자동차용 1000MPa급 고장력 강판의 Disk 레이저용접 특성

설 현 옥¹⁾ · 송 문 종¹⁾ · 이 규 현¹⁾ · 이 문 용¹⁾ · 김 석 원^{*2)}

성우하이텍 기술연구소¹⁾ · 울산대학교 물리학과²⁾

Welding Properties of 1000MPa Class High Strength Steel Sheets for Car Body Using Disk Laser

Hyun-Uk Seol¹⁾ · Mun-Jong Song¹⁾ · Kyu-Hyun Lee¹⁾ · Mun-Yong Lee¹⁾ · Sok Won Kim^{*2)}

¹⁾Technical Institute Advanced Technology Team, 940-15 Yerim-ri, Jeonggwan-myeon, Gijang-gun, Busan 619-961, Korea

²⁾Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

(Received 8 April 2011 / Revised 22 December 2011 / Accepted 21 February 2012)

Abstract : Application for laser welding have increased steadily in recent years due to its benefits such as high speed, high productivity and high density energy heat source. In this study, the influence of welding parameters was investigated on penetration characteristics, mechanical properties including formability test in disk laser welded 1000MPa class steels. A shielding gas was used and bead-on-plate test was performed with various welding speeds. The main welding test was performed by butt welding with various welding speeds at 2.5 kW laser power.

Key words : Laser welding(레이저 용접), High strength steel(고장력강), Tensile load(인장강도)

1. 서 론

최근 자동차 차체부품 개발에서는 경량화 및 성능 강화의 목적으로 보강재를 제거하고 소재의 강성을 확보하기 위해 고강도 소재를 이용한 1000 MPa급 이상의 차체부품 및 자동차용 범퍼 빔이 적용되고 있다. 유럽선진 자동차 업체를 중심으로 차체부품에 이러한 소재들이 활용되어 왔고 국내에서도 최근에 보론이 첨가된 강판을 이용하여 1400 MPa급 이상의 강도를 가지는 차체부품 및 범퍼 빔 역시 개발되고 있는 추세이다. 그러나 국내의 연구 개발 추세는 제품 성형 위주로서 형상 자유도를 감안하여 이루어지고 있기 때문에, 고강도 소재임에도 불구하고 안전법규와 고속 충돌성능의 만족을 위해서 보강재가 적용되고 있는 실정이다. 이를 기술적으로 해결할 수 있는 방법 중 하나가 TWB

(Tailor Weld Blanks)를 이용한 레이저 용접의 접목이다. 레이저 용접 기술을 이용하여 부분적으로 두께를 증가시키거나, 일반 고장력강의 이중재료 접합을 통해 양호한 붕괴 거동을 유도할 수 있어, 충돌 성능 향상 및 경량화를 극대화할 수 있다.¹⁾

한편 최근에는 fiber 레이저, disk 레이저와 같은 빔 품질이 우수한 다이오드 펄핑 방식의 고출력 레이저가 개발되어 수송기계 분야에 다양하게 적용되고 있다.

기존의 CO₂ 레이저나 Nd:YAG 레이저를 이용한 고장력강의 용접 특성에 대한 연구사례는 다수 기 보고화 되었으나 최근에 개발된 높은 빔품질 특성을 가지고 있는 고효율의 disk 레이저에 대한 용접성 평가는 아직 미진한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 1000 MPa급 고장력 강판의 레이저 용접에 대한 기초 연구로서 disk 레이저 열원을 이용하여 레이저빔의 출력 및 용접속도가 용입 특성, 경도 및 기계적 성질에 미치는 영향에 대해 검토하였다.

*Corresponding author, E-mail: sokkim@ulsan.ac.kr

2. 실험 방법

실험에 사용된 강판은 모재의 인장강도가 980 MPa이고 두께가 2.0 mm인 아연도금강판이며, 화학 조성 비는 Table 1과 같다. Fig. 1은 실험에 사용된 시스템을 보여 주고 있다. 본 시스템은 Trumpf사에서 제조한 최대 출력 4 kW, 1.03 μ m 파장을 가진 다이오드 펌핑 타입의 disk 레이저이다. 본 실험에 앞서 disk 레이저 시스템상의 설정치 대비 실제 고유 초점거리와 실제 출력 값에 대한 오차를 알아보기 위하여 피용접물 표면으로부터 533 mm 떨어진 거리에서 빔 스캐닝을 실시하였고 본 용접에서는 150(W)×200(L) 크기의 시편을 압연 방향에 평행하게 맞대기 용접하였다. 보호 가스로는 질소가스를 사용하였고, 출력을 2.5 kW, f_d 값을 0 mm로 고정시킨 상태에서 용접속도 범위를 2.0~4.5 m/min로 두고 0.5 m/min 단위로 변화시켜 실험을 진행했다. 용접부 매크로조직은 4%-Nital로 상온에서 5초간 부식하여 실체현미경으로 관찰하였고, 미세조직은 광학현미경을 이용하여 관찰하였다. 경도는 비커스 경도기를 이용하여 하중 0.3 kgf(2.94 N)의 조건으로 측정하였다. 인장시험에서는 JIS 5호 시험편으로 용접선에 수직인 방향으로 인장속도 10 mm/min의 조건으로 과단경향을 관찰하였다.

