

ESPI를 이용한 다점 용접부의 변형률 측정

The Strain Measurement of Multi-Spot Welding Zone by the ESPI

차용훈*, 성백섭**, 김일수**, 김덕중***, 박영문****, 김성현****
 * 조선대학교 공과대학 기계공학과, ** 목포대학교 공과대학 기계공학과
 *** 동아인재대학 자동차공학부, **** 조선대학교 대학원

1. 서 론

소철금속 및 비철금속으로 이루어진 많은 구조물들은 부재의 접합방법으로 리벳접합(reveting), 볼트접합(bolting) 및 용접(welding)을 사용하고 있으며 그 중에서 다른 접합방법보다 용접을 이용하는 비율이 높은 편이다. 그 이유는 공정이 간단하고, 재료 및 경비를 절감할 수 있고, 이음효율이 양호하고 강도가 높으며, 보수가 용이하기 때문이다. 그러나 점용접부는 응력상태가 복잡하고, 피로균열은 판 두께, 너겟 직경, 용접 타점수, 부하 방식 등의 역학적인 인자와 재질, 화학성분, 표면 상태 등의 재료적인 인자, 그리고 용접전류, 가압력, 통전 시간등의 용접적인 인자의 영향을 동시에 받으며 3차원적으로 성장하므로 균열 성장 모드는 항상 혼합모드이고 균열이 박판 내면에서 발생. 성장하므로 검출이 곤란하여 균열 성장의 해석 및 예측이 어렵다¹⁾. 따라서 점용접의 면외변위의 3차원적인 특성을 관찰함으로써 변형해석을 예측할 수 있으리라 사료되고, 이에 대한 좀더 체계적이고 깊이 있는 연구가 필요하다고 본다^{2~5)}.

따라서 일반가전 제품, 자동차 건축용에 많이 사용되고 있는 아연도금강판(SGCC)을 선택하여 단일 용접조건으로 점용접의 피치를 변화시켜 시험편을 제작하고 인장실험 및 면외변위를 다각도로 측정하고자 한다.

2. 이론 및 실험

2.1 면외변위 계측이론

홀로그래피 간섭법의 기본 원리는 홀로그래피에 의해 형성된 화상은 원래의 물체, 또는 또다른 물체의 홀로그래피 화상과 간섭적으로 비교가 가능하다는 것이다. 물체가 응력, 진동, 또는 열 등에 의한 영향을 받는다면, 간섭줄무늬의 패턴은 화상 안에서 관측되며, 줄무늬로부터 물체의 변위량을 결정할 수 있다. 본 논문에서 적용한 ESPI법은 면외 변위 측정기법 중 이중 노광법을 이용하였다.

이중 노광법은 이중 노광에 의하여 둘 이상의 다른 상태에 있는 물체의 이미지를 하나의 화면에 기록하는 방법이다. 물체의 모든 정보는 줄무늬 패턴으로 기록되며, 이 줄무늬들은 재형성되어 원래의 화상에 중첩된다.

물체광이 z축을 따라서 이동한다고 하면, 홀로그램은 두 개의 완전하면서 서로 구분된 홀로그램을 지니게 된다. 이중 하나는 물체파 U_{O1} 을 기록하고, 또다른 물체파 U_{O2} 는

$$U_{O1} = A_1(x, y)e^{i\phi_1(x, y)} \tag{1}$$

$$U_{O2} = A_2(x, y)e^{i\phi_2(x, y)} \tag{2}$$

이며, 여기서, A_1, A_2 는 각각 물체파 1, 2의 진폭이며, ϕ_1, ϕ_2 는 각각 물체파 1, 2의 위상이다.

노광 중에 물체의 이동은 매우 미소하여 다른 것은 변하지 않으므로, 물체로부터의 진폭 분포는 크게 변하지 않는다. 따라서 $A_1(x, y) = A_2(x, y) = A(x, y)$ 이라 할 수 있다. 새로운 위상은 초기 위상에 위상 변화를 더하여 다음과 같이 표현될 수 있다. $\phi_2(x, y) = \phi_1(x, y) + \Delta\phi(x, y)$.

