

## 스테인리스강 이종재 레이저 용접부의 구조적 특성 평가

### Structural weldment characteristics of dissimilar stainless steels using laser

이세환\*, 양해석\*, 신영석\*

\* 국방과학연구소

### 1. 서 론

현재는 산업의 다양화, 복합화 됨에 따라 용접공정도 다양화되며 품질의 고급화가 요구되고 있다. 레이저 용접은 빠른 용접성과 적은 열변형을 및 높은 효율성 적용의 다양성 등으로 현재 자동차 및 항공기 등의 산업에 널리 사용된다. 또한 일반 용접공정에 비해 금속조직의 변화가 적고 기계적 특성이 우수하여 첨단 산업에 많이 이용되고 있다. 특히 유도무기 및 항공기와 같은 분야에서 사용되던 기존 기계적 접합방식은 공기역학적으로 불안정한 문제와 제작공정의 어려움 등으로 레이저 및 전자빔 용접 등의 고에너지 용접방법의 사용이 늘고 있는 추세이다. 유도무기의 경우 고온환경 및 고기동성 등이 요구되어 소재의 선택도 그 요구에 부응하여 바뀌고 있다. 유도무기의 날개의 경우 고온 및 높은 부하하중 상태에서 운용되므로 높은 기계적 강성이 요구되며 또한 경량구조로 구성되어야 한다. 이러한 이유로 고온에서 기계적 특성이 좋은 스테인리스강 재질이 사용되고 구조도 내부가 비어있는 뼈대(skeleton)와 외피(skin)로 구성된 구조가 널리 사용된다.

본 연구에서는 유도무기에 날개에 사용되는 외피와 뼈대 구조의 레이저 용접부의 기계적 특성을 파악하고자 하였다. 날개 용접부는 구조적인 특이성을 가지며 이종재질의 스테인리스강으로 구성된다. 이종재질 용접 구조물의 경량화 및 경제성 등으로 인하여 발전소 및 화학플랜트 등에 널리 사용된다. 이러한 이종재질 용접부는 용접 후 용접부의 조성변화 등으로 기인한 불연속성을 가지게 되므로 피로 및 부식에 특히 취약하여 구조물의 안전성 및 정확한 기계적인 특성 파악이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 용접 후 발생하는 정도, 인장물성 및 용접잔류응력 등을

계측하고 용접부의 성분 분석 등을 통한 기계적 특성을 실험을 통하여 분석하였다.

### 2. 용접부 구조 및 용접조건

본 연구에 사용된 레이저 용접시편의 구성은 AISI630 소재와 AISI304 소재인 이종강으로 구성하였으며, 무게를 최소화하기 위해 Fig. 1과 같이 포켓 형상으로 AISI630 뼈대(skeleton)에 1mm의 AISI304 외피(skin)로 구성하였다. 레이저 용접은 펄스형 Nd-YAG 레이저 용접기를 사용하였으며 용접조건은 아래 Table 1과 같다. 용접시편을 구성하였다. 동일한 초기조건을 유지하기 위해 용접 전 기계가공 후 가공경화에 의해 발생하는 응력을 제거하기 위한 어닐링 처리를 하였으며, 조건은 AISI630 소재에 대해 470℃에서 2시간 동안 열처리 후 공기중 냉각하였으며, AISI304의 경우 절단 이외의 가공 공정이 없으므로 별도의 후처리는 수행하지 않았다. 용접부 틈새(gap)에 따른 영향을 평가하기 위해 Fig.1 하단 그림과 같이 틈새를 정의하고 틈새크기(gap width)에 따른 영향을 고찰하였다.

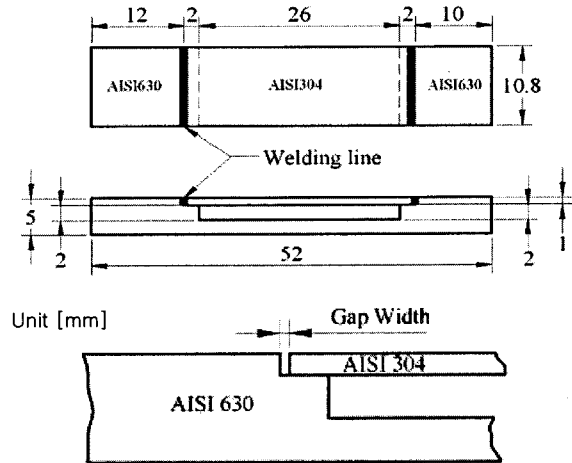


Fig. 1 Shape and dimensions of specimen

Table 1. Laser welding parameters

Parameter	Value or Shape
pulse shape	rectangular
pulse duration	8.5ms
pulse energy	10.065J
average power	201.3W
pulse power	1184W
pulse repetition rate	20Hz
welding speed	6.67mm/s
gas flow rate	0.15L/s
nozzle	$\Phi=3.5\text{mm}, 25^\circ$ off axis

