

고Mn강과 저탄소강의 CO₂ 레이저 이종용접 특성

정 보 영^{*,†} · 한 태 교^{*}

*포스코 기술연구소

Characteristics of Dissimilar CO₂ Laser Welding for High Mn Steel and Low Carbon Steel

Bo Young Jeong^{*,†} and Tae Kyo Han^{*}

*Technical Research Lab. POSCO, Pohang 790-300, Korea

†Corresponding author : jbyoung@posco.com

(Received December 29, 2008 ; Revised May 19, 2009 ; Accepted March 22, 2010)

Abstract

High Mn steel has been developed for automotive applications since the steel has an excellent combination of strength and ductility. However, from the viewpoint of welding, high Mn steel has a few problems related to its chemical composition. This paper describes characteristics of dissimilar CO₂ laser welding for expanding application of high Mn steel. From this work it was cleared that dissimilar laser welded joint between high Mn steel and carbon steel had poor formability due to the formation of martensite within weld metal. In order to improve ductility of welded joint, the method of controlling the dilution ratio of high Mn steel was suggested.

Key Words : High Mn steel, CO₂ Laser welding, Dissimilar welding, Formability

1. 서 론

최근, 자동차 업계에서는 자동차의 경제성, 안전성 및 안정성면에서 주목할만한 발전을 이루고 있으며, 이러한 자동차의 요구성능을 달성하기 위하여 다양한 강종들의 개발이 진행되고 있다. 자동차의 경량화는 환경 규제 및 요구성능을 충족시킬 수 있는 가장 쉬운 방법이다. 그러나, 안전성 및 안정성을 고려할 때 부가적인 장치가 요구되므로 경량화와 대비되는 요건이라 할 수 있다. 이러한 요구사항을 충족시키기 위해 강도 및 성형성이 우수한 DP강, TRIP강 등의 개발이 진행되어 왔다.

고Mn강은 고강도 특성을 나타냄과 동시에 성형성이 매우 우수한 강종으로 주목을 받고 있다^{1,2)}. 이 강은 1880년 Hadfield가 개발한 이래, 자동차용 강재로서 Fe-Mn-C계³⁾, Fe-Mn-C-Al계⁴⁾, Fe-Mn-C-Al-Si계⁵⁾ 강종들에 대한 연구가 이루어졌다. 최근에는 FeMn TWIP강⁶⁾에 대한 개발 및 응용연구가 진행되고 있다.

이들은 주로 자동차 구조재료로서의 적용확대를 위해 노력하고 있으며, 특히 높은 강도와 가공성을 이용하여 차량의 경량화뿐만 아니라 제조원가 절감에도 큰 기여를 할 것으로 기대되고 있다.

한편, 고Mn강이 구조물의 일부로 사용되기 위해서는 이종재료와의 용접기술 확보가 반드시 선행되어야 한다. 그러나, 고Mn강은 용접시에 높은 합금원소 함유량에 따른 용접시의 기공, 균열 등의 용접결함이 발생되며, 이와 관련한 용접성에 대한 연구사례도 지극히 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 산업분야에서 적용이 확대되고 있는 레이저용접법을 이용하여 고Mn강과 저탄소강의 이종용접에 대한 검토를 행하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료

본 연구에서 사용된 고Mn강은 열간압연된 두께 2.3mm

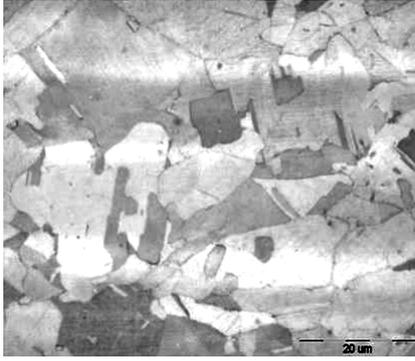


Fig. 1 Optical micrograph of hot-rolled 980TW steel examined

Table 1 Chemical composition of steels examined

	C	Si	Mn	etc.	Fe
980TW	0.60	-	18.0	1.5Al	Bal.
440C	0.16	0.03	0.8	Al, Nb, V	Bal.
780TR	0.14	1.5	1.9	Al, Nb, Sb	Bal.

