

자동차용 600MPa급 강의 강종에 따른 Non-shield Nd:YAG 레이저 용접부 특성에 관한 연구

Characteristics of non-shielding Nd:YAG Laser Welded 600MPa grade steels for automotive

김 옥배*, 권 민석*, 한 태교*, 이 봉근**, 강정윤 **

* 부산대학교 금속공학과

** 부산대학교 재료공학과

1. 서 론

상변태만으로 높은 강도를 가지면서 높은 연신율을 확보시킨 성형성이 우수한 냉연 TRIP형 고장력 강판, Dual Phase강판과 미세한 석출물을 생성시켜 전위의 이동을 방해함으로써 항복점과 강도를 향상시킨 석출경화형 강판은 자동차용 소재로 매우 각광을 받고 있다. 또한 레이저 용접은 열 변형이 적고 비드 외관이 미려할 뿐만 아니라 연속 및 고속 용접이 가능하여 생산성 및 정밀성, 안정성이 높아 자동차조립 및 부품 제조 공정에 적용되고 있다.

따라서, 자동차를 비롯한 조립금속분야에 이러한 강판을 적용하기 위해서 레이저 용접성과 용접부의 경화특성에 대한 연구가 필요하므로, 이 두 강종의 레이저 용접성에 대한 특성을 비교해 보고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 재료는 POSCO에서 생산되어진 강판으로서 화학조성 및 두께를 Table. 1에 나타내었다. 60TR과 CHSP강종은 두께 1.2t를 사용하였고, 60DP는 두께 1.4t를 사용하였다. 사용한 레이저 장치는 최대 출력 4kW CW-Nd : YAG Laser system(독일 TRUMPF사의 HL4006D)으로 레이저 빔의 직경은 0.6mm의 TEM₀₀ single mode가 사용되었으며, 용접 조건은 보호가스를 사용하지 않은 상태에서 출력을 3.5kW, 초점거리를 +4mm로 고정시키고, 용접속도를 1.8m/min ~ 7.8m/min로 변화시켜 검토하였다. 모재와 용접부의 조직관찰은 2%Ni tal을 사용하였으며, 비드단면의 경도는 마이크로비커스경도기를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 용접속도변화에 따른 대표적인 표면비드형상을 분류한 것이다. 표면비드형태는 양호한 비드, 표면기공이 존재하는 비드, 스패터가 존재하는 비드로 구분된다. 두께가 1.2t로 같은 60TR과 CHSP60C강종은 모두 동일한 용접조건에서 동일한 표면 비드현상을 보여주었다. 60TR과 CHSP60C강종은 저속용접속도 1.8m/min에서 표면기공이 발생하였으나 1.4t인 60DP강에서는 표면기공이 발생하지 않았다. 또한, 60TR과 CHSP60C강종은 상대적으로 고속용접속도인 6.6m/min이상에서 스패터가 발생되었고, 특히 불완전 용입 조건에서도 스패터가 관찰되었다. 그에 반해 60DP강종은 6.0m/min이상 용접속도에서 불완전용입과 스패터가 발생하였다. 이는 강판의 종류와 관계없이 두께와 입열량의 관계에 기인한 것으로 생각된다. Table. 2는 위의 내용을 용접속도에 따른 표면의 결함을 정리한것이다. Fig. 2는 용접금속의 내부기공을 확인하기 위해 최종응고부인 용접중심선상의 대표적인 비드 횡단면을 나타낸 것이다. 두께가 1.2t인 60TR과 CHSP60C강종은 1.8m/min용접속도에서 내부기공이 관찰되었고 이와 달리 1.4t인 60DP는 내부기공이 관찰되지 않았다. 또한 용접속도 2.1m/min이상에서는 3강종 모두 내부 기공은 관찰되지 않았다.

용접속도 변화에 따라 용접 결함이 없고, 완전 용입이 일어나는 한계용접속도까지 용접을 실시한 결과 그 범위는 60TR과 CHSP60C강종은 2.1m/min~6.0m/min이었고, 60DP는 1.8m/min~5.4m/min이었다.

