

자동차용 고강도 TRIP강판의 Pulse-CO₂ 레이저용접 시 용접결함에 미치는 보호가스와 용접조건의 영향

Effects of Shielding gas & Welding conditions on Welding defects
in Pulse-CO₂ Laser Welding of high-strength TRIP steel sheet for Automobile.

김기혁* 박신상* 김병익* 한태교* 김종도** 강정윤***

부산대학교 대학원 금속공학과*
한국해양대학교 기관시스템공학부**
부산대학교 재료공학부***

1. 서 론

자동차의 연비향상, 경쟁력 있는 제품개발, 국제환경규제(resources recycling, exhaust gas, and so on.) 강화에 적응하고 자동차안전규정에 만족되기 위한 노력이 범세계적으로 경주되고 있으며, 그 일환으로 강성이 좋은 철강소재를 이용한 자동차 고강도화 및 에너지절약과도 직결되는 자동차 경량화에 대한 연구가 철강회사를 중심으로 활발히 전개되고 있다.

최근에 (초)고장력강 중에서도 상변태를 이용해 고연신율을 확보시킨 C-Mn-Si계 냉연 TRIP강판이 자동차용 소재로 각광을 받고 있으며 자동차의 중요한 가공공정 중에 하나인 용접에 있어서는 열적 변형이 적고, 비드외관이 미려할 뿐만 아니라 연속 및 고속 용접이 가능해 생산성과 정밀성, 안정성이 높은 고출력레이저용접이 크게 부각되고 있다.

따라서 본 연구에서는 자동차의 부품인 Member와 Reinforcement의 소재로 쓰이는 고강도(800-1000Mpa) TRIP강판에 레이저용접을 실시하고 신뢰성이 높은 용접공정의 개발을 위해서는 반드시 해결해야 할 과제인 용접결함의 발생 기구를 규명하고 고정도 고품위의 이음부가 확보되는 최적의 용접조건을 선정함으로써 자동차 경량화기술향상에 필수적인 자동차소재의 레이저용접기술의 확립에 그 실효성을 더하고자 한다.

2. 실험방법

POSCO에서 생산되는 TRIP강 80TR-M, 80TR-R, 100TR-R과 석출경화형강 CHSP60C를 사용하였고[table. 1], 6kW Pulse-CO₂ Laser system(독일 TRUMPF사의 TLF6000 turbo)을 사용하였으며, laser beam은 직경 0.3mm의 TEM₀₁ star mode가 사용되었다.

산화피막제거를 위한 연마 및 유기 탈지를 실시한 후 두께가 약 1.2mm(80TR-R: 약 1.6mm)가 된 3종의 TRIP형 강판과 1종의 석출경화형 강판에 Focus Distance 0, Shielding gas(He, Ar)의 유량을 각각 20LPM으로 정하여 4.5, 5, 5.5, 6kW Laser beam power로 full-penetration이 일어나는 용접속도까지 Bead-On-Plate용접을 실시하였고 6kW에서의 용접현상을 비교 관찰하였다.

TRIP현상을 감안하여 시편제작 시 low speed cutter를 이용하여 절단하고 cold mounting한 후 #1000·2000A범위에서 grinding하고 1 μ m diamond paste를 이용하여 polishing하였다. 용접부의 macro structure는 2%-Nital을 25℃에서 10초간 etching하였다. 비드외관의 관찰 시 Digital camera를 이용하였고 비드의 longitudinal section과 Weld-metal의 centerline에 수직인 cross section관찰 시 Stereoscopic microscope를 사용하였고, 비드의 폭과 porosity의 측정은 Image analyzer를 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Ar과 He Shielding gas의 유량을 20LPM, focus distance를 0으로 고정시키고 4.5, 5, 5.5, 6kW 출력으로 용접하여 [Fig. 1]의 결과를 얻었다. 출력에 따라 완전용입을 위한 최대용접속도를 관찰한 결과 전반적으로 He가스를 사용한 경우가 높게 나타났다. 80TR-R은 판의 두께가 두꺼워 완전용입현상이 생기는 최고용접속도가 낮았으나 나머지 3강종은 재료의 성분과 성질과 관계없이 거의 비슷하였다.

보호가스인 He와 Ar은 용접 시 이온화된 기체상태인 plasma를 제거하여 열원의 안정성과 균일성을 유지하는 역할과 불활성가스로써 산소와 친화력이 높은 용융금속이 대기 중에 산화되는 것을 막는 역할을 한다. He gas는 +1 이온화포텐셜이 24.587eV이고 Ar은 15.759eV(Fe는 7.87eV이라 Ar과 He에 비해 레이저빔과 접촉 시 plasma가 쉽게 생성됨)인데 고밀도열원에서 He이 상대적으로 plasma화 되기가 어렵고 density도 Ar은 1.748g/l 인 반면 He은 0.1787g/l로 낮아 레이저빔의 흡수나 분산에 영향을 적게 주기 때문에 가능한 출력효율을 높여주게 됨으로써 더 빠른 용접속도에서도 완전용입현상이 일어나는 것으로 사료된다.