의 980MPa급 판재이다(이하, 980TW로 표기한다). Fig. 1에 실험재료의 광학현미경 미세조직을 나타낸다. Fig. 1로부터 미세조직은 완전한 오스테나이트 단상조직을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 980TW강과의 이중용접에는 자동차용 440MPa급 구조용강, 780MPa급 TRIP강(이하, 각각 440C, 780TR로 표기한다)을 이용하였다. Table 1에 사용된 강재들에 대한 화학조성을 각각 나타낸다.

2.2 실험방법

실험에 사용한 레이저 용접조건과 용접와이어의 조성을 각각 Table 2와 Table 3에 나타낸다. 고Mn강과 440C의 이중용접은 제살 맞대기용접을 적용하였고, 고

Table 3 Chemical composition of Y309L filler wire

	C	Cr	Ni	Mn	Si	Fe
Y309L	0.03	24.0	13.0	1.5	0.5	Bal.

Table 2 Welding conditions of dissimilar CO₂ laser welding for 980TW steel

	Laser power (kW)	Welding speed (m/min.)	Filler wire (m/min.)	Joint gap (mm)	Pre-heat (°C)	Post-heat (°C)
980TW/440C	11.0	5	-	0.15	-	-
980TW/780TR	11.0	5	3	0.15	700	1,050

Mn강과 780TR강의 이중용접은 상용 스테인리스계 Y309L 용접와이어를 이용한 맞대기용접을 적용하였다. 용접부의 단면조직을 관찰하기 위해 시험편을 습식 연마 후에 3% 니탈 부식액을 이용하여 미세조직을 현출하고 단면조직을 관찰하였다. 또한, EPMA를 이용하여 용접부의 합금원소에 대한 정성분석을 실시하였다. 용접부의 경도분포는 마이크로비커스 경도기를 이용하여 측정하였으며, 측정하중은 4.9N로 하였다. 또한, 용접이음부의 기계적특성을 파악하기 위해 에릭슨 시험을 실시하였다. 에릭슨시험은 볼 직경 20mm, 볼 상승속도는 50mm/min.으로 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고Mn강(980TW)과 저탄소강(440C)의 이중 레이저용접

Fig. 2에 980TW와 440C의 제살 맞대기 용접부에 대해, 단면조직 및 단면에서의 Mn함량 변화를 EPMA에 의해 관찰한 결과를 나타낸다. 용접금속에서 미세균열이 발생하고 있고, 용접금속의 중앙부를 따라 균열이 전파하여 완전히 파단된 형상을 나타내고 있다. 용접부에서의 Mn함량 변화를 측정된 결과, 980TW로부터 Mn이 용접금속으로 유입되어 440C 모재보다 높고, 고Mn강보다 낮은 천이형태의 양상을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 3에 용접부의 경도분포를 측정된 결과를 나타낸다. 용접금속 부근의 HAZ 고온역에서 경도가 증가하

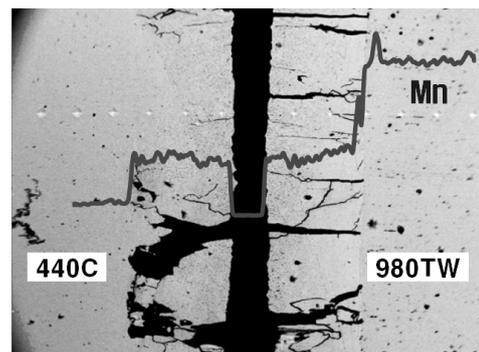


Fig. 2 EPMA result for laser welded 440C/980TW joint

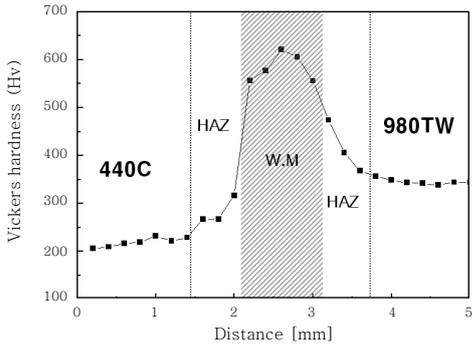


Fig. 3 Hardness distribution of laser welded 440C/980TW joint

고, 용접금속에서는 Hv600 정도로 경도가 매우 높은 경화역이 형성됨을 알 수 있다.