물체의 이동은 광의 파장에 비례하여 커지게 되며, 위상의 변화 또한 커지게 된다. 허상에 상당하는 주요 재생 광의 복소진폭 U_1 와 광의 세기 I 를 구하면,

$$U_1 = KA(x, y) \{ e^{i\phi(x, y)} + e^{i[\phi(x, y) + \Delta\phi(x, y)]} \} \quad (3)$$

$$I = U_1 U_1^* = K^2 A^2(x, y) [2 + e^{-i\Delta\phi(x, y)} + e^{i\Delta\phi(x, y)}] \quad (4)$$

이와 같은 결과로부터 물리적 의미를 찾기 위하여 식 (5)를 삼각함수 형태로 바꿀 수 있다.

$$I = 2K^2 A^2(x, y) \{1 + \cos[\Delta\phi(x, y)]\} \quad (5)$$

이것은 물체의 세기분포에 위상에 관한 항이 곱해졌음을 나타낸다. 즉, 물체의 화상이 변조되거나 원래의 화상에 단순한 Two-Beam 간섭법의 특성을 지니고 있는 밝고 어두운 줄무늬가 겹쳐지게 된다. 어두운 줄무늬는 다음에서 일어난다.

$$\cos \Delta\phi + 1 = 0 \quad \Delta\phi = n\pi, \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (6)$$

밝은 줄무늬는 위상이동이 일어나는 π 의 짝수배인 곳에서의 점의 궤적이라 할 수 있다.

2.2 실험

실험에 사용된 재료는 SGCC이고 두께는 1.2mm로 일반 가전제품, 자동차, 건축분야에 사용하고 있는 재질이며, 재료의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2와 같고, 용접조건은 Table 3과 같이 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of base metal

(Wt%)

C	Si	Mn	P	S	S.AL
0.02	0.01	0.16	0.013	0.006	0.043

Table 2 Chemical compositions of base metal

Tensile strength (kgf/mm ²)	Yield strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HR _B)
34.40	24.30	42	52

SGCC판을 100×147 mm로 제작하였으며, 사용된 점 용접기는 Model ASR-75이고 최대 용적률이 50% 75KVA로 용접조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Conditions of spot welding

Thickness (mm)	Squeeze force (kgf)	Welding time (cycle)	Current (A)
1.2	400	10	20,000

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1~3에서는 다점 스폿 용접부의 변형정보인 면외변위를 측정된 그림이다. 측정시 시험편 지그로 고정된 상태에서 하중을 상·하에서 부과하여 시험편에 레이저 빛을 조사하고 면외변위를 측정하였다. Fig. 1~3는 스폿 피치 간격이 각각 30mm, 40mm, 50mm이고, ESPI 시스템으로 측정된 원시 이미지와 집중된 변형정도를 분포 형태로 본 그림이다. 그림에서 알수 있듯이 스폿 용접부 상부보다도 아래의 원 스폿부분에 변형이 집중되는 것을 실시간으로 볼 수 있었다. 또한 그림에서 (a)에서 (e)로 하중이 증가할수록 아래쪽 스폿 용접부쪽에서 변형이 더욱 심화되었으며, 그 정도가 변형분포도에서 확인하였다. 저하중 300kgf에서 아래쪽에 약간의 변형정도를 볼 수 있었으나 1000kgf에서 커져 최종 파단현상이 발생할 타점부를 미리 짐작할 수 있었다.

