

TRIP강의 CO₂ laser 용접시 용접결함에 미치는 용접조건의 영향

Effects of welding conditions on welding defects in CO₂ laser welding of TRIP steels

부산대학교 대학원 금속공학과 박신상, 김기혁, 김병익, 한태교
부산대학교 재료공학부 강정윤

I. 서론

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 TRIP 강판이 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 멤버와 보강재의 소재로 쓰이는 고강도(800-1000Mpa) TRIP강판에 레이저용접을 실시하고 신뢰성 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.

II. 실험방법

본 실험에서 사용한 레이저 장치는 Pulse-CO₂ Laser system(독일 TRUMPF사의 TLF6000 turbo)으로 레이저빔의 직경은 0.3mm의 TEM₀₁ star mode가 사용하였다. 본 실험에 사용한 재료는 TRIP강인 80TR-M, 100TR-R 2종류와 석출경화형강 CHSP60C이고 화학조성과 두께를 Table1에 나타낸다. 강판을 100×50mm로 절단하고 에머리 페이퍼 400번까지 연마하여 아세톤으로 세척을 한 후 각종 용접조건으로 Bead-On-Plate용접을 하였다.

용접부의 표면 결함 및 상태는 Digital Camera와 실체현미경으로 촬영하여, 미세조직은 시편 절단후 성형하여 #2000A까지 거친연마하고 1 μ m diamond paste로 정연마하여, 2%-Natal용액으로 25℃에서 10초간 부식시켜 관찰하였다. 비드폭과 기공률은 Image Analyzer를 이용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

TRIP강의 레이저 용접시 적당한 Ar의 유량과 초점거리(Fd)를 선정하기 위하여, 출력과 용접속도를 고정시키고 Ar유량과 초점거리에 따른 용접 비드의 형상을 조사하여 보았다. 80TR-M 강판을 대상으로 출력을 6kW, 용접속도를 6m/min으로 고정시키고 Ar 유량을 10, 20, 30 ℓ /min, 초점거리를 -4, -2, 0, 2, 4Fd로 용접하여 비교하였다. photo.1은 Ar유량 변화에 따

른 비드의 외관과 종단면을 나타낸 것이다. (a)에서는 표면 기공이 발생하고, (c)에서는 언더컷이 발생하며, (b)에서 비교적 양호한 비드가 관찰되었다. photo.2는 초점거리 변화에 따른 비드의 외관과 종단면을 나타낸 것이다. -4, -2, 2Fd에서는 표면 기공이 관찰되고, 4Fd에서는 언더컷이 관찰되며, 0Fd에서 양호한 비드 형상을 나타낸다. 이상의 결과로부터, Ar 유량은 20 l/min가 적당하고 초점거리는 0Fd가 적당한 것으로 생각되어, 이후의 실험은 Ar 유량은 20 l/min로 초점거리는 0Fd로 고정시켜 수행하였다.

출력을 4.5, 5, 5.5, 6kW로 불완전 용입시까지 용접속도를 변화시켜 완전용입 여부를 검토해 보았다. Fig.3에 나타낸 결과와 같이 출력이 증가할수록 입열량이 많아져 완전용입현상이 생기는 최대 용접속도가 높아짐을 알 수 있으며 6kW시 80TR-M, 100TR-R, CHSP60C의 최대 완전용입 속도는 각각 9, 9, 8m/min으로 나타났다. 또한 TRIP강인 80TR-M, 100TR-R이 석출경화형강인 CHSP60C보다 전반적으로 최대 용접속도가 높게 나타났으며, 또한 80TR-M보다는 100TR-R이 최대 용접속도가 높게 나타났다.

Photo.3는 80TR-M강의 용접 속도 변화에 따른 Cross Section 형상을 크게 3가지로 형태를 구분해 본 것이다. (a)는 절구통형태, (b)는 비드폭이 좁은 비교적 균일한 I자형태, (c)는 부분용입의 V자형태이다. 용접 속도가 증가할수록 (a)의 형태에서 (b)의 형태로 변하며, 결국 (c)의 형태로 변하게 된다. 용접 속도의 증가에 따른 용융금속의 폭을 상부, 중부, 하부로 구분하여 측정해본 결과, Fig.2와 같이 용접 속도가 증가할수록 상부 비드폭은 넓은 형태에서 좁은 형태로 변하며, 하부 비드폭 또한 폭이 좁아져 Photo.3의 (b)와 같은 비드폭이 비교적 균일한 I자 형태가 된다. 용융금속과 모재의 경계를 이루고 있는 HAZ는 경도차가 심한 부분으로 HAZ폭의 크기를 검토해보았다. Fig.3은 용접 속도변화에 따라 HAZ의 상부, 중부, 하부의 폭을 측정해 본 것으로, 용접속도가 증가할수록 HAZ의 폭이 좁아짐을 알 수 있으며, 중부가 가장 넓으며, 하부, 상부 순으로 나타났다.

