

강화 오스테나이트 스테인레스강의 전자빔 용접 특성

The Characteristics of EBW for strengthened austenitic stainless steel

정 원희, 김 용재, 정 인철

두산중공업(주) 용접기술연구팀

ABSTRACT The yield strengths of austenitic stainless steel have been approximately doubled by increasing the nitrogen content. But, the increasing the nitrogen cause of increase the pressure of metal vapor inside the keyhole in electron beam welding. During welding, eruptions of keyhole often occur that cause excessive spatter, concavity, and porosity in the weld zone. Additionally the fast evaporation of nitrogen content cause of decrease the strength of weld zone. Therefore in this paper, we investigated of the weldability of electron beam welding and the change of chemical content after welding for strengthened austenitic stainless steel, measured the deformation scale of both of electron beam and narrow gap TIG and the spike fluctuation in the root.

1. 서 론

오스테나이트계 스테인리스강은 16~18% Cr과 7~20% Ni를 함유하고 있어 내식성과 연성 및 내열성이 우수하다. 특히, 316LN타입의 합금강은 탄화물 석출을 억제키 위해 탄소의 함량을 0.03%이하로 낮추고, 상대적인 항복응력 감소를 보완하기 위해 0.18%까지 질소를 첨가시킨 합금강으로써 우수한 내식성이 요구되는 각종 구조물, 핵융합 설비 등에 주로 사용되고 있다¹⁾. 본 논문에서는 고질소 강화 오스테나이트계 스테인리스강(316LN타입의 JJ1재질)에 대한 전자빔 용접특성을 평가하였다. 질소함량이 높기 때문에 키홀 내부의 금속가스 분출이 강력하므로 용접변수에 대한 사전 용접성 평가 시험을 수행하여 최적 용접변수를 선정하였고, 상온에서의 각종 물성치 시험과 수축 변형량 및 주요 화학성분 변화를 분석하였다.

2. 전자빔 용접시스템

본 논문에서 시험된 전자빔 용접은 당사에서 보유하고 있는 국내 유일의 고정밀 이동형 60kW 급 전자빔 용접시스템을 이용하였다. 곡면용접이 가능하도록 3차원 궤적계획기와 용접선 추적을 위한 2차전자 화상처리기를 내장하고 있으므로 실시간 용접선 추적과 변수 조절이 가능하다는 특징을 가지고 있다²⁾.

2.1 전자총부

당사 시스템은 3극 전자총으로써 블록타입의 음극(cathode)과 Wehnelt전극, 양극(anode)이 일직선으로 정렬되어 있으며, 양극을 통과한 빔은 초점렌즈와 편향코일에 의해 피용접물에 정밀조사된다. 음극의 재질은 LaB₆이고 블록타입이기 때문에 수명이 길며, 빔 발생효율이 높다³⁾.

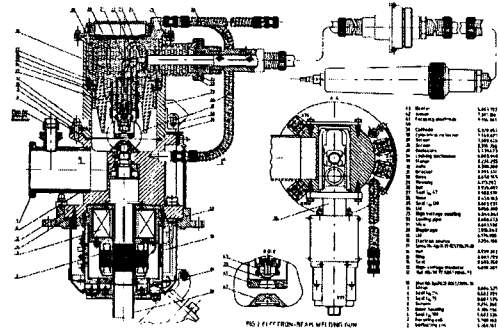


Figure 1. Diagram of 60kW EB Gun

2.2 3차원 위치제어부

5축 매니플레이터의 3차원 위치제어를 위해 B-spline 궤적계획기를 내장하여, PC/CNC 통합제어를 하며, 0.1mm이하의 정밀도를 가지도록 설계하였다. 또한 빔변수(빔전류, 초점전류, ...)를 PC에서 실시간 제어 및 용접선 추적을 위한 인터럽트 방식이 적용되어 자동추적/강제추적 기능을 동시에 수행 가능하다.

2.3 진공 펌프부

진공은 4단계로 이루어진다. Rotary Pump에서 약 30~50Torr이하로 진공시키고, Roots Pump에서

2×10^{-2} Torr까지 배기시키며, 그 이상은 Diffusion Pump에서 담당하고 있다. 전자총 부분은 별도의 터보 분자펌프를 이용하여 고진공시킨다.

