

<기술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2008.32.7.597

3-D ESPI법을 이용한 단점용접부의 변형률 측정

차용훈[†] · 강대진* · 장 훈* · 장경천** · 성백섭*
(2007년 8월 29일 접수, 2008년 4월 10일 수정, 2008년 6월 17일 심사완료)

The Strain Measurement of One Point Spot Welded Zone Using the 3-D ESPI

Y.H. Cha, D.J. Kang, H. Jang, K.C. Jang and S.B. Sung

Key Words: Spot Welded(점용접), SGCC(아연도금강판), ESPI(레이저계측), Straine(변형률)

Abstract

Currently knowledge of strain in welds has mainly been obtained from strain gaging method: that is directly attaching most of the material to the gage. The very few non-contact methods are still in the early stage. One of the non-contact methods is by the use of the laser that has high-level of the accuracy for the measurement, and this laser also has excellent characteristics on which many studies for its applications are focused throughout the many fields. A method of study is on the measurement of the strain caused by the characteristics of the spot welded zone which is used with 3-D ESPI system that is functionally modified through the laser ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry) system. This system employed the SGCC 1.2t which are mainly used for the steel plate such as automobile, structure, building material and electronic appliances.

1. 서 론

최근의 산업화에서 각종 구조물접합 등에서 점용접의 사용이 점차 증가하고 있으며, 점용접은 전기저항 용접 방법의 하나로 가압 효과에 의하여 용접 후의 금속조직이 양호하고, 변형과 잔류응력이 모재에 미치는 영향 등이 타용접 방법에 비하여 적은 것으로 알려져 있어 주로 박판의 이음 중 리벳 조인트를 대신하고 있다.^(1~3)

점용접은 강판의 두께가 1mm 전후의 얇은 강판을 용접하여 강도를 유지하기 때문에 점용접 조립 시 안전성을 매우 중요시하는 산업에서는 용접부

의 신뢰성 확보가 가장 큰 문제점이다.

실질적으로 승용차 차체에서 발생하는 내구력상의 문제점 중 일반적으로 70% 이상이 점용접 주위에서 발생하고 있으며, 이처럼 점용접 주위에서 문제점이 발생하는 것은 설계의 오류로서 발생하는 응력 집중이나 용접불량에 의한 균열요인 제공 등에 주로 기인한다. 따라서 내구성이 우수한 신뢰성있는 제품을 위해서는 점용접부의 특성 이해나 분석이 필요하다.^(4~6)

본 연구에서는 용접부의 특성을 분석하기 위하여 ESPI법을 이용하여 기계적강도의 기본이 되는 인장응력을 주어 하중 증가에 따라 어떠한 전단 변화와 응력 분포가 발생할 수 있는 가를 보다 면밀히 파악하기 위하여 Loading Rate를 변화시키면서 그 때의 변위를 관찰 하였다.

† 책임저자, 회원, 조선대학교
E-mail : dmd03@nate.com
TEL : (062)230-7952 FAX : (062)230-7049
* 조선대학교
** 한국생산기술연구원

2. 실험방법

2.1 ESPI법(Electronic Speckle Pattern Interferometry)

본 연구에서 이용한 전산처리 ESPI법은 비디오 홀로그래피, TV 홀로그래피, 또는 전산처리 홀로그래피라고도 불리며, 홀로그래피 간섭법은 줄무늬를 홀로그램이란 건판에 기록하고 기록된 건판을 현상, 인화해야 하므로 실시간적인 데이터의 처리가 불가능하다는 단점이 있다. 이러한 기록과 데이터 처리의 단점을 보완하여 데이터 기록에 있어서는 CCD 카메라에 의해 컴퓨터에 저장하고 데이터의 처리에 있어서는 화상처리 시스템을 이용한 것이 ESPI법이다. 따라서 ESPI법과 홀로그래피 간섭법은 데이터 기록과 처리수단에서만 다를 뿐 그 원리는 동일함을 알 수 있다.

홀로그래피 간섭법은 먼저 물체에서 나오는 회절파가 기준파와 간섭을 일으켜 간섭무늬를 만들어 홀로그래피 기록재인 홀로그램에 기록한다. 그리고 기록된 간섭무늬에 기준파를 다시 입사시켜 물체파를 재현한다. 단, 이때 물체파 이외에 함께 직진하여 나가는 회절 되지 않은 파동과 수렴하는 파동이 발생하나, 이들은 서로 분리시킨다. 간섭법의 기본원리는 홀로그래피에 의해 형성된 화상은 원래의 물체, 혹은 또 다른 물체의 홀로그래피 화상과 간섭으로 비교가 가능하다는 것이다. 물체가 응력, 진동 또는 열 등에 의한 영향을 받는다면, 간섭줄무늬의 패턴은 화상 안에서 관측되며, 줄무늬로부터 물체의 변위량을 결정할 수 있다.

