전자빔용접시 자기에 의한 빔편향 고찰

A study on Beam deflection by magnetism in Electron beam welding

손현락*, 이규식, 심덕남, 김종오
한국중공업, 기술연구원

1. 서론

전자빔용접은 고속으로 가속된 전자가 모재와 충돌하여 열에너지로 변환되고 이때 발생하는 열에너지를 이용하여 용접물을 접합시키는 용접방법이다. 전자빔용접은 비틀림없는 고정도, 고품질의 용접이 가능한 용접기법으로, 높은 에너지밀도를 얻을 수 있음으로 후판용접에 적합하고, 타용접방법으로는 난이한 재질에 대해 용접이 가능하다는 특징을 지니고 있다. 전자빔용접에 대한 연구는 크게 장치제작기술과 적용기술분야로 구분할 수 있으며, 적용기술분야는 최적 용접부설계와 자기에 의한 빔편향 연구로 구분할 수 있다. 본 시험은 자기에 의한 빔편향특성을 분석하여 실제품에 전자빔용접기법을 적용하고자 실시하였다.

2. 시험방법 및 조건

2.1 용접조건

Table 1. 시험에 사용한 용접변수

용입깊이	70mm	가접	TIG	전자총과 모재간 거리	130mm
용접부간격	0mm	가속전압	60kV	전자총과 초점간 거리	160mm
용접자세	1G	빔 전류	400mA	빔 slope-in 시간	1sec
진공압력	$2x10^{-4}$torr	Focus lens 전류	1135mA	빔 slope-out 시간	1sec
용가재	Non-filler	빔 오실레이션 폭	0.5mm		
용접속도	200mm/min	빔 오실레이션 주파수	800Hz		

2.2 용접시편 조합

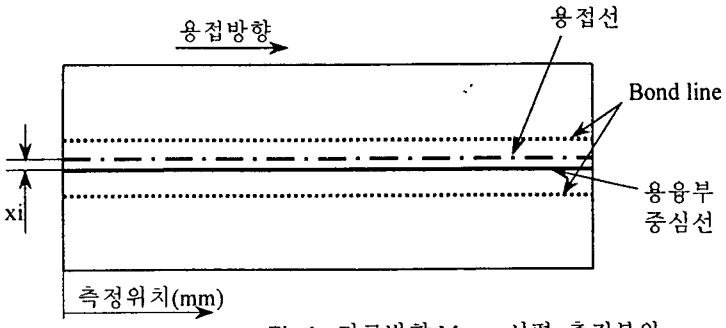
① SA387 Gr22 + SA387 Gr22 : 동종재질(AA 형)
② SA387 Gr22 + SA387 Gr11 : 이종재질(AB 형)
③ SA387 Gr11 + SM400B : 이종재질(BC 형)

2.3 시험방법

잔류자기량은 Gauss meter 탐촉자의 접촉점을 20mm 간격으로 측정위치를 마킹한 시편 표면에 접촉시키는 방법으로 측정하였으며, 측정시 시편의 방향은 동-서가 되게 하였고, 탐촉자의 측정방향은 고려하지 않았다. 용접선 추적은 용접전 약한 빔을 시편 표면에 조사하고, 카메라를 이용하여 용접선과 빔이 일치하도록 하는 방식을 이용하였고, 용접후 용접방향을 기준으로 가로방향과 세로방향으로 각각 절단하여 Macro 검사를 실시하였다.

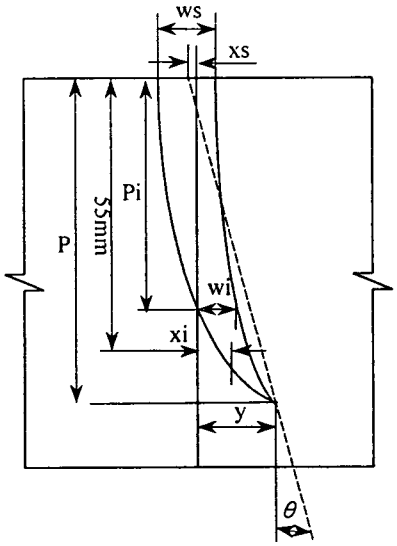
3. 결과 및 고찰

전자빔 용접시 빔편향특성을 분석하기 위해 Macro 사진을 이용하여 Fig1, 2 와 같이 각 부위을 측정하였다. Fig1 은 시편표면에서부터 깊이 55mm 지점을 가로방향으로 절단한 시편의 평면을 나타낸 것이며, Fig2 는 세로방향으로 절단한 시편의 측면을 나타낸 것이다.



