산학기술성공학회논문지
Vol. 1, No. 1, pp. 23~26, 2000

ESPI법에 의한 스폿 용접부의 비파괴적 응력측정 기술

김 덕 중* · 국 정 한** · 오 세 용*** · 김 봉 중*** · 유 원 일**** · 김 영 호****

Technology of Non-destructive Stress Measurement in Spot Welded Joint using ESPI Method

Duck Joong Kim*, Jeong Han Kook**, Se Yong Oh***,
Bong Jung Kim***, Won Il Yoo****, Young Ho Kim****

요 약 스폿용접은 겹침판을 끼우고 가압상태의 전극 사이에 단시간의 대전류를 흘려, 전류가 집중하는 전극 직하의 모재 저항 발열과 전극 및 모재의 열전도를 이용해서, 판과 판의 접촉부에 안정한 용융부를 형성하는 압접법이다. 스폿용접으로 대표되는 저항용접법의 특징은 작업속도가 빠르고, 대량 생산적인 성격이 강하다는 점이다. 그러나, 용접부의 점검이 중요함에도 불구하고 용접부의 직접 감시가 곤란하여 적절한 검사 방법이 확립되지 않은 결점이 있다. 최근 제조공정 중에 실시간으로 스폿 용접부를 비파괴적인 방법을 이용하여 응력 및 변형상태를 체크하고, 결함을 검출할 수 있는 방법이 강력히 요구되고 있는 실정이다. 스폿 용접부에 광학적으로 레이저 빔을 조사하여 렌즈에 의해 결상되면 결상면상에 작은 입자모양의 반점이 생긴다. 이 반점을 스페클이라 하며 이 스페클에 의해 만들어진 불규칙한 반점모양을 스페클 패턴이라 한다. 이러한 현상은 레이저 빔이 가간섭의 성질을 지니고 있으므로 조사영역에서는 랜덤하지만 시간적으로 정상적인 위상관계에 있는 다수의 광파가 간섭함으로서 발생하는데 이와 같은 줄무늬 간격을 PC 프로그램으로 계산하여 응력을 측정한다. 따라서 본 연구에서는 레이저를 이용한 전자처리식 스페클 패턴 간섭법(ESPI)으로 스폿 용접부의 응력 및 변형률을 측정하여 스트레인 게이지법과 비교 고찰한 결과, ESPI법이 유용함을 알 수 있었으며, 이 방법을 생산 공정에 적용함으로서 생산성 및 품질 향상을 기할 수 있다고 판단된다.

Abstract In spot welded joint, Electronic Speckle Pattern Interferometry(ESPI) method using the Model 95 Ar laser, a video system and an image processor was applied to measure the stress. Unlike traditional strain gauges or Moire method, ESPI method has no special surface preparation or attachments and can be measured in-plane displacement with non-contact and real time. In this experiment, specimens are loaded in parallel with a load cell. The specimens are made of the cold rolled steel sheet with 1mm thickness, are attached strain gauges. This study provides an example of how ESPI has been used to measure stress and strain in specimen. The results measured by ESPI are compared with the data which was measured by strain gauge method under tensile testing.

Key Words: Electronic speckle pattern interferometry(ESPI), Image processor system, Strain gauge method

1. 서 론

스폿용접의 특징은 작업속도가 빠르고, 대량 생산이 가능하며, 생산성이 높고 작업절차가 간단하여 자동화가 용이하므로 자동차, 항공기, 전자제품 등 각종 첨단 제품의 조립에 널리 응용되고 있다.

이들 제품은 박판 구조물 특유의 거동을 하므로 강도평가가 용이하지 않아 생산성 및 신뢰성이 문제가 되고 있다. 그러므로 스폿 용접부의 응력상태를 파악하는 것이 중요하며, 제품의 특성상 비접촉, 비파괴적으로 응력 및 변형을 평가하는 방법이 요구되고 있다. 그러나 국내에서는 아직 이 분야에 관한 연구가 미흡한 실정이다.

비파괴적으로 응력을 측정하는 방법으로는 간섭법, 광탄성법, 홀로그래피법 등이 이용되고 있으며, 레이저를 이용한 스페클 패턴 간섭법은 측정 안정성 및 민감도가 우수한 장점을 가지고 있다[1-3]. 레이저광은 단색성, 가간섭성, 지향성, 집속성이 좋고, 에너지의 공간적, 시간적인 집중, 짧은 펄스광의 발생이 가능하다는 등의 특징이 있다[4-6].

따라서 본 연구에서는 실시간으로 응력 분포를 측정할 수 있는 스페클 패턴 간섭법(SPI)에 화상처리 장치를 조합한 전자처리식 스페클 패턴 간섭법(Electronic Speckle Pattern Interferometry : ESPI)을 이용하여 스폿 용접부의 응력을 측정하고, 스트레인 게이지법과 비교하여 ESPI법의 측정 정밀도와 적용 가능성 및 문제점에 대해 검토하고자 한다.