도로써 Narrow Gap TIG용접부의 약10mm폭에 비해 매우 좁고, 이로 인한 잔류응력과 변형량의 상당한 감소를 예상할 수 있다.

3. 전자빔 용접부 기계적 특성

3.1 316LN 타입 합금강 특성

316LN 타입 합금강은 마르텐사이트 변태 방지 목적으로 강한 오스테나이트 조직 형성제인 질소와 질소 용해도를 높이기 위한 망간을 다량 첨가한 재질로써, 진공에서 수행되는 전자빔 용접에서는 질소와 망간이 모재에서 빠져나가 강도 저하와 결함 발생의 원인이 될 수 있다. 이러한 문제는 전자빔 변수의 조절로 상당량의 감소를 가져올 수 있으므로 최적변수 선정이 우선적이다⁴⁾.

Table 1. Chemical contents of 316LN Types

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N
AISI 316LN	0.03 max.	2.00 max.	0.75 max.	16-18	10-14	2-3	0.1-0.16
German 316LN	0.032	1.26	0.41	16.7	13.7	2.7	0.16
JJ1	0.01	9.82	0.5	11.63	11.77	4.86	0.235

Table 2. Property of JJ1 material

항복강도(Mpa)	인장강도(Mpa)	연신율(%)
310	632	42.5

3.2 상온 기계적 시험 특성

시험에 앞서 단면비드 형상, 내부결함 유무, 용입깊이 등에 따른 하기의 최적 빔변수를 선정하여, 표 1의 JJ1 재질에 대해 수행하였다.

Table 3. Opimum parameter of EBW

시편두께	빔전류 (mA)	초점전류 (mA)	위빙폭 (mm)	위빙형태	위빙주파수 (Hz)	속도 (mm/분)
25mm	150	725	1	O	800	200
47mm	230	725	1	O	800	200

공통변수
 가속전압 : 60 kV 충격전류 : 45mA 대물거리 : 230mm
 챔버진공도 : 8×10^{-4} Torr 건진공도 : 8×10^{-6} Torr 자세 : Flat

3.2.1 단면 Macro 시험

사진 1, 2에서 보는 바와 같이 전자빔 용접부 단면폭은 25mm, 47mm 두께에 대해 약 2~3mm정

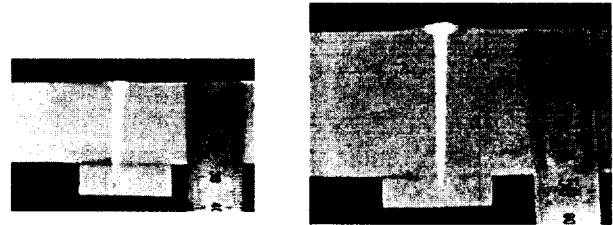


Photo. 1. Cross section of t25mm&t47mm by EBW

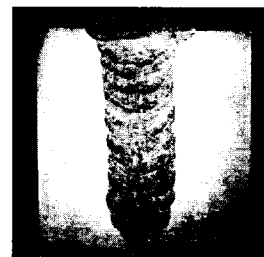


Photo. 2. Cross section of t35mm by NG TIG

3.2.1 인장 시험

상온 인장강도는 680~687Mpa로써, 모재의 최소 요구치 632Mpa 이상을 만족시켰다.



Photo. 3. Tensile test of t25mm specimen



Photo. 4. Tensile test of t47mm specimen

3.2.2 굽힘과 경도 시험

용접후 모재와 용접부에 대한 미세경도 변화를 조사하였다. 측정위치는 47mm용접시편 단면의 상단, 중앙, 하단에서 1mm단위로 측정하였다. 그림 2와 같이 모재보다 HAZ와 용접부에서 다소 높은 경도치가 나왔으며, 굽힘시험 또한 양호하였다.