### 3. 기계적 물성 평가

#### 3.1 경도 및 인장특성

본 연구에 사용된 이종재질 용접은 용접 후에 두 가지 재료의 성분이 용융 후 어떤 조직적/기계적 특성을 갖는지 예측하기가 어렵다. Stadtaus[1] 등은 동종재질 용접부에 대하여 경도측정을 통하여 조직 및 기계적 특성을 일부 예측하는 방법을 사용하였다. 아래 Fig. 2는 본 연구에서 사용된 경도측정은 용접부 표면을 폴리싱하여 용융부 중심을 기준으로 양쪽 방향으로 마이크로 비커스 경도기를 이용하여 측정하였으며, 측정 위치는 경계면에서 0.1mm 간격으로 측정하였고, 이때 측정하중은 0.3kgf로 하였다. 용융부 및 열영향부에서 높은 경도 값을 보였다.

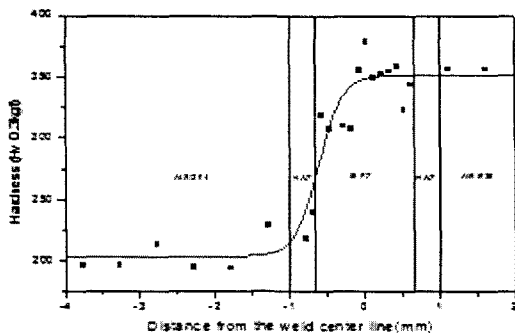


Fig. 2 Hardness distributions from the weld center

두 재료의 용융부의 인장강도를 얻기 위해 인장강도 시험을 수행하였다. 시편은 AISI304와 AISI630 소재를 20mm 폭, 200mm 길이 및 1mm 두께로 제작하여 맞대기 용접한 후 용융부

가 파단부위가 되도록 하기 위해서  $\phi 0.3\text{mm}$  방전가공을 통해 용접부위 면적을 축소(노치)시켜 AISI304 소재보다 먼저 파단이 발생하도록 구성하였다. Fig.3 인장시험 결과를 보면, 혼합 용융되어있는 이종재 시편의 인장강도는 1139(MPa), AISI 630 재료 시편의 인장강도는 1283(MPa), AISI 304 재료 시편의 용융부 인장강도는 664(MPa)로 두 재료가 혼합된 이종재 시편의 인장강도가 AISI 630 소재만의 용융부와 유사한 인장강도 및 기울기를 나타내었다. 이때 두 재료의 혼합 용융부의 인장강도가 AISI630 순수소재보다 다소 작은 값이 나타났다. 이는 석출경화 재료의 용접부 특성으로 그 부위에 혼합되지 않는 조직이 일부 석출된 결과로 판단된다 [2].

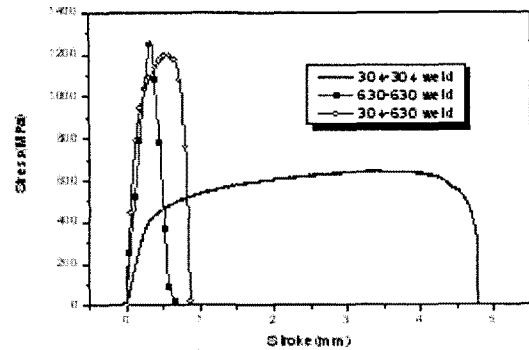


Fig. 3 Tensile stresses of welded specimen

#### 3.2 용접잔류응력 측정

일반적으로 널리 사용되는 잔류응력을 측정법으로는 홀드릴링(hole-drilling)법 [3], 절단법(sectioning method) [4], X선 회절법, 및 중성자 회절법(neutron diffraction) 등이 있다. 홀드릴링법과 절단법 등은 가공된 재료에 손상을 가하여 이완되는 응력의 양을 측정하는 방법으로 정확한 값을 얻을 수 있는 장점이 있으나 파괴적 방법이므로 재료에 손상을 주는 단점이 있다. 본 연구에 사용된 계장화 압입시험법(instrumented indentation technique) [5]이다. 비파괴 계장화 압입시험은 특정한 기하학적 형태를 지닌 강성 압입자로 시편 표면에 수백  $\mu\text{m}$  이내의 압흔을 형성시킬 때 나타나는 압입하중-변위곡선의 분석을 통해서 다양한 기계적 물성을 얻는 방법이

다. Fig. 4는 용접잔류응력 측정을 위해 구성된 시편의 형상이다. 틸새크기를 변화시킨 4가지 시편에 대하여 측정하였으며, 용접부를 중심으로 AISI 304, AISI 630 시편 각각 2포인트씩 압입 시험을 수행하였다. 계측시 조건으로 압입자는 비커스 누르계(Vickers Indenter)이며, 하중 인가속도는 0.3mm/min 이고, 하중인가-제거 반복 회수는 15회로 하였다.