*동아인재대학 자동차기계계열, **한국기술교육대학교 기계공학부, ***한국기술교육대학교 대학원 기계공학과, ****인천기능대학 전산응용기계과

2. 실험방법

2.1. 시험편

본 실험에 사용된 재료는 자동차 및 전자제품 등에 사용되고 있는 1.0 mm 두께의 냉간압연강판 SCP1을 사용하였다.

Table 1은 실험에 사용된 시험편 재료의 화학적 성분이며, Table 2는 기계적 성질을 나타낸다.

Figure 1은 시험편의 형상 및 치수를 나타낸 것이며, 응력 측정을 위해 너깃 주위에 게이지 길이 1 mm인 스트레인 게이지를 부착하였다.

Figure 2는 시험편의 지그로서 양단을 8개의 볼트로 고정시키고, 편심이 되지 않도록 양쪽 그립에 시험편과 두께가 같은 조각판을 대었으며, 총 20개의 시험편을 제작하여 데이터의 평균값을 취했다.

스폿 용접기는 공압식으로 정격용량이 150 kV인 정치식을 사용하였으며, 용접전극은 반구형(dome type), 외경 ϕ16, 전극팁 선단경 ϕ6.0, A형 수냉식이며, 10타점마다 교환하였다. 용접조건은 초기가압시간 0.67 sec, 유지시간 0.28 scc, 가압력 490 kgf, 용접전류 13500 A, 냉각수 유속 12 *l*/min로 일정하게 유지하였다.

2.2. 측정방법

Figure 3은 광학계의 평면배치도를 나타낸 것이다. 레이저 발생장치에서 나온 하나의 레이저 빔을 빔 스플리터(beam splitter)에 의해 2개 경로의 레이저 빔으로 분리시키고, Mirror 2와 Mirror 4를 상하로 배치하여, 상하방향에서 레이저 빔을 시험편에 조사하면서 변위를 측정하였다.

Table 1. Chemical compositions of base metal

(wt. %)

C	Si	Mn	P	S
0.04	0.012	0.32	0.025	0.008

Table 2. Mechanical properties of base metal

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Young's modulus (MPa)	Poisson's ratio
171.5	294.5	53.0	0.2071×10^6	0.3

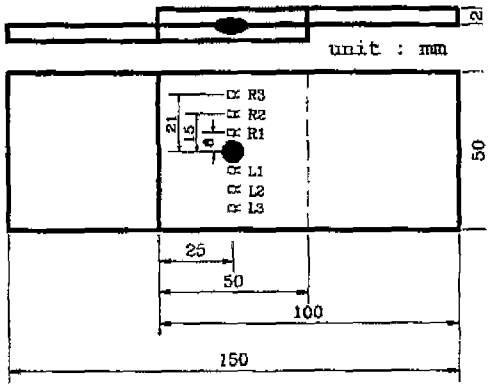

Figure 1. Spot welded specimen for ESPI.

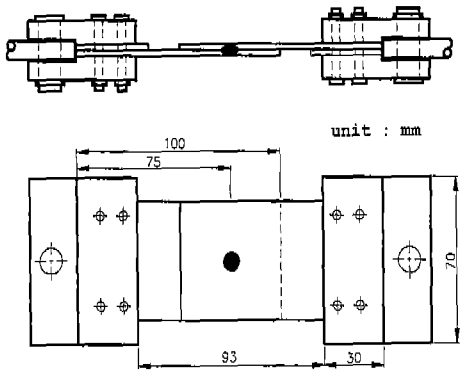

Figure 2. Configuration of grip.

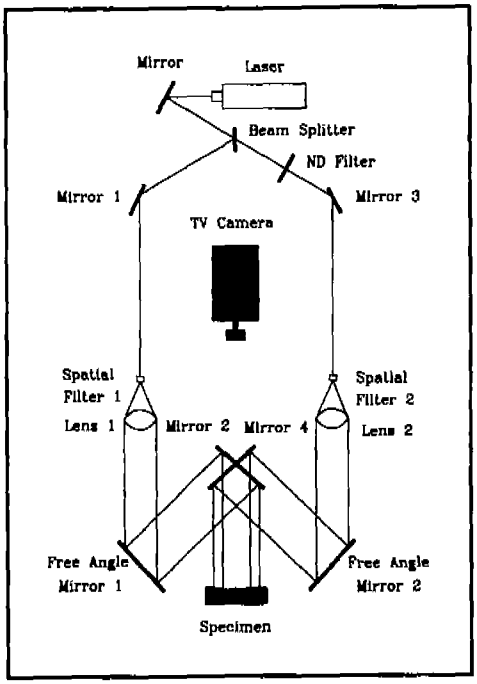

Figure 3. Arrangement of optical system.

