

초고진공용 부품 적용을 위한 스테인리스 스틸과 구리의 용접

Welding of Stainless Steel to Copper for UHV Component Application

홍만수, 김경렬, 박종도, 김영찬, 정진화

포항공과대학교 포항가속기연구소, 790-784, 포항

ABSTRACT 가속기의 저장링 및 빔라인에는 방사광을 차단 혹은 일부 통과 등의 목적으로 Photon Absorber와 같은 진공 부품이 사용되고 있으며, 이는 일반적으로 구리와 스테인리스 스틸 등의 이종재료를 브레이징 공정을 이용하여 제작함으로써 부품이 구조적 건성의 확보와 더불어 진공 환경 및 수밀을 유지하고 있다. 그러나, Photon Absorber는 사용 용도에 따라 구조적 형상이 서로 다르기 때문에 브레이징 공정을 적용하는 경우, 상대적으로 제품 생산가격의 상승, 유지보수 및 제작 불량에 따른 공정 제어의 어려움이 나타나고 있다. 본 연구에서는 스테인리스 스틸 (STS 304)과 구리 (OFHC Copper)의 이종금속에 접합에 GTAW 용접 공정 기술을 적용하여 제반 용접공정에 따른 용접부 성능 및 진공 특성 등을 검토하였다. 용접봉 (ER CuSi-A)을 직접 사용하여 이종 재료의 시험편에 GTAW 용접을 적용한 결과, 진공 누설율은 1×10^{-10} Torr · l/s 이하를 얻을 수 있었으며, 용접 접합부의 인장강도 210 MPa로써 구리 모재와 유사한 기계적 특성을 나타내었다.

Key Words :

GTAW(Gas Tungsten Arc Welding), Filler Metal, Leak Rate, UHV(Ultra-high Vacuum)

1. 서 론

포항방사광원 (Pohang Light Source)은 2.5 GeV의 고에너지 전자빔(electron beam)이 약 0.8 Tesla의 높은 자기장에 의해서 휘어질 때에 발생하는 고회도의 연X-선 및 경X-선에 걸친 다양한 파장의 방사광 (synchrotron radiation)을 실험에 이용하는 거대 실험 장치이다. 이러한 고에너지의 전자빔의 운전에는 실험에 요구되는 빔수명 (24 hr 이상, 100 mA)를 확보하기 위하여 진공챔버 내의 진공도를 10^{-10} Torr 이하의 초고진공 (UHV, ultra-high vacuum)의 상태로 유지하는 것이 필요하다. 특히, 가속장치의 저장링 (storage ring) 및 방사광관 (beam line)에서는 초고진공 환경하에서 고에너지의 방사광을 차단 또는 인출할 목적으로 Photon Stop, Photon Shutter, Photon Mask 등의 방사광 차단 또는 흡수를 위한 진공 부품이 사용되고 있다.

방사광 흡수체 (photon absorber)는 운전이력의 증가와 더불어 지속적인 방사광의 직접 접촉으로 인하여 국부적인 열부하 (thermal load)가 발생하며, 이로 인하여 부품의 변형 및 접합부의 열화에 따른 진공도 상승 또는 냉각수 누설 등이

나타나 가속장치의 운전을 불가능하게 하는 경우도 발생하게 된다. Photon Absorber는 일반적으로 초고진공 챔버 또는 외부의 구동장치와 연결하기 위한 스테인리스 스틸 몸체와 방사광을 차단 또는 흡수하기 위한 구리 흡수부로 구성된다. 특히, 이와 같은 이종재료로 구성된 Photon Absorber는 브레이징 접합을 이용하여 제작되고 있으나, 용도에 따라 구조적 형상이 서로 다르게 제작되고 있기 때문에 브레이징 공정을 적용하는 경우, 상대적으로 제품 생산가격의 상승, 유지보수 및 제작 불량에 따른 공정 제어의 어려움이 따르고 있다. 본 연구에서는 널리 사용되고 있는 GTAW 용접기술을 스테인리스 스틸 (STS 304)과 구리 (OFHC copper)의 이종금속에 접합에 적용할 목적으로 GTAW 용접공정에 따른 용접부 성능 및 진공 특성, 실기 적용을 위한 용접공정의 특성을 논하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 용접부설계

Photon Absorber 등과 같이 가속장치의 진공부품은 기계적강도 측면보다는 진공 기밀이 우

선시 된다. 이러한 사용 특성을 고려하여 GTAW 용접을 적용하기 위한 시험편은 Fig. 1에 도시한 바와 같은 형태가 되도록 용접 홈(groove)을 설계하였다. 이때, 용접 홈의 설계는 현재 사용되고 있는 여러 종류의 Photon Absorber의 형태를 참고하여 실제 적용이 가능하도록 하였다. 이와 같은 용접부 설계의 장점은 높은 열전도도와 열팽창계수를 가지고 있는 구리에 대하여 예열 없이 적은 용접 입열로 국부용융이 가능하며,[1] 용접 후 변형 및 잔류응력과 열응력을 줄일 수 있는 구조이다.

