

Laser와 TIG 용접 시 2.25Cr-1Mo강 용접부에서의 역학적 특성에 관한 연구 (II)

(용접 잔류응력 생성 및 분포특성)

An Study on the Mechanical Characteristics of 2.25Cr-1Mo Steel Welds

in TIG Welding and Laser Welding (II)

(Distribution characteristics of Residual Stress in Welding parts)

김 형*, 주 성민*, 김 영표*, 이 창우**, 김 중명***, 방 한서****

* 조선대학교 선박해양공학과 대학원

** 울산과학기술대학, 기계학부

*** 담양대학, 기계공학과

**** 조선대학교 항공·조선공학부 교수

1. 서 론

발전설비의 고온·고압 용기에 사용되는 2.25Cr-1Mo강으로 제작된 설비 운영 문제점은 거의 대부분 용접부위에서 발생한다. 이는 용접시 생성된 잔류응력이 설비에 가해지는 외력과 중첩되어 용접부에 가해짐으로서 발생하는 현상이다.

따라서, 용접부의 HAZ생성영역을 적게하고, HAZ부에 생성된 잔류응력을 적게 생성시키는 용접법의 개발은 매우 중요하다.

이와 같은 관점에서, 지금까지 2.25Cr-1Mo강의 용접에 적용되지 않는 레이저 용접과 TIG 용접을 이 강에 적용하여, 레이저 용접에 의한 잔류응력 생성과정을 파악하고자 한다.

2. 2.25cr-1Mo강의 역학적 재질 특성

열전도 해석 및 열탄소성 해석에서 이용한 온도 의존성을 고려한 2.25Cr-1Mo강의 재료 물성치는 Fig. 1과 같다.

3. TIG 용접과 CO₂ 레이저 용접에 의한 용접부의 역학적 특성 고찰

3.1 수치해석 이론

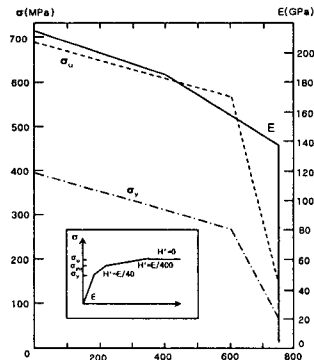


Fig. 1 Material properties of 2.25Cr-1Mo steel for thermal stress analysis

용접부 잔류응력 해석에서 탄·소성 전 영역에 걸쳐 항복강도, 탄성계수 등의 재료정수의 온도의존성을 고려하였으며, 소성역에서는 소성유동 이론에 입각하여 증분형으로 나타내어 해석의 정도를 높였다. 또한, 선형 등방경화 법칙을 고려하여 Von-Mises 항복조건을 항복함수로 사용하였다. 전 변형율(total strain) 증분($\partial\{\epsilon\}$)은 아래 식과 같이 탄·소성변형율과 열변형율의 합으로서 구성된다.

$$\{d\epsilon\} = \{d\epsilon^e\} + \{d\epsilon^p\} + \{d\epsilon^t\}$$

여기서 $\{d\epsilon^e\}$: 탄성 변형율, $\{d\epsilon^p\}$: 소성 변형율, $\{d\epsilon^t\}$: 열 변형율이다.

3.2 수치해석 방법

용접부에서의 잔류응력 해석을 위한 입력 데이터로는 접합시의 열 이력 데이터를 입력 데이터로 하였으며, 열탄소성 시의 경계조건은 수축과 팽창을 고려하여 Fig. 3과 같은 경계조건으로 하여 해석을 수행하였다. 그리고 재료의 역학적 강성 회복온도를 750℃로 가정하였다.

