

# 자동차용 800MPa급 TRIP강 CO<sub>2</sub> 레이저 용접부의 기계적성질 및 성형성

## Mechanical Properties and Formability of CO<sub>2</sub> Laser Joints of 800MPa class TRIP steel for automotive

김 병익\*, 김기혁\*, 한태교\*, 강 정윤\*, 이종봉\*\*

\* 부산대학교 재료공학부

\*\* 포항제철 기술연구소

### 1. 서 론

TRIP강은 고강도이면서 연신율이 높고, 성형성이 우수한 C-Mn-Si계 고장력 강판으로, 자동차용 소재로 주목을 받고 있다. 또한 레이저용접은 열변형이 적고 비드외관이 미려할 뿐만 아니라 연속 및 고속 용접이 가능해 생산성과 정밀성, 안정성이 높아 자동차조립 및 부품 제조공정에 적용되고 있다.

그러나, 자동차용 800MPa급 TRIP 강의 레이저 용접에 대한 연구는 거의 보고된 바가 없다.

800MPa급 TRIP강의 레이저용접 시, 용접조건에 따른 용입현상과 용접결함에 대해 검토한 결과<sup>1)</sup>, 출력을 6kW로 용접한 경우, 완전용입은 10m/min 이하의 용접속도에서 이루어졌으며, 용접속도가 느리면, 표면 및 내부에 기공이 발생하였고, 6m/min이상의 용접속도에서는 기공이 전혀 발생하지 않았다. 그래서 본 연구에서는 고정도 고품위의 용접부를 확보할 수 있는 레이저용접기술을 확보하기 위한 일환으로, 용접결함이 발생하지 않은 용접조건 범위에서 용접속도에 따른 미세조직, 경도분포, 용접부의 인장성질 및 성형성을 검토하였다.

### 2. 실험 방법

본 실험에서 사용한 TRIP강의 화학조성을 Table 1에 나타낸다. 인장강도가 약 800MP이며, 두께가 1.2mm인 박판을 사용하였다.

최대 출력 6kW인 펄스 CO<sub>2</sub> 레이저용접기를 사용하여, 빔 직경을 0.3mm, 빔모드를 TEM<sub>01</sub>, 초점거리를 0mm로 비드온플레이트 용접을 행하였다. 보호가스로는 He를 사용하였고, 유량을 20 l/min으로 하였다. 출력은 생산성 측면을 고려

하여 최대 출력인 6kW로 고정하고, 용접속도를 4~12m/min로 변화시켰다.

용접부의 인장성질은 용접선에 수직 방향과 평행 방향으로 5mm/min의 속도로 인장시험 하여 평가하였다. 연신율은 신율계를 부착하여 측정하였다. 성형성은 연신율이 제일 높은 용접조건으로 용접한 시험편에 대하여 에릭슨 시험(KS B 0812)으로 평가하였으며, 펀치의 상승속도는 7m/min으로 고정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig.1은 용접속도를 7m/min로 용접한 경우, 용접부 근방의 경도분포를 나타낸 것이다. 경도분포는 용접금속 전체가 거의 균일한 최고 경도치를 나타내며, 용접부와 인접한 HAZ 영역에서도 최고 경도치를 나타내는 것이 특징이다. 또한 모재와 인접한 HAZ 영역은 모재 쪽으로 갈수록 경도가 감소한다. 이러한 경도분포는 모든 용접속도에서 동일하였고, 최고 경도치도 거의 동일하였다.

Fig.2는 7m/min 용접속도로 비드 온 플레이트 용접한 경우, 용접부 근방의 SEM조직을 나타낸 것으로, (a)는 용접금속, (b)는 용융경계부, (c)는 용접금속 근방 HAZ, (d)는 모재 근방 HAZ, (e)는 모재에 대응하는 SEM조직을 나타낸다. 용접부, 용융경계부 및 용접한 근방 HAZ의 조직은 모두 마르텐사이트 조직이고, 모재 근방 HAZ는 마르텐사이트와 페라이트로 구성되어 있으며, 모재보다페라이트 량이 적다. 이것으로부터 용접부와 용접부 근방 HAZ 경도가 같은 값을 갖는 것은 모두 마르텐사이트 조직을 가지기 때문인 것을 알 수 있고, 모재 근방 HAZ는 경도가 낮은 페라이트가 존재하기 때문인 것을 알 수 있다.

