

자동차용 800MPa급 TRIP강 레이저 용접부의 특성에 미치는 용접조건에의 영향

Effect of welding condition on the characteristics of laser weld of 800MPa class TRIP steel for automotive

부산대학교 대학원 금속공학과 김병익
한국기계연구원 고강도재료그룹 박신상
부산대학교 재료공학부 강정윤

I. 서론

에너지 절약을 위한 자동차의 연비 향상과 국제환경규제강화에 적응하기 위해 강성(rigidity)이 좋은 철강소재를 이용한 자동차의 성능향상과 경량화를 위한 연구가 활발히 전개되고 있다. 그 중에서도 상변태만으로 높은 연신율을 확보시켜 성형성이 우수한 C-Mn-Si계 TRIP형 고장력 강판이 자동차용 소재로 매우 각광을 받고 있으며 자동차조립 및 부품가공공정 중에 하나인 용접에 있어서는 열변형(heating deformation)이 적고 비드외관이 미려할 뿐만 아니라 연속 및 고속 용접이 가능해 생산성(productivity)과 정밀성(accuracy), 안정성(stability)이 높은 레이저용접기술이 크게 부각되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자동차용 800MPa급 TRIP 강판에 레이저 용접을 실시하고 신뢰성이 높은 용접공정의 개발을 위해서 고정도 고품위의 이음부가 확보되는 최적의 용접조건을 선정함과 동시에 용접조건에 따른 용접부의 경도 및 미세조직변화를 조사하고 그 상관관계를 검토하면서 TRIP강판의 레이저 용접부 경화특성을 분석하고자 한다. 또한 결함발생이 적은 양호한 용접조건을 대상으로 인장시험을 실시하여 기계적 성질을 평가하고 연신율에 영향을 미치는 원인을 고찰하고자 한다. 또한 실제로 가공시 소재는 복잡한 다축응력을 받기 때문에 단축 인장시험 뿐만 아니라 실효성이 높은 다축 성형성시험을 실시하여 그 적용성을 검토하고자 한다.

II. 실험방법

본 실험에 사용한 재료는 POSCO에서 생산되는 자동차용 800MPa급 TRIP강으로서 화학조성을 Table1에 나타낸다. 모재조직은 페라이트, 베이나이트 및 오스테나이트 등의 다상으로 복잡하게 구성되어 있고, XRD 분석결과 모재의 분포된 잔류오스테나이트 양은 10%로 나타났다.

사용한 레이저 장치는 6kW Pulse-CO₂ Laser system(독일 TRUMPF사의 TLF6000 tubo)으로 레이저 빔의 직경은 0.3mm의 TEM₀₁ star mode가 사용되었으며, 비드온 플레이트와 맞대기 용접을 각각 실시했다. 용접 조건은 초점거리 0, 보호가스 Ar의 유량을 20ℓ/min으로 정하였으며, 용입현상을 파악하기 위해 출력을 4.5, 5, 5.5, 6kW로, 용접속도를 3~12m/min로 변화시켜 검토하였다.

미세조직은 2% Nital용액으로 etching하여 관찰하였으며, 비드단면의 경도는 마이크로버커스경도기를 사용하여 2.94N(300gf)의 하중으로 유지시간 15sec로 하여 용접중심선에서부터 모재방향으로 간격을 150μm로 설정하여 측정하였다.

인장시험은 용접선과 수직 방향 및 평행 방향으로, cross-head speed를 2mm/min로 시험하였다. 성형성 평가는 KS B 0812의 에릭슨 B 시험방법으로 stretching성을 비교하였으며, 펀치의 상승속도는 7m/min으로 고정하였다.

III. 결과 및 고찰

출력 4.5kW~6kW, 보호가스 유량 20ℓ/min Ar, 초점거리 0mm로 고정시키고 용접속도를 변화시켜 비드온 플레이트 용접을 행하여 용입현상을 파악하여 보았다. Fig. 1은 출력에 따른 완전용입현상이 일어나는 한계용접속도에 대한 결과를 나타낸 것이며, 출력이 증가할수록 완전용입이 가능한 한계용접속

