

충격 시험시 발생하는 레이저 용접부의 파괴 이탈 현상

Behavior of Fracture Deviation in the Impact Test of Narrow Laser Welds

나 일*(인하대학교 대학원), 김 제 도(인하대학교)

ABSTRACT

The Charpy V impact test on subsize was performed on narrow laser welds of low carbon steel sheets, joined by using a continuous wave 3kW CO₂ laser. Under certain conditions, a bimodal fracture behaviour has been experienced in Charpy V impact test of narrow laser beam welds. Deviation of the fracture path from the fusion zone into the base metal was dominated at high test temperature. It can be seen that the deviation always occurred after ductile initiation. If the deviation occurs on a small testing specimen, the same trend would happen on the actual laser welded structure. Fracture will then propagate through the base material even if the weld metal has low toughness.

1. 서론

고출력 레이저 빔은 절단, 용접, 표면 처리와 같은 다양한 재료가공에 사용되고 있다. 레이저 빔 용접부위는 일반적으로 비이드 폭이 작고 용입깊이는 깊으며 좋은 외관을 갖는다. Charpy V 노치 방법이 전자 빔 용접이나 레이저 용접과 같은 매우 폭이 좁은 용접에 대한 인성치를 측정하기는 부적합하지만 좁은 레이저 용접부에 흡수된 에너지 값을 정량적으로 측정하기 위하여 사용되었다. 비이드 폭이 작은 용접에 대해서 전통적인 Charpy V 노치 시험에 의해 얻어진 데이터는 잘못된 결과를 나타낼 수도 있다. 이것은 파괴 이탈 거동이 Charpy V 노치 시험에서 나타났기 때문이다.

2. 실험

2.1 실험 재료

실험에 사용한 재료의 화학 조성은 Table 1에 나타내었다. 레이저 용접부의 충격 시험을 위하여 100x500x4mm 와 100x500x6mm 강판을 사용하여 레이저 맞대기 용접하였다.

2.2 레이저 빔 용접

실험 시편은 NC 테이블과 연결된 고속 축류형(Fast axial flow type)의 3kW 연

속파 CO₂ 레이저를 사용하여 용접하였다. 초점거리 127mm인 ZnSe 렌즈로 집속시켰다. 용접부는 유량이 20 l/min의 Ar 가스로 보호하였다. 초점위치는 시편 표면 아래 0.5mm에 위치하였다. 4mm 두께의 Charpy V 충격 시험편은 P=2.5kW, V=0.8m/min의 single pass 용접을 하였고, P=0.85kW, V=0.8m/min의 dual pass 용접을 하였다. 6mm 두께의 경우는 P=2.5kW, V=1.5m/min의 dual pass 용접을 실시하였다.

2.3 충격 시험

Charpy V 노치 시험은 AMSLER 300 Joule의 충격 해머로 실시하였으며, striking edge는 ISO 규격과 일치하는 형상을 갖는다. 시편은 용접 중심선에 노치를 갖도록 가공하였으며, 4mm 와 6mm 두께이므로 표준규격 조건을 만족 시키지 못한다. Charpy V 노치 시험은 20°C, 0°C, -20°C, -40°C 및 -60°C에서 실시하였다. Charpy V 시험은 레이저 용접부와 비교하기 위하여 모재금속에 대해서도 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 레이저 맞대기 용접부의 단면 사진이다. P=2.5kW, V=0.8m/min의 4mm 두께의 single pass 용접에 의해 용접되어진 상부 비이드 폭은 2.3mm 이며 dual pass 용접에 의해 용접되어진 상부 비이드 폭은 1.6mm이다. P=2.5kW, V=1.5m/min의 6mm 두께의 dual pass 용접부의 상부 비이드 폭은 1.8mm이다.

Charpy 충격 시험 결과와 관찰된 파괴 모우드는 Table 2와 3에 나타내었다. 흡수된 에너지의 평균값을 Fig. 2와 3에 도식적으로 나타내었다. 0°C에서 레이저 용접부의 파괴 모우드는 취성에서 연성으로 변화된다. 레이저 용접부에 흡수된 에너지는 0°C와 상온에서 모재의 값보다 높게 나타났는데, 이는 노치에서 모재쪽으로 파괴 이탈 현상이 일어났기 때문이다.

50J/cm² 흡수된 에너지 값의 천이 온도는 모재의 경우 -50°C에 해당한다. 반면에 레이저 용접부의 천이온도는 약 -20°C 정도이다. 몇개의 Charpy 충격 시험편은 비록 노치가 용접 중심부에 위치하였지만 모재 방향으로 파괴 이탈이 일어났다. 용융 구역에서 모재 방향으로의 이탈 거동은 0°C 이상의 높은 온도에서 지배적이다. 이와 같은 이탈 현상은 연성 파괴 개시 이후에 항상 발생함을 알 수 있다.