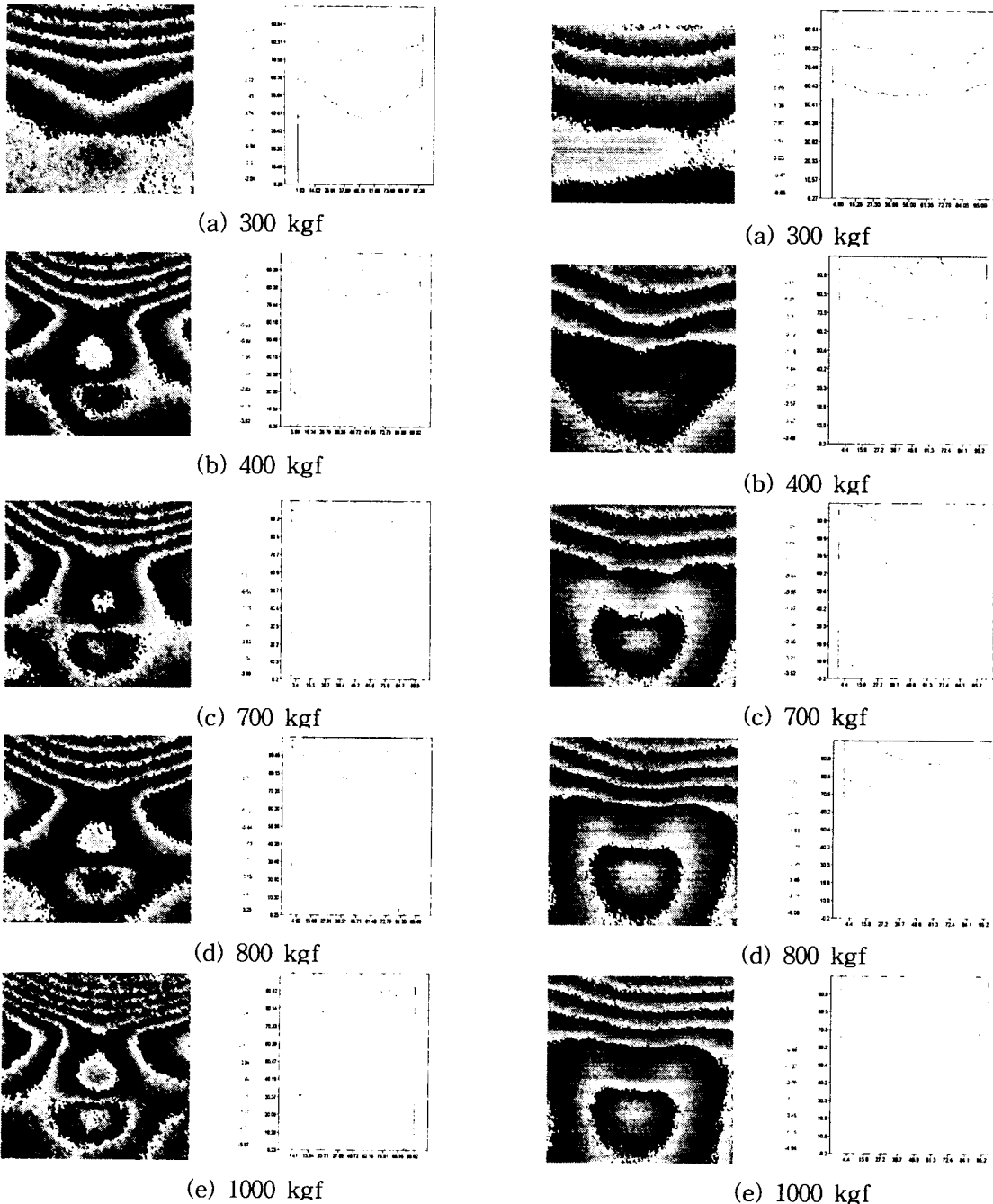


Fig. 1 Fringe pattern and displacement distribution of multi-spot welded zone in the pitch distance 30mm by the ESPI system

Fig. 2 Fringe pattern and displacement distribution of multi-spot welded zone in the pitch distance 40mm by the ESPI system

