

스펙클간섭법을 이용한 맞대기용접부의 응력분포측정

*백상규¹, 아흐터 나심¹, 정현철², 최정석³, 김경석⁴

¹ 조선대 대학원, ² 조선대 산학협력단 레이저센터, ³ 목포과학대 기계설계과, ⁴ 조선대 기계설계공학과

Measurement of distributed stress butt welding using speckle interferometry

* S. K. Baek¹, N. Akhter¹, H.C. Jung², J. S. Choi³, K. S. Kim⁴

¹ Chosun Univ, Graduate School, ² LARC, Chosun Univ.

³ Dept. of Mech.Dsgn.Eng, Mokpo Science College, ⁴ Dept.of Mech.Dsgn.Eng, Chosun Univ.

Key words : Speckle interferometry , Stress distribution

1. 서론

일반적으로 금속의 접합방법중 한 분야인 용접은 현대산업의 발전에 중요한 역할을 담당하고 있다. 용접에 의한 접합은 단조나 리벳이음 등 다른 접합방법에 비해 높은 이음효율, 뛰어난 기밀성, 재료의 절감 등의 많은 장점들로 인하여 그 적용이 확대되어 왔다. 또한 현재 원자력 발전소의 원전계통 배관 파이프 및 압력용기 등의 기계공업분야나 자동차, 조선 등의 설비분야에 널리 이용되고 있으며, 특히 항공기, 로켓, 미사일등 항공우주산업에도 크게 자리잡고 있다¹. 최근 각종 구조물에 사용되는 판재는 사용조건이나 하중조건도 점차 다양해지고 있으며, 신소재의 개발과 함께 산업 전반에 걸쳐 이러한 소형화, 경량화와 함께 고강도화의 요구에 부응하여 사용이 늘어나고 있다². 산업적으로 응용하기 위해서는 그 재질의 인장, 압축에 대한 변위 측정과 용접 응력분포 및 잔류응력 측정 등이 필요하다. 현재 스테인레스 강재인 STS304는 강도와 재질면에서 우수하여 발전소의 원전배관에 주로 사용된다. 그러나 이러한 특성에도 불구하고 용접부만큼은 짧은 시간에 국부적으로 고열을 수반하는 복잡한 야금적 접합이 이루어지기 때문에, 제작 과정에서 열적 손상에 의한 결함을 초래하게 된다. 이때 발생하는 결함에는 용입불량, 기공, 불순물 혼입 및 균일 등이 있고, 이것들의 영향으로 용접부위에 균열이 발생되어 취성과파괴를 초래하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 STS304 맞대기 용접하고 인장시험편을 제작한 후, 하중을 가할 때 스펙클간섭법인 ESPI로 면내변위를 관찰함과 동시에 용접부위에서 응력분포의 값을 측정하고자 하였다.

2. 이론

2.1 스펙클패턴간섭법의 원리

전자처리 스펙클패턴간섭법(ESPI)은 집속성과 간섭성이 우수한 레이저 광원을 바탕으로 광학 간섭계를 구성하여 물체광과 참조광을 합성시킴으로써 물체의 변위량에 따라 발생하는 간섭 줄무늬를 해석하는 방법이다. 광학적으로 거친 물체 표면에 간섭성이 우수한 레이저 광원이 조사되면 물체표면에서 난반사가 일어나고, 이 난반사 된 빔들이 서로 간섭하면서 스펙클 현상이 발생하는데 이러한 스펙클은 빛의 휘도 분포로 물체 변위에 대한 중요한 위상정보를 갖게 되며, 그 위상 값은 CCD(Charge-Coupled Device) 카메라와 화상처리 장치를 통해 변위의 정보로 바뀌게 된다³.

Fig 1은 면내변위 측정을 위해 본 논문에서 사용한 간섭계의 개략도이다. 두 개의 레이저광이 조사면에 대해 같은 조사각도 θ 로 두 방향에서 조사하게 되면, 조사된 레이저광에 의해 물체표면에서 스펙클패턴을 형성하게 된다. 이 스펙클패턴은 조사된 레이저광의 위상차에 의해 형성되며, 조사광의 광경로 차이를 구하면 물체 변위와 레이저광의 위상과의 상관관계를 다음과 같이 (1)식으로 규명할 수 있다.

