

600MPa급 TRIP강의 난실딩 Nd-YAG 비드 은 플레이트 및 맞대기 레이저 용접부 특성 비교

Characteristics on non-shielding Nd-YAG bead on plate and butt joint laser weld of 600MPa TRIP steel

부산대학교 재료공학과 김옥배, 권민석, 한태교, 이봉근, 강정윤
성우하이텍 기술연구소 연구원 정병훈

I. 서론

인장강도 600MPa 이상을 가지는 TRIP형 고장력 강판인 60TR-R은 자동차용 소재로 주목을 받고 있다. 또한 레이저 용접은 열 변형이 적고 비드 외관이 미려할 뿐만 아니라 연속 및 고속 용접이 가능하여 생산성 및 정밀성, 안정성이 높아 자동차 조립 및 부품 제조 공정에 적용되고 있다. 따라서 자동차를 비롯한 조립금속분야에 이러한 강판을 적용하기 위해서 레이저 용접성과 용접부의 경화특성, 인장성질 및 성형성 등에 대한 연구가 필요하므로, 본 실험에서는 60TR-R의 레이저 용접 특성과 이 강종의 맞대기 용접과 평판 용접에 대한 특성을 비교해 보고자 한다.

II. 실험방법

본 실험에 사용한 재료는 POSCO에서 생산되어진 강판으로서 화학조성을 Table. 1에 나타낸다. 사용한 레이저 장치는 최대 출력 4kW CW-Nd : YAG Laser system(독일 TRUMPF사의 HL4006D)으로 레이저빔의 직경은 0.6mm의 TEM₀₀ 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%-Nital을 사용하였으며, 비드단면의 경도는 마이크로버커스경도기를 사용하여 측정하였다. 용접부의 인장성질은 용접선에 수직 방향과 수평 방향으로 5m/min의 속도로 인장시험 하여 평가하였다. 성형성 시험은 에릭선 B시험방법으로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

용접 속도에 따른 비드 형상의 변화를 Fig. 1에 나타내 보았다. 평판용접의 경우 저속용접속도 구간에서 하부의 비드폭이 상부에 비해 넓었으나 맞대기용접시의 저속용접 구간에서는 하부의 비드폭이 상부의 비드폭보다 다소 좁게 나타났다. 또한, 고속의 용접속도에서 평판용접시 하부의 비드폭이 상부와 유사하게 나타났고, 맞대기용접시 하부의 비드폭이 상부의 비드폭에 비해 좁게 나타났다. 그리고, 두 용접조건 모두 저속에서 고속으로 용접속도가 증가시 비드폭은 두 용접조건 모두 좁아졌다.

Fig. 2는 저속 용접속도 2.4m/min와 고속 용접속도 6.0m/min에서의 용접부 근방의 경도 분포를 나타낸 것이다. 최고경도치는 용접금속과 용접금속 인접한 HAZ부에서 나타났으며, 모재쪽으로 갈수록 그 경도치는 감소하였다. (a) 2.4m/min의 두 용접조건에서의 최고경도치는 거의 같은 값을 나타내고 있으나, 평판용접시의 비드폭이 맞대기용접시의 비드폭보다 넓게 나타났다. (b) 6.0m/min의 두 용접조건에서는 최고경도치와 비드폭이 유사한 값을 나타내고 있다. 그리고, 두 조건 모두 저속의 용접속도 2.4m/min에서의 최고 경도치는 6.0m/min의 최대경도치보다 낮았다.

Fig. 3은 용접속도변화에 따른 최고경도치 변화를 나타낸다. 평판용접의 경우 용접속도변화에 따른 최고 경도치는 저속의 용접속도 2.4m/min에서 370Hv를 가지는 반면 용접속도가 3.6m/min이상의 구역에서는 최고 경도값이 400Hv 근방으로 이는 급냉한 원모재의 경도값에 거의 인접한 것으로 나타났다. 또한, 맞대기용접의 경우는 저속 용접속도 2.4m/min에서 최고 경도치 380Hv를 가지는 반면, 3.6m/min 이상 구역에서는 최고 경도값 400Hv근방으로 급냉한 원모재의 경도값에 인접한 것으로 나타났다.