Fig. 3은 용접속도변화에 따른 대표적인 비드형상을 나타낸 것으로 저속용접속도에서 하부비드폭이 상부비드폭에 비해 넓게 나타난다. 하지만, 용접속도 증가에 따라 하부와 상부의 비드폭은 비슷한 크기를 나타내고 전체적인 비드폭은 좁아졌다.

Fig. 4는 저속의 용접속도인 2.1m/min와 고속의 용접속도인 6.0m/min(60DP=5.4m.min)로 용접한 경우에서의

용접부 근방의 경도분포를 나타낸 것이다. 60TR의 경우, 용접금속과 용접금속 인접한 열영향부에서 거의 균일한 최고경도치를 나타내고 있고, 열영향부를 지나 모재쪽으로 진행할수록 그 경도치가 감소하였다. 또한 저속용접속도 2.1m/min에서의 최고경도치가 6.0m/min에서의 최고경도치보다 낮았다. CHSP60C의 경우, 용접금속 중심이 아닌 용접금속 인접한 열영향부에서 최대경도값을 보여주며, 모재쪽으로 진행하면서 그 경도값은 감소하고 있다. 또한, 용접속도가 빨라질수록 최고경도값은 상승하였고, 용접금속과 용접금속에 인접한 열영향부의 경도차는 감소하였다. 60DP의 경우, 용접금속과 용접부에 인접한 열영향부에서 최대경도값을 나타냈다. 열영향부를 지나 모재쪽으로 진행할수록 그 경도치가 감소하였고, 용접속도별 최고경도값은 앞선 두 강종과는 달리 저속용접속도와 고속용접속도에서 크게 차이가 나타나지 않았다.

Fig. 5는 용접속도에 따른 최고경도값을 나타낸 것이다. 60TR의 경우, 2.1m/min에서 3.0m/min까지의 용접속도에서는 최대경도값이 서서히 증가하였으며, 3.6m/min이상의 용접속도에서는 수냉한 시편과 유사한 최대경도치를 가졌다. CHSP60C의 경우, 속도가 빨라질수록 최대경도값은 상승하고 있으며, 용접부 중심과 그 인접한 열영향부의 경도차가 점점 감소함을 알 수 있었다. 60DP의 경우, 저속의 용접속도와 고속의 용접속도에서 최대경도값은 미비한 차이를 보였다.

경도분포는 조직과 상관관계를 가지므로 용접금속과 용접부근방의 조직을 확인해 보았다. Fig. 6 60TR강의 경우, 저속용접속도 2.1m/min에서의 용접금속과 용접금속에 인접한 열영향부에서 마르텐사이트 조직과 조대한 입계 페라이트 조직이 공존하고 있다. 이에 반해, 고속용접속도 6.0m/min에서의 용접금속과 용접금속에 인접한 열영향부에는 대부분 마르텐사이트 조직을 나타내고 일부 미세한 입계 페라이트가 관찰되었다. 이로 인해, 용접속도차에 의한 최고경도값의 차이가 나타난 것으로 생각되어진다.

Fig. 7 CHSP60C강의 경우, 2.1m/min 용접부 중심에서 경도가 낮은 흰색상의 조대한 페라이트가 관찰이 되고, 반면 용접금속인접 열영향부는 마르텐사이트조직이 나타난다. 이로 인해 경도값은 용접금속인접 열영향부가 더 높게 나타남을 알 수 있다. 또한, 6.0m/min에서는 조대한 페라이트는 관찰되지 않고 마르텐사이트 조직으로 나타남을 알 수 있다. 이 때, 마르텐사이트 패킷크기가 용접금속에서는 조대하고 용접금속인접 열영향부에서는 미세하여 경도값은 용접금속인접 열영향부가 더 높게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 8 60DP강의 경우, 저속용접속도에서와 고속용접속도에서 용접금속과 용접금속인접 열영향부의 미세조직이 비슷한 양상을 보이고 있다.

그리고 세 강종의 모든 조건에서 용접금속 인접열영향부에서 모재쪽으로 갈수록 페라이트의 양이 증가하고 있고 이로 인해, 경도값이 작아졌다.