본 논문에 사용되는 ESPI법은 면외 변위 측정기법 중 이중 노광법, 실시간법 및 위상 이동법을 이용하였고, Fig. 1은 변위측정 개요도를 나타내었다.

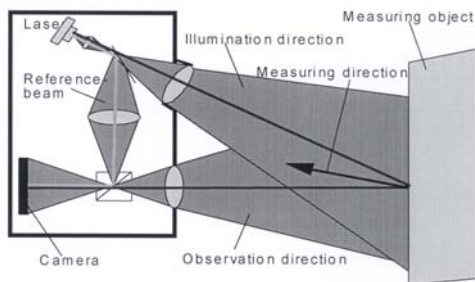


Fig. 1 Out-of-plane displacement sensitive ESPI

2.2 시험편 제작 및 실험방법 각 항 제목

2.2.1 시험편

실험에 사용되는 재료는 두께가 1.2mm인 아연 도금강판을 사용하였으며, Table 1과 Table 2에 화학적성분과 기계적 특성을 나타내었다.

두장의 도금강판을 용접 시 용접으로 인한 변형을 최소화하고, 용접에 정확성을 위하여 점용접 지그를 제작하여 용접 시험편 수축과 팽창을 최소화하였고, 시험편 점용접은 자동차 바디 조립 생산라인에서 많은 검증을 통하여 적용한 Table 3과 같은 용접 조건을 사용하였다.

용접 시험편은 SGCC판을 100× 147mm로 제작하여 두장 겹치기 점용접을 하였으며, 최대 용적률이 50% 75KVA인 ASR-75를 사용하여 시험편을 제작하였다.

또한 Fig. 2와 같이 인장 시험을 위한 지그를 제작하였다.

(a) 용접 시험편이 평판으로 제작되었기 때문에 인장 시험시 균일한 하중을 부여하기 위하여 인장 시험편을 고정하는 부분이며, (b)는 인장 인장 시험기 로드셀과 연결되는 부분으로 인장 하중을 시험편에 전달하는 부분이다.

Table 1 Chemical compositions of base metal

(wt. %)

| C | Si | Mn | P | S | S-AL |
|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.02 | 0.01 | 0.16 | 0.13 | 0.006 | 0.043 |

Table 2 Mechanical properties of base metal

| Tensile strength (kgf/mm ²) | Yield strength (kgf/mm ²) |
|--|--|
| 34.40 | 24.30 |
| Elongation (%) | Hardness (H _R B) |
| 42 | 52 |

Table 3 Welding conditions of spot welding

| | |
|-----------------------|------------------------|
| Thickness (mm) | Squeeze force (kgf) |
| 1.2 | 400 |
| Welding time (sec) | Current |
| 10 | 20,000 |

Table 4 Hardness distributions in spot welded zone
(Unit : Hv)

| Nugget | | Heat affect zone | | Base metal | |
|--------|-----|------------------|-----|------------|----|
| 214 | 219 | 198 | 136 | 102 | 98 |

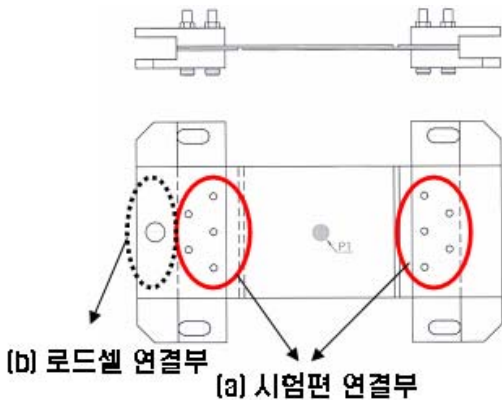


Fig. 2 The configuration of grip in tensile testing

2.2.2 실험방법

인장시험 시 시험편을 체결하기 위한 지그를 제작하여 인장시험 과정에서 좌우 회전현상을 방지하기 위하여 소형 인장시험의 지지부에 밀착하도록 제작하였다.

