

## 스테인레스강에 대한 전자빔용접과 협개선TIG 용접수축량 비교

### The comparison of weld shrinkage between Electron beam welding and Narrow-gap TIG welding for stainless steel

김용재\*, 정원희\*, 심덕남\*, 정인철\*

\* 두산중공업 기술연구원

**ABSTRACT** The phenomenon of weld shrinkage mainly occurs owing to residual stress by heating, which largely effects on welding quality. Actually as the shrinkage rate depends on the weld deposit amount, so it is desired that the sectional area of weld joint shall be reduced. In this respect the Electron beam welding has more profitable position compare to Narrow-gap TIG welding which is even superior to other arc welding processes. In case of thick austenitic stainless steel the shrinkage rate of Electron beam welding has about 10% of Narrow-gap TIG welding's, which means that residual stress is a lot less than that of Narrow-gap TIG welding. And heat input and welded section area also indicate large difference between two processes.

#### 1. 서 론

중공업 분야의 후판용접에서 최소 입열로서 가능한 용접 Process는 전자빔 용접과 협개선 TIG용접을 들 수 있다.

전자빔 용접은 진공하에서 발생된 전자를 자력으로 집속 편향시켜 용접물에 조사하여 용융 접합하는 용접 방식으로, 단일 패스용접으로 열변형을 극소화 할 수 있고 용가재없이 두께100mm 이상의 후판을 고품질 용접을 할 수 있는 정밀 용접 Process이다.

반면에, 협개선 TIG용접은 아크용접 Process로서 개선부 각도를 1~3°로 유지하여 용착면적을 감소시킴으로써 용접변형을 최소화하고 용접 시간을 단축할 수 있으며, 원전 대형배관 또는 핵융합 기기의 제작시 적용되고 있다.

일반적으로 용접시 발생하는 수축 변형은 부가되는 입열과 이에 따른 잔류응력에 의해 발생되며, 이러한 수축 변형량은 제품 품질에 큰 영향을 미치고 있다.

점차 고품질의 제품제작이 요구되고 있는 현 시점에서, 스테인레스강에 대해 최소 입열을 부가할 수 있는 전자빔 용접과 협개선 TIG용접의 수축량을 정량적 비교 분석하여 제품 적용시 참고 자료로서 활용코져 한다.

#### 2. 본 론

용접시 수축 변형은 시험방법 및 변수조건에 따라 차이가 있으므로, 적용한 시험 조건은 사전 예비시험을 통해 최적 조건이라고 고려되는 범위에서 시험을 실시하였다.

##### 2.1 시험 조건

###### 2.1.1 전자빔 용접

두께 27mm, 45mm의 오스테나이트 스테인레스강(316LN)소재의 평판 (크기160x300mm)을 I형 맞대기 용접 형태로 하향 자세로 전자빔을 조사하였다. 전자빔 용접장치는 60KW-60KV급을 사용하였으며, 빔 전류와 용접속도로서 입열을 조절한다.

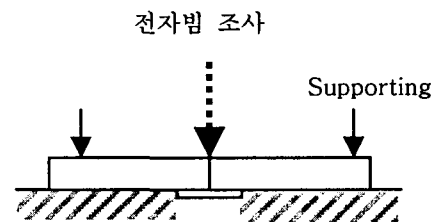


Figure.1 Test configuration for Electron Beam Welding

두께25mm는 빔전류 150mA, 속도200mm/분, 두께47mm는 빔전류 230mA, 속도200mm/분을 적용하였다.

$8 \times 10^{-4}$  torr의 진공챔버 진공도 하에서 빔 위빙 주파수 800Hz, 위빙 형태 '0'를 적용하였으며, 두께 중심위치 기준으로 초점전류를 선정하였다.

2.1.2 협개선 TIG용접

두께 35mm의 오스테나이트 스테인레스강 (316L)소재의 배관 (I.D 254 x 400mm)을 I형 맞대기 용접 형태로 수평회전 (5G자세) 위치로 헤드 토치를 장착하여 자동용접을 실시하였다.