Goldak⁽¹⁾등은 레이저 빔 용접 및 전자 빔 용접과 같은 좁은 용접부의 Charpy 시험에 관한 파괴 이탈의 이유를 설명하였다. Charpy V 노치 시편에서 노치 끝 부분의 응력장은 $(\rho + 1)^{1/2}$ 과 같이 변화한다. 여기서 ρ 는 노치 끝의 반경이고 l은 노치 끝 부분 부터의 거리이다. 레이저 용접부와 같이 비이드 폭이 좁은 경우에 Charpy V 노치($r=0.25$ mm)는 상대적으로 무딘 노치가 된다. 만약 모재의 항복강도가 용접부의 항복강도보다 낮다면 항복은 용접된 부위에서 발생하여 용접부로 크랙이 전진되지 못하고 약한 모재쪽으로 파괴 이탈이 발생할 것이다.

만약 파괴가 천이온도 이상에서 모재 혹은 열 영향부(HAZ)로 이탈한다면 그 때 흡수된 에너지는 가장 낮은 값과 측정된 천이온도를 나타내지 못할 것이다. 만약 이탈이 작은 시편에서 발생한다면 이러한 경향은 실제와 동일한 레이저 용접 구조물에

서도 나타날 것이다.

4. 결론

Charpy V 노치 충격 시험에서 용접부로 부터 모재방향으로 파괴경로의 이탈은 높은 시험온도(0°C 이상)의 연성 모드에서 지배적으로 발생한다. 매우 좁은 용접 부에 대한 실제 충격 에너지 값을 측정하기 위한 새로운 방법이 필요함을 알 수 있다.

참고 문헌

- (1) Goldak J. A. et al., 1977, "fundamental difficulty in Charpy V notch testing narrow zones in welds", *Welding J.*, 56, 4, 119s-125s.

Table 1. Chemical compositions of carbon steels.

	C	Mn	Si	P	S	Al
4mm steel	0.122	0.56	0.058	0.007	0.006	0.062
6mm steel	0.127	0.71	0.003	0.011	0.006	0.076

Table 2. Charpy V tests of laser welds for 4 mm thick carbon steel.
(P=2.5 kW, V=0.8 m/min, single pass welding)

Specimen No.	Test temp. (°C)	Absorbed energy (J/cm ²)	Mean value (J/cm ²)	Fracture mode
C1-21	20	107		Ductile, Deviation
C1-22	20	107	100	Ductile, Deviation
C1-23	20	86		Ductile, Deviation
C1-24	0	107		Ductile, Deviation
C1-25	0	46	82	Brittle
C1-26	0	92		Ductile, Deviation
C1-27	-20	77		Brittle
C1-28	-20	67	72	Brittle
C1-29	-20	95*		Ductile, Deviation
C1-30	-40	37		Brittle
C1-31	-40	107*	41	Ductile, Deviation
C1-32	-40	46		Brittle
C1-33	-60	6		Brittle
C1-34	-60	31	28	Brittle
C1-35	-60	49		Brittle

* These are not included in the mean value because of fracture deviation.

Table 3. Charpy V tests of laser welds for 6 mm thick carbon steel.
(P=2.5 kW, V=1.5 m/min, dual pass welding)

Specimen No.	Test temp. (°C)	Absorbed energy (J/cm ²)	Mean value (J/cm ²)	Fracture mode
C1-41	20	112		Ductile, Deviation
C1-42	20	102	113	Ductile, Deviation
C1-43	20	127		Ductile, Deviation
C1-44	0	86		Ductile + Brittle
C1-45	0	88	83	Ductile + Brittle
C1-46	0	76		Ductile + Brittle
C1-47	-20	47		Ductile + Brittle
C1-48	-20	41	60	Ductile + Brittle
C1-49	-20	92		Ductile + Brittle
C1-50	-40	76		Ductile + Brittle
C1-51	-40	33	54	Brittle
C1-52	-40	55		Brittle
C1-53	-60	29		Brittle
C1-54	-60	29	26	Brittle
C1-55	-60	20		Brittle

