

조선용강재의 하이브리드 용접금속부 충격인성에 미치는 용접조건 영향

Effects of Hybrid Welding Conditions on Impact Toughness of Weld Metal in Ship Structural Steel

홍 승갑, 이종봉
POSCO 기술연구소 접합연구그룹

ABSTRACT In passenger ship building where thin plates are mainly used, conventional arc welding processes result in significant post-weld reworking due to thermal distortion of welded joints. In order to solve this problem, European shipbuilding industries introduced hybrid welding process since the 1990's. For passenger ship, first of all, stability is very important. So, in this study, we investigated effects of hybrid welding conditions on impact toughness of weld metal in passenger ship building using DH36 steel.

1. 서 론

1990년대 중반이후 유럽조선소들을 중심으로 크루즈선과 같이 주로 얇은 후판강재를 사용하는 선종에 대하여 적용되어온 레이저 및 레이저-아크 하이브리드 용접[1-3]은 고밀도 열원 용접으로서의 특징으로 인해 용접 변형이 기존 아크 용접기법에 비해 매우 적은 장점을 지니고 있어, 최근 국내 조선소의 수주선종의 고부가가치화 및 용접생산성 향상 전략에 맞춰 향후 수년 내로 국내 조선소 현장에 적용될 것으로 전망된다. 그러나, 크루즈선과 같이 많은 인원을 수송하는 선박의 경우, 재난시 대형 인명사고와 직결되어 다른 선종에 비해 선박의 안정성이 매우 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 선체구조용으로 많이 사용되는 DH36강재를 대상으로 레이저-아크 하이브리드 용접금속부 충격인성에 미치는 용접공정 변수의 영향을 검토함으로써 향후 조선분야 하이브리드 용접적용에 활용하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 Table 1과 같은 조성을 가지는 14mm 두께의 후판강재를 이용하여 맞대기 하이브리드 용접을 행하였다. 하이브리드 용접성 평가를 위하여 12kW CO₂ laser (Trumpf TLF 12000 turbo)와 GMA 용접기(ESAB Aristo

2000)를 이용하여 Fig.1과 같은 하이브리드 용접 장치를 제작하였다.

Table 1 Chemical composition of DH36 steel used.(wt%)

C	Mn	Si	P	S	Others
0.16	1.05	0.42	0.013	<0.002	-

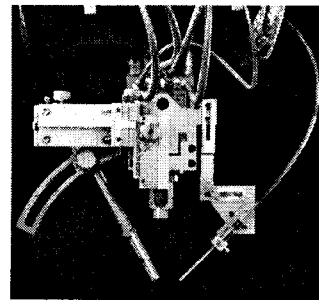


Fig. 1 CO₂ laser-MIG hybrid welding system

하이브리드 용접금속부 충격특성에 미치는 용접변수의 영향을 관찰하기 위해, 다양한 성분의 용접재료 및 gap, separation, wire feed rate, 선형 process 등과 같은 공정변수를 변화시켜 용접금속부 충격인성을 측정하였다. 일반적으로 DH-grade의 경우 용접금속부는 일반적으로 0℃ 기준 34J이상의 충격인성 값을 요구하나, 본 연구에서는 대상 선종이 여객선과 같이 안전이 중요시되는 선종 적용을 목표로 하므로, -20℃로

평가온도를 낮게 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 하이브리드 용접금속부 충격인성 측정

