

Tri-Metal의 레이저 용접

Laser Beam Welding of Tri-Metal

한유희, 서 정

한국기계연구원 레이저가공연구그룹

ABSTRACT Characteristics of laterally bonded tri-metal sheets (stainless steel/Invar/stainless steel) fabricated by laser beam welding are compared to those of samples by Imphy and Hitachi Co-operations. Residual stress of tri-metal is calculated by using of the hole-drilling strain gauge method. The aging effect of stainless steel strip on welding is also discussed. In addition to, a numerical approach for laser beam welding is tried. Finally, laser beam welding system of tri-metal can be designed on the basis of experimental and theoretical results.

1. 서 론

TV Brown관의 전자총에서 발사된 전자는 Shadow Mask에 도달하면 일부(20~30%)는 구멍을 통해 전진하며 나머지는 Shadow Mask에 충돌하게 된다. 이때, 통과된 전자는 화소에 충돌하여 색상을 재현하며, 충돌하는 전자는 열로 변환되어 Shadow Mask의 열변형을 일으키게 된다. 열변형이 커지게 되면 구멍의 위치가 변하게 되어 전자가 화면에 도달하는 곳이 달라지게 된다. [1] 이것을 빔의 오차(Beam Landing Shift)라고 하며 화상의 정밀도가 저하되는 결과를 낳는다. 이를 보정하기 위해 보강강쇠(Compensation Spring)를 설치하고 있는데, 보강강쇠는 바이메탈식(Bimetal System or Hook Spring)과 강쇠의 형상에 의해서만 보상하는 구석지지 방식(Corner Suspension System)이 있다. [2] 본 연구는 Hook Spring용 소재인 Tri-Metal을 제조하는 방법과 이를 생산하기 위한 레이저 용접장치를 제작하기 위한 기초연구에 관한 것이다.

2. 외국제품과의 비교분석

본 연구에서 레이저 용접하고자 하는 Tri-Metal의 형상은 그림 1과 같다. Tri-Metal은 고열팽창재료(stainless steel 304, 이하 SUS304 라고 함) 2편과 저열팽창재료(Ni36, 이하 Invar라고 함) 1편을 길이 방향으로 용접제작된다. Tri-Metal (SUS304/Invar/SUS304)의 소재의 폭은 8/14/8 mm, 두께는 0.8~1.2 mm 이고,

길이는 무한대이다. 용접실험은 SUS304 와 Invar 를 지그로 고정한 후 레이저 빔 고정, 용접테이블 이송형의 (주)한광 레이저 가공기에서 수행하였다.

한국에서 사용하고 있는 Tri-Metal의 샘플과 본 연구에서 제작한 용접시편을 분석비교하였다. 수거 샘플은 각각 a) Imphy, b) Hitachi, c) 한광의 3개사 제품이다 (그림 2참조).

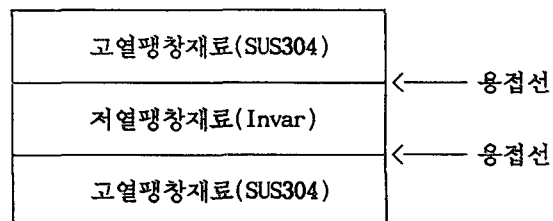


그림 1 Tri-Metal의 형태

Temper Color와 용접비드 외관으로 부터 Hitachi 와 Imphy 시편은 레이저 용접으로 제작되었을 것이라는 추측이 가능해 진다. Imphy 와 Hitachi 샘플에서 Invar (36Ni) 와 SUS304가 잘 혼합되지 않아 역삼각형태의 SUS304 부분이 용접부 상부에 응고되었음을 알 수 있다. 이에 반해 한광 샘플에서는 비교적 혼합이 잘 되어 있고 내부에 타원 형태의 SUS304 부분을 관찰할 수 있다. 혼합정도가 Imphy 와 Hitachi 가 한광에 비해 낮은 걸로 봐서 본 연구의 용접속도 4m/min 보다 높음을 알 수 있다.