이상의 결과로부터, 980TW와 440C의 레이저 용접부에서 균열이 발생하는 원인은, 980TW로부터 Mn이 용접시 용접금속으로 유입되어 경화도가 현저하게 증가되기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 980TW에는 탄소당량을 높이는 지배적인 원소인 C도 다량 함유(0.6wt%)되어 있으므로, 용접시 용접금속의 균열감수성 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서, 980TW와 440C의 용접부 특성 확보를 위해서는 적정 용접와이어를 이용하여 용접조건 최적화를 통한 용접금속의 경화도 저감이 필수적으로 요구되는 것을 알 수 있다.

3.2 고Mn강(980TW)과 저탄소강(780TR)의 이종 레이저용접

Fig. 4에 Y309L 용접와이어를 이용한 980TW와 780TR의 이종용접부 단면의 마크로사진 및 EPMA를 이용한 Ni, Cr 및 Mn의 성분분석 결과를 나타낸다. 그리고, 이러한 용접부에 대해 에릭슨시험을 실시한 후의 파단부 단면형상을 Fig. 5에 나타낸다. Fig. 4로부터, 용접금속에서는 용접와이어와 모재가 불균일하게 회색되어 있고, 백색 및 회색의 2상으로 이루어진 조직을 나타내는 것을 알 수 있다. EPMA 분석 결과, 백색

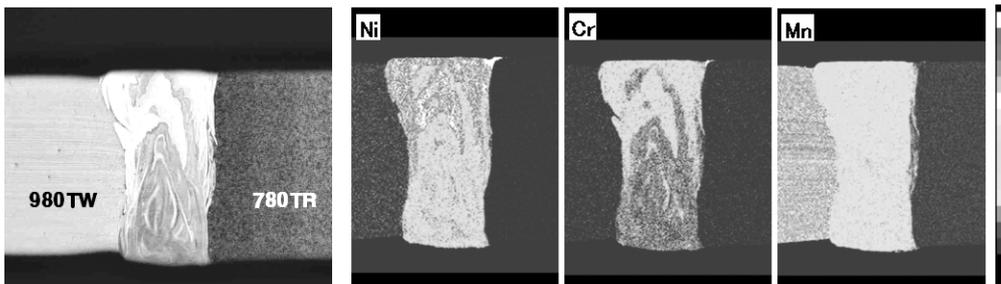


Fig. 4 EPMA results of the weld metal of laser welded 980TW/780TR joint using Y309L filler wire

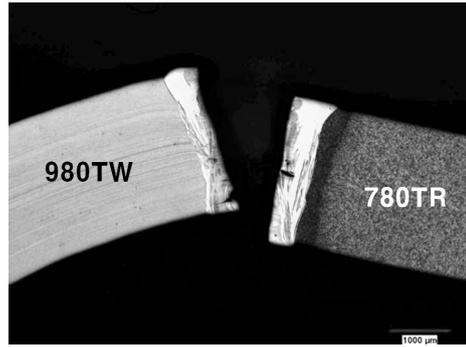


Fig. 5 Cross section of laser welded 980TW/780TR joint using Y309L filler wire after erichsen test

상은 Ni 및 Cr이 풍부한 오스테나이트로 판단되며, 회색상은 Schaeffler도에 의해 마르텐사이트로 판단된다. Schaeffler도를 이용한 용접금속의 미세조직 판단에 대한 자세한 설명은 3.3절에 기술하였다. 이러한 2상으로 이루어진 용접금속을 포함하는 용접부에 대해 에릭슨시험을 실시한 결과, 용접금속 중앙부를 따라 일직선으로 파단되었다(Fig. 5).

