝은 패턴의 핫 스폿이 보이게 된다. 따라서 결함만을 선택적으로 관측할 수 있다[7]. 초음파 입사에 의한 탄성파가 결함 부위에 도달함과 동시에 발열현상이 나타나므로 이를 열 영상 카메라로 관측하면 초음파 진동 에너지를 구조물에 인가한 후 수십 ms 이내에 밝은 패턴이 관측 된다. 초음파 여기 주파수는 15 kHz~40 kHz 범위에 이르며 일반적으로 20 kHz 대역이 널리 사용된다. 그림 2에 초음파 서모그라피 시스템 구성도를 보이고 있다. 초음파 트랜스듀서

는 플라스틱 용접 등에 사용하는 초음파 용접기용 트랜스듀서이다[8].

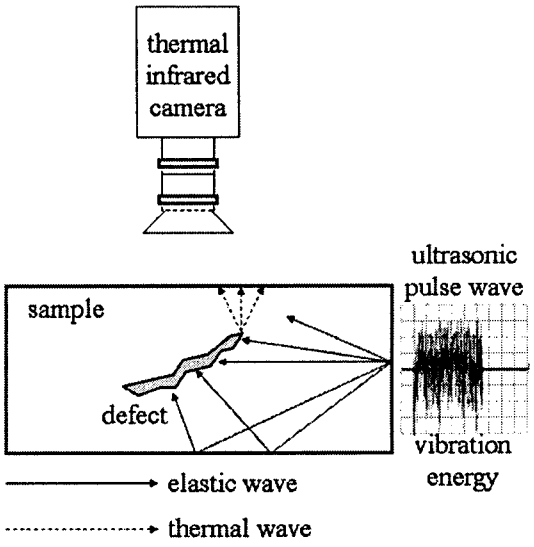


Fig. 1. Principle of ultrasound excited thermography

고출력 초음파 발생 전원장치에서 20 ㎑, 2 ㎾의 전력을 압전소자에 공급한다. 압전소자의 전극에 인가된 고전압에 의해 압전소자의 길이가 변화한다. 전극에 인가되는 고전압을 고주파수로 발진시키면 발진 주파수에 대응하여 압전소자의 길이가 변화하므로 기계적인 진동이 여기된다. 초음파 진동에너지의 여기에 따른 결함부위에서의 선택적 발열 현상을 미쯔비시사의 IR-M500 적외선 열 영상 카메라로 관측하여 기록 저장한다[9].

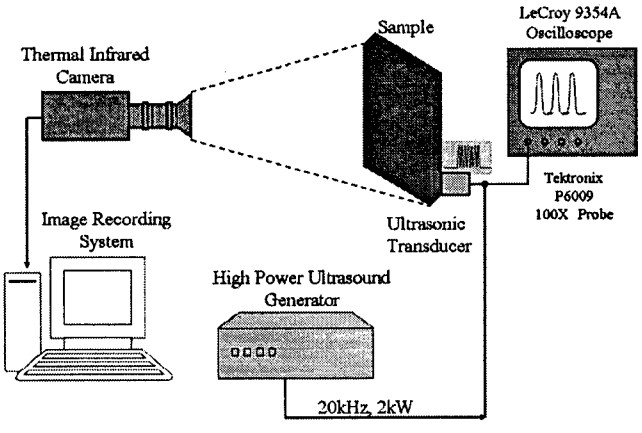


Fig. 2. Configurations of ultrasound excited thermography system

3. 실험 및 결과

그림 3에 실험 장치를 보이고 있다. 알루미늄 용기를 바이스에 고정하여 초음파 트랜스듀서의 가진에 의해 시편이 이탈되는 것을 방지하였다. 실험에 사용한 알루미늄 용기는 두께가 7㎜이고 외경이 35㎜이다. 24×2㎜(직경×두께) 크기의 알루미늄 원판을 용기내면에 Nd:YAG 레이저로 용접하였다.

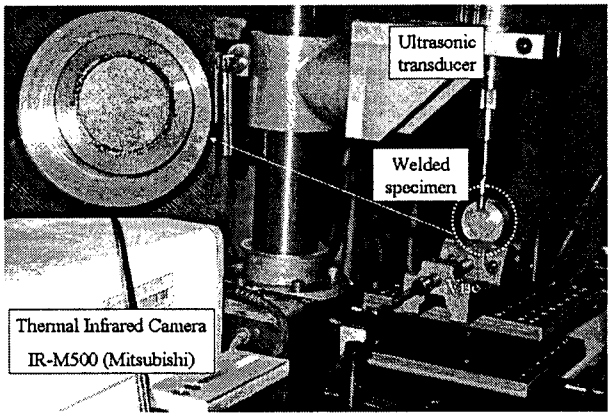
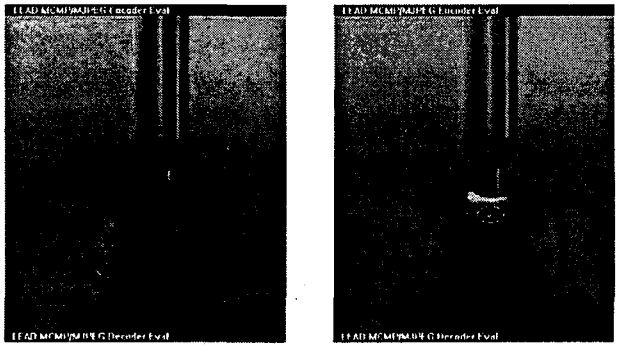