용접 속도 변화에 따른 비드 외관의 결함을 검토해 보았다. Photo.4는 비드의 외관의 분류로써, (a)는 결함이 없는 미려한 비드, (b)는 표면 기공, (c)는 Spatter로써, 발생조건은 Table 2에 나타낸바와 같이 저속의 용접속도일 때 기공이 발생하며, 완전 용입과 불완전 용입의 경계에서 Spatter 현상이 발생하는 것을 알 수 있다. 비드 내부 결함으로는 Photo.5에서 보는바와 같이 용접부 상부에 기공이 발생되며, 전반부보다는 후반부에 기공이 많이 발생된다. Fig.4는 용접 속도 변화에 따른 기공률으로써, 속도 증가에 따라 기공률은 증가 후 감소하며 완전, 불완전 용입의 경계 부근에서 기공률이 가장 적음을 알 수 있다.

IV. 결론

고강도 TRIP 강을 CO₂ 레이저빔으로 용접한 경우, 완전용입 및 표면결함(표면 기공, Spatter)과 내부 결함(내부 기공)에 미치는 Ar 유량, 초점거리, 출력, 용접 속도등과 같은 용접 조건의 영향에 대해서 검토하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 초점거리는 0Fd, Ar유량은 20 l/min가 적당하다.
- (2) 출력이 높을수록 완전용입현상이 생기는 최대 용접속도는 높아졌다.
- (3) 완전용입조건에서 비교적 I자 형태가 양호한 용접조건으로 생각된다.
- (4) 표면결함은 저속일 때 기공이 발생되며, 완전과 불완전 용입의 경계에서 Spatter가 발생되었다.
- (5) 내부 기공은 상부에 발생되며, 전반부 보다 후반부에 많이 발생된다.
- (6) 기공률은 용접속도가 증가 할 수록 작아졌다.

Table 1. Chemical compositions of materials used

Materials	C	Mn	Si	Mo	N	Nb	Ti	Fe	Thickness (mm)
80TR-M	0.20	1.5	1.5	-	0.01	-	-	Bal.	1.25
100TR-R	0.17	2.2	0.5	0.2	-	0.04	-	Bal.	1.23
CHSP60C	0.08	1.5	0.5	-	-	-	0.04	Bal.	1.20

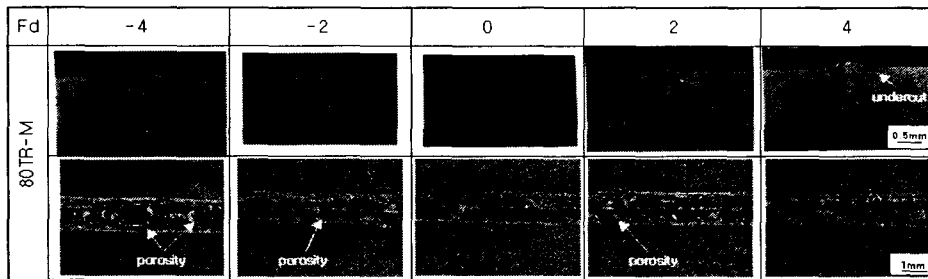


Photo.1 Appearance and shapes of bead with gas flow rate in TRIP steels

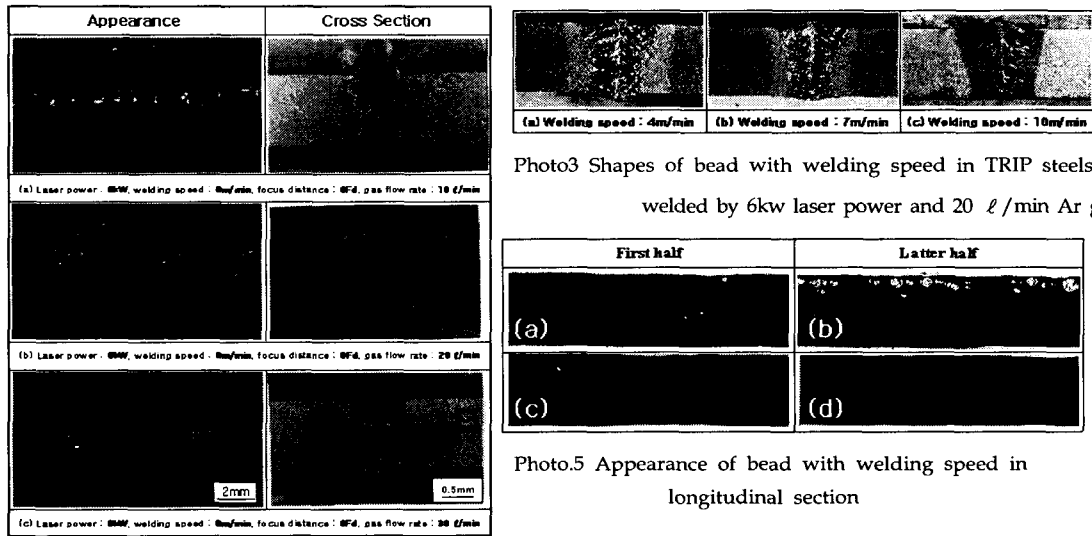


Photo.3 Shapes of bead with welding speed in TRIP steels welded by 6kW laser power and 20 l/min Ar gas

