

## 니오븀의 전자빔 용접성에 관한 연구

### A study on the electron beam weldability of niobium

안병훈\*, 윤종원\*, 김숙환<sup>1</sup>, 손영욱<sup>2</sup>

동의대학교 신소재공학과. <sup>1</sup>포항산업과학연구원, <sup>2</sup>포항가속기연구소

#### 1. 서 론

최근 대부분의 에너지를 해외에서 의존하고 있고 매년 증가추세를 보이고 있어서 에너지 절약에 대한 대책이 국가적인 당면과제이다. 특히, 에너지의 많은 부분이 전기로 소비되므로 전기에너지의 절약이 각별하게 강조되고 있다. 최근 극한의 효율과 성능을 지닌 전자소자들이 초전도 재료를 이용함으로써 개발되고 있으며, 이러한 초전도 재료는 소비전력을 상당히 감소시킬 것이다. 1911년 네덜란드의 카메링 오네스가 수은에서 초전도 현상을 처음 발견한 이래 초전도 재료의 무한한 응용가능성이 제안되고 연구개발 되어 왔다. 1987년 액체질소로 냉각하여도 초전도성을 나타내는 고온초전도 물질이 발견되면서 초전도 응용기술의 경제성과 실현 가능성이 한층 더 높아지게 되었으며 새로운 응용분야도 출현하게 되어 세계적인 기술개발의 열기가 달아오르게 되었다.

1990년대 중반기 이후 초전도 마이크로웨이브 공동기가 본격적으로 도입되기 시작하여 최근에 건설되는 가속기는 대부분 초전도 공동기를 이용하여 입자들에 에너지를 가한다. 초전도 소재인 니오븀은 입자가속기의 에너지 공급용 초전도 RF 공동기 소재로 이용되고 있다. 니오븀은 용점이 2477℃로 매우 높아서 항공기 엔진이나 원자력발전소의 핵연료피복재와 같은 내열용 소재로 이용되고 있으며, 활성금속이어서 전자빔용접으로 접합을 하고 있는 실정이다. 전자빔 용접법은 진공 중에서 행하여지기 때문에 진공 chamber의 체적에 따라 용접물의 크기가 제한적이며, 장비가 고가이기 때문에 현재 국내에서는 그 활용도가 미비한 실정이지만 고밀도 에너지의

정밀 용접이 가능하며 진공 분위기에서 용접하기 때문에 활성금속의 용접이 용이한 전자빔 용접에 대한 연구가 국외에서처럼 국내에서도 활발하게 진행 중이다.

따라서 본 연구에서는 어닐링된 순수 Nb 판재의 전자빔 용접성을 조사하기 위하여 용접금속 및 열영향부의 미세조직, 인장강도, 비커스경도, SEM을 이용한 파면분석을 수행 하여 그것을 검토하였다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1 실험소재

본 실험에 사용된 소재는 두께 2.8mm의 순수 Nb압연 판재를 사용하였으며, 모재 Nb판재는 어닐링 되어 있는 상태이다. 순수 Nb의 화학조성은 Table 1 에 제시하였다. Nb 판재는 Figure 1 에 제시한 것처럼 138mm x 82mm x 2.8mm의 크기로 준비하고 용접 이음부는 milling 가공하여 이음부의 틈새를 최소화 하였다. 그리고 Nb판재의 세척절차 ( TIC(Trichloroethylene) 용액과 BN cleaner(80℃) 강알칼리 용액에 담그고 각각 초음파 탈지5분~10분 후 탈이온수에 수세, 혼산 용액 30℃ (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> : HNO<sub>3</sub> : HF) 1:1:1 용액에 넣고 1분 동안 화학연마 후 LN<sub>2</sub> agitation, 초음파린스를 2회 실시, IPA린스 후 LN<sub>2</sub> Gas spray dry, Dry oven(80℃)에 1시간 건조)를 거친 후 I Square 맞대기 용접을 하기 위해 준비하였다.

Table 1 Chemical composition (in wt%)

Nb	Ta	W	Ti	Fe	Si
99.9	0.0254	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

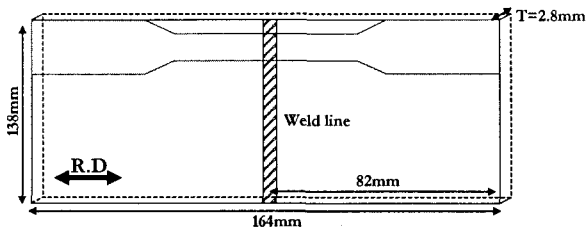


Figure 1. Preparation of weld coupon ( I square butt joint)

2.2 전자빔 용접

전자빔 용접기는 최대 가속전압 150kv, 빔 전류 100mA까지 성능을 발휘할 수 있는 Mec사의 KHD-503장치를 사용하였다. Niobium Sheet를 지그에 고정시키고 챔버에 장입 후 용접조건은 초기실험 B.O.P의 실험을 통하여 상·하부의 건전한 용접부를 얻을 수 있는 Table 2 에 제시한 조건을 사용하였다.

