

자동차용 인장강도 600MPa급 TRIP강과 DP강의 Nd:YAG 레이저 용접성 비교 연구

Comparison of Nd:YAG Laser Weldability between TRIP and DP with a tensile strength of 600MPa for automotive

한태교*, 이봉근*, 정병훈**, 강정윤*

* 부산대학교 금속공학과

** 성우하이텍 기술연구소

1. 서 론

자동차의 연비 향상과 CO₂ 배출량 감소를 위한 해법으로 경량화가 중요한 관건으로 대두되고 있으며, 그 일환으로 강성이 좋은 철강 소재를 이용한 자동차의 성능향상과 경량화를 위한 연구가 활발히 전개되고 있다. 또한 레이저 용접은 열변형이 적고 비드외관이 미려할 뿐만 아니라 연속 및 고속 용접이 가능해 생산성(productivity)과 정밀성(accuracy), 안정성(stability)이 높아 자동차조립 및 부품 제조공정에 적용되고 있다. 이에, 상변태를 이용하여 고강도이면서, 높은 연신율과 성형성을 겸비 600MPa급 TRIP 및 DP형 고강도 강판에 대하여 출력 3.5kW, non-shield CW Nd:YAG 레이저 용접을 행하여 신뢰성이 높은 용접공정의 확립을 위해 기본 용접조건을 선정하고, 용접 조건에 따른 용접부의 경도 및 미세조직변화를 통해 용접부의 경화특성을 분석하였다. 인장시험 및 Erichsen, 성형성 시험을 통해 레이저 용접부의 기계적 성질 및 성형성을 평가하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 재료는 인장강도 600MPa급 냉연 TRIP강 및 DP강으로서 그 화학조성과 사용판재의 두께를 표 1에 나타낸다.

Nd:YAG laser 용접장치는 최대 출력 4kW CW-Nd : YAG Laser system(TRUMPF사의 HL4006D)으로 레이저빔의 직경은 0.6mm의 multi mode를 사용하였으며, 용접 조건은 보호 가스를 사용하지 않은 상태에서 출력을 3.5 kW, 초점거리를 0mm로 고정시키고, 용접속도

를 1.2m/min ~ 7.2m/min로 변화시켜 검토하였다. 모재와 용접부의 조직관찰은 2%-Nital을 사용하였으며, 비드단면의 경도는 마이크로 비커스경도기를 사용하여 측정하였다. 용접부의 인장성질은 용접선에 수직 방향과 수평 방향으로 5m/min의 속도로 인장시험 하여 평가하였다. 성형성 시험은 Erichsen B 시험방법으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

레이저 용접후 비드를 관찰한 결과 비드는 기공을 함유한 비드, 양호한 비드, 스패터가 발생하는 비드의 3종류로 분류되어진다. 전 용접조건에서 2강종 모두 균열은 발생하지 않았다.

표 2는 전술한 방법으로 비드를 용접속도에 따라 분류한 것으로서 이때 P는 기공을 함유한 비드, G는 양호한 비드, S는 스패터를 함유한 비드를 나타내고, ||는 완전용입과 불완전 용입 경계를 나타낸다. TRIP강의 경우 1.8m/min의 저속에서 기공을 함유한 비드가 나타난 반면 DP강은 전 용접속도에서 기공은 관찰되지 않았다. 스패터는 완전용입과 불완전 용입의 경계부에서 일어나는 것이 특징이다.

그림 1은 용접속도에 따른 용접비드의 횡단면을 나타낸다. 용접속도가 증가함에 따라 용접비드의 폭은 감소하고 있고, 비드의 형상도 변화하고 있다. 비드의 모양은 용접속도가 증가함에 따라 상부의 비드폭이 하부의 비드폭보다 작은 사다리꼴 형상에서 X자 형태를 거쳐 V자 형태로 변화하고 있음을 볼 수 있다.

그림 2 및 3은 각각 TRIP 및 DP는 저속 및 고속의 2 용접속도에 대하여 레이저 용접부 경도 분포를 나타낸다. TRIP의 경우 용접금속과 인접한 열영향부에서 최대경도를 나타낸 후 모재쪽으로

로 갈수록 경도가 감소하고 있고 저속의 경우도 동일한 분포를 나타내지만, 최대경도가 감소한 것을 볼 수 있다. 반면, DP강은 최대경도가 용접 금속에 인접한 열영향부에서 나타나고 있다.