일반적으로 레이저 및 하이브리드와 같은 고밀도 열원을 사용하는 용접의 경우 용접부 Charpy 충격시험에서 나타나는 FPD(Fracture Path Deviation)현상 때문에 충격인성을 정확하게 측정하기가 힘들다. 이와같은 문제를 해결하기 위해 몇몇 연구자들은 side-notch 시험편과 같은 개량된 시험편을 활용한 충격인성 측정을 시도하기도 했다.[4] 그러나, 이러한 시험방법의 문제점은 개량된 시험편으로부터의 충격 인성값을 표준 시험값으로 환산할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 DH36강재를 가지고 1350℃로 가열후 800-300℃구간에서의 냉각속도를 달리한 시험편에 대하여 표준 충격시험 및 side-notch 충격시험을 실시하여 식(1)과 같은 두 값 사이의 상관관계를 구하였다.(Fig. 2)

$$SE = 1.85NE + 0.58 \text{ (at } -20^\circ\text{C)} \quad \text{식 1)}$$

SE: Absorbed energy from standard Charpy specimen
 NE: Absorbed energy from side-notched Charpy specimen

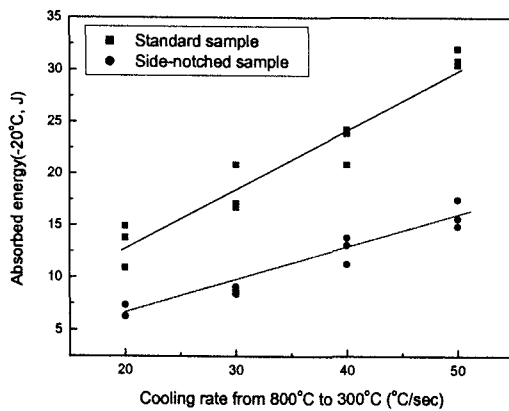


Fig. 2 Correlation of absorbed energies from standard Charpy specimen and side-notched Charpy specimen.

따라서, 본 연구에서는 side-notch 시험편으로 용접금속부 충격인성을 측정 한 후, 식(1)을 이용

하여 표준 충격시험 값으로 환산하여 평가하였다.

3.2 용접금속부 위치에 따른 충격인성 특성

본 연구에서는 하이브리드 용접금속부에서 레이저 및 아크용접변수가 동시에 영향을 미치는 상단부 및 레이저의 영향이 큰 하단부로 나누어서 sub-size크기의 시험편을 가지고 충격특성을 비교해보았다. Fig. 2에서 보듯이 하이브리드 용접금속부 하단부 충격인성이 상단부에 비해 더 우수한 것으로 측정되었다. 따라서, 본 연구에서는 충격인성이 낮은 용접금속부 상단부에 영향을 미치는 용접변수를 대상으로 충격특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

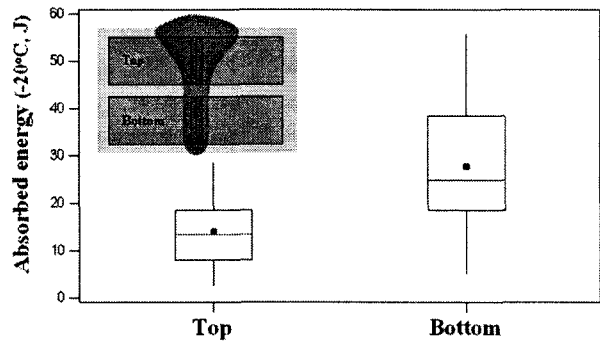


Fig. 3 Absorbed energies depending on test positions of weld metal

3.3 용접금속부 충격인성에 미치는 용접 조건의 영향

하이브리드 용접금속부 상단부의 충격특성에 미치는 용접변수의 영향을 고찰하기 위해 레이저 출력은 12kW, 용접속도는 1m/min으로 고정시키고, 이음부 gap, 레이저-아크 separation, 용접재료 송급속도, 선행 용접 process, 용접재료 종류 등을 변화시켰다. 평가 결과, 용접재료 종류, 이음부 gap 및 선행 process 종류가 용접금속부 충격인성에 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 아크 선행 하이브리드 용접 process를 이용하여 이음부 gap을 최대한 작게 유지하면서, Ti을 일정량 이상 함유한 용접재료를 사용했을 때, 가장 우수한 용접금속부 충격특성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이중에서도 특히, 용접재료 Ti 성분

