

## 자동차용 600MPa급 강종에 따른 CO<sub>2</sub> 레이저 용접부 특성 비교

### Characteristics of CO<sub>2</sub> laser welded 600MPa grade steels for automotive

김 지현\*, 김 옥배\*\*, 한 태교\*\*, 이 봉근\*\*, 강 정윤\*\*

\* LG 생산기술연구원

\*\* 부산대학교 재료공학과

#### 1. 서 론

최근 에너지 절약 및 환경규제 등의 문제가 대두되면서 자동차산업에서는 연비향상 및 부품의 가공 및 조립을 위해 비강도가 크면서도 성형성이 우수한 철강소재의 개발에 많은 관심이 집중되고 있다. 자동차의 중량을 감소시키는 방법으로 철강업계에서 크게 대두되고 있는 것은 자동차용 강판의 약 25%를 차지하고 있는 사시부품에 고장력강을 사용하는 것이다. 따라서 사시부품의 경량화를 위해 개발된 고장력강 중에서 최근 각광받고 있는 소재는 냉각동안의 상변태를 이용하여 개발된 TRIP강 및 DP(dual phase)강 등으로서 이 강들은 큰 강도와 연성을 동시에 갖고 있어 현재 많은 연구가 진행되고 있다.

한편 레이저용접은 고밀도의 집속된 에너지를 열원으로 하는 광응용기술로서, 타 용접속도에 비해 용접속도가 빠르면서 입열량이 작아 열에 의한 변형이 작은 이점을 가지고 있고, 용접비드와 열영향부가 매우 좁아 접합이 어려운 형상이나 재료도 용접이 가능한 유연성을 가지고 있다. 이런 특성으로 인해 최근 레이저 용접에 관한 연구가 활발한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 TRIP강, DP강, 석출경화강의 600MPa급 고장력강 3강종을 대상으로 CO<sub>2</sub> 레이저로 비드용접하였을 때 용접부의 특성에 관하여 고찰하고자 한다.

#### 2. 실험 방법

실험에 사용한 재료의 화학조성을 표1에 나타낸다. 본 연구에서 사용된 레이저 용접 장치는 최대출력이 6kW인 독일 TRUMPF사(TLF6000 turbo)의 CO<sub>2</sub> 레이저 장치를 사용하였다. 보호가스는 He가스를 사용하였고, 유량은 선행 실험에서 최적조건

인 20 l/min으로 하였다. 용접부의 매크로조직은 2%-Nital, HNO<sub>3</sub> 2ml + Ethanol 100ml로 298K에서 10sec간 부식시켜 실체현미경으로 관찰하였고, 용접부 미세조직은 광학현미경과 주사식전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 기공율은 현미경영상분석장치(Image analyser)를 이용하여 전체면적에 대한 기공면적의 비율로 측정하여 정량화하였다. 이때 실험의 정확성을 기하기 위하여 200mm 용접한 것의 중앙부에서 5mm씩 4개로부터 평균을 구하여 나타내었다. 비드단면의 경도는 미소경도기를 사용하여 하중 2.94N, 하중유지시간 15sec, 측정 간격은 150 $\mu$ m로 하여 측정하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

표 2는 각 강종에 대해 출력을 4.5kW~6kW로 변화시켰을 때, 완전용입이 일어나는 최대 용접속도를 나타낸 것이다. 전 강종에 대하여 출력이 증가할수록 완전용입이 일어나는 최대 용접속도가 점차 증가하고 있음을 볼 수 있고, 60TR의 경우가 동일 출력에서 완전용입이 일어나는 최대 용접속도가 가장 큰 것을 볼 수 있는데, 이것은 다른 강종에 비해 두께가 가장 얇기 때문인 것으로 생각된다.

용접부 내부의 결함 유무를 살펴본 결과, 기공 이외의 결함은 관찰되지 않았다. 그림 1은 용접부 내부에 기공을 포함하고 있는 용접조건에 대하여 용접부의 종단면을 나타낸 것이다. 기공의 형상은 주로 구형이며, 용접시작부 보다는 중간부에서 더 많은 기공이 관찰되는 것을 볼 수 있다.

그림 2는 전 강종에 대하여 출력 6kW하에서 용접속도에 따른 기공 분율을 영상분석법으로 측정하여 나타낸 것이다. 전 강종에 대해서 용접속도가 증가할수록 급격히 감소하여 특히 7m/min 이상에서는 기공이 거의 관찰되지 않았다. 저속도에서의 기공분율을 살펴보면 CHSP60C가 가장 크게

나타나고, 다음으로 60TR, 60DP의 순으로 나타나는데, 60DP의 경우는 모든 용접속도에서 거의 0%에 가깝게 나타났다.

