레이저 스페클을 이용한 미세 용접부의 변형 측정 시스템에 관한 연구

A study on measurement system for micro weld distortion using laser speckle

김형주*, 장원석, 이승기***, 나석주*****

*현대자동차 선행개발센터 샤시선행개발팀

**한국기계연구원 자동화연구부 정밀가공그룹

***한국과학기술원 기계공학과

****한국과학기술원 기계공학과

1. 서론

다이오드 레어저에서 나오는 광신호 전송을 위한 모듈인 광 커플러는 수 마이크로 이내의 열변형을 요구하므로 정밀한 용접이 요구되고 이를 위해서는 용접과정 전후의 변형의 측정이 중요하다. 하지만 측정하고자 하는 대상체의 복잡한 형상에서 발생하는 문제점과 용접 시에 발생하는 고온 때문에 일반적인 접촉식의 측정 방법으로는 변형 측정에 많은 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해 비접촉식이고 고온에도 적용 가능한 레이저 스페클 시스템을 구현하였다.

본 연구에서는 면내변형의 측정을 위한 레이저 스페클 상관법과 면외변위의 측정을 위한 전자 스페클 간섭법(ESPI)을 하나의 시스템에 구성하여 대상체의 3차원 변위를 측정하고자 하였다.

2. 상관도를 이용한 면내 변위 측정

상관도를 이용한 측정은 CCD 카메라를 이용하여 subimage의 변형 전과 후의 상관도를 계산하여 상관도를 최대가 되는 점이 subimage의 변위임을 이용한 것이다.

변위의 증가치가 작고 영역의 크기가 충분히 작다고 가정하면 영역내의 임의의 점은 변형이 일어나는 과정에서 모두 같은 변위를 가진다고 생각할 수 있다. 이 때 영역내의 임의의 점 $P(x,y)$이 새로운 점 $P^*(x^*,y^*)$으로 이동한다면, $P^*(x^*,y^*)=P^*(x+u,y+v)$와 같이 나타낼 수 있고, 평면 변위 (u,v)는 상관도가 최대가 되는 점을 찾아 결정하게 된다.

3. 간섭무늬를 이용한 면외 변위 측정

간섭무늬(fringe)를 이용한 측정은 광학적으로 간섭계를 구성하고 변형전과 변형후의 영상을 저장하여 두 영상을 빼거나 혹은 더해서 간섭무늬 형상을 얻고, 이 영상을 해석하여 면내 변위 혹은, 면외 변위를 측정하는 방법이다. 본 연구에서는 면외변위 측정용으로 간섭계를 구성하였다.

간섭무늬는 위상각의 변화 $\delta=(2n+1)\pi$ 일 때 최대로 밝은 값을, $\delta=2n\pi$ 일 때 (n은 정수) 최대로 어두운 값을 나타낸다. 위상각의 변화 $\delta=\frac{2\pi}{\lambda}(\vec{n_2}-\vec{n_1})\cdot\vec{d}$ 이다. $\vec{n_1}$ 은 조사되는 빔의 방향 벡터, $\vec{n_2}$ 관찰되는 빔의 방향 벡터, $\vec{d}$ 는 변위벡터이다. 면외 변위 측정을 위해서 간섭계를 구성할 경우 장치의 형식적인 제약 때문에 $\vec{n_1}$, $\vec{n_2}$ 와 $\vec{d}$가 완전한 수직을 이루지 못하므로 면내 변위가 면외 변위 측정에 영향을 미치게 된다.

간섭 무늬 해석 향상을 위하여 저주파 통과 필터법, 스핀 필터링(spin filtering), 상관도를 이용하여 간섭무늬를 생성하는 방법, 그리고 스핀 필터링 방법과 상관도를 이용한 간섭무늬 생성법의 장점을 결합한 개선된 상관도를 이용한 간섭무늬 생성 방법을 이용하였다.

4. 결과

측정에 사용한 대상체는 Fig.1과 같은 광 커플러이다. 광 커플러의 좌측에 튜브와 지지대의 연결 부분에 Nd:YAG 레이저를 1J로 2.0ms동안 조사하여 용접을 실시하였고 측정에 사용한 레이저는 20mW 출력의 He-Ne 레이저를 사용하였고 실제 시스템은 Fig.2와 같다.

Fig.3은 조사되는 Nd:YAG 레이저의 조건을 바꾸어 주었을 때 나타나는 간섭무늬이다. 그림으로부터 Nd:YAG 레이저의 출력이 증가함에 간섭무늬 개수가 많아지고 그 결과 간섭무늬의 간격이 조밀해 짐을 알 수 있다.

광 커플러에서 변형에서 주된 관심은 튜브의 변위이므로 튜브의 변위만을 고려해 본다

Fig.4 (a)는 픽셀(pixel) 단위로 빼주는 방법으로, (b)는 상관도를 이용하여, (c)는 본 논문에서 제안한 개선된 상관도를 이용하여 간섭무늬를 얻은 결과이다. Fig.4 (a)를 보면 튜브의 가장자리 부분에서 튜브의 곡면 때문에 He-Ne 레이저가 균일하게 조사되지 않아서 간섭무늬가 잘 나타나지 않음을 알 수 있다. 이를 해결하기 위하여 상관도를 이용한 방법으로 (b)의 이미지를 얻었다. 하지만 상관도를 이용한 간섭무늬 생성 방법으로 계산된 이미지는 영역 내에서 모두 같은 그래이 레벨을 가지므로 간섭무늬의 정밀도가 떨어지는 단점을 가진다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 개선된 상관도를 이용한 간섭무늬 생성 방법을 사용하여 (c)를 얻었다.