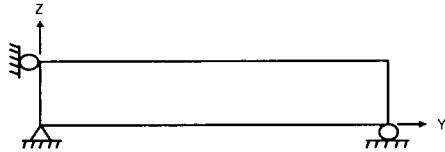
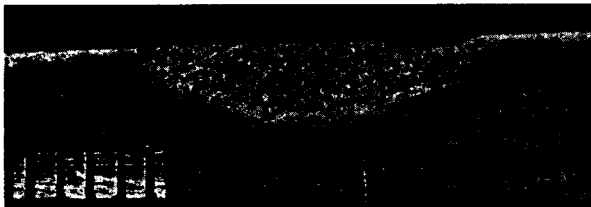


Fig. 2 Boundary condition for stress analysis

3.3 해석 결과 및 고찰

일반적으로 잔류응력의 크기가 용접부의 상부에서 가장 크게 관찰되어지는 시험편의 상면으로부터 0.5mm (Z=11.5mm) 떨어진 지점을 주목점으로 선정하였으며, TIG 용접과 CO₂ 레이저 용접에 의한 입열부의 단면형상과 크기는 Fig.5와 같으며, 시험편의 단면적의 크기인 300mm×12mm에 비해서 매우 적은 면적이다.



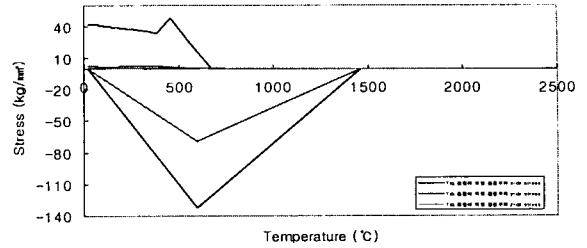
(a) TIG 용접에 의한 용접 단면 형상



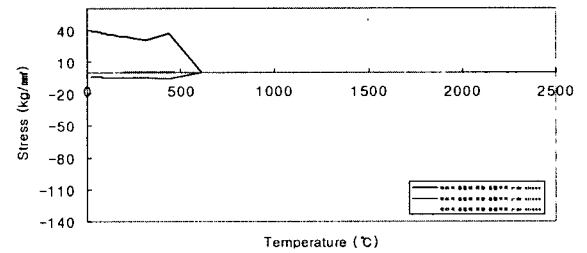
(b) CO₂ 레이저 용접에 의한 용접 단면 형상

Fig. 3 The shape of welding cross section in bead-on-plate

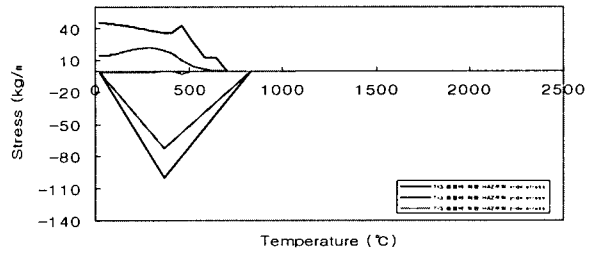
(1) 잔류응력의 생성과정



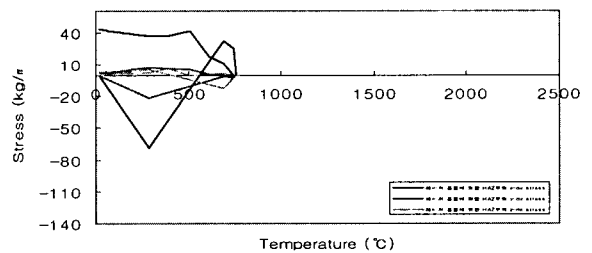
(a) TIG 용접에 의한 용융부의 온도변화와 잔류응력 생성 관계



(b) 레이저 용접에 의한 용융부의 온도변화와 잔류응력 생성 관계



(c) TIG 용접에 의한 HAZ부의 온도변화와 잔류응력 생성 관계



(d) 레이저 용접에 의한 HAZ부의 온도변화와 잔류응력 생성 관계

Fig. 4 Relation of the residual stress and the temperature considering cooling rate

Fig. 4와 같이 냉각구배가 고려된 온도의 변화에 따른 용접잔류응력의 생성관계 그림으로부터 다음과 같은 사항을 확인할 수 있었다.

TIG 용접의 경우 용융부에서 압축과 인장의 생성관계가 분명한 반면에 레이저 용접의 경우는 급격한 냉각으로 압축의 생성과정 없이 인장이 생성됨을 알 수 있었으며,

HAZ부의 온도변화에 따른 잔류응력 생성곡선

은 냉각구배와 일치하였음을 확인하였으며, 용융부와 HAZ부에서 잔류응력 값이 동등함은 요소에서의 최고온도가 같음을 확인하였다.

