

레이저 계측에 의한 순알루미늄 용접부의 스트레인 측정

성 백 섭* · 차 용 훈** · 이 연 신***

*목포대학교 기계선박해양공학부

**조선대학교 기계공학부

***송원대학 자동차과

The Strain Measurement of Pure Aluminum Welded Zone by the Laser System

Back-Sub Sung*, Yong-Hoon Cha** and Youn-Sin Lee***

*Dept. of Mechanical Engineering, Mokpo National University, Mokpo 534-729, Korea

**Dept. of Mechanical Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

***Dept. of Automobile, Songwon College, Kwangju 501-759, Korea

Abstract

Currently knowledge of strain in welds has mainly been obtained from strain gage method; that is directly attaching the gage to the most of the material. 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.

The paper is on the measurement of the strain caused by the characteristics and the temperature changes of the GTA welded zone employed with 3D ESPI system that is functionally modified through the laser ESPI system. This system may be applied the steel plate such as for the electronics, chemistry, food instrument and electronic appliances.

(Received September 1, 2001)

Key Words : Non-contact method, ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometer), GTA(Gas Tungsten Arc) welding

1. 서 론

신소재들을 산업적으로 응용하기 위해서는 그 재질의 인장, 압축에 대한 변위 측정과 고온상태에서의 열변형 측정 등이 요구된다. 그러나 현재의 변위 측정은 재료에 센서를 직접 부착하여 측정하는 스트레인 게이지법 수준에 머물고 있는 실정이다¹⁻²⁾. 레이저는 단색성, 가간섭성, 지향성 및 집속성이 좋고, 에너지의 공간적, 시간적 집중, 짧은 펄스광의 발생이 가능하다는 특징 때문에 산업분야에 광범위하게 이용되고 있으며, 응용분야도 오늘날 광통신, 계측, 정보처리, 분광, 광디스크, 광전자기기, 재료가공 등 각방면에 걸쳐 급속히 확대되어가고 있으며, 레이저를 이용하여 용접부의 스트레인 측정의 응용에 관한 연구가 최근에 몇몇 과학자들을 중심으로 수행되고 있으며, 아직 초보적인 단계이다³⁻¹⁰⁾. 현재 시판되고 있는 김치냉장고 내부판재는 중량과 생

산단가를 낮추기 위하여 알루미늄을 사용하고 있으며, 이를 접합하기 위해서는 GTA 용접법을 사용하고 있다. 이와 같은 알루미늄 판재의 경우 완제품이 되기까지 많은 공정을 거치게 되는데, 불량률이 판금 용접부에서 많이 발생하여 이를 보완해야할 필요성이 제기되고 있다. 따라서 본 연구에서는 압연, 알카리 세척, 공냉 건조 및 열처리 공정에서 발생하는 50~300℃ 온도변화에 의하여 알루미늄 용접부에 영향을 줄 수 있는 온도이며, 계측시스템의 측정안정성이 좋은 온도인 60℃와 90℃에서 변화하는 스트레인을 측정하고자 한다.

2. 면내변위 계측이론

ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometer)는 집속성과 간섭성이 우수한 레이저 광원을 바탕으로 광학계를 구성하여 가간섭적으로 물체광과 참조광을 합성시킴으로서 물체의 변위량에 따라 발생하는 간섭패턴

의 줄무늬를 해석하는 방법이다.

Fig. 1에서와 같이 변위 변위 측정에서는 두 개의 레이저광(L1, L2)이 물체에 조사가 되어진다. 한쪽은 다른 한쪽의 참조광이라고 할 수 있으며, 변위 u 에 대한 변형 전후의 광로길이의 변화 Δ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta = L_1 - L_2 = 2u \cos \theta \tag{1}$$

여기에서 θ 는 시험편에 입사되는 레이저 광의 조사 각이고, β 는 관측 방향과 측정면에 수직한 Z축이 이루는 각이며, 광로길이 변화 Δ 는 $n \lambda$ ($n = 1, 2, 3 \dots$)가 될 때, 간섭 줄무늬를 형성하기 때문에 줄무늬 차수를 n , 레이저 파장을 λ 로 하면, 변위 u 와의 관계는 다음과 같다.

$$u = \frac{n \lambda}{2 \cos \theta} \tag{2}$$

결국 변위 u 는 레이저의 파장과 레이저 광의 조사각만으로 결정됨을 알 수 있다.