4. 결 론

1. 용접속도 변화에 따른 결함으로는 60TR과 CHSP60C에서 저속용접속도구간인 1.8m/min에서 내부 및 표면 기공이 발생하였으며, 6.6m/min이상의 용접속도에서는 스패터 및 불완전 용입이 발생하였다. 60DP강의 경우 모든 조건에서 기공 결함은 없고, 5.4m/min이상의 용접속도에서 스패터 및 불완전 용입이 일어났다.

2. 용접속도변화에 따른 비드폭 변화를 측정한 결과 용접속도 3.0m/min이하에서의 비드폭은 넓게 나타났으며, 3.0m/min이상의 용접속도에서는 비드폭이 속도 증가에 따라 좁아졌다.

3. 경도분포는 모든 강종에서 용접금속과 용접금속 인접 열영향부에서 모재쪽으로 갈수록 경도치가 감소하였으며, 60TR과 60DP의 경우 용접금속에서 CHSP60C는 용접금속 인접 열영향부에서 최고 경도치를 나타냈다.

4. 용접속도에 따른 최고경도치의 변화를 보면, 60TR는 용접속도가 증가함에 따라 최고경도치가 상승했다. CHSP60C도 용접속도가 증가함에 따라, 60DP는 용접속도에 따른 최고경도치 변화는 미비했다.

Table. 1 Chemical composition

분 류	C	Mn	Si	Ti	P	S	Fe	Thickness
60TRIP	0.08	1.5	1.0	-	0.07	0.006	Bal.	1.2(mm)
CHSP60C	0.08	1.5	0.5	0.04	-	-	Bal.	1.2(mm)
60DP	0.11	1.75	0.1	-	0.01	-	Bal.	1.4(mm)

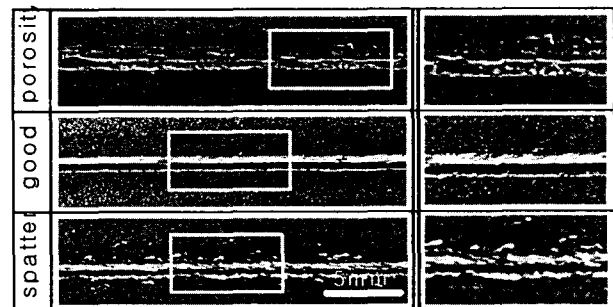


Fig. 1 Classification of defects at the bead surface

Table. 2 Classification of defects at the bead surface

	Welding speed (m/min)										
	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2
60TRIP	P	G	G	G	G	G	G	G	G	S	S
CHSP60C	P	G	G	G	G	G	G	G	G	S	S
60DP	G	G	G	G	G	G	G	G	S	S	S

P : Porosity G : Good S : Spatter ◻ : Full/Partial penetration

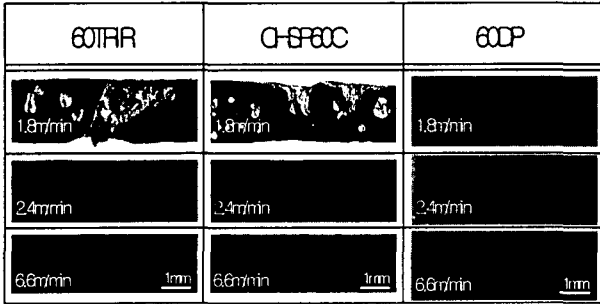


Fig. 2 Distribution of the porosity at the longitudinal section in the weld centerline