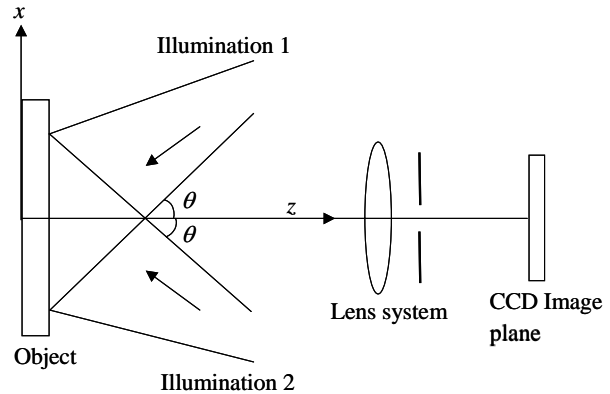


Fig. 1 In-plane displacement sensitive interferometer

$$\Delta\theta = \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)d_x \sin\theta \quad (1)$$

여기에서 $\Delta\theta$ 는 물체변위와 레이저광의 위상차, λ 는 레이저의 파장, d_x 는 물체의 x 축방향의 변위이다.

2.2 정량해석의 원리

일반적인 간섭줄무늬 패턴으로는 대상물의 변형을 정량적으로 해석할 수 없으며, 단지 시각적으로 대략적인 변형의 추정만이 가능하다. 식(2)는 두 레이저광의 합성광의 밝기분포를 표현한 식이다. 식(2)에서는 세 개의 미지수 I_o, γ_o, ϕ 가 있으므로, 이 미지수를 구하기 위해서는 3개이상의 식이 필요하게 된다.

$$I = I_o(1 + \gamma_o \cos\phi) \quad (2)$$

여기에서 I 는 간섭에 의한 광강도분포, I_o 는 빛의 세기, γ_o 는 간섭줄무늬 선명도이다.

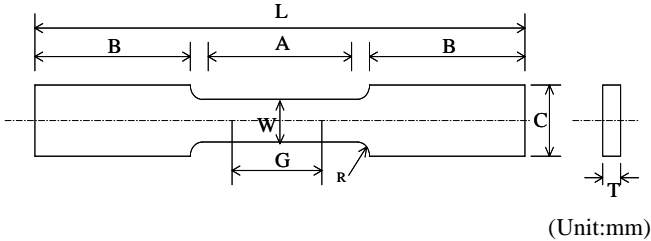
변형을 정량적으로 해석하기 위한 방법으로 Piezo-electric transducer(압전소자, PZT)를 이용한 위상이동 기법을 가장 많이 사용하고 있다. 이 기법에서는 참조광에 PZT를 이용하여 인위적인 위상변화를 발생시켜 식 (3)과 같이 주로 4단계 위상이동기법을 적용한다.

$$\begin{aligned} I_1 &= I_o[1 + \gamma \cos\phi] \\ I_2 &= I_o\left[1 + \gamma \cos\left(\phi + \frac{\pi}{2}\right)\right] = I_o[1 - \gamma \sin\phi] \\ I_3 &= I_o[1 + \gamma \cos(\phi + \pi)] = I_o[1 - \gamma \cos\phi] \\ I_4 &= I_o\left[1 + \gamma \cos\left(\phi + \frac{3\pi}{2}\right)\right] = I_o[1 + \gamma \sin\phi] \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)과 같이 4개의 밝기분포를 이용하여 대상체의 변위와 직접 관련이 있는 위상정보를 정량적으로 계산할 수 있다.