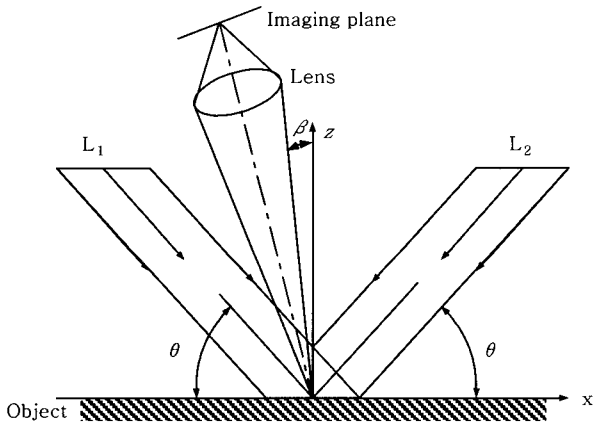


Fig. 1 Fundamental optical system of ESPI

3. 실험

3.1 시험편

실험에 사용된 재료는 알루미늄 Al-1234H12이고 두께가 1.0mm로 김치냉장고 내부에 사용하고 있는 재질이다. 재료의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2에 나타냈다.

용접시 용접부의 역학적 조건 및 시험편이 수축, 팽창을 받지 않는 무한평판의 최소 크기로 선정하였으며, 용접을 하고자 알루미늄판을 300mm×200mm의 크기로 하여 제작하였으며, 용접후 Fig. 2와 같이 150mm

×50mm인 인장 시험편을 제작하였다.

Table 3은 맞대기 용접시험편의 용접조건이다. 또한 스트레인 게이지를 용접 비드부를 경계로 일정한 간격 5mm, 15mm, 25mm, 35mm으로 부착하여 스트레인 변화를 측정하였다.

Table 1 Chemical compositions of base metal (wt. %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
0.198	0.65	0.05	0.05	0.05	0.10	0.06	99.35

Table 2 Mechanical properties of base metal

Tensile strength (kgf/mm ²)	Yield strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)
98	89.18	24

Table 3 Welding conditions of butt welding

Thickness (mm)	Current (A)	Voltage (V)	Pulse (Hz)	Ar gas flow (l/min)
1	115	20	95	15

온도측정은 -50~300℃의 범위를 측정할 수 있는 온도측정 장비로 열전대(thermocouple)를 시험편 표면부에 부착하여 실제 시험편의 온도를 측정하였다. 실제의 온도를 2 초마다 측정하고 온도변화를 프린트 용지에 출력하여 온도의 균일성을 확인하였다. 열발생 장치는 최대온도 300℃ 까지 발생할 수 있고, 열선에서 발생하는 빛이 실험에 영향을 미칠 수 있으므로 열선 표면부를 세라믹으로 도포하여 만들었다.

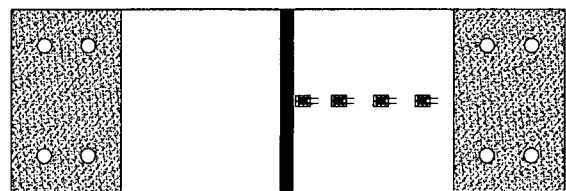


Fig. 2 The configuration to tensile specimen

3.2 시스템 구성

Fig. 3은 3D ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometer) 장치의 전체 시스템 구성도를 도식적으로 나타낸 그림이다. Electronic 장치는 화상을 위상 이동시키기 위한 장치이며, PZT에 전기적 신호로 보내 위상을 이동시킨다. 컴퓨터에는 Frame Grabber 카드

가 설치되어 화상의 입력과 계산을 수행하여 얻고자 하는 화상을 모니터를 통하여 2차원과 3차원 그래프로 보여주며, 화상을 처리하여 변형 값과 스트레인을 정량적으로 보여주는 역할을 한다.

Fig. 4는 ESPI 센서의 계측원리를 나타내고 있으며, 센서의 내부 구성을 면내변위 측정이 가능하게 설계하였다.