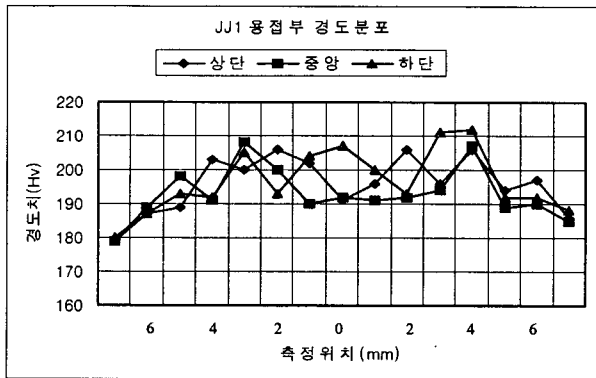


Figure 2. Hardness distribution of t47mm specimen

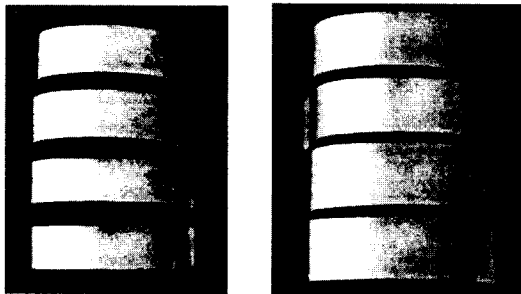


Photo 5. Bending test of t25mm&t47mm specimen

3.2.3 화학 성분 시험

단면 용접부의 폭이 2~3mm밖에 되지 않으므로 transverse 방향으로 절단하여 시험하였는데, 질소가 0.24%에서 0.18%로 감소하였으나, 저탄소 오스테나이트계 스테인리스강의 경우 질소가 0.18%이상이면 항복응력이 낮아지는 것을 방지할 수 있으므로 전자빔 용접의 질소배출에 따른 강도저하는 크지 않을 것으로 판단된다. 또한, 내식성을 유지하기 위한 Cr의 임계요구량 12%도 만족되었다.

3.2.4 Root부 Spike Fluctuation 변화

전자빔 용접후 루트부의 Spike현상은 필연적이므로 Fluctuation변화량을 정밀하게 측정함으로 향후 제품 제작시 Back Plate의 사양 및 추가적인 빔전류 조절 여부를 결정할 수 있다.



Photo 6. Spike fluctuation of C/S



Photo 7. Spike fluctuation of JJ1 material

3.2.5 수축량 변화

평판 상태에서 용접 후 가로방향으로 3 부위를 전면과 후면에 대해 측정하였으며, 25mm시편은 평균 0.39mm, 47mm시편은 평균 0.37mm 수축 변형되었다. Narrow Gap TIG 용접부 수축 변형량은 평균 3.5~4mm이므로 EBW와 비교시 9~10배 가량 크다. 이러한 수축 변형량은 제품 제작시 심각한 품질의 저하와, 잔류응력의 증가로 인한 사용중 제품 강도저하를 야기시킬 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 핵융합 설비 등에 주로 사용되고 있는 고질소 강화 오스테나이트계 스테인레스강에 대한 전자빔 용접 특성을 분석해 보았다. 전자빔 용접에 의한 질소량 감소는 발생하였으나, 강도저하는 크지 않을 것으로 사료되며, 수축 변형량에 대해서는 협개선 TIG용접보다 전자빔 용접이 매우 우수하게 나타났다. 이로인한 제품 정밀도와 잔류응력 감소에 따른 결함 방지 측면에서 전자빔 용접의 우수성이 입증되었다고 할 수 있겠다. 향후 극저온하에서의 전자빔 용접부 강도 시험이 수행되어야 하며, 재질별 차이점 분석을 추후 과제라 하겠다.

참고문헌

1. F.M.G.Wong and N.A.Mitchell : Selection of Tokamak Toroidal Field Coil Case Structural Materials. Advances in Cryogenic Engineering. Vol 44(1998). pp 65~72.
2. W.H.Jung,I.C.Jung,J.O.Kim : A Study of 3D Trajectory Generation Tech., Korean Society of Precision Engineering(1999), pp 361~364
3. Dipl. Ing. H. Schultz : Electron beam welding. Abington Publishing(1993).
4. J.A.Brooks : Electron Beam Weldability of High Nitrogen Austenitic Stainless Steel. Sandia Laboratories(1973).