

전자빔에 의한 초고진공 알루미늄챔버 용접

최만호* · 길계환** · 최우천**

Electron beam welding for Ultra High Vacuum Alminum Chamber

M. H. Choi*, K. H. Gil** and W. C. Choi**

1. 서 론

초고진공용 Al합금제 진공챔버(vacuum chamber)를 전자빔용접 (electron beam welding)으로 제작하였다. 전자빔용접은 용접부가 좁고 깊은 bead를 얻을 수 있고 열영향, 열변형, 용접부의 산화층이 없는 등의 특징이 있어 Al합금제 진공부품 용접법으로 우수하다. 이 전자빔용접에 의한 초고진공챔버 용접에 대해서 보고한다.

2. 초고진공 챔버

포항가속기 저장링챔버는 크게 sector chamber I, II, straight chamber로 구성되며, 여러작은 챔버가 그 사이에 조립된다. 저장링은 전자빔을 5 시간 이상 저장하기 위해 low 10^{-10} torr(1torr는 760분의 1기압) 이하의 초고진공이 유지되어야 한다^{1,2)}. 용접에 의해 제작된 챔버와 부품들은 초고진공에 적합하도록 누설(leak)이 없고 용접변형을 최소화 하는 것이 요구되고 있다^{3,4)}.

저장링의 sector chamber와 straight chamber 사

이에 연결되는 부품중에는, corrector magnet의 자석내부에 설치되는 corrector chamber와 본격 가동시 screen monitor등의 대응으로 사용되는 dummy chamber가 있다(그림 1). 이들 챔버의 전체길이는 각각 320, 220 mm 이고, 진공부의 단면은 28×120 , 28×88 mm의 타원형이다(그림 2, 3). 따라서, 이 챔버의 몸통(body)부분은 타원가공이므로 기계가공이 난이하고, wire-cutting가공의 경우 제작단가가 고가이므로, Al 6063-T5로 압출(extrusion) 하는 방법을 택하였다. 압출된 몸체의 양단에 HF 203, HF 152 flange를 용접해야 하는데 측면에서 용접할 경우 단면변화로 인하여 RF impedance가 증가되며, 가속기 전자빔은