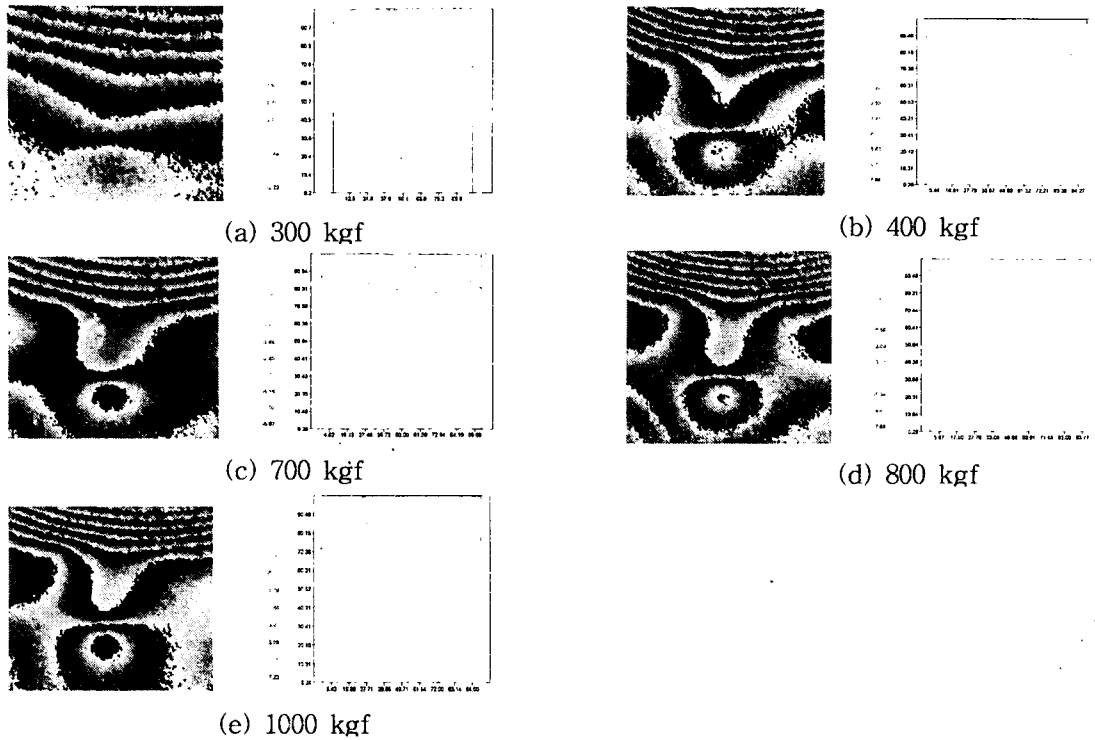


Fig. 3 Fringe pattern and displacement distribution of multi-spot welded zone in the pitch distance 30mm by the ESPI system

4. 결 론

ESPI법에 의한 변형 측정 시스템을 구성하여 점 용접부의 변형 집중상태를 측정한 결과 2타점에 있는 곳보다 왼 스폿쪽에 응력이 집중되었으며 변형도 크게 나타났다. 또한 인장시험에서도 최종과 단시 아래쪽에 파단이 발생되었으며, 계측시스템을 구성하여 점 용접부의 변형집중현상을 실시간적으로 측정할 수 있음을 알았다. 따라서 본 연구에서 구성한 시스템을 활용할 경우 스폿 타점이 많고 응력과 변형을 받는 부분을 실시간적으로 측정함으로써 이를 보완하는데 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Cha, Y. H., Sung, B. S. and Kim, D. J., "A study on the in-plane displacement measurement of spot welded joints by electronic speckle pattern interferometer method", The Korean Society of Machine Tool Engineers, (1997), pp. 48-53.
2. Butter, J. N., Leendertz, J. A., "Holographic and video techniques applied to engineering measurement." Measurement and Control, Vol.4, (1971), pp. 349-354.
3. Brdicko, J. M., Olson, D. and Hazell, C. R., "Theory for surface displacement and strain measurements by laser speckle interferometry." Optica Acta, Vol.25, (1978), pp. 963-989.
4. Butters, J. N. and Leendertz, J. A., "Holographic and video techniques applied to engineering measurement." Trans. of the Institute of Measurement and Control, Vol.4, (1971), pp. 349-354.
5. Boxiang Lu., Xiangyang Yang, Harald Abendroth and Heiner Eggers.. "Time-average subtraction method in electronic speckle pattern interferometry." Optics Communications Vol.70, (1989), pp. 177-180.