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \right\} \quad (4)$$

3. 실험 및 결과



(Unit:mm)

Abbrev.	Description	Dimension
L	Over-all length	100
A	Length of reduced section	32
B	Length of grip section	32
C	Width of grip section	20
G	Gage length	25
W	Width of reduced section	5
T	Thickness	0.5
R	Radius of fillet	3

Mechanical Properties	Specification
Material	STS 304
Young's modulus	206 GPa
Poisson's ratio	0.29
Density	7800 kg/m ²

Fig. 2 Dimension and mechanical properties of specimen

Table 1 ESPI phase-map according to force difference variation

$\Delta P(kg_f)$	phase map
1.367	
2.344	
3.416	
4.416	

본 연구에서는 ESPI를 사용하였으며, 파장이 532nm인 Nd:YAG 레이저를 사용하였다.

Fig 2에는 본 연구에서 사용한 시험편의 형상 및 치수를 나타냈다. 시험편은 ASTM A370-05에서 제시한 시험편 규격을 참조하여 제작하였으며, 두께 0.5mm인 STS304 판재에 아르곤가스용접 방법으로 맞대기용접을 하였다. 최대인장력이 200kg_f 인 인장시험기에 시험편을 고정시키고 변형량을 제어하여 인장하중을 가하였을 때, 용접부위에 발생하는 응력분포를 측정하였다.

Table 1은 변형량의 변화에 따른 위상지도의 변화를 나타낸다. 하중차가 증가함에 따라 위상지도에 나타난 간섭줄무늬의 수가 증가하고 있음을 알 수 있으며, 용접부에서는 간섭줄무늬가 현저

하게 감소함을 확인할 수 있었다.

Fig 3은 인장하중이 작용할 때, 하중차변화에 따른 시험편 중앙의 프로파일로부터 구한 변형을 나타내며 Fig 4는 Fig 3의 데이터에서 인접한 픽셀의 차를 구한 것으로써, 단위픽셀당 변형율을 나타낸다. 영역A와 영역C는 변형률이 거의 비슷하며 영역 B는 변형률이 매우 낮다. 그러므로 동일한 하중이 작용하고 단면적이 일정하다고 가정할 때, 용접부의 탄성계수는 상대적으로 높아짐을 알 수 있다.

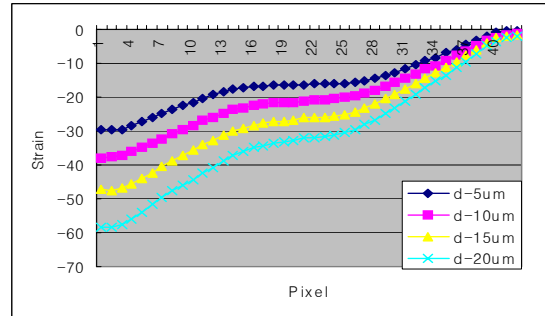


Fig. 3 Result of deformation profile in tensile-force and stress distribution.1

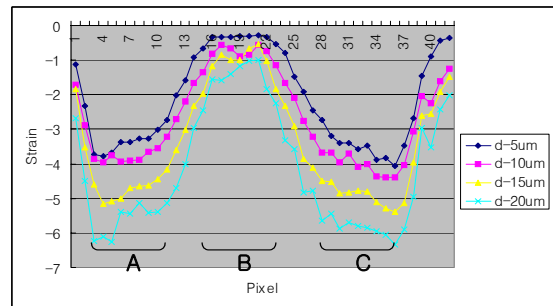


Fig. 4 Result of deformation profile in tensile-force and stress distribution.2

4. 결론

본 연구에서는 ESPI를 이용하여 하중변화에 따른 맞대기용접부의 응력분포를 구하였다. 그 결과, 용접부에 발생하는 탄성계수 변화를 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

후기

본 논문은 2006년 원자력연구기반확충사업의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. Lancaster, J. F., "Metallurgy of welding," 3rd Ed., 1-5, 1980.
2. Masubuchi, K., "Analysis of Welded Structures," International Series on Materials Science and Technology, 33, 1-10, 1980.
3. Y. J. Kang., J. S. Lee., N. K. Park., Y. K. Kwon., "Ideal Phase map Extraction Method and Filtering of Electronic Speckle Pattern Interferometry," Journal the Korean Society of Precision Engineering 19, 12, 20-26, 2002.
4. "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel products," Designation: A370-05, Annual Book of ASTM Standards 2006, 01.03, 87-133, 2006.