Table 1 Chemical composition of materials(wt%)

C	Mn	Si	Ti	P	S	Fe
0.11	3.15	0.15	0.01	-	-	Bal

Fig. 1 Laser welding system

3. 실험 결과

3.1 용입깊이 및 비드 형상

Fig. 2는 BOP(Bead On Plate) 실험 시 보호가스 분

(a) With shielding gas

(b) Without shielding gas

Fig. 2 Influence of shielding gas

사 유무에 따른 용접비드의 형상을 나타낸 것이다. (a)와 같이 보호가스를 6 bar/min의 압력으로 용접면에 일정한 각도(45°)를 두고 분사한 조건에는 용접 진행 방향에 따른 비드형상의 차이가 없었으나 (b) 처럼 보호가스가 없는 조건에서는 비드형상이 일정하지 않고 불안정한 경향을 보였다. 이는 용접 시 피용접물로부터 기화되어 상승하는 흠(Fume)이 레이저 빔 진행에 간섭을 일으킨 노이즈 현상으로 장초점 일수록 흠 제어가 난해해서 이러한 영향은 대체로 크게 나타난다.

3.2 경도 분포와 미세조직

용접부 근방의 경도분포를 알아보기 위하여 용접부 중앙에서부터 200 μ m 간격으로 비커스 경도기(Mitutoyo, MVK-H100)를 이용해 경도를 측정하였다. Fig. 3은 2.5 m/min와 3.0 m/min의 용접속도에 대한 경도분포를 나타낸 것이다.

경도분포 선도에서도 알 수 있듯이 용융부(FZ: fusion zone)와 열영향부(HAZ)의 경계인 본드라인에서 대체로 경도 값은 큰 폭을 가지고 떨어지기 시작했다. 그리고 모재와 만나는 부근에서 최소값을 가지다가 모재에서는 경도 값이 다시 상승하는 연화현상이 관찰되었다.^{2,4)} 이러한 현상은 용접속도에 무관하게 거의 동일한 경향을 보였다.

용접부 경도분포 값 차이의 원인을 살펴보기 위해 모재까지의 미세조직을 관찰했다. Fig. 4는 2 m/min의 용접속도에서의 미세조직을 각각 보여준다. 용융부(a)와 본드라인 근처(b)를 비교해 보면, 용융부는 응고조직의 특징인 주상정 오스테나이트로부터 변태된 마르텐사이트 조직이고, 본드라인 근처(b)는 다각형 오스테나이트 조직에서 변태된

Fig. 3 Hardness distribution with welding speed

Fig. 4 Microstructure from center of FZ(fusion zone) to base metal: (a) Center of FZ, (b) FZ and HAZ (c) HAZ, (d) HAZ(Softening Zone) and Base metal, (e) Base metal

마르텐사이트 조직으로 관찰된다.

마르텐사이트 조직이 본드라인과 비교하여 용융부에서 다소 조대해진 이유는 상대적으로 높은 입열량에 의한 느린 냉각속도에 기인된 것이라 생각된다. 또한 FZ and HAZ(b)에서 HAZ II(c)쪽으로 갈수록 경도 값이 저하되는 원인은 페라이트양의 증

가 때문이며^{5,6)} 이러한 페라이트 조직이 본드라인에서 관찰되기 시작했기 때문에 용융부 대비 본드라인의 경도 값이 다소 감소되었다고 판단된다.

3.3 기계적 성질

인장전단시험 시 시험편은 Fig. 5와 같이 박판재의 인장전단시험에 적합한 KS B 0851 규격에 따라 시험편을 선택하였고 인장시험기는 유압식 만능시험기(BT1-FR250SN.A4K Materials testing machines)를 사용하여 용접부의 파단되는 양상을 관찰하기 위해서는 crosshead speed를 고정하여 실험을 실시했다. 선택된 조건의 시험편으로 5번씩 인장전단시험을 실시한 후 최소값과 최대값을 제외한 3개 값을 평균하여 나타내었다.

Fig. 6은 수직 인장시험에서 용접속도에 따른 인장전단 테스트 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 본 실험에서는 용접속도에 따라 입열량 과다로 인한

Fig. 5 Tensile test sample(KS B 0851)

Fig. 6 Properties of the perpendicular tensile test with welding speed

Fig. 7 Appearance of fractured specimens after perpendicular tensile direction: (a) 2.0m/min, (b) 2.5m/min, (c) 3.0m/min, (d) 3.5m/min

두드러진 이상 현상은 관찰할 수 없었고, 따라서 전형적으로 용접속도와 인장하중 관계는 반비례 양상을 보였다. 그리고 용입깊이가 모재두께 대비 50%에 미치지 못하는 4.5 m/min에서는 급격히 인장강도가 저하됨을 관찰할 수 있었다. 모재두께의 절반에 미치지 못하는 용입깊이는 인장시험 시 과도한 노치현상을 통해 응력집중현상을 일으킨 것으로 생각된다.