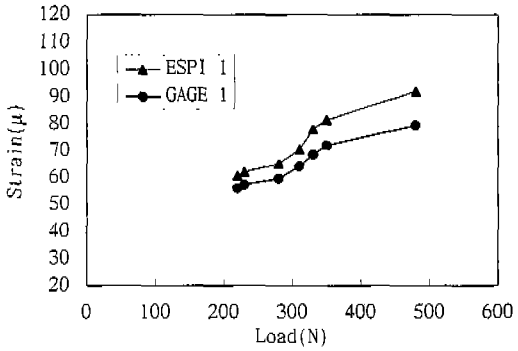

Figure 4. Strain values of spot welded joint (R_1 point).

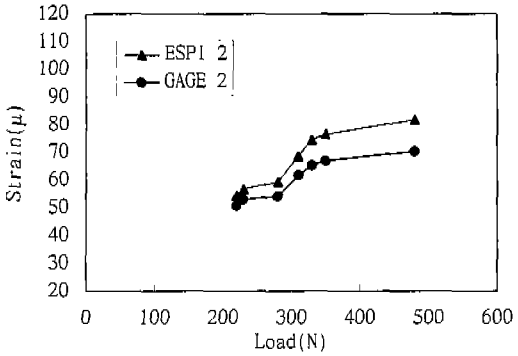

Figure 5. Strain values of spot welded joint (R_2 point).

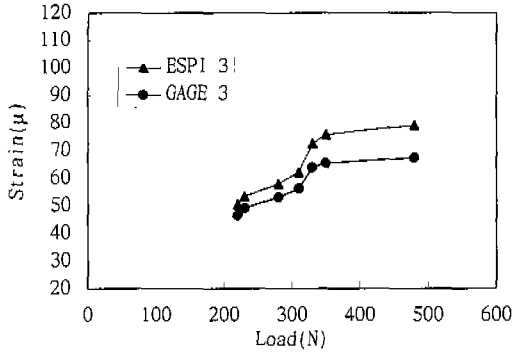

Figure 6. Strain values of spot welded joint (R_3 point).

본 실험에서 사용한 레이저는 LEXEL사의 모델 95 아르곤 레이저이며, 광학 정반위에 설치된 CCD 카메라(SONY사 제품)를 통해 전송된 신호를 처리하기 위해 NEXUS사 QUBE 시스템을 이용했다. 화상처리를 수행하기 위한 컴퓨터는 일본 NEC사의 PC-9801FA를 이용하였다.

측정면에는 금속광택을 제거하기 위해 흰색 도료를 도포하여 2 Ton 용량의 인장시험기로 하중을 가하면서 스폿 용접부에 레이저 빔을 조사하였다.

인접한 2개 줄무늬를 n차와 (n+1)차 줄무늬라 할 때 각각의 줄무늬에 대한 변위량 u_n과 u_{n+1}은 각각

$$u_n = n\lambda / 2\cos\theta \quad (1)$$

$$u_{n+1} = (n+1)\lambda / 2\cos\theta \quad (2)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 따라서 인접한 줄무늬의 변위량의 차 Δ는

$$\Delta = \lambda / 2\cos\theta \quad (3)$$

이며, 레이저 파장 λ와 조사각도 θ만에 의해 결정된다. 줄무늬 간격을 F라 하면, 수직변형률 μ는

$$\mu = u / F \quad (4)$$

으로 구할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

ESPI법에 의해 구한 값과 게이지로 측정한 스트레인 값을 정량적으로 비교하여 신뢰성을 검증하였다.

화상처리된 2개 줄무늬의 중심 스트레인 값을 구하여 그 사이를 1차 보간하고 게이지 위치에서 스트레인 값을 구했다. 게이지의 중심을 측정 위치로 하였으며, 게이지에는 폭이 있으므로 스트레인 값은 게이지의 중심과 중심에서 좌우 2 Dot씩 떠어 총 5개 점에서 스트레인을 계산하여 그 평균치로 하였다.

또한, ESPI에 의해 구한 스트레인을 μ_E, 게이지의 스트레인을 μ_G 라 하면, 오차 G(%)는

$$G = [(\mu_E - \mu_G) / \mu_G] \times 100 \quad (5)$$

으로 계산된다.

Figure 4~6은 스폿 용접부에 대한 실험 결과를 각 게이지별로 구분하여 각각의 스트레인 값을 나타낸 그림이다.