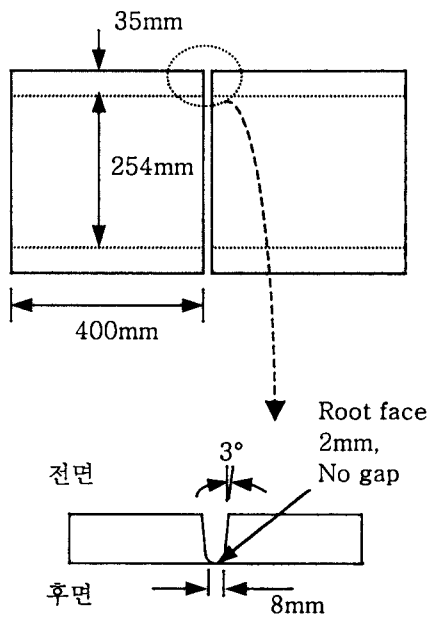


Figure.2 Test configuration for Narrow-gap TIG Welding

펄스형 전원으로 Primary Amps 152~250A, Back Amps 76~180A, AVC기능 9.2~10.7V, 용접 속도 50~80mm/분, 구간에 따라 토치 위빙을 하였다. 전체 13 pass 용접을 하였으며 패스 별로 적정변수를 별도 선정하여 적용하였다.

2.2 시험 결과

2.2.1 수축 변형량 측정

전자빔 용접시험은 평판 전면과 후면의 100mm 간격으로 3곳에 각각 위치를 표시하여 용접 전후에 치수를 버니어 캘리퍼스로 측정하고 평균값을 계산하였다.

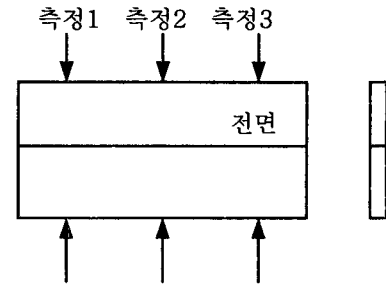


Figure.3 Measuring Position for Electron Beam Welding

협개선 TIG용접은 전면 및 후면에 대해 용접 중심선으로부터 각 100mm, 200mm, 300mm 위치에 대해 0°, 90°, 180°, 270° 구간별로 각각 측정하여 평균값을 계산하였다.

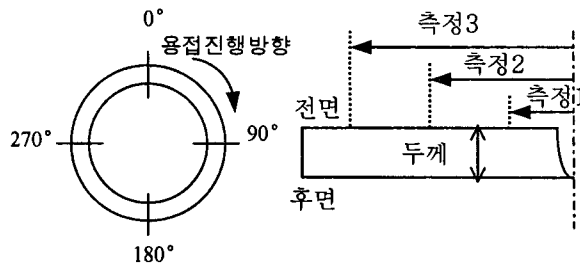


Figure.4 Measuring Position for Narrow-gap TIG Welding

2.2.2 측정 결과

전자빔 용접시 평판을 수직방향으로 지지하였으나 극소의 휨이 발생하여 전면과 후면의 수축량 값이 차이가 있으며, 각 위치별 수축량 평균값은 유사하게 나타나고 있다.

두께에 따른 수축량 차이는 거의 없으며, t25mm 경우 평균 수축량 0.39mm, t47mm는 평균 수축량 0.37mm를 각각 나타낸다.

Table. 1 (단위:mm)

두께	구분	전면			후면		
		수축량	0.46	0.65	0.60	0.14	0.31
t25	평균	0.57			0.21		
	수축량	0.55	0.61	0.56	0.13	0.20	0.15
t47	평균	0.57			0.16		

협개선 TIG용접은 평판 용접시 상대적으로 큰 변형이 발생되어 배관 시험을 실시하고 그 결과, 전면과 후면의 수축량 차이가 적음에 따라 비교적 정확한 수축량 값을 얻을 수 있다.

측정 위치별 차이는 거의 없으며, 용접 중심선으로 부터 가까울수록 약간 크다. 전면 위치의 평균 수축량은 3.9mm, 후면은 3.6mm를 나타낸다.

