

# 600MPa TRIP강의 non-shielding Nd-YAG 레이저 용접부의 미세조직과 기계적성질의 상관관계

## Correlation between microstructures and mechanical properties in non-shielding Nd-YAG laser welds of 600MPa TRIP steel

김 병익\*, 이 봉근\*, 강 정운\*, 정 병훈\*\*, 홍 순국\*\*\*

\* 부산대학교 재료공학부

\*\* 성우하이텍 기술연구소

\*\*\* LG 생산기술연구소

### 1. 서 론

상변태를 이용하여 고강도이면서, 높은 연신율과 성형성을 겸비한 C-Mn-Si계 TRIP형 고장력 강판이 자동차용 소재로 주목받고 있다. 또한 레이저 용접은 열변형이 적고 비드외관이 미려할 뿐만 아니라 연속 및 고속 용접이 가능해 생산성과 정밀성, 안정성이 높아 자동차조립 및 부품 제조공정에 적용되고 있다.

따라서, 자동차를 비롯한 조립금속분야에 이러한 600MPa급 TRIP형 강판을 적용하기 위해서는 레이저 용접성과 용접부의 경화특성, 인장성질 및 성형성 등에 대한 근본적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 보호가스를 사용하지 않은 조건에서 CW Nd : YAG 레이저 용접을 행하여 신뢰성이 높은 용접공정의 확립을 위해 기본 용접조건을 선정하고, 또한 용접조건에 따른 용접부의 경도 및 미세조직변화를 조사하여 그 상관관계를 검토하면서 레이저 용접부의 경화특성을 분석하고자 한다. 또한 용접속도변화에 따른 경도, 미세조직 변화와 기계적성질과의 상관관계를 파악하기 위해 결함발생이 없는 용접조건에 한정하여 인장시험을 실시하여 기계적성질을 평가하고 연신율에 미치는 용접부의 경화특성을 분석하고자 한다.

### 2. 실험 방법

본 실험에 사용한 재료는 POSCO에서 생산되는 자동차용 600MPa급 TRIP강으로서 화학조성을 Table. 1에 나타낸다. 모재조직은 페라이트, 베이나이트 및 잔류오스테나이트 등의 다상으로 복잡하게 구성되어 있고, XRD 분석결과 모재의 분포된 잔류오스테나이트 양은 10%로 나타났다.

사용한 레이저 장치는 최대 출력 4kW CW-Nd : YAG Laser system(독일 TRUMPF사의 HL4006D)으로 레이저빔의 직경은 0.6mm의

TEM<sub>00</sub> single mode가 사용되었으며, 용접 조건은 보호가스를 사용하지 않은 상태에서 출력을 3.5kW, 초점거리를 +4mm로 고정시키고, 용접속도를 1.8m/min ~ 7.8m/min로 변화시켜 검토하였다.

모재와 용접부의 조직관찰은 2%-Nital(HNO<sub>3</sub> 2ml + C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 98ml)로 상온에서 약 10초간 부식시켜 관찰하였다. 비드단면의 경도는 마이크로 비커스경도기를 사용하여 2.94N(300gf)의 하중으로 유지시간 15sec로 하여 용접중심선에서 모재 방향으로 간격을 150 $\mu$ m로 설정하여 측정하였다. 용접부의 인장성질은 용접선에 수직 방향과 수평 방향으로 5mm/min의 속도로 인장시험 하여 평가하였다. 또한 정확한 연신율을 갖도록 신율계를 부착하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

보호가스를 사용하지 않은 조건에서 용접출력 3.5kW, 초점거리 +4mm로 고정시키고 용접속도 변화에 따른 완전용입이 일어나는 한계용접속도까지 용접을 실시하였다. Photo. 1은 용접속도변화에 따른 대표적인 비드형상을 나타내고, Fig. 1은 용접속도 변화에 따른 용접부의 폭 변화를 상부, 하부로 구분하여 정량화 한 것이다. 용접속도 감소에 따라 비드폭은 넓어 졌으며, 불완전용입의 경우 상부비드폭이 넓고 하부폭이 좁은 역삼각형 형상을 나타내었다. 또한, 비드폭 변화의 특징은 3.0m/min이하의 속도에서는 하부와 상부폭이 넓었으며, 3.0m/min 이상의 속도에서는 상부와 하부폭의 변화는 미미했다.

Fig. 1은 저속의 용접속도인 2.1m/min와 고속의 용접속도인 6.3m/min로 비드온 플레이트 용접한 경우, 용접부 근방의 경도 분포를 나타낸다. 경도 분포는 용접금속 전체가 거의 균일한 최고 경도치를 나타내며, 용접부에 인접한 HAZ는 모

재로 갈수록 경도가 감소하였다. 또한, 용접속도 2.1m/min에서의 최고 경도치가 6.3m/min에서의 최고 경도치보다 낮았으며, 이러한 경도분포는 용접금속과 HAZ의 경화부폭 차이 뿐 모든 용접 조건에서 동일하였다. 그리고, Fig. 3은 용접속도 변화에 따른 최고 경도치 변화를 나타낸다. 용접속도변화에 따른 최고 경도치는 2.1m/min에서 370Hv를 가지는 반면 용접속도가 3.6m/min에서 최고 경도치 415Hv를 나타내고 있으며 용접속도 증가에도 최고 경도치의 변화는 없었다.