Fig. 6에 용접부 파단원인을 규명하기 위하여 용접부의 경도분포를 측정하고, 경도시험 후의 단면조직을 비교하여 나타내었다. 용접부에서 경도는 상승하고 있고, 일부 영역에서 매우 높은 경도가 관찰되었다. 단

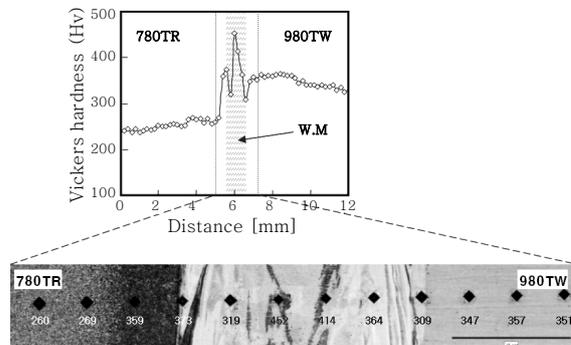


Fig. 6 Hardness distribution of laser welded 980TW/780TR joint using Y309L filler wire

면조직 관찰 결과, 이 영역은 회색상으로 보이는 영역으로 마르텐사이트가 생성된 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터, 980TW와 780TR의 레이저용접에서 탄소강의 이중용접에 가장 일반적으로 사용되는 Y309L 용접와이어를 적용하는 경우에도 용접금속에서 마르텐사이트가 생성하고, 이에 따른 용접이음부의 특성 저하가 나타나는 것을 알 수 있다.

3.3 용접금속의 마르텐사이트 생성기구

Fig. 7에 980TW강과 저탄소강(440C, 780TR) 이중용접부에서 에릭슨특성을 저하시키는 용접금속의 마르텐사이트 생성기구에 대해 Schaeffler도를 이용하여 설명한 결과를 모식적으로 나타낸다. Fig. 7로부터, Cr당량(Creq.) 및 Ni당량(Nieq.)으로 결정되는 780TR 모재의 용접금속은 마르텐사이트로 영역에 표시되고, 440C의 경우 그보다 다소 좌측 아래의 마르텐사이트+페라이트 영역에 표시된다. 또한, 980TW 모재의 용접금속은 오스테나이트 단상이다. 용접와이어를 사용하지 않는 440C와 980TW의 이중용접부에서의 용접금속 미세조직은 두 강종의 모재 희석율이 50:50일 경우 100% 마르텐사이트(①)가 됨을 알 수 있다. 그리고, Y309L 용접와이어를 적용한 980TW와 780TR의 이중용접부의 단면조직을 Fig. 8에 나타낸다. 용접금속의 단면적으로부터 용접이음부의 갭(gap)크기를 고려하여 용접금속중의 용접와이어 희석량을 계산하면 약 10.8%가 되며, Fig. 7로부터 미세조직은 오스테나이트+마르텐사이트가 된다(②). 따라서, Fig. 4에서 백색으로 관찰되는 상은 오스테나이트이며, 회색으로 관찰되는 상은 마르텐사이트임을 알 수 있다.

3.4 용접이음부 특성 개선

이상의 결과로부터, Y309L 용접와이어를 이용한 980TW

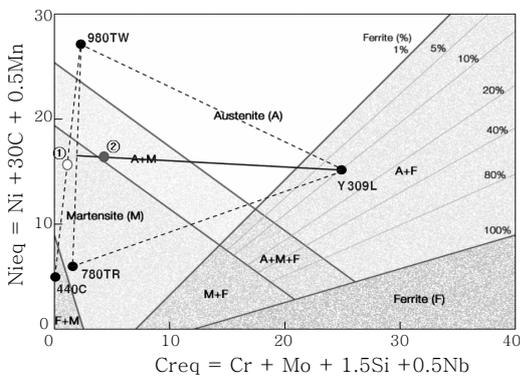


Fig. 7 Schaeffler diagram for dissimilar laser welded joint of 980TW/normal steel