도가 높은 것을 알 수 있다. Photo. 1은 용접속도에 따른 대표적인 비드단면의 형상을 나타낸 것이다. (a)와 같이 저속의 용접에서는 상부, 하부의 폭이 넓고 중부의 폭이 좁은 X자형을 타나내고 (b), (c)와 같은 중간 속도에서는 상부와 중부 및 하부의 차가 작은 I자형을 나타내며, (d)와 같이 고속에서는 상부 폭이 넓고 하부폭이 좁은 역삼각형 비드형상을 나타내었다. 용접 속도에 따른 비드 표면과 비드 내부에 존재하는 결함을 관찰하여 보았다. 표면 결함으로는 Photo. 2와 같은 기공이 관찰되었으며, 기공 발생 유무를 Table. 2에 나타낸다. 표면기공은 주로 저속의 용접 조건에서 발생되며 용접속도가 증가함에 따라 기공이 없는 양호한 비드가 얻어졌다. Photo. 3은 용접속도 변화에 따른 용접부 횡단면의 기공을 나타낸다. (a) 5m/min, (b) 7m/min (c) 9m/min로서 용접속도가 증가함에 따라 기공의 감소가 나타나며 기공의 형상은 대부분 구형이며 용접부 상부와 표면 근처에서 관찰되었다. Fig. 3은 용접속도 변화에 따른 기공율을 정량화 한 것으로 저속의 용접속도에서는 기공율이 높으나 7m/min이상의 고속의 용접에서는 기공을 낮게 나타냈다.

Photo. 4는 용접속도를 7m/min의 용접속도로 용접한 경우, 용접부 근방의 광학현미경 조직과 SEM 조직을 나타낸 것으로서 (A)는 모재, (B)는 모재 근방 HAZ, (C)는 용접부 근방 HAZ, (D)는 용융경계부, (E)는 용접부를 각각 나타낸 것이다. 용접부, 용융경계부 및 용접부 근방 HAZ의 조직은 마르텐사이트 조직이고, 모재근방 HAZ는 마르텐사이트와 페라이트로 구성되어 있다. Fig. 4는 용접속도를 7m/min로 용접한 경우의 경도분포를 나타낸 것이다. 용접부와 용접부에 인접한 HAZ영역에서도 최고 경도치를 갖는 것이 특징이며, 모재와 인접한 HAZ 영역은 모재쪽으로 갈수록 경도가 감소한다. Table. 2는 용접속도에 따른 경도의 변화를 나타낸 것으로 용접속도의 변화에도 최고 경도치는 변화가 없었다. Photo. 5는 용접속도를 (a) 4m/min, (b) 7m/min, 그리고 (c) 수냉한 시편에 대한 조직 사진을 비교한 것으로서 미세조직은 거의동일 하게 마르텐사이트로 되어있으며 경도치는 변화가 없는 것을 알 수 있다.

Fig.5는 용접선과 인장방향이 수직인 용접부의 인장성질을 나타낸 것이다. 파단은 모두 모재에서 일어났으며, 항복강도, 인장강도 및 연신율은 모재와 유사하였고, 파단된 시편의 대표적인 형상은 Photo.7에 나타난다. Fig. 6은 용접선과 인장방향이 평행한 용접부의 인장성질을 나타내며 항복강도와 인장강도는 모두 모재와 동일하거나 다소 높게 나타났지만 연신율의 경우는 모재와 비교해서 아주 낮았다. Photo. 8은 파단된 대표적인 사진을 나타내고 있으며, 파단된 시편의 형상에서 용접부와 모재의 가장자리 부분이 연신된 정도가 다른 것을 알 수 있다. Fig. 7의 (a)~(d)는 용접선과 인장방향이 평행한 용접부의 인장시험시 파괴과정을 관찰하기 위해 연속적으로 촬영한 것이며 (e)는 이에 대응하는 하중-연신곡선을 나타낸 것이다. 인장시험시 초기에는 시편전체가 균일 연신이 일어난 후 국부연신이 일어나지만 (a)지점에 도달하면 용접부에서 균열이 발생하고 균열의 전파로 인하여 실제단면적이 감소함에 따라 하중은 저하되지만 모재부에서는 계속 국부연신이 일어나면서 인장방향과 수직으로 균열이 전파되어 파단되며 모재와 용접부 사이에 "a"에 대응한 ΔE 값이 나타난다. Photo. 6는 용접선과 인장방향이 평행한 용접부의 인장시험한 시험편의 파면 양상을 나타낸 것으로서 용접부의 상부에 기공이 관찰되었다. 따라서 용접부에 존재하는 기공에 의해서 연신율이 낮게 나타는 것을 알 수 있었고, 또한 기공이 존재하더라도 강도의 변화가 없는 것이 특징이었다.