그림 4는 용접속도에 따른 최대경도변화를 나타낸다. DP의 경우 최대경도가 열영향부에서 나타나므로 용접금속의 최대경도와 열영향부의 최대경도를 함께 나타낸다. TRIP강의 경우 용접속도가 증가할수록 최대경도는 증가하며, 임계속도 이상에서는 거의 변화가 없음이 관찰된다. DP강의 경우도 유사한 결과가 나타나며, 저속의 경우 용접금속과 열영향부의 최대경도차가 큰 반면, 고속에서는 그 차이가 감소하고 있다.

그림 5 및 6은 각각 TRIP 및 DP 강종에 대하여 최대경도와 미세조직과의 상관관계를 알아보기 위해 레이저 용접부의 각 영역에 해당하는 OM 및 SEM사진을 나타낸다.

TRIP강의 경우 용접금속과 용접금속에 인접한 열영향부 모두 페라이트와 베이나이트 조직으로 구성되어 있음을 볼 수 있다. 다만, 고속의 용접속도에서 페라이트가 크기가 작은 입내 페라이트인데 반하여 저속의 경우 크기가 큰 입내 페라이트인 점이 다르며, 이 차이로 인해 저속 및 고속에서 경도차이가 나타나는 것으로 생각된다.

그림 6 DP강의 경우 고속에서 용접금속은 상부베이나이트이고, 용접금속에 인접한 열영향부는 결정립이 작은 상부베이나이트 조직임을 볼 수 있다. 반면 저속의 용접속도에서는 용접금속은 주로 퍼얼라이트 조직과 소량의 침상 페라이트 조직이 관찰되며, 용접금속에 인접한 열영향부는 하부 베이나이트 조직으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 용접부 경도가 영역에 따라 변화하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 레이저 용접부의 수직 인장특성을 나타낸다. 인장시험에서 파괴는 모두 모재부에서 일어났다. TRIP강 및 DP 모두 인장강도 및 항복강도는 원모재보다 다소 상승하고, 연신율은 작은 값을 나타내고 있다.

그림 8은 레이저 용접부의 수평 인장특성을 나타낸다. 수직인장특성과 유사한 결과가 나타나고 있다. 인장강도 및 항복강도는 데, 같은 결과가 나타나고 있다. 인장강도 및 항복강도는 저속에서 조금 높은 값을 나타내지만, 전 용접속도에서 거의 비슷하지만, 연신율은 용접속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타낸다.

그림 9는 Erichsen 성형성 시험결과를 보여준다. 용접속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내며, 용접속도 3.0m/min 이상에서는 유사한 값을 나타낸다.

4. 결론

자동차용 인장강도 600MPa급 TRIP강 및 DP강의 Nd:YAG 레이저 용접부 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레이저 용접부는 저속도에서 기공을 고속도에서 스패터를 함유하였고, 중간 용접속도에서는 양호한 비드가 얻어졌다.
2. 비드의 형상은 저속도에서는 상부의 비드폭이 하부의 비드폭보다 작은 사다리꼴 형상에서 용접속도가 증가할수록 X자 형상을 거쳐 V자 형상으로 변화하였다.
3. 경도분포를 조사한결과 TRIP강은 용접금속 및 용접금속에 인접한 열영향부에서 최대경도를 나타낸후 모재쪽으로 갈수록 감소하였고, DP강은 용접금속에 인접한 열영향부에서 최대경도가 나타났다.
4. 인장시험결과 강도는 원모재보다 높고, 연신율은 원모재보다 작게 나타났다. 수평인장시험에서는 연신율은 용접속도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다.
5. 레이저 용접부의 성형성을 시험한 결과 용접속도가 증가할수록 증가하며, 용접속도 3.0m/min 이상에서는 거의 동일하게 모재 대비 80%정도의 성형성을 나타냈다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 (주)포스코 기술연구소 자동차소재연구그룹에 감사드립니다.

