

자동차용 고강도 강판의 레이저 용접부 피로수명 특성

Fatigue Life Characteristic of Laser Welding in High Strength Steel

박 덕 조*, 강 성수**, 장 경복***, 이 종봉****, 이 원범****, 조 상명*****

* 부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

** 부산대학교 기계공학부

*** 삼성중공업 (주) 거제조선소 조선플랜트 연구소, 용접연구

**** POSCO 기술연구소

***** 부경대학교 신소재공학부 생산가공공학전공

1. 서 론

최근 자동차 업계에서는 안정성 향상, 환경 오염에 대한 규제, 그리고 연비개선 등에 대한 사회적 요구에 부응하기 위해 차체 제작에 고강도 강판을 점차 많이 적용하고 있다.

차체에 초 고강도재 강판의 적용이 늘어남에 따라 자동차 업계에서 많이 적용되고 있는 테일러드 블랭킹(Tailored Blanking) 공법에서도 초 고강도 강판의 사용이 증대되고 있고 여기에는 주로 레이저 용접이 많이 사용되므로 차체의 내구성 확보를 위해서는 초 고강도재 레이저 용접부 피로수명 평가기술의 확립 또한 필요하다.

본 연구에서는 포스코에서 생산되는 CSP 1과 CHSP 80TR강을 사용하여 레이저 용접부의 Under fill에 따라 S-N 곡선에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 시험편 제작

2.1 실험재료

본 연구에서는 피용접재의 재료 및 이음부에 따른 용접부의 특성을 알아보기 위해 CSP 1과 CHSP 80TR강을 사용하였다. Table 1은 두 재료의 기계적 성질을 나타낸 것이다.

Table 1 Mechanical properties of CSP 1 and CHSP 80TR

Steel	CSP 1	CHSP 80TR
Thickness(mm)	1.2	1.2
Tensile strength(kgf/mm ²)	28	80
Yield strength(kgf/mm ²)	.	60
Elongation(%)	37	16

2.2 용접조건

본 연구에서는 6kW의 CO₂레이저 용접기를 사용하였으며, 용접조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Laser welding condition

Beam diameter	0.3mm
Shielding gas	100% He(20 ℓ/min)
Power	6kW
Focusing	Just focusing
Welding speed	6m/min

2.3 Root gap에 따른 under fill 깊이

Fig. 1에서 보는 것과 같이 CHSP 80TR 두 장을 한쪽은 Gap을 0로 한쪽은 Gap을 1mm가 되도록 용접하여 Root gap 따른 언더필의 경향을 Fig. 2에 나타내었다.

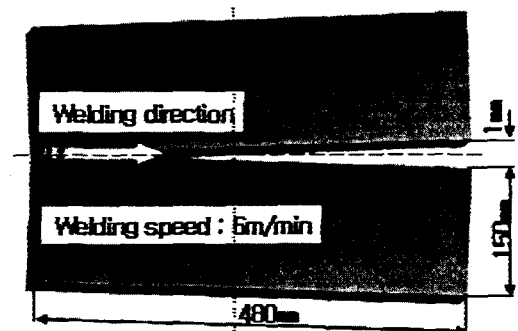


Fig. 1 Schematic of welding line with root gap

Table 3은 본 연구의 피로시험에 사용한 시험편의 언더필 0.08, 0.16, 0.24가 얻어 졌을 때의 Root gap의 크기를 보인 것이다.

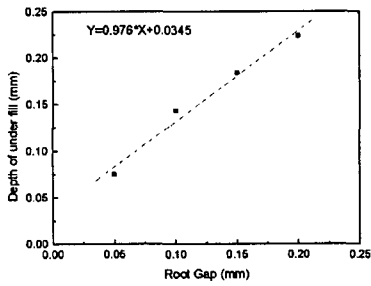


Fig. 2 Under fill according to root gap

Table 3 Under fill for Root gap

Root gap (mm)	Under fill (mm)
0.05	0.08
0.13	0.16
0.21	0.24

2.4 인장 및 피로 시험편

CSP 1과 CHSP 80TR의 모재 인장 시험편은 KS B 0801 5호 규격으로 제작하였고, Laser용접된 시험편의 인장 및 피로 시험편은 KS B 0825에 따라 제작하였다.

3. 실험 방법

인장 및 피로 실험은 Instron 8501을 사용하였으며 피로시험 조건은 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Fatigue test condition

Stress ratio	0.05
Frequency	14~25Hz
Fatigue life limit	10 ⁷ Cycle

본 연구에서 칩킹 시 변형을 방지하고 시험의 정밀도를 높이기 위해 Fig. 3과 같이 시험편의 양면 좌우에 1장씩 2장의 Strain gauge를 부착 후 칩킹하였다.