xi : 용입깊이 55mm 지점에서 용융부 중심선과 용접선 간 거리

Fig 1. 가로방향 Macro 시편 측정부위



ws : 비드 폭(시편표면 용융부 폭)
wi : 용접선에서 빔이 이탈하기 시작하는 지점의 용융부 폭
xs : 표면에서 용융부 중심선과 용접선간 거리
P : 용입깊이
Pi : 표면에서부터 빔이 이탈하기 시작하는 지점까지의 용입깊이
y : 용입 끝단부에서의 빔 이탈거리
θ : 빔 편형각

Fig 2. 세로방향 Macro 시편 측정부위

Table 2. Macro 시편을 이용한 주요 측정결과

재 질	자기량 (G)	Pi (mm)	(Pi/P)x100 (%)	xs (mm)	xi (mm)	y (mm)	θ (°)
SA387Gr22 + SA387Gr22	3~13	61~65	97~99	0.2~0.3	0.2~0.7	0.3~0.8	0.3~0.7
SA387Gr22 + SA387Gr11	-2~11	40~55	60~79	0.2~0.3	1.3~3.0	1.8~3.5	1.5~3.0
SA387Gr11 + SM400B	3~7	43~55	64~87	0.2~0.4	1.5~2.2	1.5~3.2	1.4~2.7

용입깊이 55mm 지점에서 용접선과 용융부 중심선과의 거리(xi)를 측정한 결과 잔류자기 변화에 대해 빔편향은 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 시편 표면에서 용융부 폭

의 중심선과 용접선과의 거리(xs)는 0.5mm 미만이였다.

SA387Gr22 소재를 이용한 동종재질 용접에서 빔 이탈거리는 0.7mm 미만으로 거의 빔 편향이 일어나지 않는 것으로 나타났으나, 이종재질간 용접인 SA387Gr22 와 Gr11 은 1.3 ~ 2.8mm, SA387Gr11 과 SM400B 는 1.5 ~ 2.2mm 로 나타나 동종재질에 비해 빔 편향이 심하였다.

4. 결론

(1) 용접물 표면에서 전자빔이 용접선으로부터 이탈한 거리(xs)는 0.5mm 미만으로 매우 작게 나타났다. 이것은 양호한 용접선 추적으로 인해 전자총과 용접물 표면사이의 빔 편향이 보상된 결과로 여겨지며, 용접선 추적의 중요성을 확인할 수 있었다.

(2) Macro 분석 결과, 소재 내부 용융부 곡률은 매우 큰 것으로 나타났으며, 이것은 소재 내부 자기에 의해 용접중 급격히 빔이 휘는 현상이 거의 없음을 나타낸다.

(3) 동종재질간(SA387Gr22 + SA387Gr22) 용접시에는 전체 용입깊이에 대해 양호한 용접이 이루어진 비율이 97 ~ 99%로 거의 빔 편향현상이 발생되지 않았다.

(4) 이종재질간(SA387Gr22 + SA387Gr11, SA387Gr11 + SM400B) 용접시 정상적인 용접이 이루어진 부분은 전체 용입깊이의 60 ~ 79%와 64 ~ 87%로 동종재질 용접에 비해 작게 나타났으며, 빔은 Cr 함량이 높은 소재쪽으로 편향되었다. 그리고 소재의 Cr 함량을 비교분석한 결과, 빔 편향각은 1Cr 함량 차이당 약 1.5 ~ 3 ° 정도 발생하는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1.Y.Akutsu, H.Kita : Application of electron beam welding to steam turbine diaphragms.