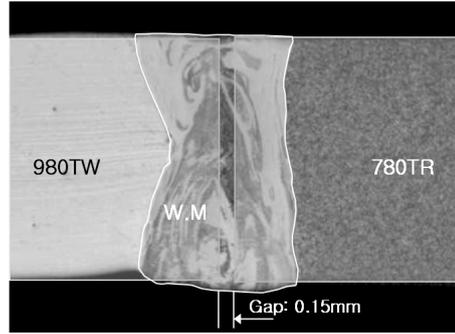


Fig. 8 Schematic of calculating dilution ratio in weld metal for laser welded 980TW/780TR joint using Y309L filler wire

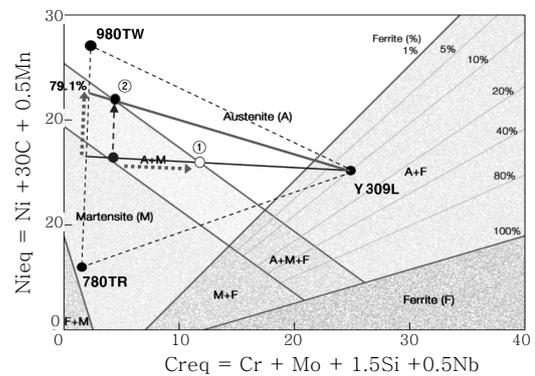


Fig. 9 Methods of controlling weld metal microstructure for laser welded 980TW/780TR joint using Y309L filler wire

와 780TR의 이중 레이저용접부의 에릭슨시험에서 용접부 파단이 발생하는 원인은 용접금속에서 마르텐사이트가 생성하기 때문인 것을 알 수 있었다. 따라서, 용접금속의 미세조직을 마르텐사이트로부터 오스테나이트 단상으로 바꾸기 위한 몇 가지 방법을 생각할 수 있다 (Fig. 9). 먼저, 모재 희석율을 동일하게 하고 용접와이어의 희석량을 증가시키는 방법으로, 약 43.2% 이상의 희석량에서 용접금속의 미세조직을 오스테나이트화할 수 있다(①). 그러나, I형의 맞대기 이음부에서 용접와이어의 희석율을 43.2% 이상 확보하는 것은 불가능하다. 다음으로, 용접와이어를 고Ni기의 용접와이어로 대체할 경우 용접금속을 오스테나이트화 하는 것은 가능하지만, 막대한 비용 상승이 예상되어 본 연구에서는 제외하였다. 마지막으로, 모재의 희석량 제어에 의해 용접금속의 미세조직을 제어하는 방법을 들 수 있다. 용접와이어의 희석량을 기존 조건과 동일하게 유지했을 때, 980TW와 780TR의 모재 희석량을 50:50에서 20.9:79.1로 980TW의 희석량을 증가시켰을 경우 즉, 980TW의 희석량을 약 80% 이상으로 제어할 경우,

Table 4 Welding conditions of dissimilar CO₂ laser welding for 980TW/780TR

Laser power (kW)	Welding speed (m/min.)	Filler wire (m/min.)	Joint gap (mm)	Pre-heat (°C)	Post-heat (°C)	Remark (Focusing)
11.0	5	3	0.15	700	1,050	0.3mm(980TW)