용접부의 경도는 조직과 상관관계를 가지므로 용접금속과 용접부 근방의 경도분포를 확인하여 보았다. Photo. 2와 Photo. 3은 2.1m/min와 6.3m/min의 용접부와 용접부에 근접한 HAZ의 SEM조직을 나타낸 것으로, (a)는 용접금속, (b)는 용융경계부, (c)는 용접금속 근방 HAZ, (d)는 HAZ의 중심 (e)는 모재 근방 HAZ에 대응하는 SEM조직을 나타낸다. 2.1m/min의 용접금속과 용접금속에 근접한 HAZ에서 입계 페라이트가 관찰되며, 이에 반해, 6.3m/min의 경우 용접금속은 마르텐사이트 조직이며, 용접금속에 근접한 HAZ 역시 페라이트의 양은 적고 대부분 마르텐사이트로 나타난다. 이것으로부터 용접속도 변화에 따른 최고 경도치 감소는 용접부에 입계페라이트가 존재하기 때문인 것으로 생각되어지며, 또한, 2.1m/min와 6.3m/min의 모재에 근접한 HAZ에서 경도가 감소하는 것은 경도가 낮은 페라이트의 양이 모재에 근접할수록 많아지기 때문이다.

용접부의 인장성질은 기공발생이 없는 용접속도 5조건을 선정하여 평가하였으며, 특히 용접속도변화에 따른 최고경도치와 비드폭의 변화를 고려하여 용접속도는 2.1, 2.4, 3.0, 3.6, 6.0m/min으로 용접선에 수평한 방향과 수직인 방향으로 인장시험을 실시하였으며, 특히 용접선에 수직인 방향은 비드폭이 상대적으로 넓은 2.1m/min와 3.0m/min의 두 조건에 대해서만 실험을 실시하였다. Table. 3은 용접선에 수직인 방향으로 인장시험 한 결과를 나타낸 것이다. 파단은 모두 모재에서 일어났으며, 항복강도, 인장강도는 모재와 비교해서 다소 높게 나타났으나, 연신율의 경우 모재에 비해 다소 낮게 나타났다. Photo. 5는 용접선에 수평한 방향으로 인장시험한 시편의 파단된 대표적인 형상을 나타내며, 인장시험한 시편 모두 용접부와 모재의 가장자리 부분의 연신된 정도가 다른 것을 알 수 있다. 따라서 연신율은 용접부와 모재의 연신율을 별도로 측정하였다. Fig. 5는 용접선에 수평한 방향으로 인장시험한 결과를 나타낸다. 용접속도 변화에 따른 인장강도, 항복강도는 모든 조건에서 모재 보다 높게 나타나지만, 2.1m/min와 2.4m/min의 경우 인장

강도와 항복강도는 모재 대비하여 그 차이가 크다. 또한 연신율은 모재보다 다소 낮게 나타나며, 특히 저속의 용접속도인 2.1m/min와 2.4m/min의 경우의 연신율은 다른 조건과 비교시 모재 대비하여 아주 낮게 나타난다. 하지만, 3.0m/min이상의 용접속도에서는 모재와 유사한 연신율 값을 나타낸다. 따라서 용접선에 수평한 방향으로 인장시험한 결과 용접속도변화에 따른 경화부폭이 넓을수록 인장강도와 항복강도는 높게 나타나고 연신율은 낮게 나타나는 것으로 사료되어진다.

#### 4. 결 론

600MPa TRIP강의 non-shielding Nd-YAG 레이저 용접부의 미세조직과 기계적성질의 상관관계를 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 용접속도변화에 따른 비드폭 변화는 3.0m/min이하에서 비드폭은 넓게 나타났으며, 3.0m/min이상의 용접속도에서는 비드폭 변화가 미미했다.
- 2) 경도분포는 용접금속이 최고 경도치를 나타냈으며, 저속의 용접속도인 2.1m/min에서 최고 경도치 감소가 나타났으며, 이 원인은 용접금속 내에 입계페라이트가 존재하기 때문인 것으로 사료된다.
- 3) 용접선과 수직인 방향으로 인장시험 한 결과, 파단은 모두 모재에서 일어났으며, 인장강도, 항복강도는 모재에 비해 다소 높게 나타났으나, 연신율은 모재에 비해 다소 낮게 나타났다.
- 4) 용접선과 수평한 방향으로 인장시험 한 결과, 용접부와 모재의 연신율 차이가 발생되었다. 또한 용접속도 변화에 따른 기계적성질은 저속의 용접속도인 2.1m/min와 2.4m/min에서 인장강도와 연신율은 반비례 관계를 나타냈지만, 3.0m/min 이상의 용접속도에서의 인장강도, 항복강도, 연신율은 모재와 유사한 값을 나타냈다. 그리고, 용접부의 연신율은 모재에 비해 모든 조건에서 낮게 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 기초과학연구사업 연구비로 수행되었으며, 진심으로 감사 드립니다.