Table 1 Chemical compositions and thickness of raw materials

	C	Mn	Si	P	S	Fe	thickness
TRIP	0.08	1.5	1.00	0.07	0.006	bal.	1.0mm
DP	0.11	1.75	0.10	0.01	-	bal.	1.4mm

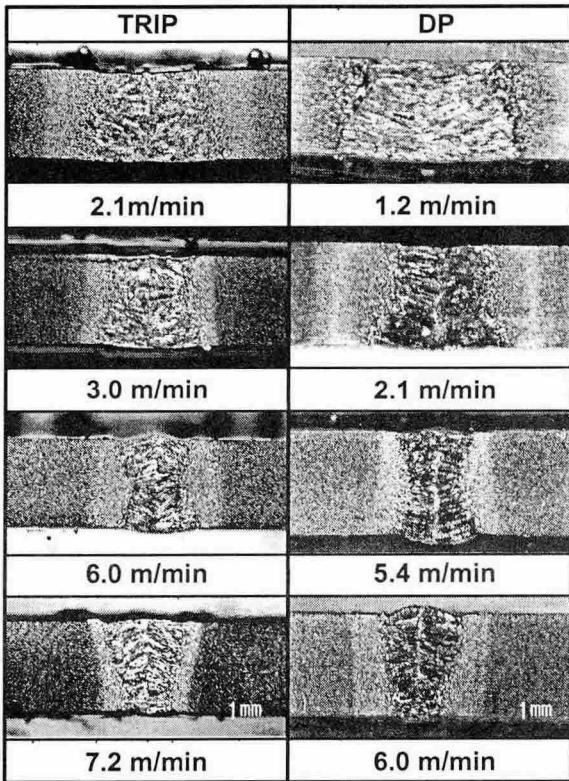


Fig. 1 Cross-sections of beads of Nd:YAG laser welded joints

Table 2 Classification of bead with a welding speed

	Welding speed(m/min)												
	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2
TRIP		P	G	G	G	G	G	G	G	G	G	S	S
DP	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	S	S	S