2. P.J.Blakelay, A.Sanderson : The origin and effects of magnetic fields in electron beam welding

3. V.Yu. Neporozhnyi : A device for compensating the remanent magnetic field in the electron beam welding of steel plate

4. L.J. Privoznik, R.S. Smith, J.S. Heverly : Electron beam welding of thick sections of 12Cr turbine grade steel

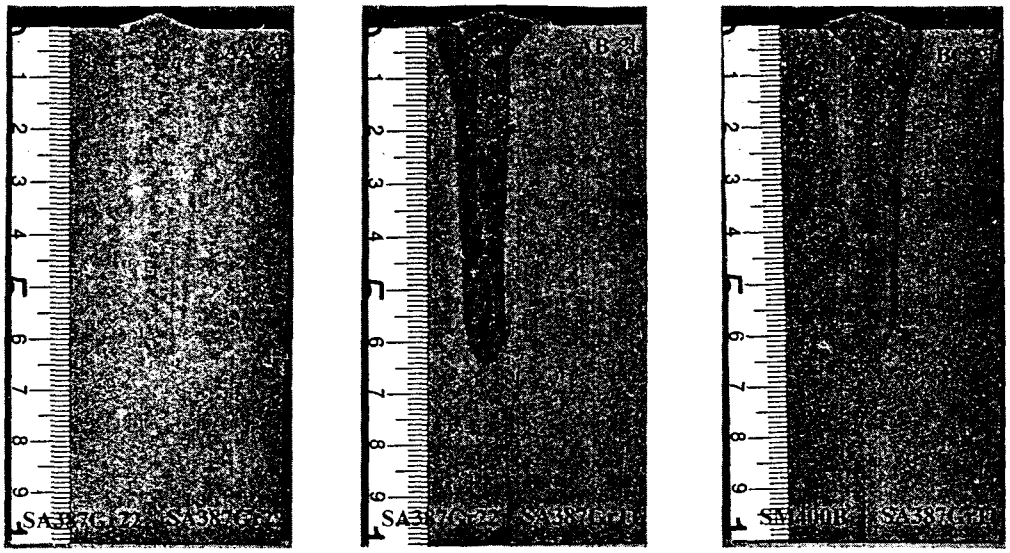


Fig 3. 재질별 Macro 사진

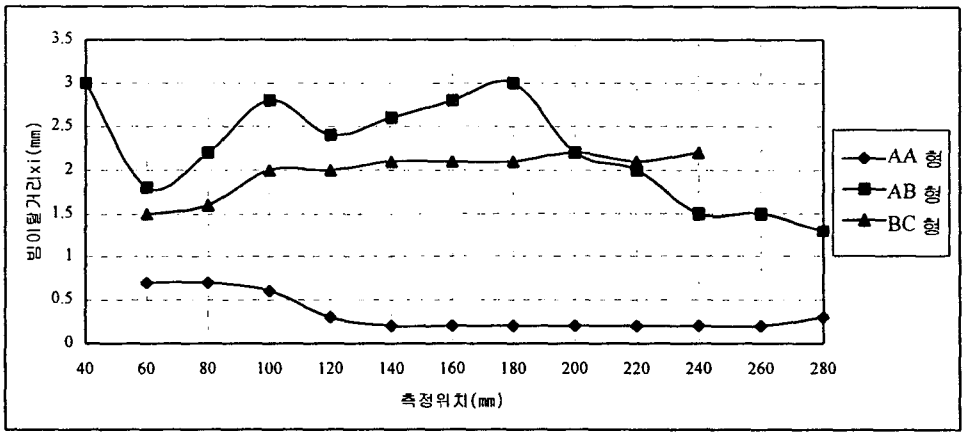


Fig 4. 측정위치별 빔 이탈거리(xi)

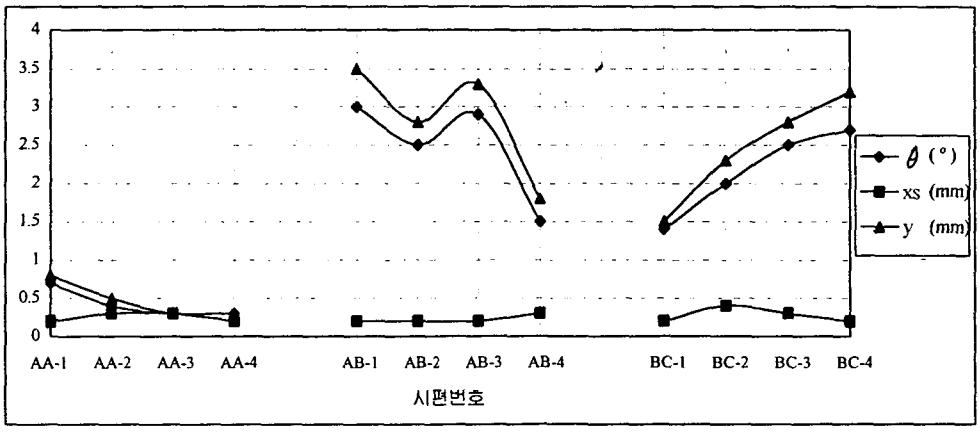


Fig 5. 용접시편 및 재질별 θ, xs, y 변화