출력 6kW에서 비드의외관을 관찰 시 4강종 모두 상대적으로 느린 용접속도에서 비드의 폭이 넓고 porosity가 많이 형성된 불량한 비드형상이 관찰되며 상대적으로 빠른 용접속도에서는 연속적으로 spatter가 형성된 비드형상이 관찰된다. 두 범위 사이의 용접속도에서는 비교적 양호한 비드의외관이 관찰된다.[photo. 1]

porosity가 생기는 원인은 저속의 용접속도에서 keyhole용접이 진행 시 모재에 과대한 입열이 가해지면 용융 및 기화현상이 심해져 용융금속의 유동도 심해지고 용융금속내의 가스와 플라즈마를 보호가스가 효과적으로 제거하지 못했기 때문이라 사료된다.

spatter는 부분용접인 경우에 전면에 걸쳐서 발생하였는데 레이저빔열원이 하부로 빠지지 못하고 용융된 금속 내에서 상부로 반사되어 발생하는 것으로 사료되며 고속 용접 시 Pulse형 레이저빔의 불안정성 또한 원인이 될 수 있다고 생각된다.

비드의 longitudinal section[photo. 2]에서는 Ar를 사용한 경우는 비교적 작은 porosity가 주로 상부에 나타나고 He는 상대적으로 큰 porosity가 상중하에 분포하며 용접된 강판의 전반부에 비해 후반부가 상대적으로 많이 나타난다.[table. 2]

[Fig. 2]는 용접속도별 기공률을 나타내며 전반부의 용접속도별 기공률은 Ar과 He이 거의 0%이다. 후반부의 경우는 80TR-R에서는 He은 3m/min에서 약 7%로 가장 높게 나타났으나 그 이상의 속도에서는 거의 0%이다. Ar은 3-6m/min의 범위에서 존재하고 4m/min에서 6%로 제일 높다.

CHSP60C의 경우는 상대적으로 80TR-R보다 기공률이 높았다. 특히 4m/min He gas는 후반부뿐만 아니라 전반부에도 기공률이 7%로 높았고 5m/min이상에서는 거의 0%에 가까웠다. 반면에 Ar은 6m/min에서 7%로 높았고 용접속도가 7m/min에서도 전 후반부 모두 3-4% 나타나는 것이 특징이다.

[photo. 3]은 porosity가 형성된 용접속도인 4m/min, 양호한 용접현상을 보인 7m/min, spatter현상이 나타난 10m/min의 경우에 비드의 cross section Macro-structure이다.

7m/min에서 상부와 하부의 비드 폭이 비슷하고 10m/min의 경우는 상부는 넓고 하부는 좁게 나타났다. 4m/min과 7m/min을 비교하면 열 영향을 많이 받은 4m/min가 전체적으로 비드폭이 넓게 나타났다. Ar과 He를 비교하면 10m/min의 용접속도에서 He의 경우 하부의 비드폭이 매우 좁게 나타났고 Ar, He gas 모두 Undercut 현상이 보인다.

용접속도가 낮아 입열량이 증대되면 W.M을 비롯해 HAZ 또한 비례적으로 증가되었고 응고속도가 빠른 레이저용접 시에도 방향성응고를 나타내었는데 완전용입 시에는 상하 방향으로 열이 방출(응고 진행방향)되고 부분용입의 경우 상부로만 열이 방출됨을 보여준다. 단 다른 용접에서와 마찬가지로 응고 방향은 fusion boundary에 수직이었고 7m/min은 W.M의 centerline에도 수직인 비드 상중하부가 비교적 균일한 I자형 비드형상을 나타내고 있다. 본 실험에서는 특히 용접속도가 7m/min에서 비드의 폭이 좁게 나타났다. [Fig. 3]에서는 보호가스에 따른 80TR-R의 비드폭을 보여준다.

| Materials | C | Mn | Si | Mo | N | Nb | Ti | Fe | Thickness (mm) |
|-----------|------|-----|-----|-----|------|-------|------|------|----------------|
| 80TR-M | 0.20 | 1.5 | 1.5 | - | 0.01 | - | - | Bal. | 1.25 |
| 80TR-R | 0.17 | 2.2 | 0.6 | 0.2 | - | 0.04 | - | Bal. | 1.23 |
| 100TR-R | 0.15 | 2.4 | 0.6 | - | - | 0.025 | - | Bal. | 1.60 |
| CHSP60C | 0.08 | 1.5 | 0.6 | - | - | - | 0.04 | Bal. | 1.20 |