Fig.5 는 Nd:YAG 레이저를 0.8J로 1.5ms동안 조사하였을 때 상관도를 이용하여 측정한 면내 변위 중에서 튜브부분만을 나타낸 것이다. x방향의 최대 변위는 4㎛이고 y방향의 최대 변위는 2㎛이다.

5. 결론

상관도를 이용한 측정은 계산되어지는 영역의 크기나 면외 변위에 따른 상관도의 감소에 거의 영향을 받지 않았다. 간섭무늬를 이용한 면외변위 측정에서 x축 방향의 면내 변위가 간섭무늬에 최대 16%의 비율로 영향을 미친 반면, y축 방향의 면내변위는 간섭무늬에 거의 영향을 미치지 않는다. 레이저가 물체에 균일하지 않게 조사되는 문제는 개선된 상관도를 이용한 간섭무늬 생성 방법으로 개선할 수 있었다.

후기

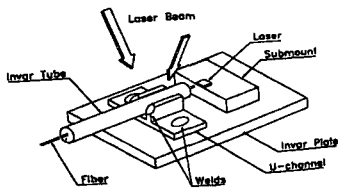
이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2000-E00501)

참고문헌

1. M.Sjodahl and H.O.Saldner, Three-dimensional deformation field measurement with simultaneous TV holography and electronic speckle photography, Applied Optics, 36(16), 1997, 3645~3648

2. Qiefeng Yu, Spin filtering process and automatic extraction of fringe centerlines in digital interferometric patterns, Applied Optics, 27(18), 1988, 3782~3784

3. Douglas R.Schmitt, Optimization of fringe pattern calculation with direct correlations in speckle interferometry, Applied Optics, 36(34), 1997, 8848~8857



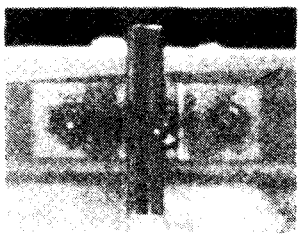


Fig.1 Laser micro welding

Fig.2 Measuring system

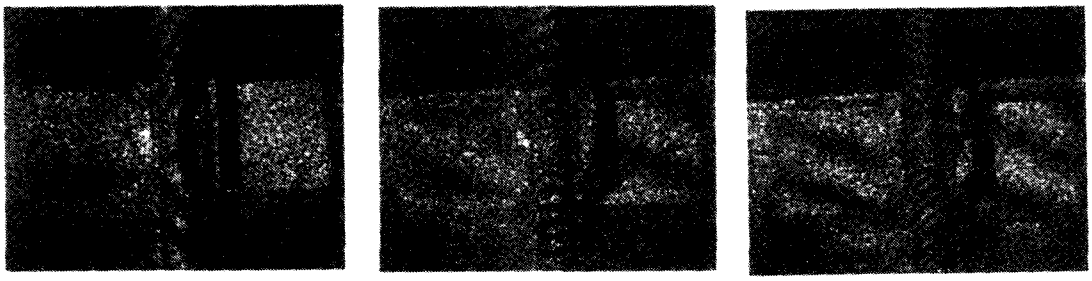


Fig.3 Comparison of fringe image with varying welding laser condition
(a) 0.8J,1ms (b) 1J,2ms (c) 1.2J,2.5ms

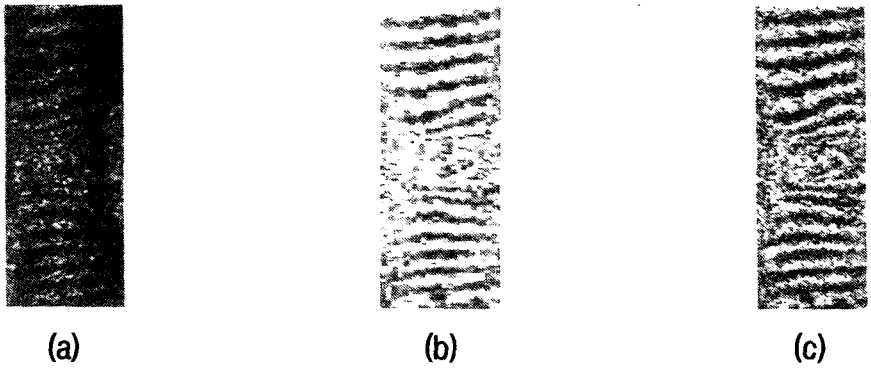


Fig.4 Fringe patterns in tube obtained by various method
(a)subtraction method (b)correlation method (c)modified correlation method

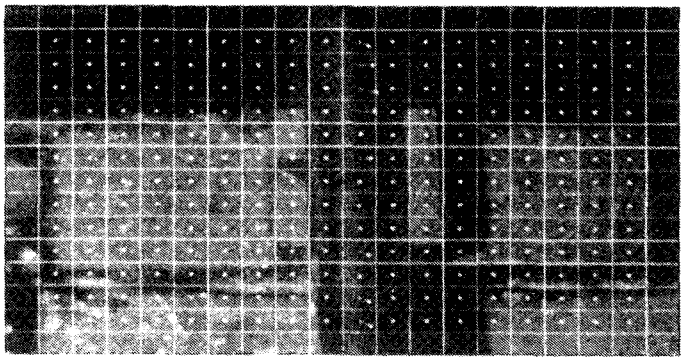


Fig.5 In-plane displacement field indicated by the arrow