Table. 2 (단위:mm)

구분	전면			후면		
수축량	4.3	3.8	3.7	3.6	3.6	-
평균	3.9			3.6		

2.2.3 용접조건에 따른 결과 분석

1) 용접 입열량 분석

전자빔 용접조건은 단일 패스이므로 전체 입열을 의미하며, 협개선TIG의 경우에는 전체 패스의 총 입열량을 고려하여 상호비교할 수 있다.

입열량 계산 결과, 전자빔 용접은 t25mm 경우에는 21.6 kJ/cm이며, t47mm는 41.4 kJ/cm이다. 단위 두께 1mm당 입열량으로서 t25mm는 0.86kJ/cm, t47mm는 0.88 kJ/cm로서 유사하게 나타난다.

한편, 협개선 TIG는 각 패스별 총입열을 고려하여 계산하면 190.7 kJ/cm 값을 갖는다.

결과적으로 전자빔 용접은 협개선TIG의 약 16%의 입열로서 용융접합이 가능함을 의미한다.

2) 용융부 폭 비교

용융 접합시 수축 변형과 밀접한 관계가 있으며, 일반적으로 용융부 폭이 클수록 변형량이 크다. 전자빔 용접은 적용 변수조건에 따라 용융부 폭을 적절히 조절할 수 있다.

시험결과 전자빔 용접시 용융부 폭은 t25mm 경우 Avg. 2.6mm, t47mm는 Avg 2.5mm이다.

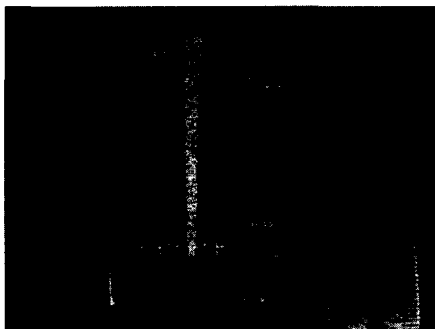


Figure.5 Transverse Cross Section for Electron Beam Welding (t47mm)

협개선 TIG용접은 적용 용접토치에 따라 개선투간격이 다르며, 용융부 폭은 여기에 좌우된다. 본 시험에서는 헤드 토치가 개선부내에 삽입하는 형태를 기준하였으며, 용융부 폭은 Avg. 11mm로 측정되었다.

결과적으로 용융부 폭을 기준하면 협개선TIG 용접은 전자빔용접의 약 5배 정도 큰 용융부 폭을 가짐을 알 수 있다.

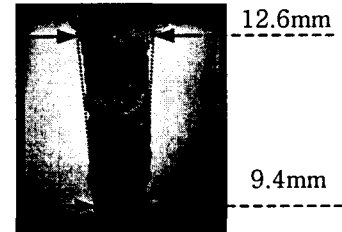


Figure.6 Transverse Cross Section for Narrow-gap TIG Welding (t35mm)

3. 결 론

스테인레스강에 대한 전자빔용접과 협개선TIG의 용접 수축량 비교 시험한 결과 하기의 결론을 도출할 수 있으며, 여기서 정량적인 수치는 시험조건과 적용 용접변수에 따라 차이가 있을 것으로 예상된다.

- 1) 협개선TIG 대비 전자빔용접의 입열은 약 16% 정도로 낮으며, 전자빔용접은 단위 두께당 비슷한 입열량을 갖는다.
- 2) 용융부 폭은 전자빔용접에 비하여 협개선TIG는 약 5배 크다.
- 3) 전자빔용접은 협개선TIG에 비해 약 1/10의 수축량을 나타내며, 두께에 따른 차이는 거의 없는 것으로 보인다.

참고문헌

1. Dipl.-Ing. H. Schultz : Electron beam welding, Abington publishing (1993), p.115-120
2. In cheol Jung, Duk Nam Shim : The application of Narrow-gap TIG welding for heavy piping, Doosan heavy industries Co. (2002), p.25-30