

스테인레스강 316LN의 전자빔용접과 협개선TIG 용접특성 비교

The Comparison of Characteristic between Electron Beam Welding and Narrow-gap TIG welding with 316LN Stainless Steel

정인철*, 김용재*, 이경운*, 심덕남*

* 두산중공업 기술연구원

ABSTRACT Among the advanced welding processes which are superior to conventional process, Electron beam welding and Narrow-gap TIG welding are most prospective in being applicable for the heavy industry field. With STS316LN, which is high strengthened austenitic stainless steel, the characteristic evaluation for these welding processes was carried out through the mechanical tests and property analyses. For the tensile strength EBW is better while in reverse for the yield strength. In Narrow-gap TIG the distribution of hardness values has some deviation according to the thickness direction while EBW has a tendency of a litter high hardness values in weld metal. After EB welding brings the reduction of nitrogen content, in TIG welding weld metal depends on the contents of welding material. Both processes have almost austenitic structure, but weld metal of EBW is also shown ferritic structure

1. 서 론

전자빔 용접(EBW)은 진공하에서 발생된 전자를 용접물에 조사하여 용융 접합하는 용접 방식으로서, 열변형을 극소화 할 수 있고 용가재 없이 후판용접이 가능하다.

한편, 협개선 TIG는 용접개선투 각도를 극소로 유지하여 용착면적을 감소시킴으로써, 변형을 최소화하고 용접 시간을 단축할 수 있는 고품질 용접 방법이다.

이러한 선진 용접기법은 중공업 분야에서 적극 활용될 수 있으며, 스테인레스강 316LN에 대한 각각의 용접 특성을 비교 분석함으로써 해당 제품에 대한 적용성을 파악할 수 있다.

2. 본 론

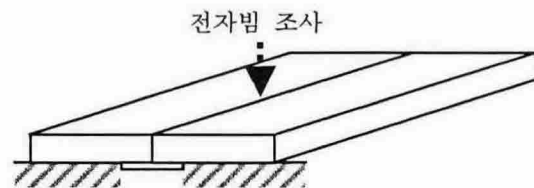
전자빔용접은 모재 자체를 용융시키는 반면에 협개선 TIG용접은 용가재를 사용한다. 따라서 TIG용접은 사용 용가재에 따라 약간의 물성치 차이가 있을 수 있다.

316LN은 질소(N)성분이 0.1 -0.16% 함유한 고강도 스테인레스강으로서 상온 및 저온에서 우수한 물성치를 갖고 있다.

2.1 시험 조건

2.1.1 전자빔 용접

두께 55mm의 316LN 소재의 평판 (크기 320x700mm)을 I형 맞대기 용접 형태로 하향 자세로 전자빔을 조사하였다. 전자빔 용접장치는 60kW-60kV급을 사용하였으며, 빔 전류와 용접 속도로서 입열을 조절한다.



용접조건은 빔전류 230mA, 속도 200mm/분, 위빙폭 1mm 이다.

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

2.1.2 협개선 TIG용접

두께 55mm의 316LN 소재의 평판 (크기

320x700mm)을 U형 개선형태로 수평자세 (2G 자세) 위치로 헤드 토치를 장착하여 자동용접을 실시하였다.

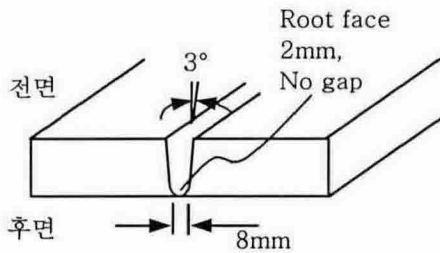


Fig.2. Test configuration for Narrow-gap TIG

펄스형 전원으로 Primary Amps 150~250A, Back Amps 90~200A, AVC기능 9.4~10.6V, 용접 속도 56~99mm/분, 구간에 따라 토치 위빙을 하였다. 전체 45패스 용접을 하였으며 패스 별로 적정변수를 선정하여 적용하였다.

2.2 시험 결과

2.2.1 강도 비교

과단위치는 모두 용착금속(Weld metal) 부위이다.

전자빔용접은 인장강도 624MPa, 항복강도 340MPa, 연신률 43%를 가지며, 협개선TIG는 인장강도 598MPa, 항복강도 376MPa, 30%의 연신률을 나타낸다.

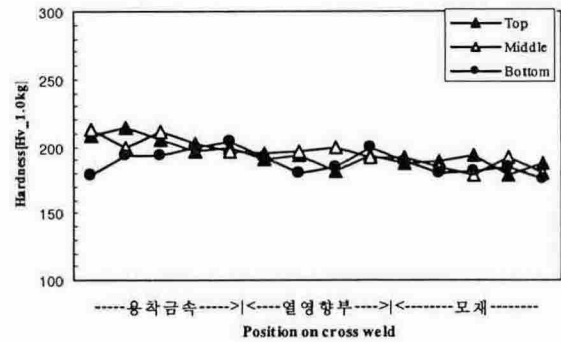
따라서 인장강도는 전자빔용접, 항복강도는 협개선TIG가 약간 높게 나타난다. 참고로 시험모재의 항복강도 규정은 최소 205MPa 이다.

2.2.2 경도 분포

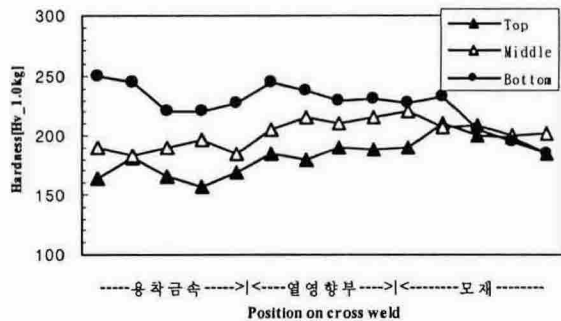
두께 위치별로 용착금속, 열영향부, 모재에 이르는 구간을 Micro Vickers 경도 (Hv)를 측정하였다.