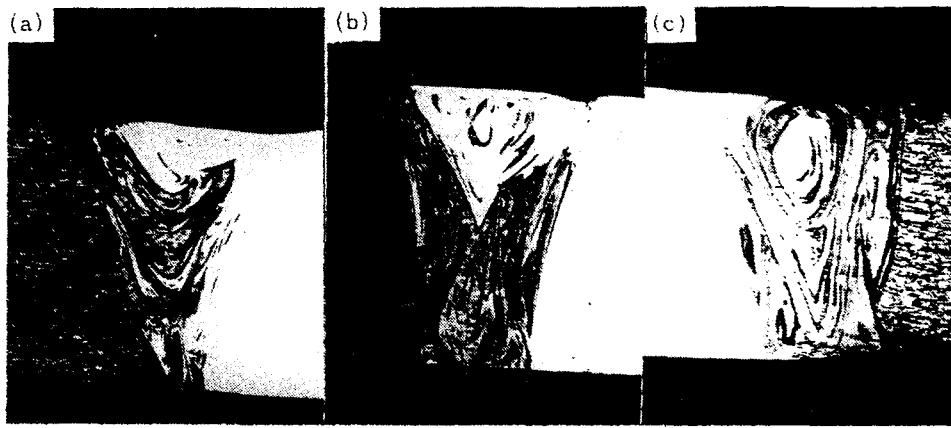


그림 2 단면의 형상 사진 (a) Imphy, (b) Hitachi, (c) 한광

용접부의 두께는 Point Micrometer로 측정하고, 소재폭 및 용접폭은 100x, 200x 현미경으로 측정하였으며, 용접비드 높이 및 평탄도는 Roughness 측정기로 측정하였다. 3개사의 Tri-Metal 의 치수검토 결과 거의 비슷한 수준의 오차를 가짐을 알 수 있었다.

Tri-Metal 을 소재로 한 Bi-Metal의 Hook Spring은 온도 상승에 따른 Shadow Mask 의 열변형을 정밀하게 보상하는 기능을 갖고 있는가를 평가하는 방법으로 만곡상수를 대표값으로 하여 성능 평가를 하였다. Imphy, Hitachi 및 Han-Kwang 시편들의 온도에 따른 변위의 관계는 모두 선형적인 거동을 나타내며, Imphy의 경우, 만곡상수는 $14 \times 10^{-6}/^{\circ}C$, Hitachi 의 경우 $12.8 \times 10^{-6}/^{\circ}C$, Han-Kwang 의 경우 $13.77 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ 이다. 여러개의 시편을 사용하여 측정된 결과 거의 비슷한 값을 가짐을 알 수 있었다.

3. 잔류응력의 측정

Tri-Metal의 용접시에 용접재의 기계적 및 물리적 성질의 차이에 따른 잔류응력이 발생하게 되며 잔류응력은 Tri-Metal의 만곡상수에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 제작되는 Tri-Metal 은 얇은 평판이므로 온깊이 구멍뚫기 (hole drilling through a thin plate)를 하여 잔류응력을 측정하였다. [3, 4]. x-방향 (용접선 방향)의 잔류응력의 분포를 그림 3에 나타내었다. SUS304에서는 길이방향으로 인장 잔류응력이 발생되며 Invar에서는 압축잔류응력이 발생함을 알 수 있다. 또한, SUS304와 Invar의 부분에서 전단응력이 존재함을 알 수 있었으며, 이는 시편의 제조시에 두 용접선을 동시에 용접하지 않고 분리하여 따로 용접

한 결과에 기인될 수 있다. 현재 제작중인 용접장치는 두 용접선을 동시에 용접하는 대칭 용접으로 설계되어 있다.