Table. 1 Chemical composition of TRIP steel(wt%)

C	Mn	Si	P	S	Fe	Retained Austenite	Thickness
0.0816	1.48	1.0	0.073	0.006	Bal.	10	1.2(mm)

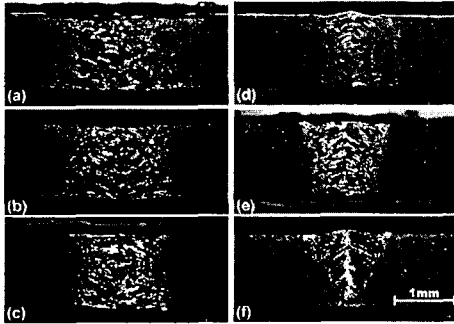


Photo. 1 Change of cross section with welding speed  
(a) 2.1m/min, (b) 2.4m/min (c) 3.0m/min  
(d)6.3m/min, (e) 7.2m/min and (f) 7.8m/min

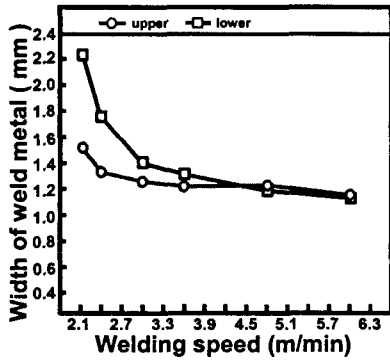


Fig. 1 Change of weld metal width with welding speed

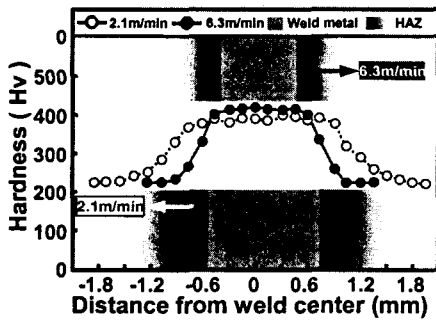


Fig. 2 Distribution of hardness near welded joints

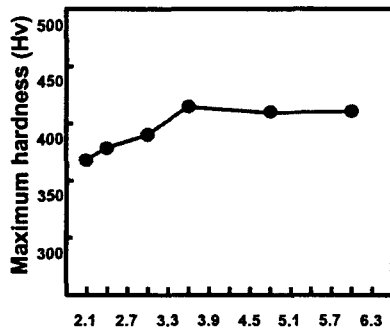


Fig. 3 Change of maximum hardness with welding speed

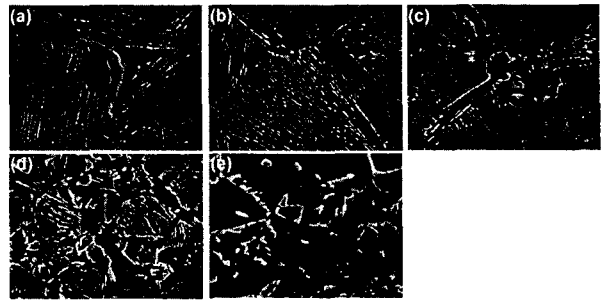


Photo. 2 SEM microstructures of near weld (2.1m/min)  
(a) Weld metal (b) Bond (c) HAZ near weld metal  
(d) Center of HAZ (e) HAZ near base metal

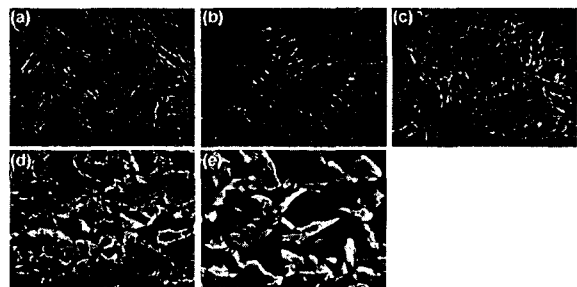


Photo. 3 SEM microstructures of near weld (6.3m/min)  
(a) Weld metal (b) Bond (c) HAZ near weld metal  
(d) Center of HAZ (e) HAZ near base metal

Table. 3 Comparison of tensile properties with welding conditions (perpendicular direction to weld line)

	T.S. (MPa)	Y.S. (MPa)	EL. (%)
Raw material	659	435	32.1
2.1m/min	686	452	28.5
3.0m/min	676	447	29.1



Photo. 4 Shape of fractured specimen (parallel direction to weld line)

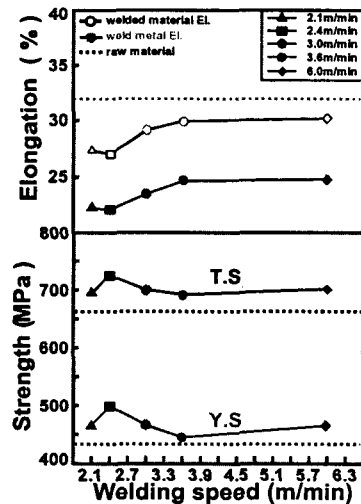


Fig. 4 Tensile properties with welding speed (parallel direction to weld line)