라 용접금속부 충격특성은 많은 영향을 받았다. Fig. 4에서 보듯이, 0.055wt.%를 함유하는 용접 재료부터 충격인성이 증가하여 약 0.1wt.%까지 이러한 경향을 보였다. 용접금속 상단부의 미세 조직을 관찰한 결과(Fig. 5), Ti을 함유하고 있지 않은 용접금속의 경우 미세조직이 upper bainite 와 martensite로 구성된 반면, 많은 양의 Ti을 함유하고 있는 경우에는 입계 ferrite, polygonal ferrite, accicular ferrite 등으로 구성된 미세조직을 보이고 있다. 즉, Ti 첨가로 인해 accicular ferrite 생성이 촉진되고, 이로 인해 용접금속부 충격인성이 향상된 것으로 사료된다.

본 연구에서는 하이브리드 용접금속부 충격인성을 향상시키기 위해 아크 선행 process, 0mm gap 및 high Ti계 용접재료를 사용하였다. 이러한 용접조건을 사용하여 얻은 용접금속부 충격인성을 식(1)을 사용하여 환산했을 때, -20°C에서 약 50J의 우수한 값을 나타내어, 선급에서 요구하는 0°C 34J을 상회하는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

1) 하이브리드 용접금속부 side-notch 충격 시험값과 표준 충격시험값과의 상관관계를 다음과 같이 도출하였다.

$$SE=1.85NE+0.58 \text{ (at } -20^\circ\text{C)} \quad \text{(식 1)}$$

SE: Absorbed energy from standard Charpy specimen
NE: Absorbed energy from side-notched Charpy specimen

2) DH36강재의 하이브리드 용접에서 아크선행 process, 0mm gap 및 high Ti계 용접재료를 사용했을 때 가장 우수한 충격특성을 나타내었다.

3) 용접재료에 Ti이 0.055wt.%이상 함유될 경우 하이브리드 용접금속부의 accicular ferrite형성이 조장하여 저온 충격인성을 향상되는 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. P. Denney: Welding Journal, Vol. 80, No. 3, pp.47-50, 2001
2. J. K. Kristensen: Proceeding of 7th international Aachen welding conference, (2001) 447-461
3. F. Roland & H. Lembeck: Proceeding of 7th international Aachen welding conference, (2001)463-475
4. Isabel Hadley: TWI bulletin, 41 (5) (2000) 67-70

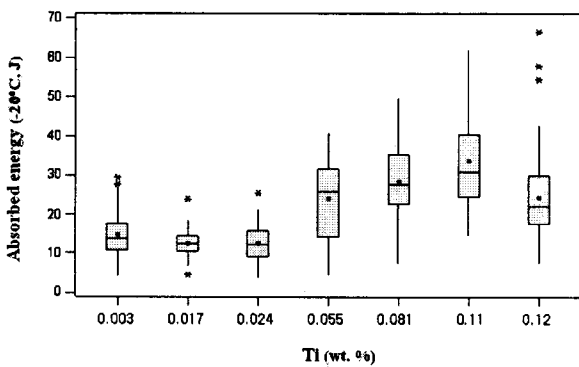


Fig. 4 Effects of Ti addition on impact toughness of weld metals.

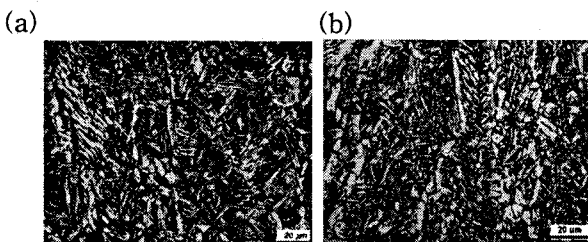


Fig. 5 Microstructure of weld metals containing (a) low Ti content (<0.003wt.%) and (b) high Ti content (0.12wt.%)