이와 같은 일련의 해석과정에서 HAZ부의 영역이 적을수록 그리고 HAZ부와 모재의 온도차가 적을수록 HAZ영역에서의 생성된 잔류응력의 값이 적어짐을 확인하였다.

온도변화의 급격한 레이저 용접의 용융부 온도값은 437인 반면에 TIG 용접 용융부의 온도값은 396연어짐도 확인하였다.

(2) 용접부 표면에서의 잔류응력 분포 현상

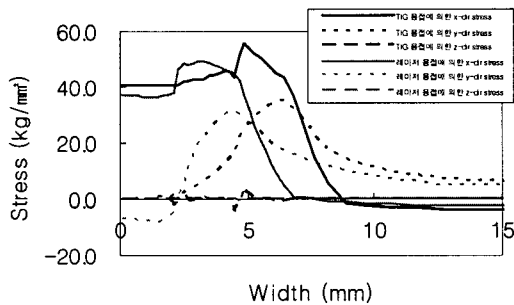


Fig. 5 Comparison of residual stress distribution in welding area (TIG welding and CO2 laser welding)

용접면인 시험편 표면의 폭방향에서의 잔류응력 분포 그림인 Fig. 5로부터 레이저용접의 잔류응력 분포영역이 TIG 용접의 잔류응력 분포 영역에서 용접진행 방향으로의 잔류응력은 용접속도와 관계가 있으며, 시험편 폭 방향으로의 잔류응력은 냉각구배와 관계 있음을 확인하였다, 시험편 두께방향으로의 잔류응력은 시험의 두께에 비해 HAZ 형성의 깊이의 길이가 시험편의 두께에 비해 매우 적음으로써 구속조건의 미성숙으로 나타나는 현상임을 확인할 수 있었다.

용접법에 따른 잔류응력 생성값과 HAZ부의 생성영역은 다음과 같다.

용접진행 방향과 시험편 폭 방향으로의 잔류응력의 크기는 레이저 용접이 TIG 용접에 비해 유리하였으며,

HAZ부 생성영역도 레이저 용접이 TIG 용접에 비해 적음을 확인하였다.

4. 결 론

레이저 용접과 TIG 용접 적용으로 고온·고압 용 강판인 2.25Cr-1Mo강에 생성된 잔류응력은 다음과 같은 생성 특징을 가지고 있다.

1) 시험편의 용융부에서의 잔류응력 생성이 TIG 용접의 경우는 압축의 고장을 거쳐 인장이

생성된 반면에 레이저의 경우는 압축 생성 없이 인장이 생성됨을 확인하였으며, 이는 두 용접에 따른 냉각속도에 기인함을 확인하였다.

2) 레이저 용접이 TIG 용접에 비하여 HAZ부 생성 영역이 적으며, HAZ부에서의 잔류응력 생성값이 적음을 확인하였다.

3) 이와 같은 일련의 해석과정을 통해서, 2.25Cr-1Mo강의 용접에서 레이저 용접의 적용 가능성이 제안할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2002년도 원자력연구개발 중장기 사업의 위탁과제(계정번호: 53733-02)의 일환으로 수행되어졌으며, 한국원자력연구소의 연구비 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. 방한서 : 厚板 熔接部の 力學的 特性 - 有限要素法에 依한 3次元 熱彈塑性 解析-, 大韓熔接學會誌, 10-4 (1992), 250 ~258
2. C. Carmignani, R. Mares, G. Toselli : Transient finite element analysis of deep penetration laser welding process in a singlepass butt-welded thick plate, Comput. Method s Appl. Mech. Engrg. 179 (1999) 197-214.
3. 장원석, 나석주 : 미세 레이저 용접에서 용융부 형상예측을 위한 열원의 방정식에 관한 연구, 大韓熔接學會誌, 18-4 (2000), 489~494
4. U. Ueda, Y.C.Kim, K.Garatani, T. Yamakita and H.S.Bang.: Mechanical Characteristics of Repair Weids in Thick Plate(Report I) - Distribution of Three-dimensional Welding Residual Stress es and Plastic Strains and Their Production Mechanism -, TRAN SACTION OF JWRI, Vol. 15, No.2, 1987.