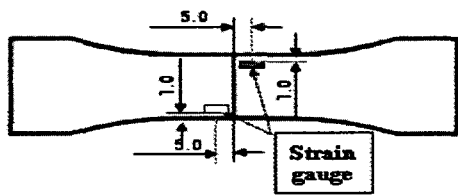


Fig. 3 Strain gauge position

또한, 피로수명 평가와 더불어 초기 균열 발생 위치(최대응력 집중부) 확인을 위해 Fig. 4와 같이 치과용 실리콘 인상재를 사용하여 용접부 형상을 본떴다.

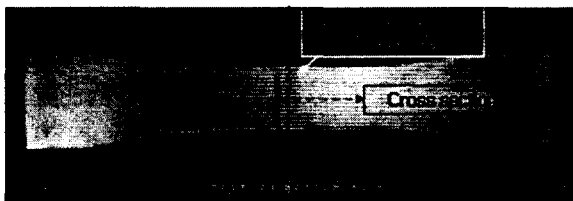


Fig. 4 The photo of impression material for dentistry on the weldment

4. 결과 및 고찰

4.1 Laser용접부의 경도

Fig. 5는 용접부 근방의 경도분포를 나타낸 것으로 CSP 1은 용접부가 모재에 비해 약 2배정도 CHSP 80TR의 경우에는 약 1.7배정도 높게 나타났다.

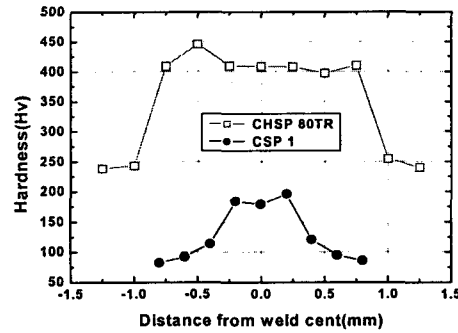


Fig. 5 Distribution of hardness in weldment

4.2 Under fill에 따른 인장강도

Table 5는 CSP 1과 CHSP 80TR의 모재 및 언더필에 따른 인장강도를 보여주고 있다. 모든 레이저 용접부 인장시험편에서 파단위치는 용접부에 인접한 모재부였고, 이것은 Under fill이 모재두께의 30%이하에서는 모재부에서 파단된다는 K. Kubota¹⁾의 연구결과와 일치한다. 인장강도는 모재의 그것과 거의 동등한 수준을 보였다. 즉 용접부의 정적인장강도는 모재와 동등한 수준을 가진 것으로 볼 수 있다.

Table 5 Tensile strength of base metal and various under fill

	Tensile strength(MPa)	
	CSP 1	CHSP 80RT
B · M	285	836
UF 0	285	872
UF 0.08	289	861
UF 0.16	292	891
UF 0.24	285	872

4.3 Under fill에 따른 피로강도

다양한 언더필을 가진 레이저 용접부에 대한 피로수명곡선을 보면 Fig. 6에서 CSP 1의 경우 전체적으로 언더필의 크기에 따라 피로수명은 그다지 민감하게 변하지 않는 특징을 보인 반면, Fig. 7에서 CHSP 80TR의 경우 레이저 용접부는 언더컷이 클수록 피로강도가 현저히 낮아지는 경

향을 보였다. 특히 Fig. 7과 같이 CHSP 80TR은 모재시험편에 비해 용접시험편은 저 사이클 영역에서는 피로강도저하가 현저하지 않지만, 고 사이클 영역에서는 현저히 피로강도가 저하되는 특징을 보였다. 또한, 언더필이 커질수록 피로강도의 산포가 심해지는 특성을 보이는데 이것은 용접부의 형상이 불균일하기 때문에 나타나는 현상이라고 판단된다.