지그는 체결 시 시험편의 측면에서 일직선이 되고, 인장 및 ESPI 실험 시 편심의 발생을 방지함은 물론 오차의 원인을 최소화하기 위하여 보강대를 붙였으며, 시험편의 볼트 구멍은 시험편 전용정밀 드릴 지그를 제작하여 볼트 체결 시 발생하는 오차를 최소화하였다.

시험편에 인장응력을 가하기 위하여 Fig. 3과 같이 부가하중 장치를 사용하여 실험을 하였다. 부가하중장치의 가이드에 시험편을 부착하고 시험편 전체에 균등한 하중이 걸리도록 하였다. 시험기로 상부측은 고정되었으며, 윗과 윗휠에 의해 하부 측에 인장하중을 주어 시험편이 인장되는 구조로 되어있으며 상단에 고정되어있는 로드셀에 의해 하중을 전기적인 신호로 변환시켜 하중값을 나타내도록 하였다.

하중의 범위는 490N~6,566N 사이에서 y방향으

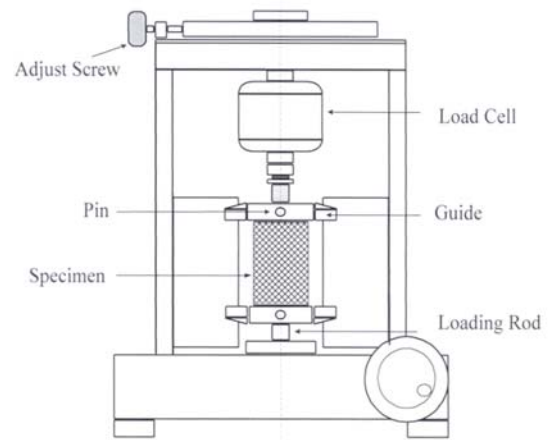


Fig. 3 Configuration of loading device

로 인장력을 주어 변위량을 측정 하였다.

또한 용접부의 횡 방향으로 절단한 단면의 표면에서 너깃부와 열영향부 및 모재를 마이크로 비커스 경도계를 이용하여 경도를 측정하였다. 사용된 마이크로 비커스 경도계는 SHIMADAZU에서 제작하였고, 사용범위가 최소 10g에서 최대 1,000g으로 사용하중은 200g을 사용하여 측정 하였다. 경도 시험 시 측정위치가 용접부위별로 정확하도록 샌드페이퍼#400~2,000으로 연마한 다음, 에칭을 하여 너깃부, 열영향부 및 모재부가 구별되도록 경도 시험을 하였다.

3. 결과 고찰

3.1 경도 실험

Table 4는 시험편의 경도 값을 도표로 나타내었다. 경도 측정 결과 너깃부와열영향부(HAZ)의 경계사이에서 가장 큰 경도 값이 측정되었으며, 열영향부에서 멀어질수록 경도 값이 급속히 낮게 측정이 되었다.

Table 5 Measured result of ESPI at the tension of one spot welded specimen

| Load(N) | Strains at the position apart from spot welded center ($\mu\epsilon$) | | | | |
|---------------|---|--------|--------|---------|---------|
| | -10mm | -5mm | center | 5mm | 10mm |
| 490 (Load1) | 0.1617 | 0.1138 | 0.0599 | -0.0308 | -0.0667 |
| 980 (Load2) | 0.3618 | 0.2899 | 0.1717 | -0.0520 | -0.1495 |
| 1,960 (Load3) | 0.5607 | 0.3966 | 0.1755 | -0.0620 | -0.2486 |
| 2,940 (Load4) | 0.7960 | 0.5369 | 0.2388 | -0.1108 | -0.3702 |
| 3,920 (Load5) | 0.7426 | 0.5455 | 0.2779 | -0.1565 | -0.2229 |
| 4,900 (Load6) | 0.8561 | 0.5312 | 0.2381 | -0.1587 | -0.3316 |
| 5,880 (Load7) | 0.9869 | 0.6961 | 0.2381 | -0.1587 | 0.3316 |
| 6,566 (Load8) | 1.8410 | 1.5394 | 0.8822 | 0.0968 | 0.2093 |

Table 5는 하중에 따른 ESPI 스트레인 실험값을 도표화 한 것으로 실험에 있어서 하중을 490N, 980N, 1,960N, 2,940N, 3,920N, 4,900N, 5,880N, 6566N으로 8가지 하중을 부여 하였다.

Fig. 4는 시험편의 너깃부 중앙을 센터로 하고 압축부를 음으로, 인장부를 양으로 각각 -10mm, -5mm, Center(0mm), +5mm, +10mm의 하중의 스트레인의 변화를 나타낸 그림이다.