용접부의 경도는 조직과 상관관계를 가지므로, 경도값의 변화를 미세조직학적으로 해석해 보았다.

Fig. 4는 저속용접속도 2.4m/min에서 두 용접조건에 따른 SEM조직이다. 용접금속과 용접금속에 인접한 HAZ에서는 마르텐사이트 조직내에 조대한 페라이트가 관찰되었다. 이와는 달리 Fig. 5에서의 고속용접속도 6.0m/min에서는 용접금속과 용접금속에 인접한 HAZ에서 저속용접속도 2.4m/min과 비교해 페라이트의 양이 적은 마르텐사이트가 나타났다. 이는 입열량에 따른 냉각속도의 차이에 의한 것으로 생각되어지며, 이것으로부터 용접속도 변화에 따른 최고경도치의 감소는 조대한 페라이트의 양에 따른 차이로 생각되어진다.

용접부의 인장성질은 기공발생이 없는 용접속도와 최고경도치, 경화부 폭의 변화를 고려하여 용접속도 조건을 선정하였으며 용접선에 수평한 방향과 수직한 방향으로 인장시험을 실시하였다. Fig. 6은 용접선에 수직한 방향으로 인장시험 한 결과를 나타낸 것이다. 두 조건 모두 파단은 모두 모재에서 일어났다. 항복강도, 인장강도는 모재와 비교해서 다소 높게 나타났다. 그러나, 연신율이 경우 모재에 비해 낮게 나타났다. 특히 맞대기용접조건에 결과는 평판용접조건시에 비해 더 낮게 나타났다.

Fig. 7은 용접선에 수평한 방향으로 인장시험 한 결과이다. 두 조건 모두 용접선 중심으로 균열이 발생 전파되어 파단이 일어났으며, 용접부와 모재의 가장자리 부분의 연신된 정도가 달랐으므로 연신율은 용접부와 모재의 연신율을 별도로 측정하였다. 용접속도 변화에 따른 인장강도, 항복강도는 모든 조건에서 모재보다 높게 나타났다. 그러나, 두 조건 모두 연신율은 모재보다 낮게 나타났으며, 특히 저속의 용접속도인 2.4m/min의 경우, 연신율은 다른 용접속도 조건과 비교 시 모재 대비하여 특히 낮게 나타나며 그 차이는 맞대기 용접에서 더 크게 나타났다. 하지만, 3.0m/min이상의 용접속도에서는 거의 균일한 연신율 값을 나타낸다.

Fig. 8은 용접속도에 따른 성형성을 측정한 결과이다. 두 조건 모두 저속의 용접속도 구간에서의 성형성이 낮게 나타났으며, 3.0m/min이상의 용접속도 구간에서는 거의 동일하게 나타나는데, 두 조건 모두 모재 대비 약 80%에 육박하는 높은 성형비를 나타내었다.