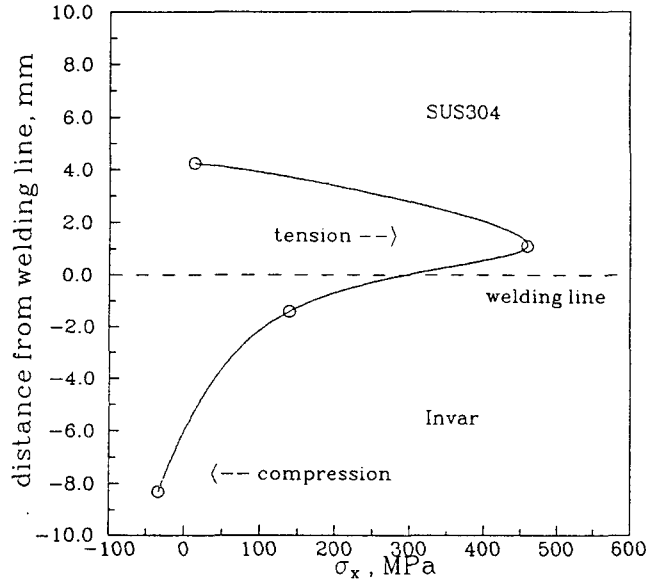


그림 3 Tri-Metal 에서 x-방향의 잔류응력분포

본 연구에서 사용한 SUS304 제품의 경도는 448.75 Hv이며 SUS304 판재의 두께 감소율은 대략 50% 정도임을 알 수 있다. [5] 이때 항복강도는 1156 MPa 이며 그림 3에서 얻은 용접부의 최대 인장잔류응력은 항복강도의 40% 정도임을 알 수 있다. 본 연구에서 사용한 SUS304 판재의 열처리를 하여 수축률을 조사한 결과 120°C 정도에서 수축이 일어남을 알 수 있었다. 수축에 의하여 발생하는 응력은 약 40 MPa 정도이며 용접부 부근의 잔류응력의 10% 정도이다. 그러나, 이러한 수축현상이 실제용접시의 열팽창계수의 차이에 따른 변형의 차이에 중복되어 나타나는 경우 40 MPa 이상이 될 수도 있으리라 짐작된다. 따라서, 용접전 SUS304 판재를 열처리 하는 것이 중요한 작업이 될 것이다. 따라서, 레이저 용접 후 냉각을 하였을 때 앞의 수축현상이 발생하면 잔류인장응력에 영향을 미칠 수 있으므로 용접 이전에 이러한 수축현상을 발생시킴으로서 용접시의 수축현상을 방지할 수 있으리라 사료된다.

4. 용접현상의 수치해석

본 연구에서는 레이저 용접시에 일어나는 역학적인 현상들을 해석적으로 규명하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 시도하였다. 이를 위해 열탄소성 해석 (Thermo-Elastoplastic Analysis) 방법을 이용하였으며, ANSYS 4.4A 소프트웨어를 사용하여 SUS304와 Invar의 두 재료에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 시도하였다. 두 재료를 동시에 용접하는 경우 (즉

Tri-Metal 의 경우) 두 재료의 각각의 용접 특성의 해석이 우선되어야 하므로 본 연구에서는 각각의 재료에 대해 현상학적 연구를 하였다.

용접선으로 부터 떨어져 있는 부분에서 열응력들의 차이가 적었으나, 냉각후의 잔류응력을 조사하면 용접선 근처에서 최대임을 알 수 있었다. 응력 및 온도분포는 문헌에서 설명하고 있는 용접현상과 같은 결과를 보이며 이로부터 두 재료를 동시에 용접하는 영역으로의 연구를 앞으로 시도할 예정이다.

5. 결 론

본 연구에서 제품의 성능사양 검토, 기초실험 및 품질검사 방법 등에 관한 연구를 수행하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 국내에서 사용하는 외국제품의 Tri-Metal 샘플과 본 연구에서 수행한 용접시편에 대한 Temper Color, 용접비드 외관, 용접단면, 용접부 치수, 경도, 인장강도, 성분분석 및 만곡상수 등을 비교하여 시스템 제작 및 용접조건에 대한 기초자료를 획득하였다.

(2) 구멍뚫기법에 의한 Tri-Metal의 잔류응력 측정방법의 사용가능성을 얻었으며, 좀더 정확한 실험값을 측정하기 위한 새로운 방법 등을 개발중에 있다. 또한, SUS304 판재의 용접 전 열처리를 통한 수축제어 방법을 검토하였다.

(3) ANSYS 소프트웨어를 이용하여 용접현상을 해석하고 그 결과를 잔류응력 측정값과 비교하였다. 정량적인 비교에는 다소 무리가 있으나, 실험결과를 예측할 수 있는 정도의 결과는 얻을 수 있었다.

(4) (1)-(3)의 결과를 토대로 설계요건이 도출되었으며, 이에 대한 설계시방서를 완성하여 최소의 경비로 Pilot Plant를 제작중에 있다.

앞으로 제작되는 용접장치를 수정 및 보완하여 최적 용접기술의 개발, 시제품의 성능시험 및 생산화를 추진할 예정이다.

6. 참고문헌

- [1] T. Okata et al., A Structural Analysis Study on Shadow Mask Thermal Deformation of Color CRT, Japan Display, 1983, pp.20.
- [2] K. Tokita, H. Urata, M. Nakamura and T. Soae, A New Shadow Mask Proceedings of SID, Vol. 29/1.
- [3] J. Mathar, Determination of Initial Stress by Measurement Deformation around Holes, Trans, ASME Vol. 56, 1934, pp. 249-254.
- [4] Measurement of Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain Gage Method, Tech. Note TN-503-3, Measurement Group, Wendell, NC.
- [5] H. Aoyama, Mitsuyuki Tanka, Masaaki Tanka and T. Sasaki, Plastic Strain Induced by Tension Annealing of Stainless Steel Strip, Proceedings of International Conference on Stainless Steels, 1991, Chiba, ISIJ.