Table.1 Chemical composition of materials

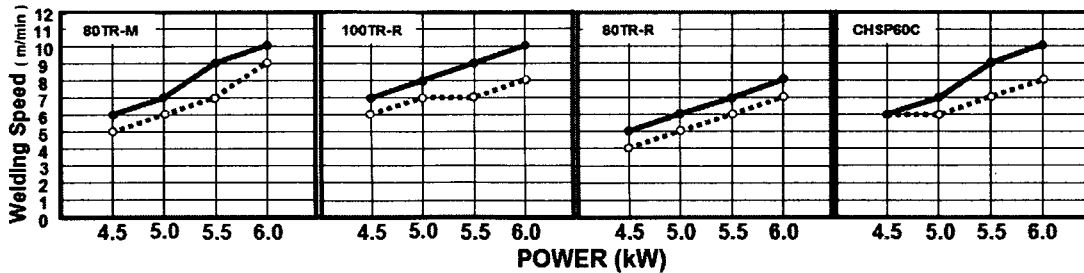


Fig. 1 Maximum Welding speed for full penetration with power

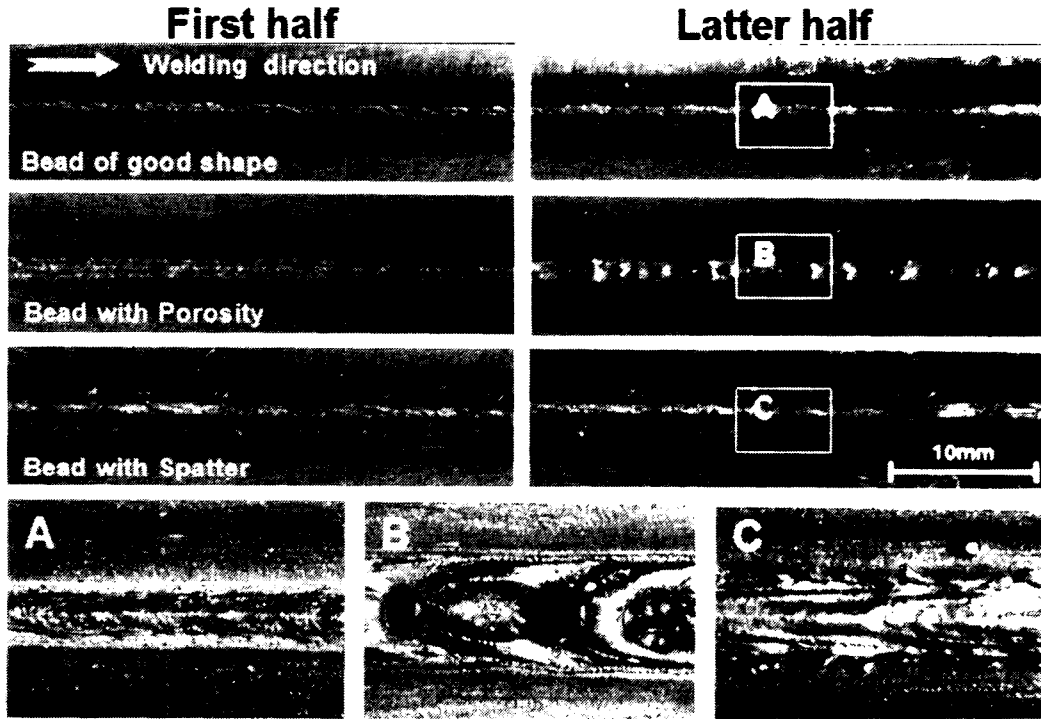


Photo. 1 Welding defects of bead appearance

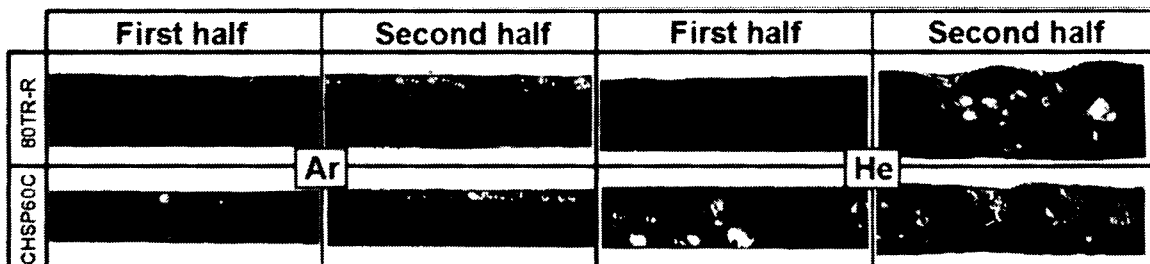


Photo. 2 Macro structures of longitudinal section of bead

| Ar | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | He | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|
| 80TR-M | | | ○ | ○ | | | | ■ | | | 80TR-M | | ○ | ○ | | | | | | | ■ | |