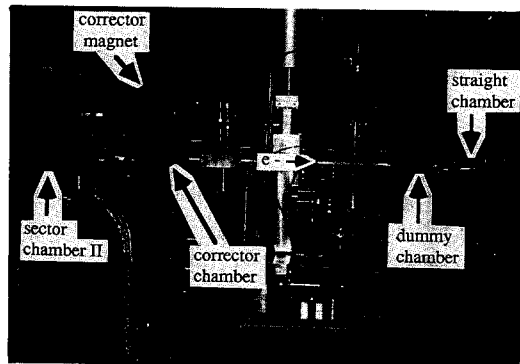


그림 1 저장링챔버와 전자석

* 정희원, 포항가속기연구소 진공실

** 비희원, 포항가속기연구소 진공실

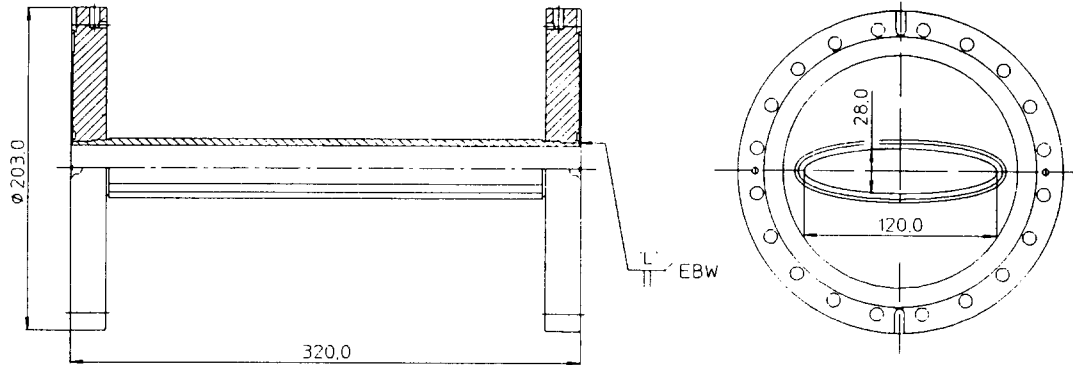


그림 2 Corrector chamber

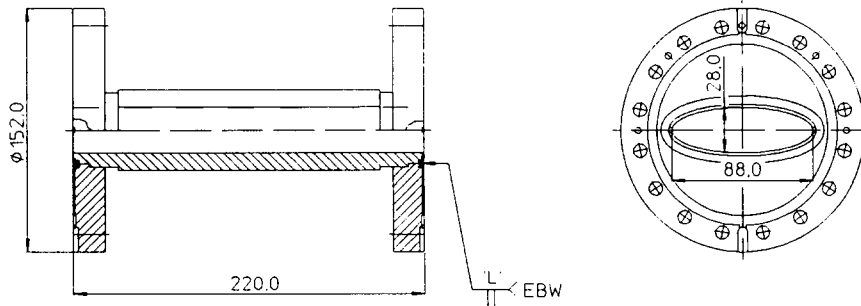


그림 3 Dummy chamber

전에 악영향을 미치므로 몸체의 축방향에서 용접이 행해져야 한다. 결국 flange면상의 용접공간 부족으로 알루미늄 TIG용접이 불가능해지므로 정밀용접인 전자빔용접을 하게 되었다.

3. 용접시공

3.1 전처리

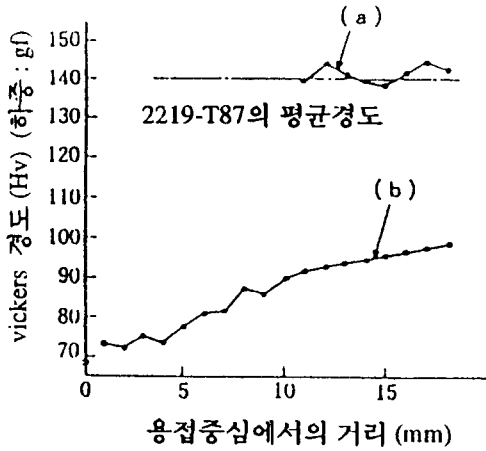
압출후 용접부위를 정밀 절삭가공하고 전처리는 절삭유, 금속분말등을 제거한다. 또한 진공부하를 줄이기 위해 용접물 뿐만 아니라, 용접실 내부에서 사용되는 모든 고정구등을 알콜(alcohol)로 세정한다.

3.2 개선가공

일반적으로 초고진공 용기에 사용되는 알루미늄 flange는 용접부의 열거동에 주의할 필요가 있다.

알루미늄합금은 고용화처리 온도를 넘는 환경에 노출되면 재료강도가 저하되고, 또한 시효온도 이상에서 장시간 유지되면 서서히 기계적 특성이 저하된다. 진공부품에 적용된 개선과 일반적인 pipe-flange이음의 용접결과를 나타내보면 그림 4와 같다⁵⁾. 그림 4 (a)와 같은 trench는 진공sealing을 해야하는 flange표면에 경도변화를 주지 않기 때문에 이상적인 용접설계이다. 그림 4 (b)와 같은 trench는 sealing 부위에 급격한 경도 저하로 인하여 sealing이 되지 않는다.

전자빔용접은 빠른 열전달에 의한 급냉 때문에 그림 5와 같은 초기설계에서는 미소균열(micro crack)이 발생하여 누설의 원인이 되었다. 따라서 용접부의 냉각속도를 줄이기 위해 trench를 가공하여 그림 6과 같이 개선하였다. 이것은 용접후 냉각속도를 줄일 수 있고 sealing면에 경도변화를 최소화시킬 수 있다.