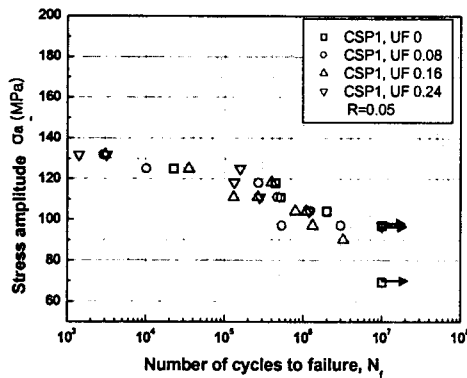


Fig. 6 S-N diagram for CSP 1 with various under fill

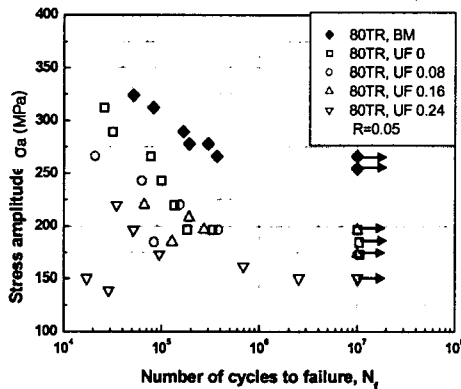


Fig. 7 S-N diagram for CHSP 80TR with various under fill

Fig. 8은 CHSP 80TR의 피로파괴 후의 종단면과 횡단면을 나타낸 것이다.

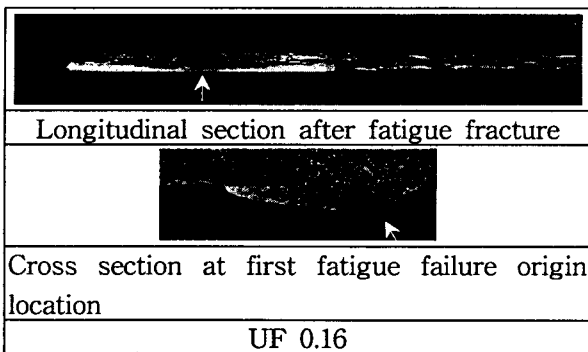


Fig. 8 Fatigue fracture surface and cross section of weldment at under fill 0.16(CSHP 80TR)

Fig. 8에서 인상재를 사용하여 획득한 용접부 횡단면은 피로균열 발생 원인을 밝히는 중요한 방법 중의 하나라고 판단된다.

5. 결 론

CSP 1과 CHSP 80TR모재에 대해 CO₂ 레이저 용접기를 써서 Under fill의 크기를 변화시킨 시험편을 이용하여 R=0.05의 응력비로 인장피로시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CSP 1의 경우 인장피로시험 시 Low cycle 영역에서는 모재의 경도 및 강도가 용접부보다 낮아 모재에서 먼저 반복소성변형이 생겨 피로파괴가 일어난다.
- 2) CSP 1의 피로 강도는 Under fill의 크기에 그다지 크게 영향을 받지 않지만, Under fill 0으로서 응력집중이 심하지 않을 때는 High cycle 영역까지 모재와 동등수준의 피로강도를 갖고, Under fill이 커져서 응력집중이 심해질수록 용접부의 피로강도가 모재보다 낮아지는 영역이 Low cycle 쪽으로 옮겨가는 특징을 보였다.
- 3) CHSP 80TR의 피로 강도는 Under fill의 크기에 현저하게 영향을 받고 Under fill 0를 비롯한 모든 시험편, 전 수명 영역에서 용접부에서 피로파괴하였다. 따라서 고강도강에서는 용접부의 작은 결함도 피로 수명을 현저히 감소시키는 것으로 나타났다.
- 4) 치과용 인상재를 써서 용접부 피로 균열의 발생위치를 관찰한 결과, 피로 균열은 용접부의 가장 취약한 부분 즉, 응력집중이 가장 심한 곳에서 발생하여 취약 링크 이론의 타당성을 확인할 수 있었다. 따라서 용접부의 최대결함의 크기가 작게 되도록 용접공정을 개발하는 것이 요구된다.

참고문헌

- 1) K. Kubota : Laser welding technology of vibration damping steel sheet for tailored blanking method, Technical Notes/JSAE Review 18(1997), pp.415~417
- 2) Keiro Tokaji, Hirohisa Shiota, Ayumi Minagi and Masashi Miyata : Fatigue Strength of Laser Butt welded Joints, 鉄と鋼 Vol.85(1999) No.1, pp.66~70
- 3) 김기혁, 박신상, 김병익, 한태교, 김중도, 강정윤 : 자동차용 고강도 TRIP강판의 Pulse-CO₂레이저용접 시 용접결함에 미치는 보호가스 및 용접조건의 영향, 대한용접학회지, 특별강연 및 학술발표대회 개요집 제1권, 2002년, 05월 발행, Vol 39, No 0, pp.224~227
- 4) 김병익, 김기혁, 한태교, 강정윤, 이종봉 : 자동차용 800MPa급 TRIP강 CO₂ 레이저 용접부의 기계적성질 및 성형성, 대한용접학회지, 특별강연 및 학술발표대회 개요집 제1권, 2003년, 05월 발행, Vol 40, No 0 pp.96~98