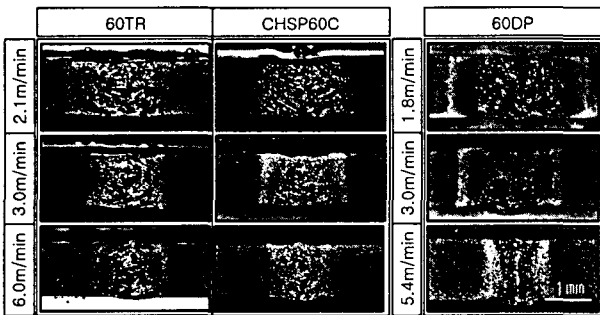


Fig. 3 Change of cross-section with welding speeds

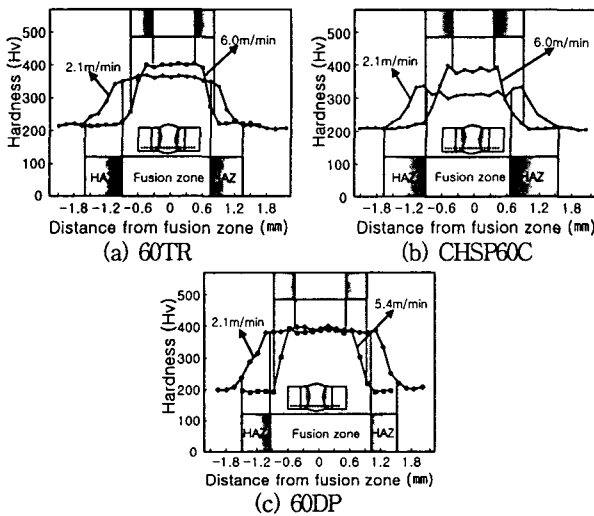


Fig. 4 Distribution of hardness near welded joints

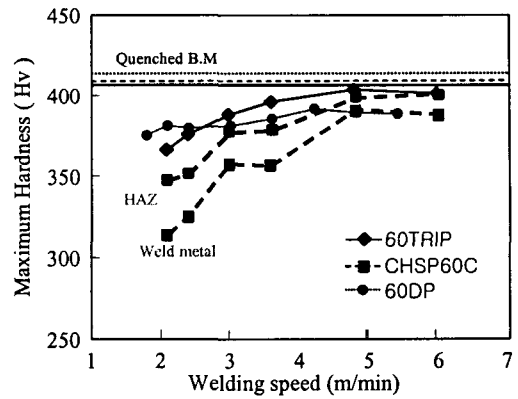


Fig. 5 Change of the maximum hardness with the welding speeds

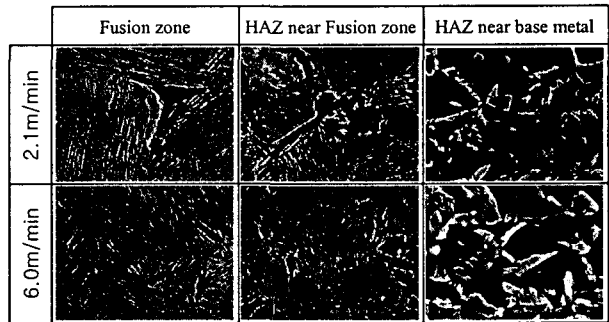


Fig. 6 SEM microstructures of 60TRIP

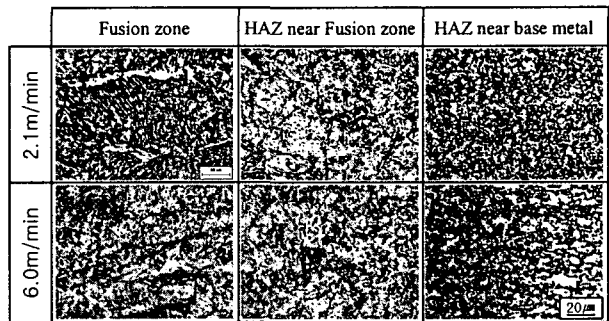


Fig. 7 Microstructure of CHSP60C

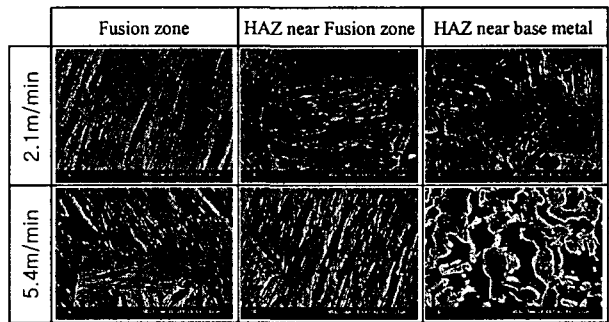


Fig. 8 SEM microstructures of 60DP