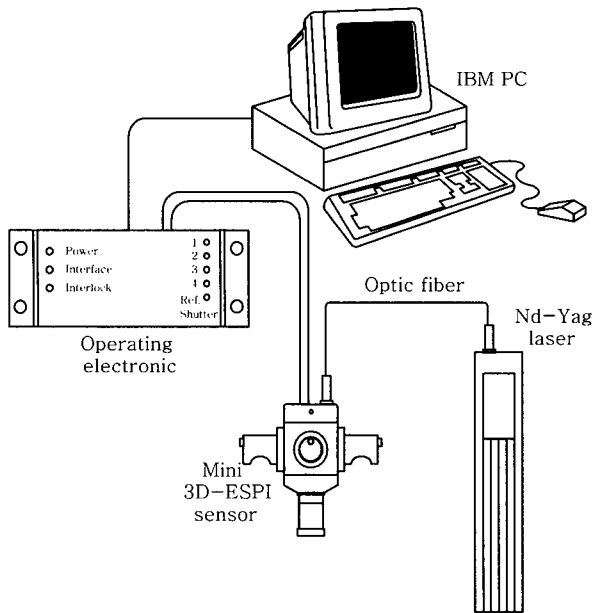


Fig. 3 Schematic diagram of total ESPI system employed

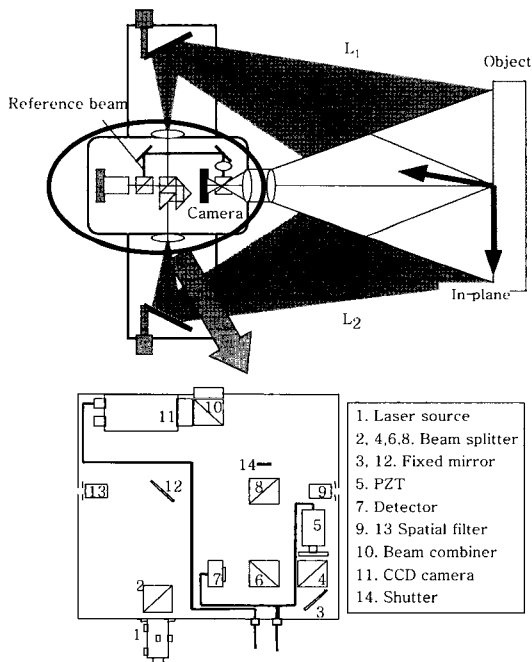


Fig. 4 Arrangement of ESPI optical sensor for inplane displacement

4. 실험결과 및 고찰

4.1 맞대기 용접부의 스트레인 측정

ESPI와 스트레인 게이지의 측정결과를 비교하기 위하여 실험에 있어서 하중차를 108N, 167N, 206N의 3종류로 하였다.

Fig. 5는 알루미늄판재의 맞대기 용접한 시험편을 3D ESPI 시스템으로 줄무늬를 측정하고 용접부에 스트레인의 높은 상태를 원시줄무늬로 나타낸 것이다.

Fig. 6~8은 108N, 167N, 206N로 하여 ESPI와 스트레인 게이지를 이용하여 측정한 변위를 나타낸다. Fig. 5에서 보듯이 하중이 증가할 수록 스트레인 변화가 높아짐을 알 수 있었다. 스트레인이 5mm 근처에서 가장 작게 측정되었으며 25mm에서 가장 크게 스트레인이 측정되었다. 이것은 하중을 초기에 가할 때 스트레인 집중현상이 시험편 체결하는 부분에서 발생한 것으로 사료된다. 저하중에서는 스트레인 변화가 용접부에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. Fig. 6~8에서는 하중이 증가할 수록 5mm 근처에서 스트레인 값이 점점 커짐을 알 수 있다. 특히 저하중에서 스트레인 게이지 부착위치 25mm에서 높게 측정되었던 것이 하중이 증가할수록 용접부 쪽으로 스트레인이 높게 측정되었다. 3D ESPI법과 스트레인 게이지에 의하여 측정한 변위 값을 비교분석한 결과 저하중시 오차의 범위가 2.6% 이내 였고, 고하중에서는 오차의 범위가 3% 정도로 정확하게 측정됨을 알 수 있었다.

Fig. 9에서는 맞대기 용접부의 스트레인 집중 상태를 다양한 하중변화(108N, 167N, 206N)에 따라 측정한 그림을 나타낸다. 하중이 증가할수록 용접부에 스트레인이 집중되는 현상을 실시간적으로 관찰할 수 있었다.