용접속도가 증가함에도 불구하고 최고 경도치가 변화하지 않는 이유를 파악하기 위하여, 용접속도가 다른 시편과 원소재를 950℃에서 5min 유지한 후, 수냉한 시편에 대하여 미세조직과 경도치를 비교하여 보았다. Fig.3은 4m/min와 9m/min로 용접한 용접금속과 원소재를 퀴칭한 시편의 조직과 경도를 비교한 것이다. 용접속도차가 큼에도 불구하고 용접금속은 모두 퀴칭으로 얻어진 동일한 마르텐사이트 조직이고, 경도도 유사한 값을 가진다. 이상으로부터 본 실험에 사용한 용접조건에서는 용접금속의 조직이 모두 마르텐사이트이므로, 각 강재의 완전 마르텐사이트인 경도치와 일치하는 것을 알 수 있다.

용접부의 인장성질은 기공 발생율이 적은 용접부 3조건을 선정하여 평가하였다. Fig.4와 Fig.5는 각각 용접선에 대하여 수직방향과 평행방향으로 인장시험한 결과를 나타낸 것이다. 한편 평행방향으로 인장한 시편은 Fig.6의 (b)와 같이 용접부와 시편 전체의 연신율과 차이가 있으므로 나누어 표기하였다. 용접선에 수직방향으로 인장한 시편은 용접조건과 관계없이 모두 Fig.6의 (a)와 같이 모재에서 파단되었으며, 모재의 인장성질과 거의 동일하다. 한편 평행방향으로 인장한 시편은 인장강도 및 항복강도가 모재의 것보다 높지만, 연신율이 모재보다 다소 낮고, 용접속도가 빠를수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, 용접부의 연신율은 더욱 낮다.

용접선과 평행 방향으로 인장시험한 경우, 동일시편 내에 용접부와 모재부의 연신율의 차이가 생기는 원인을 파악하기 위하여, 인장시험 시 균열의 생성과 성장과정을 인장속도를 2m/min로 하여 검토하여 보았다. Fig.7은 6m/min 용접속도로 용접한 시편에 대하여 인장시험 시 시험편 형상 변화와 균열 형성 성장과정을 촬영한 것과 이에 대응하는 하중-연신 곡선을 나타낸 것이다. 여기서 각 사진 알파벳은 선도에 표시된 지점과 대응되는 양상이며, 원소재와 원소를 퀴칭(수냉)한 시편의 하중-연신 곡선과 비교하였다. 인장시험 초기에는 시편 전체가 균일 연신과 넥킹이 일어나지만, B지점에 도달하면 용접부에서 균열이 발생하고, 균열의 성장으로 인하여 실제 단면적이 감소함에 따라서 하중은 저하하지만 모재부에서는 계속 넥킹이 일어나면서, 균열은 인장방향과 수직으로 계속 성장하여 파단된다. 이 결과로부터 용접부와 모재부의 연신율의 차이는

용접부가 우선적으로 파단되고, 그 후에도 모재부가 계속 연신이 일어나기 때문인 것으로 생각되며, 이 차이는 그림에서 "a"에 상당한 양인 것으로 판단된다.

인장시험결과에서 연신율이 가장 높은 용접조건인 8m/min에 대하여 에릭센 시험으로 성형성을 평가하였다. Fig.8은 에릭센 시험 후 파단되어진 형상을 나타낸 것이다. 에릭센 시험한 시험편 역시 용접부와 평행방향으로 인장한 시험편의 파단 양상과 동일하게 용접부에서 파단이 일어났다. 용접시험편 및 원소재의 성형 높이는 각각 약 7.0mm 및 10.8mm이었으며, 모재의 약 65%의 성형성을 나타내었다.

#### 4. 결 론

자동차용 800MPa TRIP강의 레이저 용접부 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 용접부의 경도분포는 용접금 전체가 균일한 최고 경도치를 나타내며, 용접부와 인접한 HAZ 영역에서도 최고 경도치를 나타내었다. 또한 모재와 인접한 HAZ 영역은 모재 쪽으로 갈수록 경도가 감소한다. 이러한 경도분포는 모든 용접속도에서 동일하였고, 최고 경도치도 거의 동일하였다. 이것은 용접금속이 용접속도와 관계없이 모두 마르텐사이트 조직을 이루기 때문인 것으로 규명되었다.

2) 용접선과 수직방향으로 인장시험한 경우, 용접조건과 관계없이 모두 모재에서 파단되었으며, 인장성질은 모재의 것과 동일하였다.