전자빔용접은 두께 위치에 관계없이 176~212 Hv의 경도분포를 갖고 있으며, 모재 < 열영향부 < 용착금속 의 순으로 나타난다.

협개선TIG는 전체적으로 163~250Hv의 경도값을 나타내며, 용착금속과 열영향부는 두께 방향으로 표면(Top) < 중간부(Middle) < 하부(Bottom)의 순으로 경도값이 높다. 즉, 협개선TIG는 전자빔용접과 달리 다층용접에 따른 열이력에 기인한 것으로 보인다.



(a) EBW



(b) Narrow-gap TIG

Fig.3. Hardness distribution

2.2.3 화학성분 분석

전자빔용접은 약간의 N성분 감소 이외에는 모재와 유사하다.

협개선TIG의 경우, N성분은 낮은 대신에 Mn과 Ni 함량이 높으며 이것은 사용되는 용가재의 성분에 기인한다.

Table 1. Chemical contents

구분	C	Mn	Cr	Ni	N
모재	0.022	1.14	17.76	10.10	0.132
용가재	0.060	6.5	17.62	16.55	0.030
TIG	0.066	5.83	17.31	15.92	0.033
EBW	0.022	1.35	17.51	10.08	0.115

화학성분에 근거하여 Schaeffler 및 Delongdiagram을 이용하여 δ-ferrite의 함량을 조사하였다. 전자빔용접의 Cr_{eq}/Ni_{eq} 는 1.48~1.95(FA모드)이며, 협개선 TIG의 Cr_{eq}/Ni_{eq} 는 0.90~0.95 (A모드)를 갖는다.

2.2.4 단면조직 비교

전자빔용접부 단면은 쇠기모양의 좁은 용융부

를 나타내고 있으나, 협개선TIG는 다층패스가 누적된 비드형태로 상대적으로 넓은 용융부 폭을 갖고 있다.

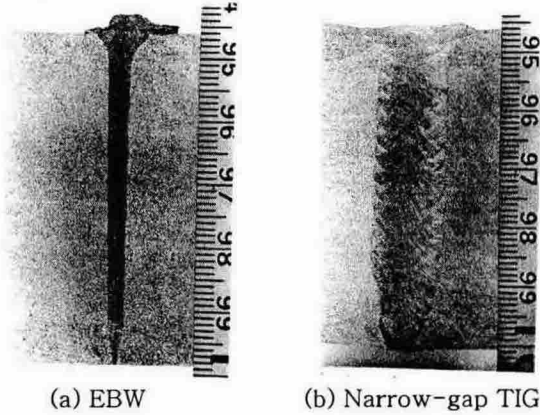


Fig.4. Transverse Cross Section

2.2.5 미세조직 분석

전자빔용접은 두께방향으로 중심부 및 표면부는 $\gamma + \delta$ 의 2상 조직을 나타내며 하단부는 등축(Equiaxed grain)형태의 완전한 오스테나이트 조직을 나타낸다.

협개선TIG는 대부분 오스테나이트 조직이 나타나며 Fusion line부위에 약간의 δ -ferrite조직이 보인다.

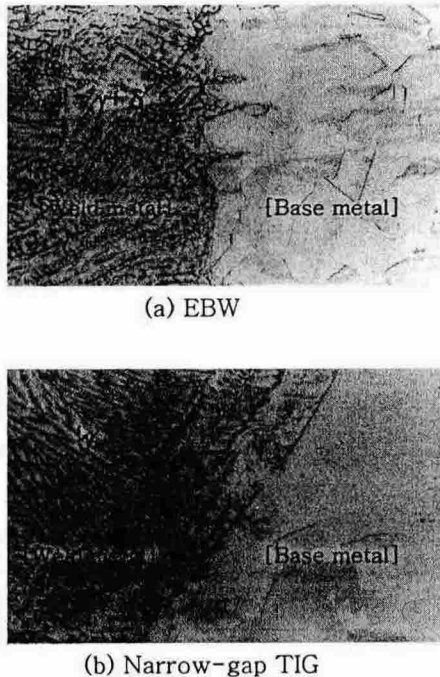


Fig.5. Micro Structure (x 200)

3. 결 론

316LN 스테인레스강에 대한 전자빔용접과 협개선TIG의 용접 특성을 비교한 결과 다음과 같다.

1) 강도면에서 인장강도는 전자빔용접, 항복강도는 협개선TIG가 약간 높게 나타나서 서로 상반된 결과를 보인다.

2) 전자빔용접시 경도는 모재<열영향부<용착금속 순이며 큰 차이는 보이지 않는다. 협개선TIG의 경우 두께방향으로 경도값의 차이가 있으며 하부로 갈수록 증가한다.

3) 전자빔용접시 N성분의 감소 외에는 모재와 유사하며, 협개선TIG는 용가제의 성분과 거의 유사하다. δ -ferrite의 함량을 조사한 결과, 전자빔용접은 FA모드, 협개선TIG는 A모드로 분석되었다.

4) 전자빔용접은 대부분 $\gamma + \delta$ 의 2상조직이나 하단부는 등축형태의 오스테나이트 조직을 나타내며, 협개선TIG는 대부분 오스테나이트 조직이나 Fusion line부위에 약간의 δ -ferrite조직이 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
3. Gunther Rabensteiner, et al : Welding Metallurgy of stainless steels (1988), p.78-96
4. F.M.G Wong and N.A.Mitchell : Selection of Tokamak Toroidal Field Coil Case Structural Material, Advances in Cryogenic Engineering (1998), p.65-72