| 100TR-R | | | ○ | | | | | ■ | ■ | | 100TR-R | | ○ | | | | | | | | ■ | |
| 80TR-R | | ○ | | | | | | ■ | | | 80TR-R | ○ | ○ | | | | | ■ | | | | |
| CHSP60C | | | ○ | ○ | | | | ■ | ■ | | CHSP60C | | ○ | ○ | | | | | | | | ■ |

Table.2 Welding defects of bead appearance ○ porosity ■ Spatter

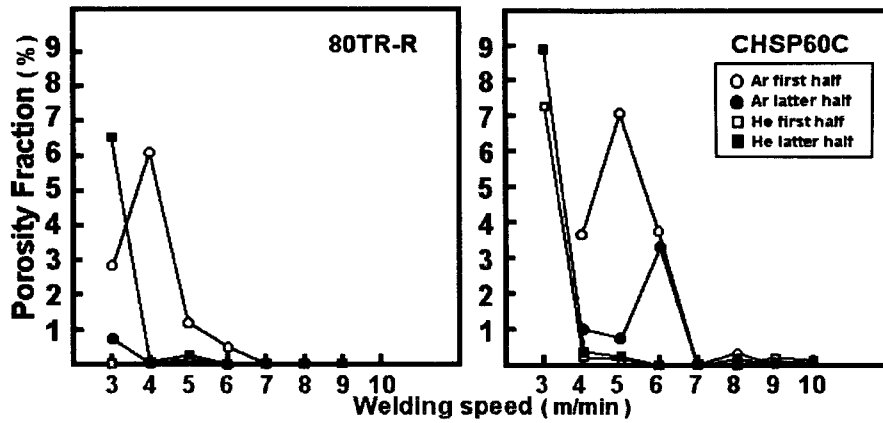


Fig. 2 Porosity fraction with Welding speed

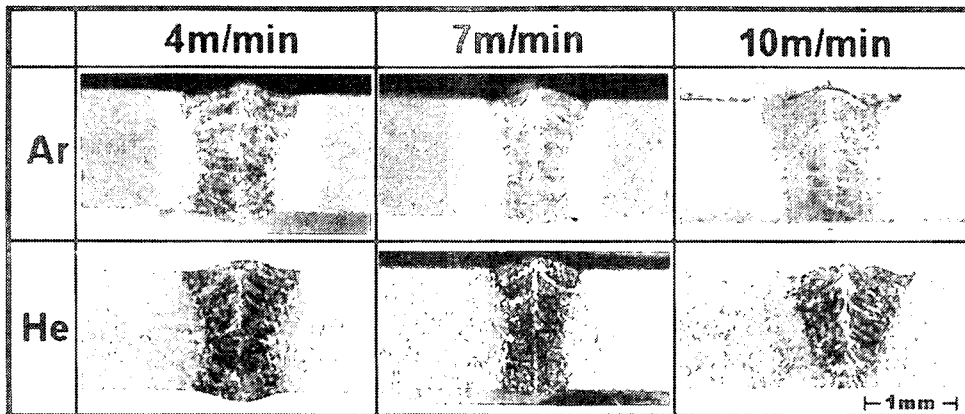


Photo. 3 Macro structures of cross section of bead

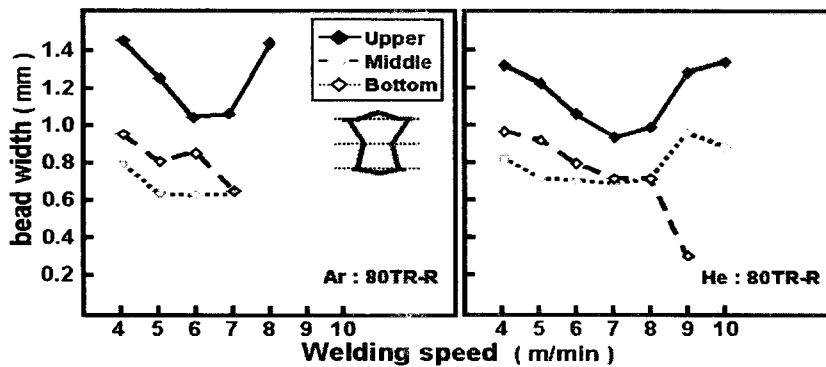


Fig. 3 bead width with Welding speed