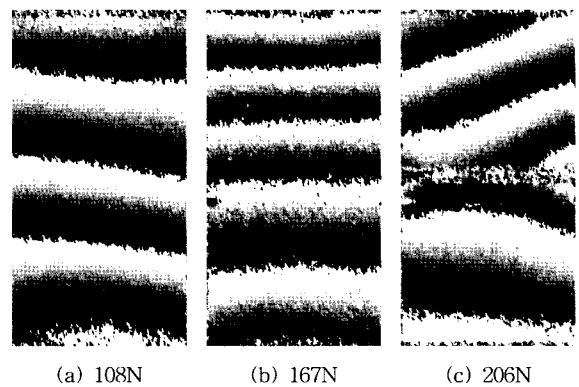


Fig. 5 Fringe pattern of ESPI on the tension

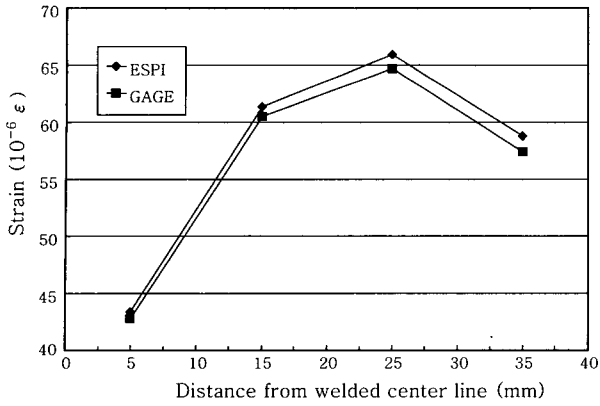


Fig. 6 Measured results from the center line of butt welded specimen on the 108N tension

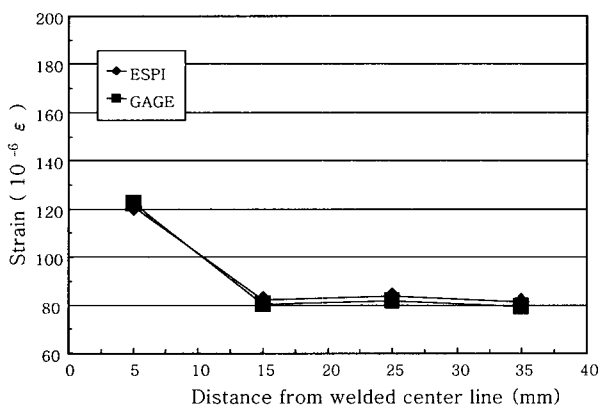


Fig. 7 Measured results from the center line of butt welded specimen on the 167N tension

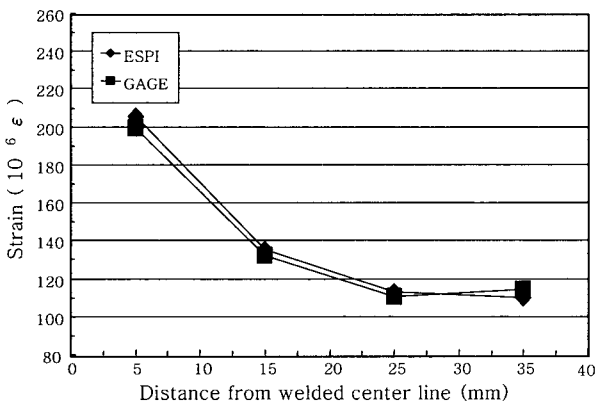
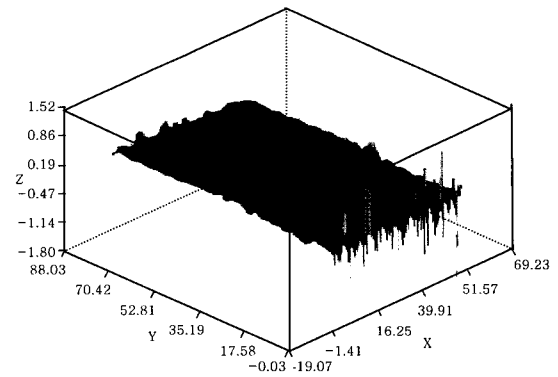


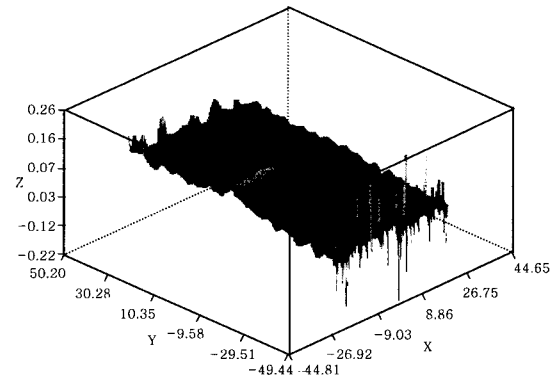
Fig. 8 Measured results from the center line of butt welded specimen on the 206N tension