IV. 결론

600MPa급 TRIP강에서 Non-shielding Nd : YAG 레이저를 이용한 평판용접과 맞대기용접의 미세조직과 기계적 성질에 미치는 용접속도의 영향에 관해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 용접금속과 용접금속에 인접한 HAZ부에서 최고경도치를 나타냈으며, 모재쪽으로 갈수록 그 경도치가 떨어졌다. 평판용접시의 비드형상은 하부비드폭이 상부비드폭에 비해 넓게 나타나고, 용접속도가 빨라질수록 하부비드폭과 상부비드폭이 유사하게 나타났다. 이와는 달리 맞대기용접시의 비드형상은 하부의 비드폭이 상부의 비드폭에 비해 다소 좁게 나타났고, 용접속도가 빨리질수록 하부비드폭과 상부비드폭에 비해 좁게 나타났다. 용접속도변화에 따른 비드폭 변화는 3.0m/min 이하에서 비드폭은 넓게 나타났으며, 3.0m/min이상의 용접속도에서는 비드폭의 좁았다.
2. 경도분포는 용접금속과 용접금속에 근접한 HAZ에서 최고 경도치를 나타냈으며, 모든 조건에서 최고 경도치는 원모재 경도치보다 낮게 나타났다. 용접속도 2.4m/min이하 구역에서는 3.6m/min이상 구역보다 최고경도치가 낮았으며, 3.6m/min이상 구역에서의 최고경도치는 모재 경도치와 유사한 경도치를 나타냈다.
3. 용접선과 수직한 방향으로 인장시험 한 결과, 파단은 모두 모재에서 일어났으며, 인장강도, 항복강도는 모재에 비해 다소 높게 나타났으나, 연신율은 모재에 비해 낮게 나타났다. 특히, 2.4m/min에서 큰 차이를 보였으며, 그 차는 맞대기 용접에서 더 크게 나타났다.
4. 용접선과 수평한 방향으로 인장시험 한 결과, 파단은 용접부에서 일어났며, 용접부와 모재의 연신율 차이가 발생하였다. 모든 조건에서 인장강도, 항복강도는 모재에 비해 다소 높게 나타났으나, 연신율은 용접부와 모재에 차이가 발생되었다. 특히, 맞대기 용접의 2.4m/min에서 더 큰 차이를 나타냈다.
5. 성형성 시험을 한 결과 용접선에 수평한 방향으로 인장시험시 연신율의 거동과 같게 나타났으며, 고속의 용접속도에서는 두 조건에서 모재대비 80%의 높은 성형비를 나타내었다.

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

Material	C	Mn	Si	N	P	S	Fe	Retained Austenite	Thickness
60TR	0.08	1.5	1.0	-	0.073	0.006	Bal.	3.5	1.2(mm)