그림 3은 각 강종에 대하여 6kW출력 하에서 용접속도에 따른 대표적 횡단면 사진을 보여준다. 전 강종에서 용접속도가 증가할수록 완전용입이 일어나는 용접속도에서는 비드폭이 감소하는 경향을 나타내었다. 비드 모양을 살펴보면 CHSP60C와 60TR의 경우 용접속도 4m/min에서 상부의 비드폭이 가장 넓고, 중간부분에서 폭이 크게 감소하였다가 다시 하부에서 폭이 조금 증가하는 모양(X type)에서 7m/min의 경우 상부, 중부, 하부의 폭이 거의 같은 I type으로 변화하였다가 용접속도가 더욱 증가하여 11m/min의 불완전용입이 일어나는 속도에 이르게 되면 상부의 비드폭이 넓고, 하부로 내려갈수록 점진적으로 폭이 감소하는 V type으로 비드의 형상이 변화하는 것을 알 수 있다. 반면 60DP의 경우는 저속도에서도 X type은 관찰되지 않고, 전 용접속도에서 거의가 I 혹은 V type을 나타내는 것을 볼 수 있다. 60DP의 경우 비드폭이 타 강종에 비해 상당히 좁은 것을 볼 수 있는데 이것은 강판의 두께가 더 커서 타 강종에 비해 더 큰 냉각효과를 유발하기 때문인 것으로 생각된다.

그림 4는 각 강종에 대해 출력 6kW, 용접속도 7m/min에 대하여 용접부 부근의 경도분포를 나타낸 것이다. CHSP60C의 경우 용접금속에서 가장 큰 경도치를 나타내다가 모재쪽으로 갈수록 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 반면 60TR 및 60DP의 경우에는 용접금속뿐만 아니라 용접금속에 인접한 열영향부에서도 최대경도값을 나타내다가 모재쪽으로 갈수록 경도가 감소하는 것이 특징이다.

타 용접속도에서도 경도분포를 살펴본 결과 상기와 같은 결과가 얻어져서 용접속도에 따른 최대경도의 변화를 조사하여 그림 5에 나타낸다. 전 강종에서 최대경도는 거의 변화가 없이 동일하였다. 3강종에 대하여 최대경도를 서로 비교하여 보면 CHSP60C와 60DP는 거의 값이 동일하고, 60TR이 2강종에 비해 조금 더 높은 값을 나타내었다.

그림 6은 상기와 같은 경도분포를 나타내는 이유를 알아보기 위하여, 각 강종에 대하여 용접금속, 용접금속에 인접한 열영향부, 열영향부, 모재에 대한 SEM조직을 나타낸 것이다. 전 강종

에 대하여 모재는 페라이트 기지임을 알 수 있고, 강종의 종류에 따라 석출상을 함유한 경우(CHSP60C)와 페라이트+베이나이트+잔류오스테나이트+마르텐사이트의 60TR강과 페라이트+마르텐사이트의 60DP강으로 구별된다. 열영향부를 살펴보면 전강종에서 페라이트의 양이 모재에 비하여 크게 감소하지만 페라이트가 상당량 존재하는 것을 볼 수 있다. 용접금속에 인접한 열영향부를 살펴보면 CHSP60C의 경우 페라이트가 소량 관찰되지만 60TR 및 60DP를 살펴보면 페라이트는 관찰되지 않고, 베이나이트 혹은 마르텐사이트만이 관찰된다. 그리고 용접금속을 살펴보면 전강종에서 마르텐사이트 혹은 베이나이트로만 이루어져있음을 볼 수 있다. 용접금속이 경화되는 것은 레이저 용접동안의 열이력에 의해 조직이 마르텐사이트 혹은 베이나이트로 변태되기 때문이며, 특히 60TR 및 60DP의 경우 용접금속에 인접한 열영향부에서도 최대 경도가 나타나는 것은 전 조직이 베이나이트 혹은 마르텐사이트로만 이루어져있기 때문이며, CHSP60C의 경우의 용접금속에 인접한 열영향부에서 경도가 감소하는 것은 소량의 페라이트가 존재하기 때문이다. 그리고 모재쪽으로 갈수록 연질의 페라이트 양이 증가하여 경도가 감소하는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

자동차 경량화를 위한 600MPa급 고장력강 3강종에 대하여 CO<sub>2</sub> 레이저로 비드용접하였을 때, 용접부의 특성을 고찰하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 완전용입이 일어나는 용접속도는 출력이 증가할수록 증가하였다.
- 2) 용접부에는 기공이 존재하였는데 7m/min이상의 고속용접에서는 기공이 거의 관찰되지 않았고, 기공감수성을 살펴보면 CHSP60C > 60TR > 60DP의 순으로 나타났다.
- 3) 경도는 용접부 중심에서 최고값을 나타내고 모재쪽으로 갈수록 감소하였다. 특히 최대경도는 CHSP60C의 경우 용접금속에서만 나타나고, 60TR 및 60DP의 경우는 용접금속 및 용접금속에 인접한 열영향부에서도 나타났다. 전 용접조건에서 최대경도는 동일하였다.