4.2 온도변화에 따른 맞대기 용접부의 스트레인 측정

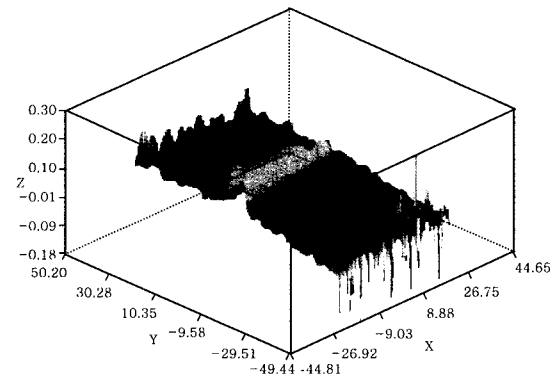
Fig. 10에서는 시험편에 열을 가하여 온도변화에 따른 맞대기 용접부의 스트레인을 측정된 원시줄무늬이다. 온도는 60°C의 온도 변화를 주어 용접부의 스트레인 변화 폭을 스트레인 게이지와 비교 검토하였으며,



(a) [108N]



(b) [167N]



(c) [206N]

Fig. 9 Strain distributions concentration of butt welded specimen on the tension

90°C의 원시줄무늬는 경향이 비슷함으로 삭제하였다.

Fig. 11~13은 온도가 60°C와 90°C이며 하중차가 108N, 167N, 206N로 증가할 때 스트레인 변화를 나타낸다.

Fig. 11~13에서 보듯이 하중이 증가할 수록 스트레인 변화가 높아짐을 알 수 있다. Fig. 11에서는 스트레인이 5mm 근처에서 가장 작게 측정되었으며 25mm에서 가장 크게 스트레인이 측정되었다. Fig. 12, 13에서는 하중이 증가할수록 5mm 근처에서 스트레인 값이 최고로 측정되었으며 부하위치 증가에 따라 스트레

인 값이 감소함을 알 수 있었다. 특히 저하중에서 스트레인 게이지 부착위치 25mm에서 높게 측정되었던 것이 하중이 증가할수록 용접부에서 스트레인이 높아져 스트레인이 고하중에서 용접부에 집중됨을 알 수 있었다.

온도변화에 따른 스트레인 측정결과 상온에서의 측정과는 다르게 그 폭이 매우 크며, 저하중 108N에서 60°C, 90°C일 때 5mm에서는 $57.14 \mu \epsilon$, $80.68 \mu \epsilon$ 이었다. 또한 온도가 증가할수록 크게 증가함을 볼 수 있었으며 고하중 206N에서는 $246.54 \mu \epsilon$, $300.65 \mu \epsilon$ 로 측정되었다. 용접 중심선상에서 가장 멀리 떨어진 위치인 35mm의 위치에서는 60°C, 90°C일 때 $123.75 \mu \epsilon$, $188.88 \mu \epsilon$ 로 측정되었다. Fig. 13에서 용접부 근방에 스트레인이 집중되는 변화를 사진에서 알 수 있다. 용접시험편에 대한 ESPI와 스트레인 게이지에 의한 스트레인 비교결과 저하중시 온도변화 60°C, 90°C에서 4.5%, 5% 이내였으며, 고하중에서는 6%, 8% 이내로 상온에서보다 다소 높았으나 잘 일치하였음을 알 수 있었다.

Fig. 14에서는 시험편에 열을 가하여 온도변화에 따른 용접부의 스트레인을 하중변화(108N, 167N, 206N)