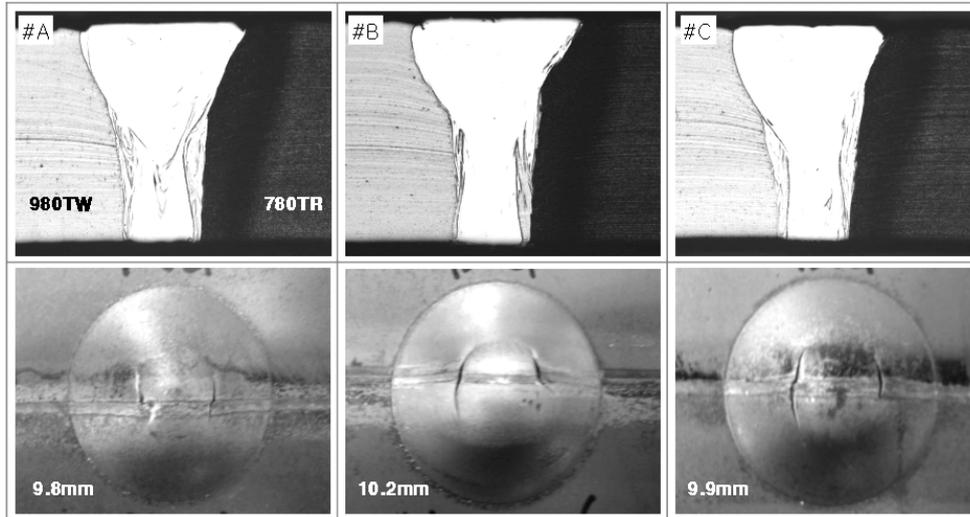


Fig. 10 Cross section and exterior view after erichsen test of laser welded 980TW/780TR joint using Y309L filler wire

용접금속의 미세조직을 오스테나이트화 할 수 있음을 알 수 있다.

Table 4에 용접금속의 미세조직을 제어하기 위해 적용한 레이저 용접조건을 나타낸다. 본연구에서는 레이저 빔의 초점 위치를 980TW로 0.3mm 이동하여 용접을 실시하였다. Fig. 10에 개선방법을 적용한 용접부의 단면조직 및 에릭슨시험 후의 외관사진을 나타낸다. 용접부 단면조직에서, 극히 일부의 불완전한 영역이 관찰되지만 용접금속은 오스테나이트 단상으로 제어되고 있음을 알 수 있다. 그리고, 용접부에 대해 에릭슨시험을 실시한 결과, 파단에 이르기까지의 성형높이는 약 10mm 이상 확보할 수 있으며, 파단형태도 용접금속을 따라 파단되지 않고 모재로 균열이 전파하고 있음을 알 수 있다.

따라서, Y309L 용접와이어를 이용한 980TW와 780TR의 이종용접에서, 레이저 빔의 초점위치 변경에 의한 980TW의 모재회석율을 제어하는 방법으로 용접이음부의 양호한 에릭슨특성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 고Mn강과 일반강의 레이저용접 특성을

규명하고, Y309L 용접와이어를 이용한 이종 레이저용접부의 기계적 특성의 개선방안에 대하여 검토하였으며, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 980TW와 440C의 제철 맞대기 용접에서, 용접금속에서는 980TW의 Mn 및 C의 유입에 의한 마르텐사이트 생성으로 용접부가 경화되고 이에 따른 균열이 발생하였다.
- 2) Y309L 용접와이어를 이용한 980TW와 780TR의 이종용접에서, 용접금속은 오스테나이트와 마르텐사이트로 되고, 에릭슨시험시 마르텐사이트에 의해 용접금속에서의 파단이 발생하여 용접부의 성형성은 크게 저하하였다.
- 3) Y309L 용접와이어를 이용하는 980TW와 780TR의 이종용접에서, 레이저 빔의 초점위치 변경에 의한 980TW의 모재회석율을 제어하는 방법에 의해 용접이음부의 양호한 에릭슨특성을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Y.G. Kim, T.W. Kim and S.B. Hong, Proc. of ISATA, Aachen (1993), 269
2. T.W. Kim, S.H. Park and Y.G. Kim, Materia Japan,

- 36(1997), 502-504
3. L. Remy, A. Pineau, *Material Sci. Eng.*, **28** (1997) 99
 4. T.W. Kim, J.K. Han : Patent WO 93/13233 「Austenitic High Manganese Steel Having Superior Formability, Strength and Weldability, and Manufacturing Process Therefore」, 1991
 5. O. Graessel, G. Frommeyer, *Material Sci. Tech.*, **14** (1998), 1213
 6. D. Cornette, P. Cugy, A. Hildenbrand, M. Bouzekri and G. Lavato : Ultra High Strength FeMn TWIP Steels for Automotive Safety Parts, SAE Technical Paper, Detroit 2005, **1** (2005), 1327