Fig. 3. A photograph of the experimental setup

시편과 접촉하는 초음파 트랜스듀서의 단면은 직경이 10㎜ 이다. 접촉 면적에서 보면 초음파 트랜스듀서 단면과 용접 시편의 판면을 접촉시키는 것이 효율적이다. 그러나 초음파 트랜스듀서의 기둥 부분이 적외선 열 영상 카메라의 시야(field of view)를 제한하므로 용접 판면의 전체를 관측할 수 없다. 초음파 여기 진동에너지 입사에 따른 용접 판면의 전체를 관측하기 위해서 그림 3과 같이 알루미늄 용기의 외면과 초음파 트랜스듀서의 단면을 접촉시켰다. 이 경우에는 선 접촉이 된다. 미쯔비시 IR-M500 적외선 열 영상 카메라는 용접 판면의 정면에 위치하고 있으므로 초음파 펄스 가진시의 알루미늄 용접 판면의 전체면의 열적 특성을 관측할 수 있다. 280 ㎳ 펄스폭의 초음파 여기 진동에너지를 알루미늄 용기의 외면에 가진하였다. 용접 판면의 표면에서 방사되는 열을 적외선 열 영상 카메라로 관측하고 이를 디지타이징 하여 동영상으로 기록, 저장하였다. 한편, 시편과 초음파 트랜스듀서의 결합효율을 높이고, 가진시 초음파 트랜스듀서 단면과 시편 표면과의 마찰에 의해 시편이 손상되는 것을 방지하기 위한 촉매(couplant)로 종이를

사용하였다. 280㎳ 펄스폭의 초음파 진동 에너지를 알루미늄 용기의 외면에 인가하기 전후의 용접 판면의 열적 특성을 적외선 열 영상카메라로 관측한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)는 초음파 가진 진동 에너지를 입사하기 전의 관측 영상이며 그림 4(b) 는 가진 후의 관측영상을 나타낸다. 그림 4(a),(b) 에서 중간에 보이는 기둥이 초음파 트랜스듀서이다. 그림 4(b)에서 점선으로 표시한 영역 내에 밝게 보이는 핫 스폿이 용접심의 결함에서 마찰에 의한 발열 특성을 나타내고 있는 것이다.



(a) before injection (b) after injection

Fig. 4. Thermosonic image of a defective welded surface of aluminum receptacle

그림 4(b) 타원 위의 밝게 빛나는 부분은 초음파 진동에너지에 의해 초음파 트랜스듀서 단면과 알루미늄 용기외면과의 마찰에 의해 발생하는 발열 특성을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 초음파 여기 서모그라피를 이용한 알루미늄 용기의 용접 결함 검출에 대해 기술하였다. 280㎳ 펄스폭의 초음파 가진 진동 에너지를 알루미늄 용기외면에 입사시켰다. 적외선 열 영상 카메라를 이용하여 용접 판면의 결함 부위에서의 핫 스폿을 관측하였다. 본 실험 결과로부터 초음파 여기 서모그라피를 이용하여 용접 결함을 검출할 수 있음을 확인하였다.

후기

본 연구는 원자력 연구개발사업의 지원으로 수행되었음

참고문헌

1. R.B. Mignogna, et al, "Thermographic investigation of high-power ultrasonic heating in materials", Ultrasonics, Vol. 19, pp. 159-163, (1981)
2. Mingcheng Zong, Jianxin Zhang and Yan Zhao, "Pulse-heating infrared thermography non-destructive testing technique", SPIE, Vol.2899, pp. 654-659, (1996)
3. G. Busse, D. Wu and W. Karpen, "Thermal wave imaging with phase sensitive modulated thermography", J. Appl. Phys. Vol. 71, No. 8, pp. 3962-3965(1992)
4. A. Dillenz, G. Busse, and D. Wu, "Ultrasound lockin thermography: feasibilities and limitations", SPIE Vol. 3827, pp. 10-15, (1999)
5. T. Zweschper, et al, "Ultrasound Burst Phase Thermography (UBP) for Applications in the Automotive Industry", AIP Conference Proceedings, Vol. 657, pp. 531-536, (2003)
6. M. Rothenfusser, C. Homma, "Acoustic thermography: Vibrational modes of cracks and the mechanism of heat generation", Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol.24, pp.624-631(2005)
7. G. Busse, A. Dillenz, and T. Zweschper, "Defect-selective imaging of aerospace structures with elastic-wave-activated thermography", SPIE Vol. 4360, pp. 580-586, (2001)