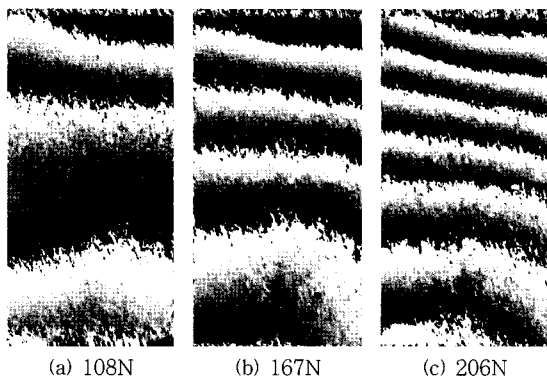


Fig. 10 Fringe pattern of ESPI on the tension in the temperature of 60°C

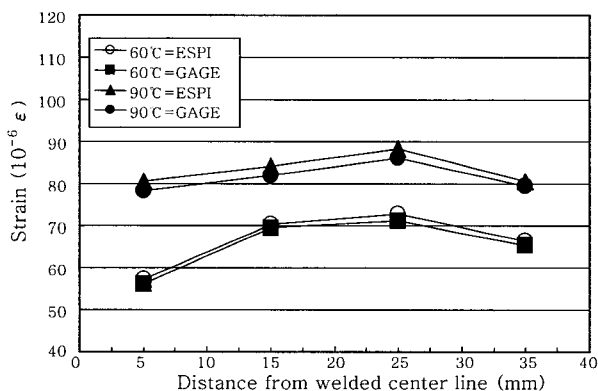


Fig. 11 Measured results in the 108N tension on the temperature variation

에 따라 측정된 그림을 나타내었다. 하중이 증가할수록 용접부에 스트레인이 집중되는 현상을 관찰하였으며, Fig. 9보다 스트레인집중현상이 더욱 큼을 사진에서 알 수 있다. 이것은 용접부에 대한 여러 공정처리 과정에서 발생하는 온도에 따라 용접부에 영향을 주고있으며, 특히, 압연, 열처리 과정에서 미소크랙 및 균열이 발생의 주원인임을 실험을 통하여 알 수 있었다.

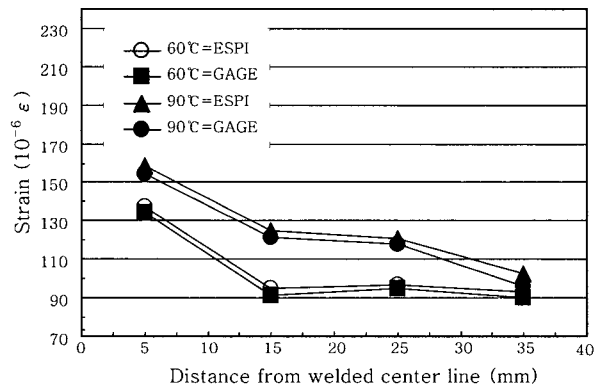


Fig. 12 Measured results of strain in the 167N tension on the temperature variation

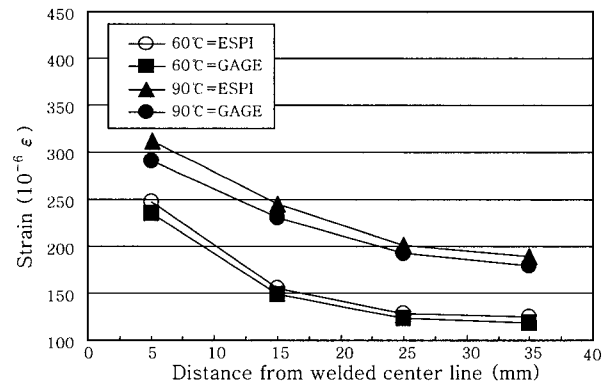


Fig. 13 Measured results in the 206N tension on the temperature variation

5. 결 론

알루미늄 용접부를 상온 및 온도변화에 따라 레이저를 이용한 3차원 ESPI 측정 시스템으로 스트레인을 측정하고, 스트레인 게이지를 사용한 스트레인 값을 비교분석하였으며, 다음의 결론을 얻었다.

1) 용접시험편에 대한 ESPI와 스트레인 게이지에 의한 스트레인을 비교한 결과 스트레인의 정량적인 측정을 실시간적으로 수행할 수 있었다.

2) 맞대기 용접시험편에서의 실험오차의 범위가 저하중시 2.6% 이내였고, 고하중에서는 3%로 측정되었어 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