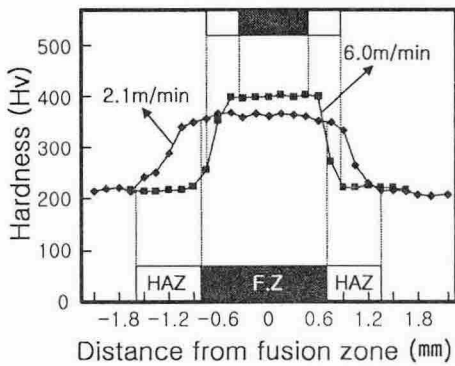


Fig. 2 Hardness distribution of Nd:YAG laser welded TRIP

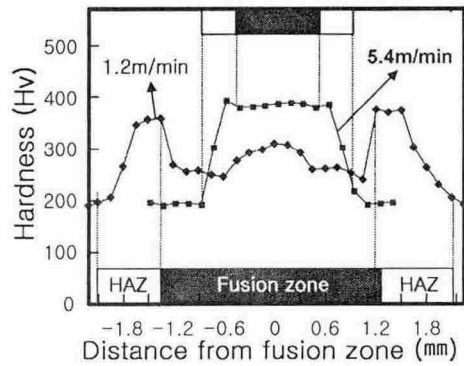


Fig. 3 Hardness distribution of Nd:YAG laser welded DP

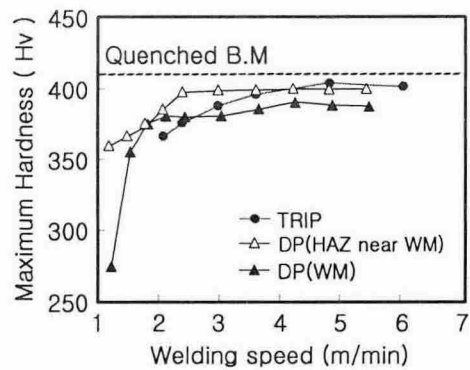


Fig. 4 Change of the maximum hardness of laser welded joints

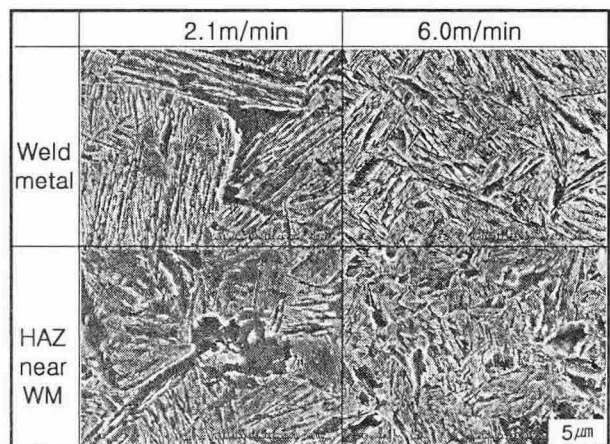


Fig. 5 SEM microstructures of Nd:YAG laser welded TRIP

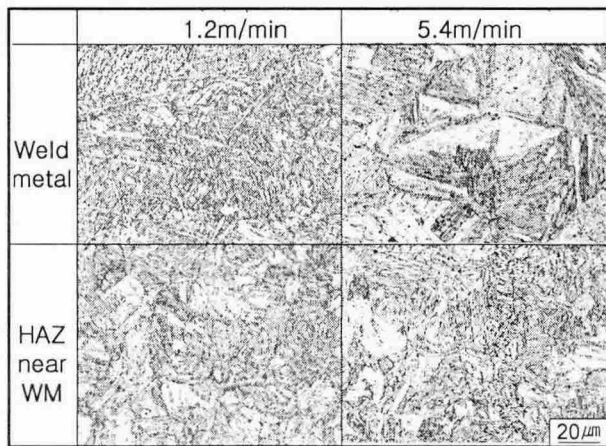


Fig. 6 OM microstructures of Nd:YAG laser welded DP

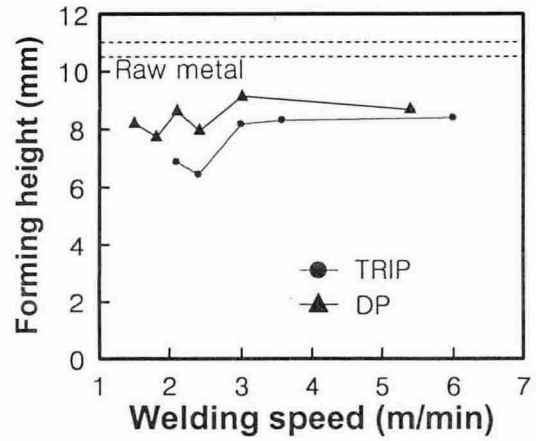


Fig. 9 Change of forming height with a welding speed in Nd:YAG laser welded TRIP or DP

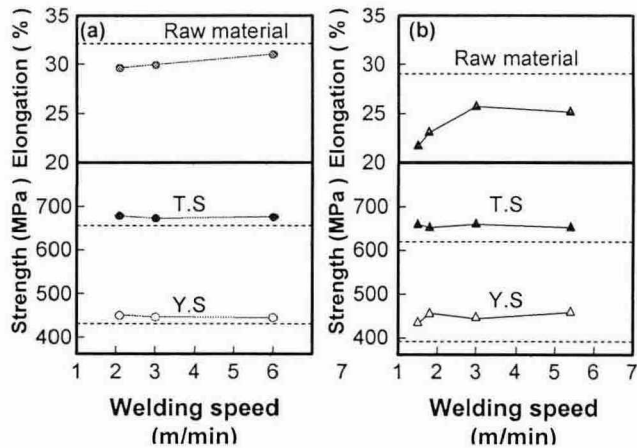


Fig. 7 Perpendicular tensile properties of Nd:YAG laser welded TRIP(a) or DP(b)

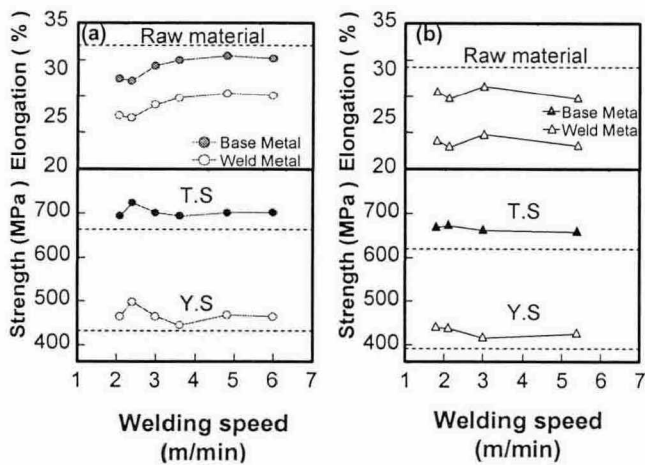


Fig. 8 Parallel tensile properties of Nd:YAG laser welded TRIP(a) or DP(b)