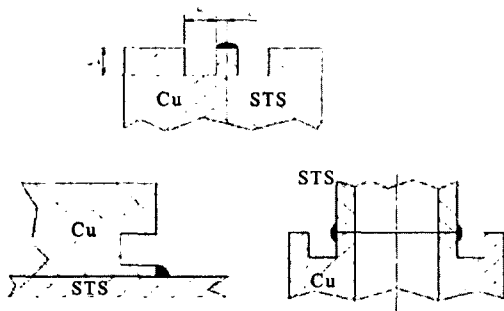


Fig.1 Configuration of GTAW grooves

2.2 용접조건

Table 2는 본 실험에 적용한 용접조건을 기술하고 있다. 용접봉은 직경 1.6 mm의 규소청동 와이어 (AWS A 5.7/ER CuSi-A)를 사용하였으며, 용접 전 모재 금속에 대한 오일, 산화피막 등의 제거를 위하여 가속기연구소의 진공부품 표준 세척 공정을 적용하였다[4].

Table 1. Applied GTAW process conditions

Base Metal	STS(304), Cu(OFHC)
Current	100-120 A
Voltage	18-20 V
Welding Speed	300 mm/150-180s
Electrode	EWTh-2 (Ø2.4)
Polarity	DCSP
Ar Gas	99.999%, 10 l/min
Pre Heat	None

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접공정의 특성

스테인리스 스틸과 구리와 같은 이종금속의 용접은 복잡하고 불일정한 용접조건에 의거하여

상당한 어려움이 뒤 따른다. 특히, 용접 결과물에 발생하는 균열은 Table 2와 같은 두 모재금속의 용융점, 열전도도, 열팽창계수 등 물리적인 차이에 크게 기인한다. 용접 대상물의 용융점 차이는 용융 금속의 불균일한 열 흐름과 희석율의 원인이 되고 있으며, 또한 용고 과정에서 용고속도의 차이는 저 용점 금속의 용접부 혹은 열영향부 근방에 균열과 용접물에 대한 변형의 원인이 된다. 스테인리스 스틸과 구리와 같이 열전도도의 큰 차이는 용접부에 가열과 냉각비의 차이가 생기며, 상대적으로 열전도도가 큰 구리의 경우는 용접열이 용접부로부터 멀리 떨어진 부분까지 급속히 전달되는 관계로 용접부의 원활한 용융에 어려움이 있다. 이에 따라 일반적으로 상대적 열전도도가 큰 구리 쪽은 용접 전 적당한 예열이 필요하다. 더욱이, 열팽창 차이에 따른 이종금속 용접 공정에서 영향은 냉각시에 열팽창계수가 큰 쪽에 수축량이 크게 생기며, 이러한 용고 수축의 차이로 인한 열응력은 용접 균열의 생성의 주된 원인이 되고 있다. 이와 같은 물리적 특성에 따른 이종금속 용접부에 특성을 분석하기 위해서는 접합부의 미세적 거동 및 열이동 현상, 기계적 특성 등의 파악이 요구되고 있으며, 특히, Photon Absorber 등의 초고진공 환경에 이용되고 있는 부품은 접합부의 진공도를 유지하기 위한 접합 성능의 확보가 우선적인 과제이다.