3) 용접선과 평행방향으로 인장시험한 경우 용접부의 인장강도 및 항복강도는 모재보다 높았으나, 연신율은 낮았다. 또한 용접부와 모재부의 연신율에 차이가 발생하였다. 이것은 인장시험 시 파괴과정을 검토한 결과, 용접부에서 먼저 균열이 발생하지만, 모재부가 계속 연신이 일어나기 때문인 것으로 밝혀졌다.

4) 에릭센시험으로 용접부의 성형성을 평가한 결과, 모재의 약 65%이었다.

#### 후 기

본 연구는 포항제철 위탁과제 연구비로 수행되었으며, 진심으로 감사 드립니다.

참고문헌

1. L.H. Kim, B.E. Kim, S.S. Park, T.k Ha  
C.Y.Kang : Proceeding of the 2002 spring a  
meeting of KWS, Vol.39,pp224

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

C	Mn	Si	N	Fe
0.20	1.5	1.5	0.01	Bal

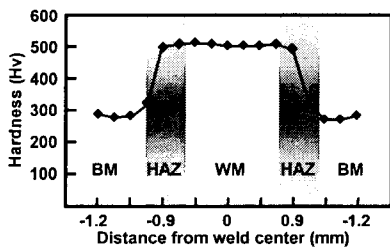


Fig 1. Distribution of hardness near weld(7m/min)

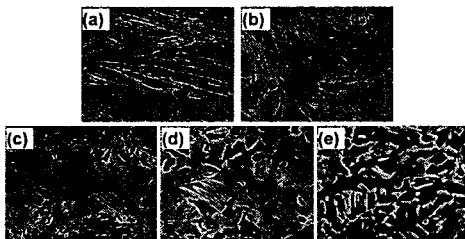


Fig 2. Microstructures of near welded (7m/min)  
(a)WM (b)WM/HAZ (c) HAZ (d) HAZ/BM (e)BM



Fig 3. Microstructures of weld metal and quenched specimen  
(a) 4m/min (Hv=503), (b) 7m/min (Hv=505)  
and (c) Water quenched (Hv=505)

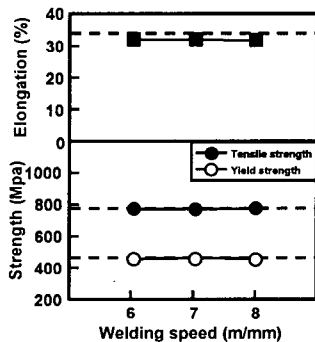


Fig 4. Tensile properties of specimens tensile tested perpendicular direction to weld line

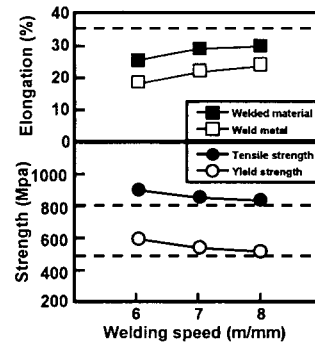


Fig 5. Tensile properties of specimens tensile tested parallel direction to weld line



Fig 6. Fractured tensile specimen (a) perpendicular direction  
(b) parallel direction

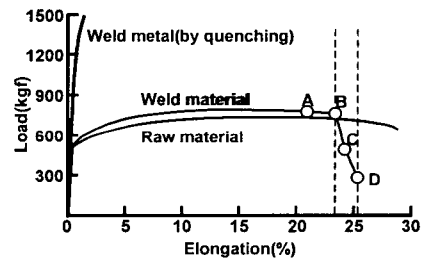
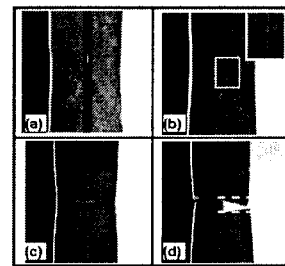


Fig 7. Process of deformation and crack growth and load-elongation curve during tensile test.

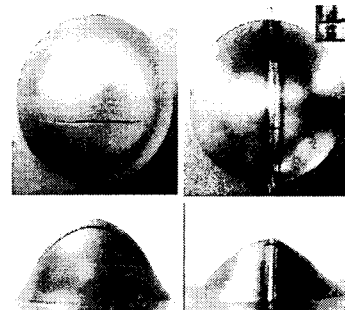


Fig 8. Appearance of specimen after erichsen test  
(a) Raw material (b) joint