인장시험결과에서 연신율이 가장 높은 용접조건인 8m/min로 하여 에릭센 시험으로 성형성을 평가하였다. Photo. 7은 에릭센 시험 후 파단 되어진 형상을 보여준 사진이며, 용접부에서 파단이 일어났다. 모재와 용접부의 성형높이는 각각 10.9mm와 4.3mm으로 측정되었으며, 모재 대비 용접된 시편의 성형비는 44%로 나타내었다. 성형성이 매우 낮게 나타는 원인은 용접부에 미소 기공이 존재하기 때문이며, 또한 용접부의 기공으로 인한 용접부 파단강도가 감소되었기 때문인 것으로 사료된다.

IV. 결론

자동차용 800MPa급 TRIP강 레이저 용접부의 특성에 미치는 용접조건의 영향에 관해 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 완전용입이 가능한 최대 용접속도는 출력이 높을수록 높았다.
2. 기공은 저속의 용접조건에서 주로 발생하고, 기공율은 용접속도가 증가함에 따라 작아졌다.

3. 경도분포는 용접금속과 용접부 근방의 HAZ에서 최고 경도치를 나타냈으며, 최고 경도치는 용접속도와 관계없이 동일한 값을 나타냈다.
4. 용접선과 인장방향이 수직인 용접부의 인장시험한 결과, 파단은 모두 모재에서 일어났으며, 항복강도, 인장강도, 연신율은 모재와 유사하였다. 그리고 용접선과 인장방향이 평행한 용접부의 인장시험한 경우 마르텐사이트조직을 갖는 용접금속이 먼저 균열이 발생하므로 연신율이 저하하는 것으로 생각되었다. 강도는 모재 보다 높았으나, 연신율은 아주 낮게 나타났다.
5. 에릭센 시험한 결과 용접부에서 우선적으로 파단되었고, 모재 대비한 용접부의 성형성값은 아주 낮게 나타났다.
6. 연신율과 성형성이 낮게 나타나는 이유는 용접부에 존재하는 기공으로 인한 용접부 파단강도가 낮기 때문이라고 사료되어진다.

Table. 1 Chemical composition of 800MPa TRIP steel (wt.%)

C	Mn	Si	N	Fe
0.20	1.5	1.5	0.01	Bal.

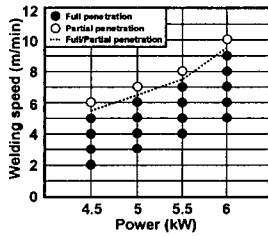


Fig. 1 Maximum welding speed of full penetration with power

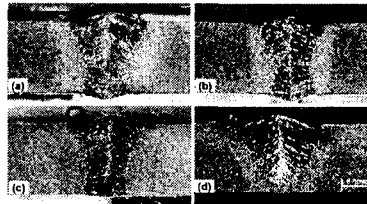


Photo. 1 Change of cross-section with welding speed (a) 5m/min, (b) 7m/min, (c) 9m/min and (d) 10m/min

Table. 2 Classification of porosity on the surface of bead with welding speed (6kW)

Welding speed (m/mim)	4	5	6	7	8	9
classification of porosity	P	P	P	G	G	G

P : Porosity G : Good

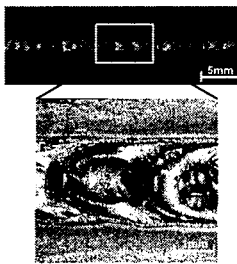


Photo. 2 Appearance of porosity on the surface of bead

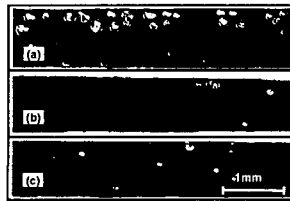


Photo. 3 Distribution of porosites at longitudinal section with welding speed (a) 5m/min, (b) 7m/min and (c) 9m/min