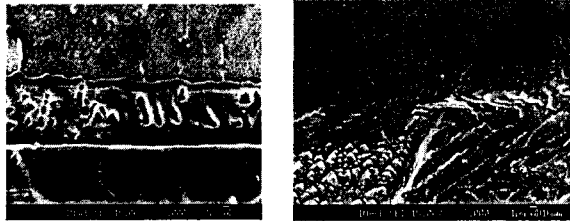
Table 2. Physical properties of base material

Metal	Melting Point (°C)	Thermal Conductivity (cal/°C/cm/sec)	Coefficient of Thermal Expansion (mm/m/°C)
STS (304)	1400- 1450	0.039	17.2
Cu (OFHC)	1019	0.94	16.88

3.2 용접 접합부 조직

Fig. 2는 맞대기 용접 시편 파단면의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다. Fig. 2 (a)는 모재금속 STS와 용접봉 ER CuSi-A에 대한 미세조직으로 용융부의 혼합역에 부분적으로 미소공동이 나타남을 알 수 있다. Fig. 2(b)는 모재금속 Cu와 용접봉 ER CuSi-A

에 대한 용융부 미세조직으로 두 이종금속의 혼합이 아주 잘 형성되어어 혼합된 용융금속에 대한 결합이 나타나지 않음을 알 수 있다.



(a) STS to CuSi-A (b) Cu to CuSi-A

Fig 2. SEM micrographs of welded zone

3.3 인장시험

용접부에 대한 기계적 특성을 파악하기 위하여 인장시험용 시편 (ASTM E8)을 준비하여 시험을 실시한 결과, Fig. 3과 같은 결과를 얻었다. 한쪽 맞대기 이음의 경우는 인장강도 값이 153 MPa로써 용접부에서 파단된 반면, 양쪽 맞대기와 겹치기 이음은 인장강도 값이 약 210 MPa로써 모재부에서 파단 되었다. 이때, 파괴 형태는 전형적인 연성파괴 구조를 나타내었다. 특히, 스테인리스 스틸과 구리와 같은 이종금속의 용접부 인장시험결과, 접합재의 변형은 스테인리스 스틸의 변형이 일어나기 전에 구리의 변형이 우선적으로 나타나 파괴에 이르게 됨으로써 접합재의 특성은 구리의 기계적 특성에 의해서 좌우됨이 관찰되었다.

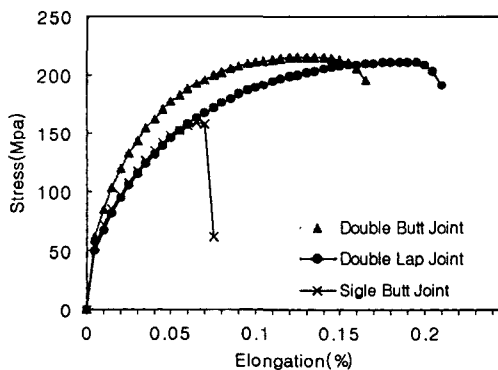


Fig. 3 Tensile strength of welded joint

3.4 진공시험

가속기에서는 전자빔의 저장과 방사광 실험을 위해 각종 가속장치 및 부품의 초고진공 진공 달성하기 위한 용접부에 허용하는 누설률(Leak rate)이 1×10^{-10} Torr · l/s 이하로 규정되고 있다[2][3]. 본 GTAW 용접 접합을 통한 시험편의 He 누설시험을 실시한 결과, 최종 누설율은 기준

값 1×10^{-10} Torr · l/s이하를 만족하였다.

4. 결 론

스테인리스 스틸과 구리의 이종금속에 접합에 GTAW 용접 공정 기술을 적용하여 제반 용접공정에 따른 용접부 성능 및 진공 특성 등을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 적정 용접흡의 설계를 통하여 용접 전 모재금속에 예열공정 없이 국부용융이 가능함을 확인하였다.
- 2) 시험편에 대한 용접부 건전성과 기계적 특성의 파악을 위하여 인장시험을 실시한 결과, 맞대기 및 겹치기 이음의 인장강도는 약 210 MPa 이었고, 구리측 모재부에서 인장파괴 되었다.
- 3) 헬륨누설검사를 통한 용접부의 누설율은 1×10^{-10} Torr · l/s 이하였다.

후기

본 연구는 MOST 및 POSCO 지원하의 기반 기술연구 프로그램의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사드린다.

참고문헌

1. ASM : Gas Tungsten Arc Welding of Dissimilar Metals, Metals Handbook, 8th Edition, Vol. 6. (1981) 348-349
2. JIS : Helium Leak Testing Method, JIS Z2331. (1991)
3. M. H. Choi, H. j. Kim and W. C. Choi : Helium Leak Test for the PLS Storage Ring Chamber Vol. 13, No. 3 (1993) 31-38
4. 포항공속기연구소 저장링부 진공실 : 가속기 저장링 진공 챔버 건설 종합 보고서, Vol. 3, Chap. V (1995)