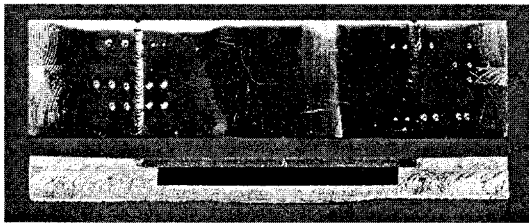


Fig. 4 Welded specimen for residual stress measurement

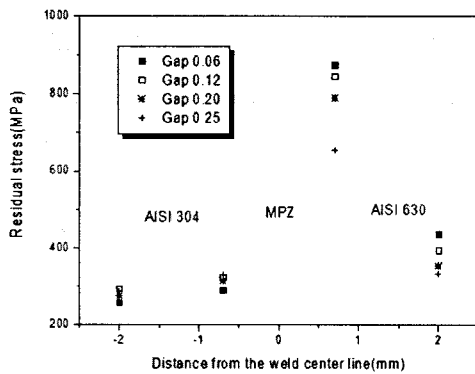


Fig 5. Longitudinal residual stresses distribution

잔류응력 측정결과 AISI 304 부재의 잔류응력은 0.7mm에서 약 300MPa, 0.2mm에서 280 MPa 로 비슷하였다. AISI630의 경우 0.7mm에서 653에서 873MPa로 크기의 분포를 보였다. 결국 틸새크기가 작을수록 대체로 큰 잔류응력 값을 보였다. 이러한 경향은 Sun[6]의 연구 결과와 일치함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 AISI 304와 AISI 630의 이종재질 용접부로 구성된 유도무기 날개 용접부의 기계적 특성을 파악하였다. 성분분석 결과 용접 후 용융부에는 두 재료의 혼합된 조직이 존재하는

것으로 판단된다. 경도 측정결과 용융부에 최대 경도 값을 보였으며 열영향부와 모재의 순서로 경도값이 감소하였다. 이 결과는 일반적인 용접부의 경도 예측과 유사한 결과이다. 용융부에서 최대 경도 값은 360Hv 정도로 나타났으며, 일부는 AISI 630 모재보다 낮은 경도 값이 나타나기도 하였다. 열영향부에 대한 경도 값은 AISI 304의 경우 250Hv, AISI 630의 경우 350Hv 정도의 값이 나타났다. 용접잔류응력 측정은 계장화 압입시험법을 사용하였으며, AISI 630 용접부의 용융부 부근에서 최대응력 값을 보였다. 또한 용융부 틸새크기가 작은경우 일반적으로 잔류응력의 크기는 증가함을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. M. Stadtaus, V. Michailov and H. Wohlfahrt : Simulation of welded shape, microstructure, distortion and residual stresses for laser beam welding, 6th Numerical analysis of weldability; Mathematical modeling of weld phenomena(Institute of Materials), pp.419-442, 2002
2. R. Kacar and O. Baylan : An investigation of microstructure/ property relationships in dissimilar welds between martensitic and austenitic stainless steels, Materials and design, Vol.25, pp.317-329, 2004
3. G. C. Luh and R. M. Hwang : Measuring Non-uniform Residual stress in thin plates by a proposed hole-drilling strain gauge method, International journal advanced manufacturing technology, Vol.15, No.2, pp.103-113, 1999
4. N. Tebedge, G. Alpsten and L. Tall : Residual-stress measurement by the sectioning method, Experimental mechanics, Vol.13, No.2, pp.88-96, 1973
5. Y. H. Lee, D. G. Kwon, J. I. Jang and W. S. Kim : Residual stress assesment in API X65 pipeline welds by non-destructive instrumented indentation, Key engineering materials, Vol.270/273, No.1, pp.35-40, 2004
6. Z. Sun and T. Moioio : Effect of processing parameters on Laser welded dissimilar steel joints, Welding journal, Vol.73, No.4, pp.63-70, 1994