그림에서 알 수 있듯이, ESPI법에 의한 측정치와 스트레인 게이지에 의한 측정치를 비교해 보면 저하중(300 N 이하)에서는 3~5%, 고하중(300 N 이상)에서는 5~8%의 오차가 발생하였다. 하중이 높을수록 시험편 너깃부의 압축, 굽힘 등의 영향으로 다소 오차가 커진 것으로 보인다.

이러한 오차의 원인으로는 파장, 각도, 줄무늬 간격의 3가지로 생각할 수 있는데, 평판이 아닌 스폿 용접상태인 점을 감안하면 적용 가능한 수준으로서, ESPI 자체의 문제점으로는 생각되지 않는다.

Figure 7~9는 ESPI법에 의한 줄무늬 화상을 나타낸 사진이며, 하중이 증가할수록 줄무늬 개수가 많아지고, 줄무늬 간격이 좁아짐을 알 수 있다.

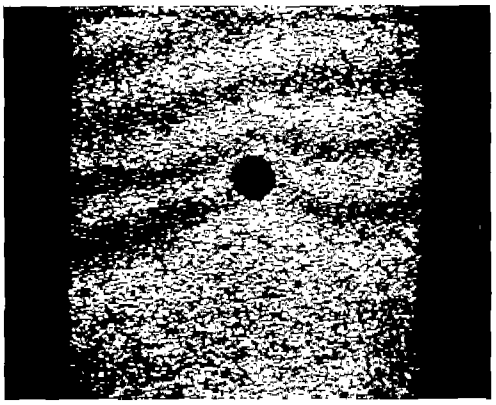

Figure 7. Speckle pattern at 1.0 kN.

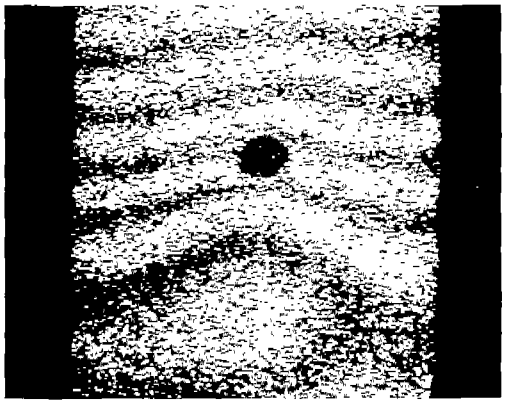

Figure 8. Speckle pattern at 1.5 kN.

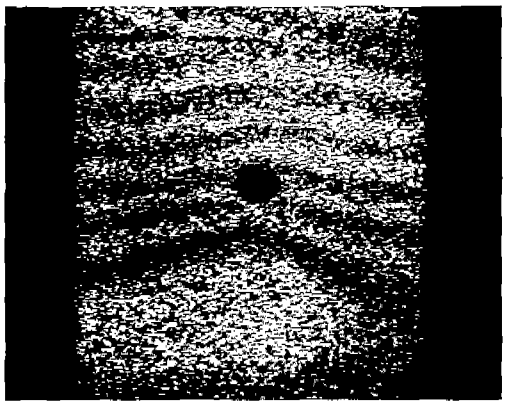

Figure 9. Speckle pattern at 2.0 kN.

4. 결 론

(1) 스폿 용접부의 응력분포를 측정하는 비접촉·비파괴적인 새로운 방법으로서 ESPI법이 유용함을 알 수 있었다.

(2) 저하중 상태에서는 오차의 폭이 3~5%, 고하중의 경우는 5~8%의 오차를 나타냈는데, 오차의 원인으로는 광학계 배치, 레이저 조사각도, 줄무늬 간격 측정시의 문제점 등을 들 수 있으나, 이에 대한 영향은 미미한 것으로 보이며, 적용 가능한 수준으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Dendy. D., Lcendertz. J. A, "Plane Surface Strain Examination by Speckle Pattern Interferometry using Electronic Processing", Journal of Strain Analysis, Vol. 9, No. 1, pp. 17-25, 1974.

[2] Barker. D. B, Fourney. M. E, "Displacement Measurement in the Interior of 3-D using Scattered Light Speckle Patterns", Experimental Mechanics, 16 (16), pp. 209-214, 1976.

[3] 山口一郎, "レーザスペックルひずみ計による高溫下のひずみ測定", 日本非破壞檢査學會, 第32券, 第9號, pp. 676-682, 1983.

[4] Goodmann. J. W, "Statistical Properties of Laser Speckle Pattern", Topics in Applied Physics, Vol.9, pp. 876-879, 1975.

[5] Archbold. E, Ennos. A. E, "Displacement Measurement from Double Exposure Laser Photographs", Optics, 19(4), pp. 253-271, 1972.

[6] Groh. G, "The Engineering Uses of Laser Produced Speckle Pattern", edited by E. Robertson and J. M. Harvey, Cambridge Univ. Press, pp. 483-494, 1985.