Table 2 Electron beam welding condition

Acceleration Voltage (kv)	Beam Current (mA)	Weld Speed (mm/min)	Vaccum (torr)	Focal Position (F±0)
130	40	600	$1.2 \times 10^{-4}$	950.5 (F+80.5)

2.3 인장시험

인장시험기의 용량이 100KN인 Zwick사의 Zwick/Roell100 machine을 사용하였으며, Figure 2에 제시된 인장시험편으로 용접부의 비드는 표점 거리의 중심에 위치시키고 비드를 제거한 상태로 로드셀 용량 10ton, Test Speed 2.00mm/min 의 속도로 모재 2개 전자빔 용접 시험편 3개를 인장시험 하여 최대인장강도, 항복강도, 연신율을 측정하였다.

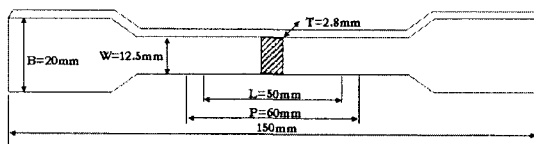


Figure 2. Dimension of transverse weld tensile specimen

2.4 비커스 경도시험

용접 단면을 마운팅, 그라인딩 폴리싱 후 에칭하여 FUTURE - TECH 사의 FV-700 경도 시험기를 이용하여 비커스 경도계의 하중 500g, 시험표면에 압입자 유지시간 10sec, 용접부 중심을

기준으로 0.5mm 간격으로 용접금속, 열영향부, 모재 단면의 경도를 측정하여 grape로 그려서 용접금속, 열영향부, 모재의 경도를 조사하였다.

2.5macrostructure and Microstructure

용접 후 다이아몬드 cutter를 이용하여 용접단면을 채워하여 마운팅, 그라인딩, 폴리싱 한 후, 에칭하여 OLYMPUS OPTICAL CO., LTD의 AX 70TRF 광학현미경 기계장치를 사용하여 50~200배율 까지 용접금속, 열영향부, 모재의 조직을 비교 관찰 하였다.

2.6 SEM 파면분석

인장시험편의 파단부위를 채취한 후 알코올에 넣어 2분간 초음파 세척하여 인장시험편 파단부의 결함이나 기공의 유무를 검사하기 위하여 주사전자 현미경을 이용해서 500~3000배율로 파단부를 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 3은 인장시험에 대한 모든 결과를 나타내고 있으며, Figure 3은 전자빔 용접된 시험편과 모재의 인장강도와 연신율을 비교한 그래프이다. 모재의 경우 인장강도와 연신율이 197.5와 33.88로 측정되었고 용접금속의 경우 165.8과 25.72로 모재의 경우보다 낮게 측정되었다.

Figure 4는 맞대기 용접한 niobium sheet의 Base metal, HAZ, Weld metal부의 미세조직을 보여주고 있다. 미세조직을 관찰한 결과 용접금속 단면을 관찰 했을 때 주상정 조직이 열방산 방향의 반대 방향으로 형성된 것을 관찰 하였고, 어닐링된 모재의 경우는 등축정이 관찰 되었으며, 모재에서 용접부 중심으로 갈수록 결정립이 조대해지는 경향을 보였다. 이는 용접부가 고온의 열을 받아 결정립이 성장한 것으로 생각된다.

Figure 5은 용접부 중심으로부터 거리에 따른 경도 분포를 측정한 결과이다. 비커스 경도계의 하중 500g, 시험표면에 압입자 유지시간 10sec, 용접부 중심을 기준으로 좌우 0.5mm간격으로 측정하였다. 용접금속부의 경도가 대략 63~66Hv, 열영향부 58~62Hv, 모재의 경우가 64~65Hv로 측정되었으며 Transverse weld 인장시험편의 인장시험시 파단이 열영향부에서 발생한 것과 잘 일치한다.