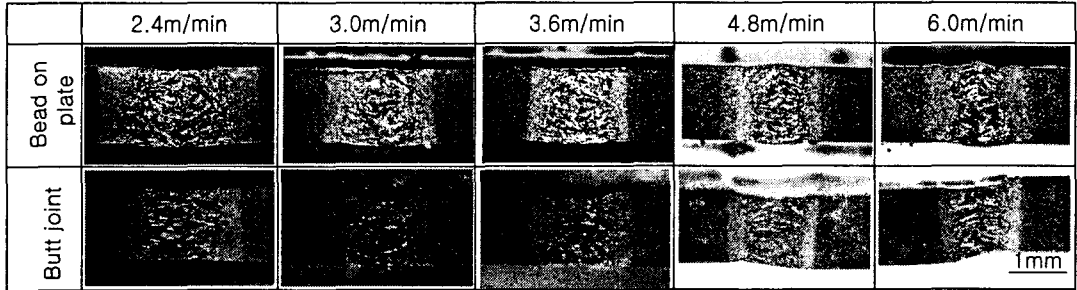


Fig. 1 Change of cross-section with welding speed

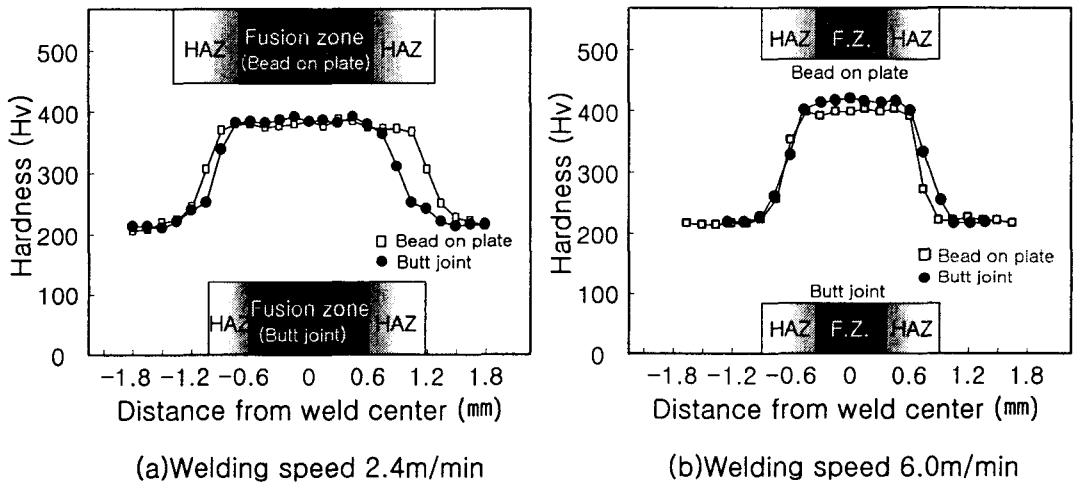


Fig. 2 Distribution of hardness near fusion zone

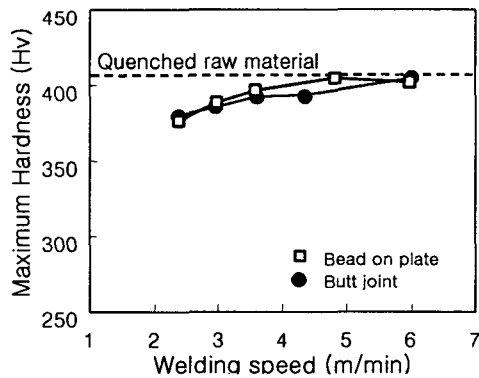


Fig. 3 Change of Maximum hardness with welding speed

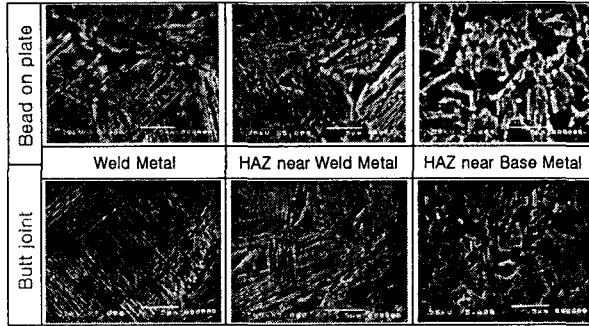


Fig. 4 SEM microstructures at welding speed 2.4m/min

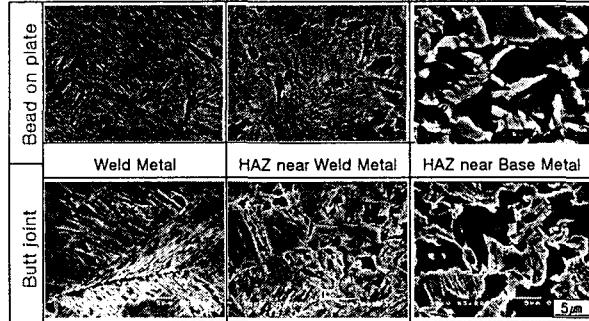


Fig. 5 SEM microstructures at welding speed 6.0m/min

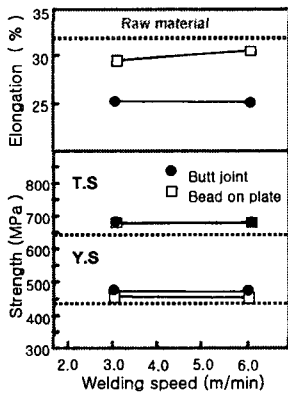


Fig. 6 Tensile properties with welding speed (perpendicular direction to weld line)

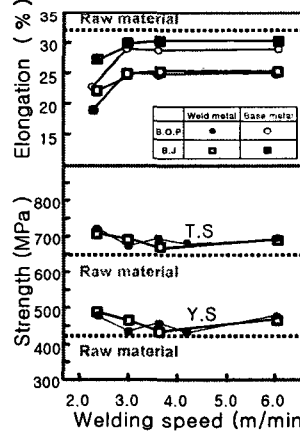


Fig. 7 Tensile properties with welding speed (parallel direction to weld line)

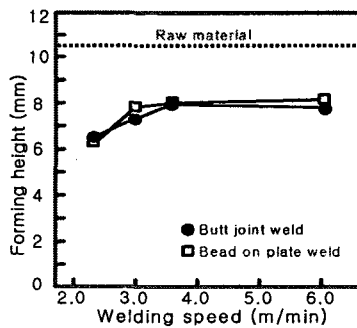


Fig. 8 Result of fracture ratio with welding speed