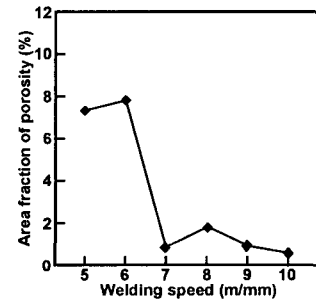


Fig. 2 Effect of welding speed on porosity fraction

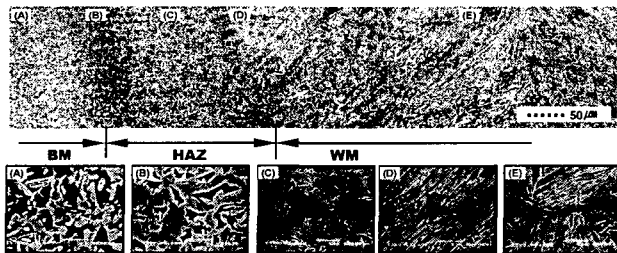


Photo. 4 Optical and SEM microstructures of welded region (7m/min)

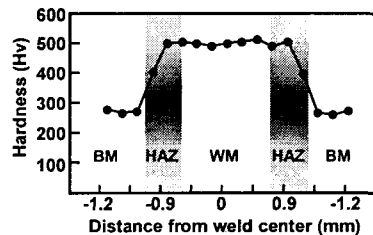


Fig. 3 Hardness distribution of welded region (7m/min)

Table. 3 Change of maximum hardness with welding speed (6kW)

Welding speed (m/mim)	4	5	6	7	8	9
Hardness (Hv)	503	505	507	505	503	508

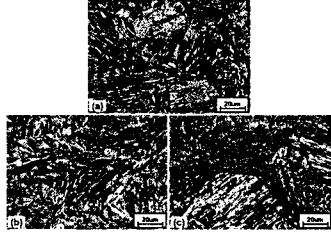


Photo. 5 Microstructures of weld metal and quenched specimen (a) 4m/min (Hv=503), (b) 7m/min (Hv=505) and (c) Water quenched (Hv=505)

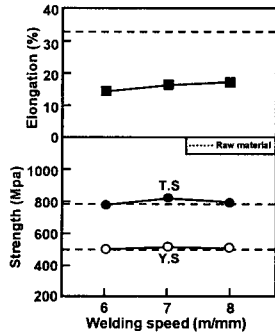


Fig. 4 Change of tensile properties with welding speed (perpendicular direction to weld line)

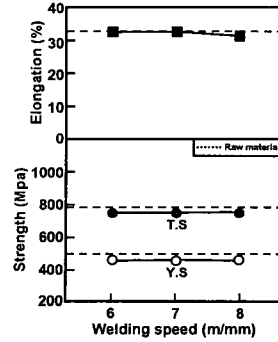


Fig. 5 Change of tensile properties with welding speed (parallel direction to weld line)



Photo. 6 Shape of fractured specimen (perpendicular direction to weld line)



Photo. 7 Shape of fractured specimen (parallel direction to weld line)

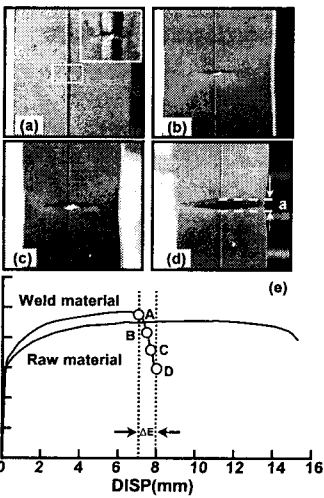


Fig. 6 Crack formation and deformation process under tensile load of parallel direction to weld line

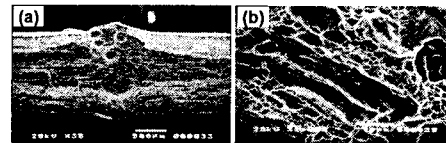


Photo. 8 SEM microstructures of fractured surface (6m/min, parallel direction to weld line)

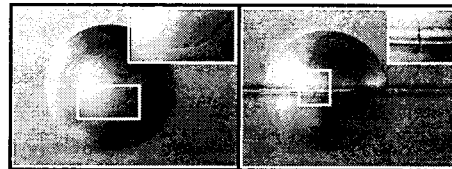


Photo. 9 Fracture morphologies in Erishen test