Figure 6은 인장시험편의 파단부위의 기공이나 결함 유무를 파악하기 위하여 SEM으로 파단부위를 관

찰한 것이다. (a)는 인장시편의 단면을 나타내고 있으며 (1)~(3)은 단면을 좌측, 중심, 우측 부위를 2000배율로 관찰 한 것이다. 파단부위는 매우 연신된 형상을 보였으며 기공이나 결함은 관찰 되지 않았다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 어닐링된 순수 Nb 판재의 전자빔 용접성을 조사하기 위하여 용접금속 및 열영향부의 미세조직, 인장강도, 비커스경도, SEM을 이용한 파면분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 용접금속 단면을 관찰했을 때 주상정 조직이 열방산 방향의 반대 방향으로 형성된 것을 관찰하였고, 어닐링된 모재의 경우 등축정을 관찰 할 수 있었다.
2. Transverse weld 인장시편의 인장시험시 파단은 열영향부에서 발생하였으며, 인장강도는 165MPa로 모재 인장강도 197MPa에 비해 저하하였다. 이것은 용접부 단면을 Vickers 경도 측정하였을 때 모재와 용접금속의 경도는 63~66Hv인대 반해 열영향부의 경도가 58~62Hv로 저하된 결과와 잘 일치한다.
3. 인장시편의 파단부위인 열영향부를 SEM으로 관찰한 결과 결함이나 기공의 존재는 없는 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. 표준과학연구원 : 초전도 전자소자 응용기술 개발 p.3-11

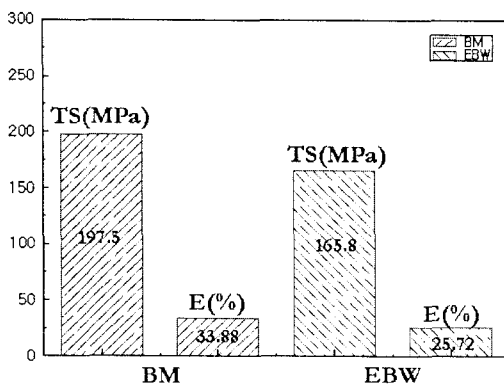


Figure 3. Comparison of tensile strength and elongation on base metal and weld metal

2. Kiyohide Terai, Hiroyoshi Nagai : The Application of Electron Beam Welding-Part1. Equipment Source Book on Electron Beam and Laser Welding, ASM, (1981), p.3
3. Donald E.Powers : Electron Beam Welding - An Overview Power Beam processing, ASM, (1988), p.105

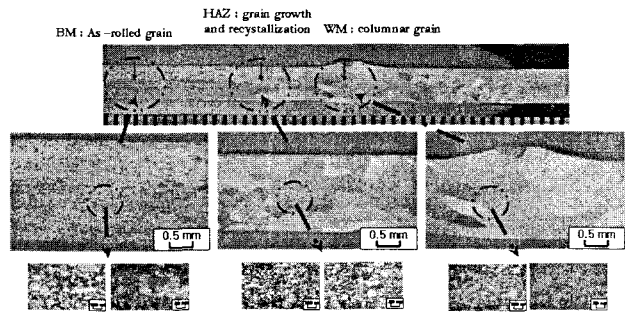


Figure 4. Microstructure of electron beam welded niobium

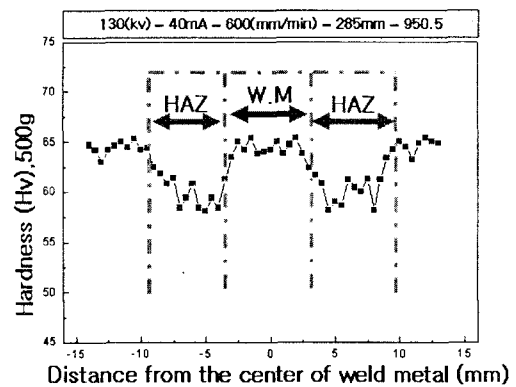


Figure 5. Hardness distribution with distance from the center of weld metal

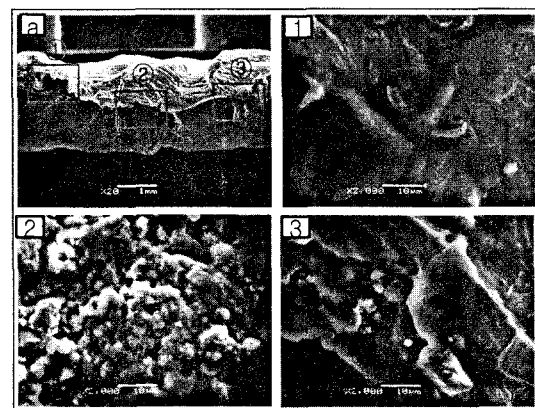


Figure 6. Observation of tensile specimen fracture section using SEM