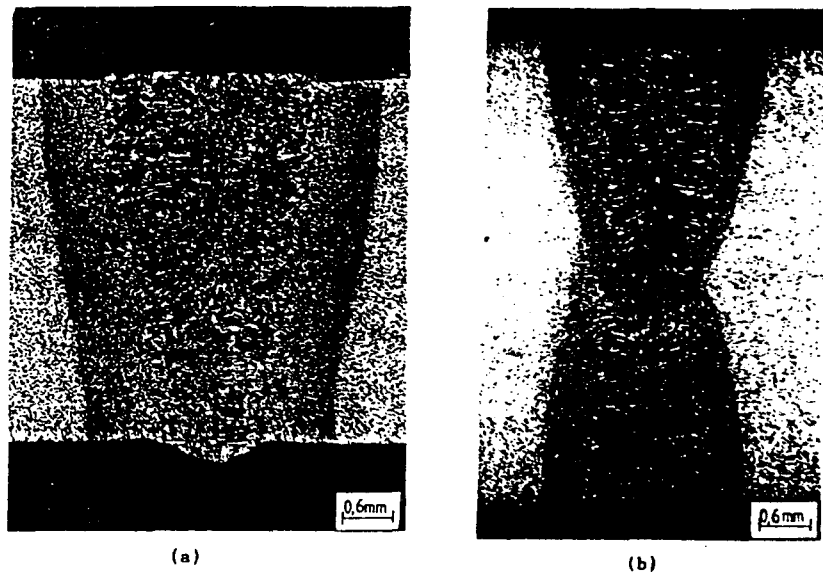


Fig. 1 Macrosections of laser butt welds. (a) Single pass weld of 4 mm thick steel, P=2.5 kW, V=0.8 m/min, (b) Dual pass weld of 6 mm thick steel, P=2.5 kW, V=1.5 m/min.

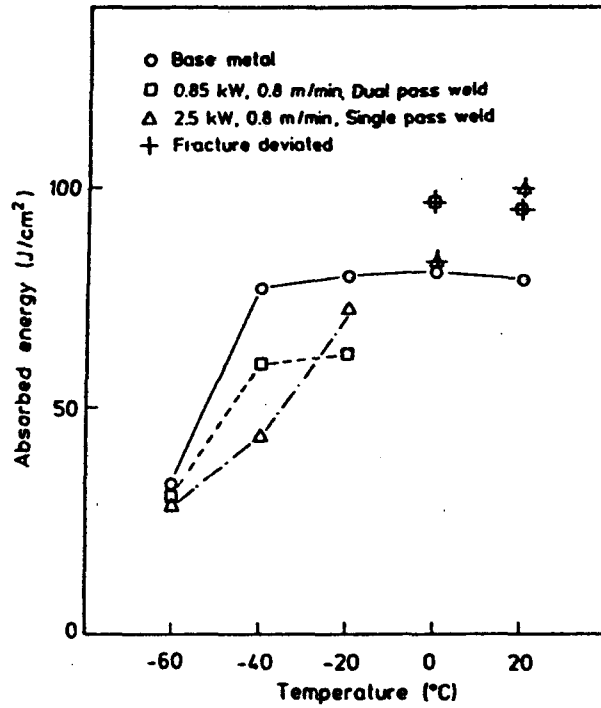


Fig. 2 Comparison of impact values for 4 mm thick steel

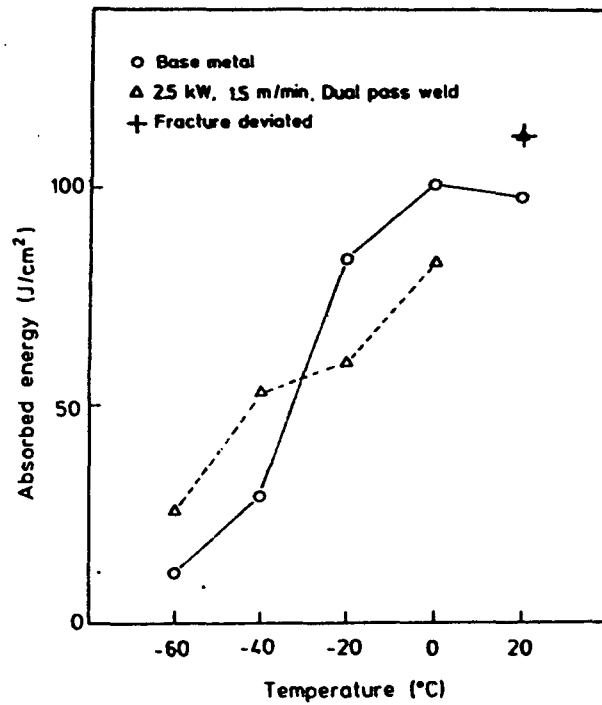


Fig. 3 Comparison of impact values for 6 mm thick steel.