Table 1. Chemical compositions of materials

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

Table 2. Maximum welding speed for full penetration with a power

Materials	Maximum Welding speed (m/min)			
	4.5kW	5kW	5.5kW	6kW
CHSP60(1.2t)	6	7	9	10
60TR (1.0t)	8	9	10	11
60DP (1.4t)	6	7	8	9

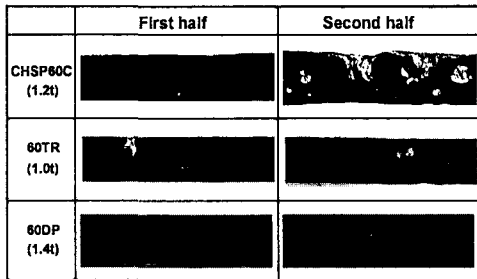


Fig. 1 Longitudinal sections of beads with porosities

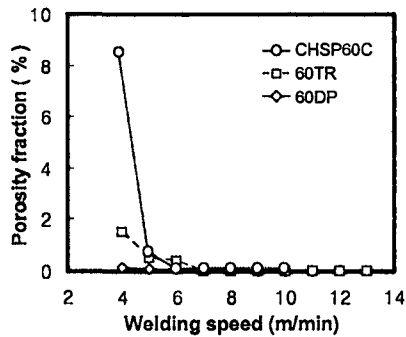


Fig. 2 Change of the porosity fraction with a welding speed under 6kW

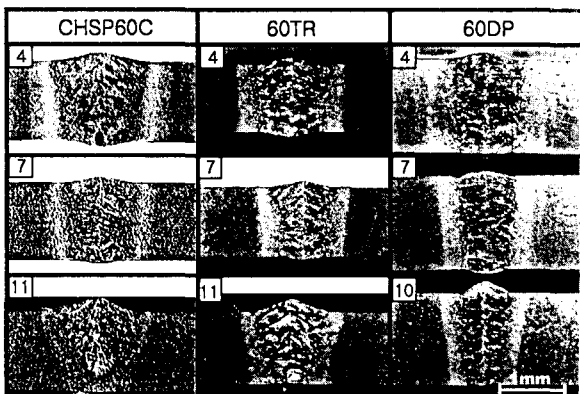


Fig. 3 Representative cross-sections of beads with the welding speed under 6kW

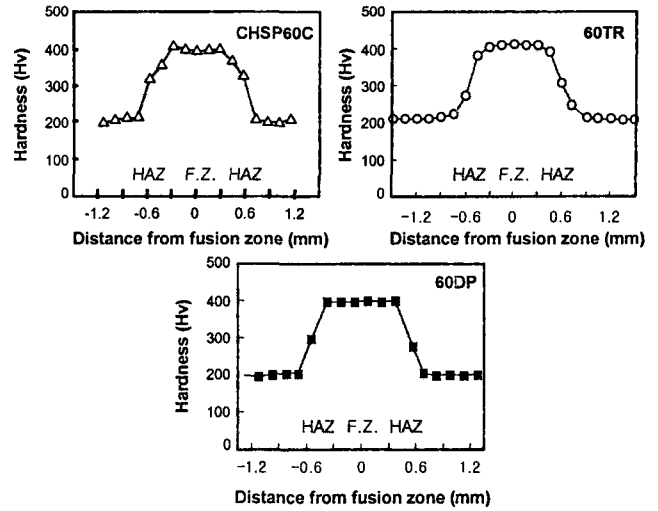


Fig. 4 Hardness distributions with a welding speed of 7m/min under 6kW

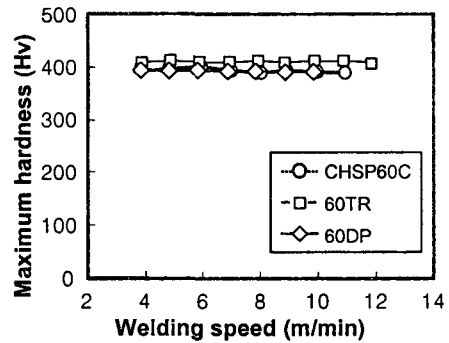


Fig. 5 Change of the maximum hardness with a welding speed under 6kW

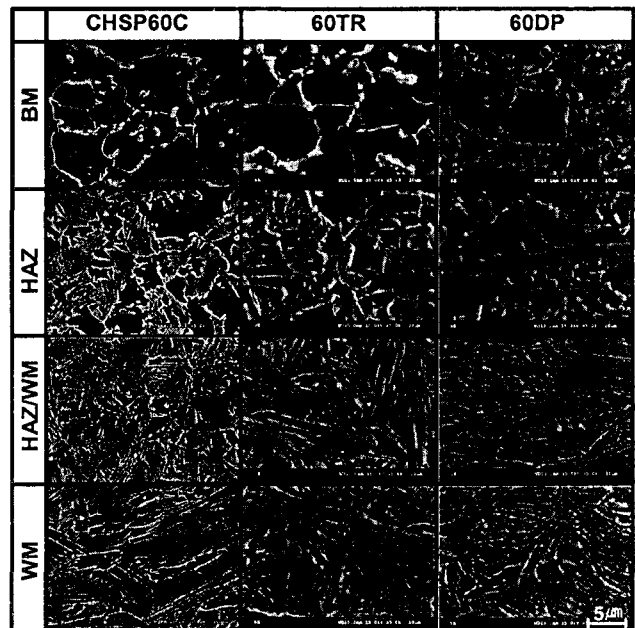


Fig. 6 SEM micrographs of each area in cross-sections of beads with a welding speed of 7m/min under 6kW