(a) type - A

(b) type - B

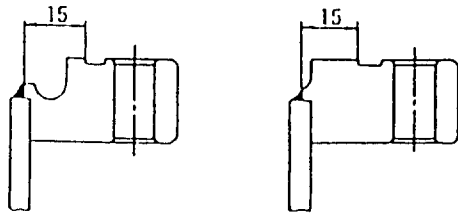


그림 4 용접열에 의한 flange경도

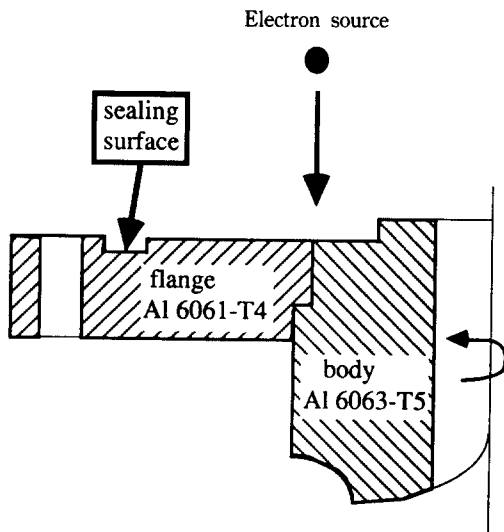
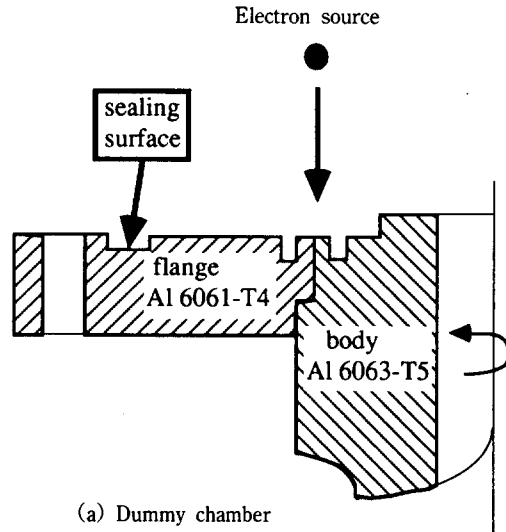
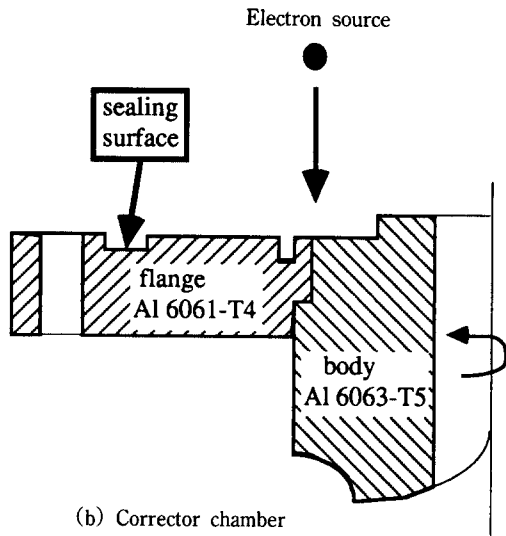


그림 5 초기 용접설계



(a) Dummy chamber



(b) Corrector chamber

그림 6 변경후 용접설계

3.3 용접

진공용접에서는 용접이음의 강도보다도 기밀이 우선적으로 요구된다. 따라서, 진공기밀을 쉽도록 하기 위해 용접부의 단면적을 줄인다. 이것은 기공 (porosity)과 같은 내부 결함이 존재하면 초고진공 영역에서 기공 내부의 trapped gas(수소가스)가 진공중으로 서서히 방출하여 최종도달압력에 영향을

주기 때문이다.

전자빔 용접실 압력은 전자의 진행을 가능하게 하고 또한, 산화를 피하기 위해 5×10^{-5} torr까지 진공배기(vacuum pumping)한후, 전자총(electron gun)에 15만 volt의 고전압이 부가되며 X-Y table이 타원궤적을 5 mm/sec정도로 이동하면서 welding groove를 국부적으로 용융한다. 용입이 깊은 경우 arcing등의 용접결함이 발생하기 쉽기 때문에, 기밀을 유지하고 용접변형이 극히 적은 범위에서 가능한한 용입깊이를 줄였다. 챔버의 양 flange사이의 평행도는 200 μm 이내여야 하기 때문에 용접시 변형량을 줄이기 위하여 고정구(fixture)를 사용하였다. 용접후의 변형량을 그림 7과 같이 3차원 측정기를 이용하여 조사한 결과 그 변형량은 공차범위 이내였다.



그림 7 Corrector chamber의 3차원측정 (CMM)

4. 누설검사와 보수

4.1 누설검사⁶⁾

용접이 완료된 챔버는 육안으로 외관검사를 하여 arcing, 균열등의 용접결함을 조사하며, 이후에 1×10^{-10} torr.l/sec 이하의 누설률을 갖는 헬륨누설 검출기를 이용하여 누설검사를 한다(그림 8). 용접부의 누설은 1×10^{-10} torr.l/sec이하는 합격으로 하고 그 이상은 보수를 한다. 보수를 해야하는 용접부는 bead 표면에 arcing이 발생한 것이고 누설률은 $1.2 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-9}$ torr.l/sec이었으며, 이들의 누설률을 구멍크기로 환산해 보면 수 μm 에서 nm 까지로 극히 미소하다.

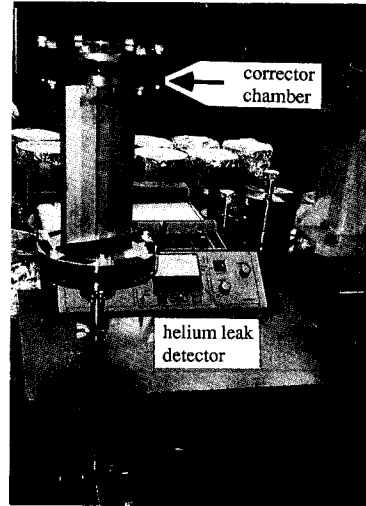
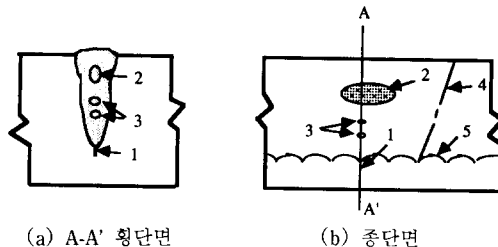