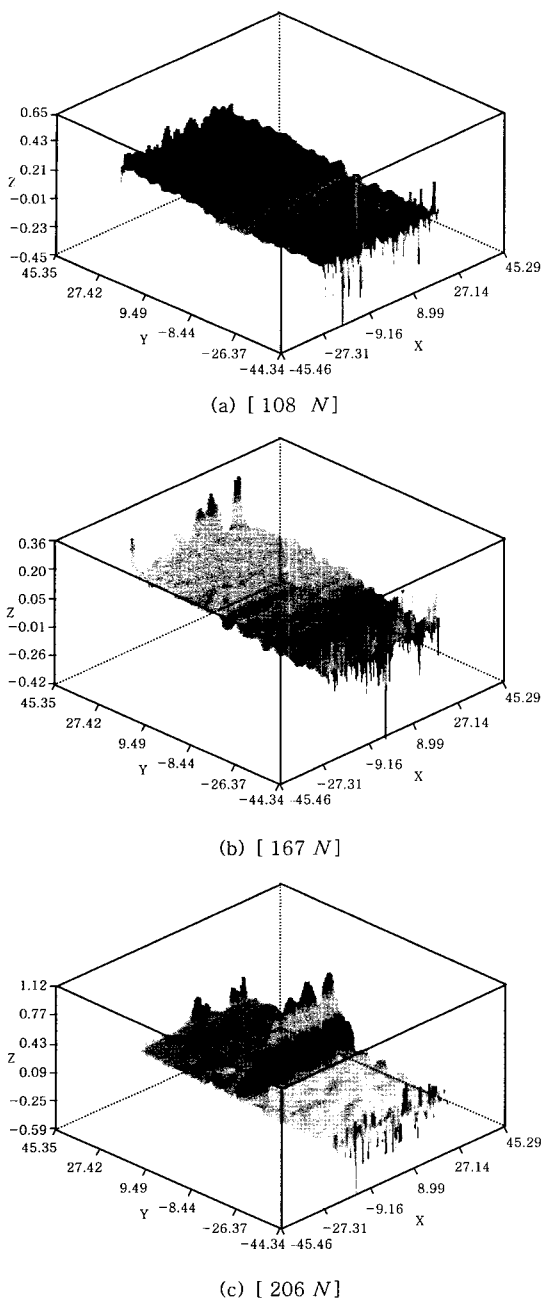


Fig. 14 Strain distributions of butt welded specimen on the tension by the temperature of 60°C

3) 용접부에 온도변화 60°C, 90°C 일 때 저하중에서 4.5%, 5% 이내였으며, 고하중에서는 6%, 8% 이내로 정밀 측정이 가능함을 확인할 수 있었다.

4) 용접시험편을 ESPI와 스트레인 게이지 실험법의

비교결과 저하중에서는 스트레인이 모재부와 용착금속부에서 차이가 크지 않았으나 고하중으로 증가함에 따라 스트레인이 용접부 쪽으로 점차 증가하였다.

5) 실험을 통하여 알루미늄 용접부에 대한 공정처리 과정에서 발생하는 온도변화에 따라 용접부에 미소크랙 및 균열이 발생할 수 있음을 규명하였으며, 생산과정에서 이에 대한 고찰이 필요하고, 특히, 압연 및 열처리 공정에서 불량 발생 수 있으므로 이에 대한 보완이 필요하다 하겠다.

참 고 문 헌

1. Cha, Y.H., Bang, H.S., Oh, Y. K., Ro, C. S. and Kim, J. M.: Numerical Analysis of Post Welding Heat Treatment Base on the Thermal, Journal of Ocean Engineering and Technology, 11-1(1997), 13-123. (in Korean)
2. 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) 48-53. (in Korean)
3. Moon, S. J., Kang, Y. J., Baik, S. H. and Kim, C. J.: The Measurement Method for Internal Defect of Pressure Vessels by using Realtime Holographic Interferometry, Proceedings of the KSME Fall Annual Meeting(I), (1995), 53-58. (in Korean)
4. Yang, S. P.: A study on the Vibration Behavior of Composite Laminate under Tensile Loading by ESPI, (2000)
5. David L. Andrews: Lasers in Chemistry, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, (1990)
6. Rastogi, P. K.: Holographic Interferometry - Principles and Methods: Springer Series in Optical Sciences, Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 68 (1994)
7. Rastogi, P. K.: Holographic Interferometry Principles and Methods, Springer-Verlag, (1994), 2-316
8. Hannah, R. L. and Reed, S. E.: Strain Gage Users' Handbook, Elsevier Applied Science Society for Experimental Mechanics, Inc. (1992)
9. 韓應教 : 스트레인 게이지 理論과 應用, 普成文化社, (1993)(in Korean)
10. H. J. Kim, W. S. Chang, S.K. Lee and S. J. Na: A Study on Measurement System for Micro Weld Distortion using Laser Speckle, Proceedings of the 2001 Spring Annual Meeting of Korean Welding Society, (2001), 297-299. (in Korean)