Photo. 2 Appearance and shapes of bead with focus distance in TRIP steels welded by 6kW laser power and 6m/min welding speed and 20 l/min Ar gas

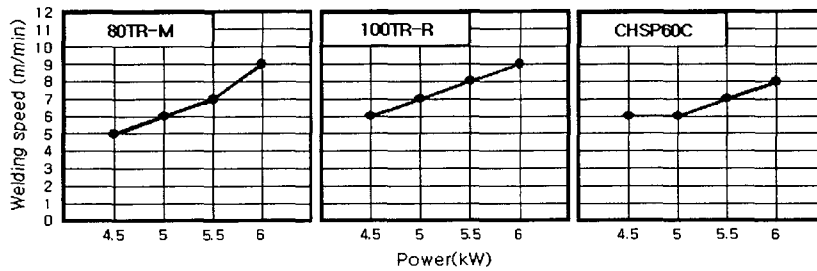


Fig.1 Maximum welding speed for full penetration with laser power

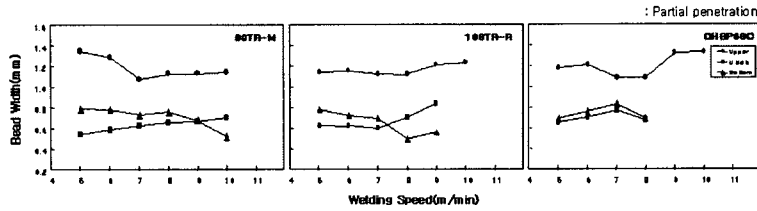


Fig.2 Weld metal bead width with welding speed

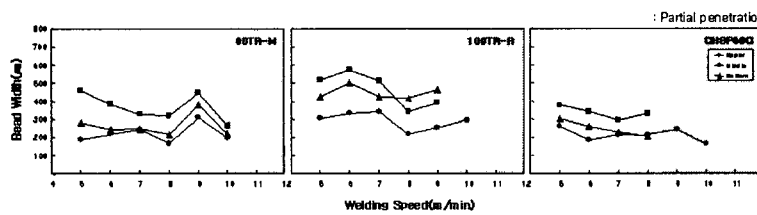


Fig.3 HAZ width with welding speed

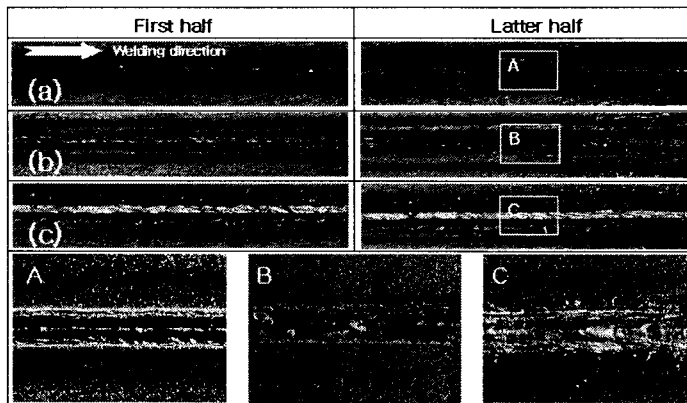


Photo.4 Classification of bead appearance

Table 2 Weld defects of bead appearance

Steels	Welding speed (m/min)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
80TR-M			○	○				
100TR-R			○				◆	◆
CHSP60C			○	○			◆	◆

○ : Porosity ◆ : Spatter : 불완전 용입

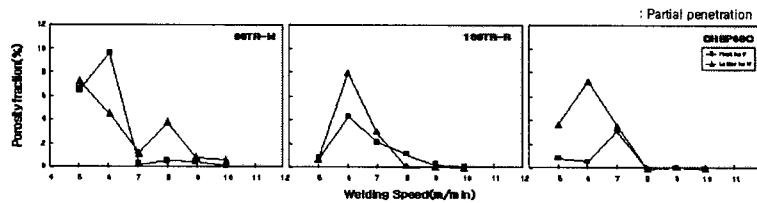


Fig.4 Porosity fraction with welding speed