그림 8 Corrector chamber의 헬륨누설검사

4.2 용접결함

그림 9, 10은 전자빔용접에 생기기 쉬운 결함의 종류를 나타낸 것이며⁷⁾, 다른 용접법에서 볼 수 없는 전자빔용접 특유의 결함이다. 용융지 지단부에 발생하는 spiking은 root porosity라고 불리는 작은 틈새가 연속해서 발생하고 있다. 이것은 전자빔에서 용해된 금속이 비등해서 금속증기로 되나, Al합금 용융부는 냉각속도가 빠르기 때문에 그림에서 보는 바와 같이 용융부 아래에서 틈새가 남아 arcing porosity 결함이 발생하여 누설로 연결된다고 생각된다. 일단 발생된 누설은 보수용접(repair welding)을 본용접과 동일한 용접조건으로 실시하여 누설을 제거할 수 있었다.

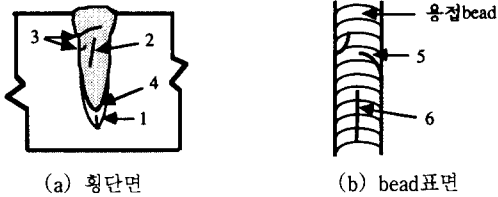


(a) A-A' 횡단면

(b) 종단면

- 1. root porosity 2. active zone porosity
- 3. blow hole 4. arcing porosity 5. spiking

그림 9 전자 beam용접부의 기공성 결함



1. root균열 2. 수직균열 3. 수평균열
4. cold shut 및 균열 5. 횡균열 6. 종균열

그림 10 용접균열의 형태

표값을 만족하기 때문에 초고진공에 적합한 용접법이다. 챔버는 용접부에 trench 구조를 가져야 진공 용접을 하는데 보다 효과적이다. 이것은 지금까지 전자빔 용접에서 시험되지 않은 것이기 때문에 향후 보다 많은 연구가 있으리라고 본다.

感謝의 글

전자빔용접을 수행해 주신 한국 웰테크 (Wel-Tech)에 감사의 뜻을 포함합니다.

5. 향후 검토사항

Al합금의 용접성은 그 합금의 종류에 따라 크게 다르고, 비 열처리재는 양호하지만 열처리합금 (6061, 2024, 7075)은 용접시 균열이 쉽게 발생된다고 알려져 있다⁸⁾.

한편, TIG용접에서는 용접봉의 선정과 접합부의 개선형상에 의해서 균열감수성에 대응하고 있지만, 전자빔용접에서는 용접봉 송급이 진공중이기 때문에 용이하지 않고 특수한 경우를 제외하고는 용접부의 개선형상, 용접물 재질(Al합금)의 변경등으로 해서 대응하고 있다.

향후 전자빔용접에서도 용접봉의 송급을 원활하게 할 수 있는 장치가 개발되면 용접부의 균열 감수성을 저하시킨 개선, 합금의 종류 조합이 크게 증가하여 복잡한 용접부의 용접이 가능하게 될 것으로 기대 된다.

6. 요약

이상 챔버의 용접에 대해서 기술하였다. 전자빔용접에 의하여 누설률이 1×10^{-10} torr./sec 이하로 목

참고 문헌

1. 김창균, 길계환, 최우천, 박수용, 포항가속기 저장링 진공chamber 설계. 한국진공학회지, Vol. 1, No.1, (1992), pp. 24-27.
2. 박종도, 한영진, 김형중, 윤화식, 최우천, 포항가속기 초도품 진공챔버에 대한 실험결과 한국진공학회지, Vol.1, No.3, (1992), pp. 336-340.
3. 최만호, 정상수, 김효윤, 김명진, 이해철, 한영진, 최우천, 포항가속기 진공 chamber용접, 한국진공학회지, Vol.2, No.3(1993) pp. 275-281.
4. 최만호, 김효윤, 한영진, 최우천, 포항가속기 저장링 chamber의 용접변형, 대한용접학회지, Vol. 11, No.4 (1993), pp. 36-43.
5. 포항가속기연구소 진공실, 초고진공 용접기술 (알루미늄과 그합금), 1994. FEB
6. 최만호, 김형중, 최우천, 포항가속기 저장링 챔버의 헬륨누설검사, 한국비파괴검사학회, Vol. 13, No.3(1993), pp. 31-38.
7. 산업과학기술연구소, 철강기술 VII(용접부분) pp. 158-167.
8. AWS, Welding Aluminum, 1984, pp. 42.