열영향부 +5mm 근처에서 스트레인 변화가 변곡점을 형성하였으며, 열영향부 -5mm에서 스트레인 변화가 선형적으로 변화함을 알 수 있다. 또한 압축과 인장의 열영향부에서 변화량 차이가 하중의 각각 조건에 따라 0.11688 $\mu\epsilon$, 0.2951 $\mu\epsilon$, 0.996 $\mu\epsilon$, 1.224 $\mu\epsilon$, 1.7172 $\mu\epsilon$ 로 나타났으며 490N~4,900N까지 선형적인 증가량을 보였고, 5,880N과 6,566N에서 1.2224 $\mu\epsilon$ 와 1.7172 $\mu\epsilon$ 로 큰 차이를 보였다.

즉 열영향부 인장부(± 10 mm)에서 하중이 증가할수록 응력이 집중되며, 이로 인하여 변형률이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서 3-D ESPI 계측 시스템으로 아연도금강판 점용접부의 변형률을 하중에 따라 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 용접부의 가로 방향으로 시험편을 제작 후 경도를 측정한 결과 너깃부와 열영향부의 경계에서 Hv219로 모재보다 높게 나타났으며, 열영향부에서 멀어질수록 낮아져 모재에서는 Hv98로 측정되어 열영향부에서 멀어질수록 경도값의 수치가 급속히 낮아짐을 알 수 있었다.

(2) 용접재에 인장력을 y방향으로 작용 할 때 y 방향으로 가장 큰 소성 변형률이 발생하였고, z 방향으로는 전단 및 압축변형이 발생하였다.

(3) 490N~4,900N까지의 인장력에서는 선형적인 변형률을 보이다 5,880N과 6,566N에서는 큰 변형률차이를 보였고, 열영향부의 인장부의 응력 집중 현상과 스트레인 변화가 하중이 증가할수록 커짐을 알 수 있었다.

(4) 전기저항 용접 시 순간적으로 발생하는 열원으로 인하여 용접 모재의 조직이 열변형이 발

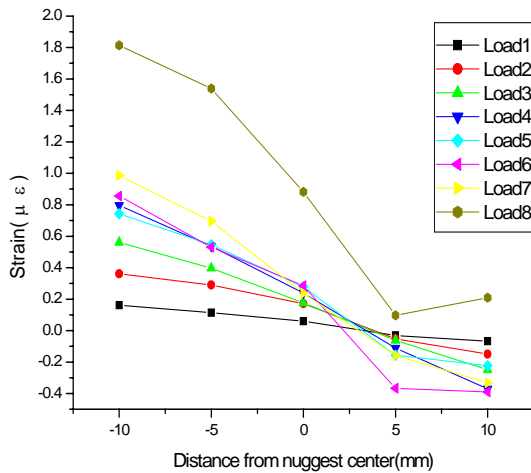


Fig. 4 Measured result of ESPI at the tension of one spot welded specimen

3.2 열영향부에서 변형률

하중 범위를 490N~6566N사이에서 y방향으로 인장력을 주어 부재의 전단변형을 측정하는 실험을 실시하였다.

생하여 경도 값이 열영향부로 갈수록 높게 측정되며, 모재의 연신율은 낮아진다.

후 기

이 논문은 2003년도 조선대학교 교내연구비과제로 연구되었습니다.

참고문헌

- (1) Gedeon S. A., Sorensen C. D., Ulrish K.T. and Eagar T. W., 1987, "Measurement of Dynamic Electrical and Mechanical Properties of Resistance Spot Welds," *Welding Journal*, Dec., pp. 378~385.
- (2) Satoh, T., Abe, H. and Ishibashi K., 1981, "An Investigation on Fatigue Crack in Spot Welding Joint -Effects of Pressing Spot Welds-," *The Japan Society, Preprints of the National Meeting of J.W.S*, No. 29
- (3) Yang, S. P. and Sung, B. S. "Evaluation of Fatigue Strength on the Weld Configuration of Press Vessel Welded Joints," *The Journal of the Research Institute of Mechanical Technology*, Vol. 2, No. 1, pp. 39~52.
- (4) Yang, S. P, 2000, "A Study on the Vibration Behavior of Composite Laminate under Tensile Loading by ESPI."
- (5) David L. Andrews, "Lasers in Chemistry," Springer-verlag, Berlin, Heidelberg, 1990
- (6) Wilson, J. and Levenson, M .D, 1987, "Lasers, Spectroscopy and New Ideas," Springer-Verlage, New York.