Fig. 7은 파단된 시험편 양상을 나타낸 것이다. 용접속도와 관계없이 시험편의 파단 부위는 열영향부와 모재 사이의 연화부에서 나타남을 알 수 있다. 또한 용접부 인장강도가 높을수록 압연 시 가해지는 인장응력에 대해 파단을 일으키지 않으며 효과적으로 견딜 수 있고 파단이 발생하는 부위가 모재일수록 용접상태가 양호하다는 점을 감안한다면 연화부의 영향을 제어하는 것이 용접품질을 좌우하는 인자라 판단된다.

4. 결론

본 연구에서 차체용 1000 MPa급 고장력 강판의 disk 레이저 용접 시 용접속도에 따른 용입깊이, 경도 및 기계적 성질에 관하여 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 초점거리가 긴 레이저의 사용에 있어 용접 시 발생하는 흠(Fume)이 용접품질을 저해하는 중요한 노이즈 인자임을 확인하였다. 양호한 용접품질을 얻기 위해서는 용접 과정에서 용접 흠 제어를 위한 실드가스 분사가 필요하다.
- 2) Bead on plate 실험을 통해 단면을 관찰한 결과 2.5 m/min의 용접속도까지 완전용입이 관찰되었

고, 그 이상의 속도에서는 부분용입이 발생하였으며 속도의 증가에 따라 전면 대비 후면 비드폭은 현저히 감소하였다.

- 3) 맞대기 용접 시 고정변수 출력 2.5 kW 각 용접속도범위 내에서 용접결합이 없는 미려한 비드가 관찰되었으며 3.0 m/min의 용접속도에서 완전용입에서 불완전용입으로 천이하는 영역이 나타났다.
- 4) 맞대기 용접 시 용접속도 증가에 따라 입열량 감소로 인하여 전형적으로 인장강도가 줄어드는 경향을 보였다. 따라서 2.0 m/min의 조건에서 984.95 MPa 최고 인장강도를 가졌다. 4.5 m/min에서 모재대비 50%이하의 용입깊이로 인해 노치부 응력집중 현상에 기인하여 인장강도가 급격히 감소하였다. 모재 수준의 강도를 만족하고, 또한 생산성을 고려한 용접 변수 선정이 필요하다.
- 5) 용접부 단면을 관찰한 결과 모재는 일반강판 대비 비교적 높은 경도값을 가졌고 열영향부에서는 역시 모재 대비 크게 경도값이 떨어지는 경향을 보이지는 않았다. 그러나 열영향부와 모재 사이의 연화부에서 파단이 일어나는 점을 감안한다면 이러한 연화부를 제어하는 것이 중요한 과제이며 이를 해결하기 위해서 보다 많은 연구가 진행되어야 한다.

고장력 강판의 레이저 용접에 있어 용접부와 열영향부의 경화현상을 잘 이해하고 고장력 강판의 장점을 최대한 활용하기 위해 적절한 용접 공정 및 용접변수 선정이 필요하다. 용접부의 강도 수준 및 생산성을 동시에 고려하여 최적의 용접조건을 설정하는 것이 중요하다.

References

- 1) G. T. Lee and J. W. Kim, "A Study on the Three-dimensional Heat Flow Analysis in the Laser Welding for Deep Penetration," Journal of Korean Welding Society, Vol.18, No.3, pp.76-82, 2000.
- 2) K. Harley, H. Haferkamp and A. Ostendorf, "Inductively Supported Laser Beam Welding of High and Ultra Strength Steel Grade," Proceeding of 27th International Congress on

- Applications of Lasers & Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, pp.589-594, 2008.
- 3) M. S. Xia, M. L. Kunts, Z. L. Tian and Y. Zhou, "Failure Study on Laser Welds of Dual Phase Steel in Formability Testing," Science and Technology of Welding and Joining, pp.378-386, 2008.
 - 4) M. Xia, E. Biro, Z. Tian and Y. N. Zhou, "Effects of Heat Input and Martensite on HAZ Softening in Laser Welding of Dual Phase Steel," ISI International, pp.809-814, 2008.
 - 5) R. Sharma, P. Molian and F. Peters, "Geometric Variability and Surface Finish of Weld Zones in Yb: YAG Laser Welded Advanced High Strength Steels," Journal of Manufacturing Processes, Vol.12, pp.73-84, 2010.
 - 6) R. S. Sharma and P. Molian, "Yb: YAG Laser Welding of TRIP780 Steel with Dual Phase and Mild Steels for Use in Tailor Welded Blanks," Materials&Design, Vol.30, pp.4146-4155, 2009.