

중성자 회절 실험용 Vanadium 용기의 Nd:YAG 레이저 용접기술

Nd:YAG Laser Welding of Vanadium Can for Neutron Diffraction Experiment

한국원자력연구소 정진만, 김철중

I. 서론

원자력 연구소의 다목적 연구로인 "하나로"의 방사능을 이용한 시료분석 방법중, 중성자를 이용한 시료분석은 이미 수년 전부터 진행되어 왔다. 그러나 시료를 담은 용기는 재질에 따라 용기의 spectrum이 나타나며, 특히 시료의 특성에 용기의 성분이 포함되면 시료의 성분을 분석하기 난이한 경우가 많다. 따라서 중성자 회절실험용기는 일정한 신호값을 갖는 vanadium 재질을 사용한다.

기존의 vanadium 용기는 주문 제작 방식의 seamless 방식의 tube를 이용한 용기이나, 용기의 두께가 두껍고 제작이 까다로워 가격이 매우 고가이다.

본 연구는 0.125mm 두께의 vanadium 판을 fillet 용접하여 직경 8mm의 원통용기를 제작하였으며, 용기의 바닥은 Ti-Zr 합금을 이용하여 vanadium 용기과 레이저 용접을 하였다. 또한 용융점이 높은 vanadium 박판의 레이저 용접부위의 용접상태를 측정하였다.

현재 한국원자력연구소에서도 vanadium 용기 제작을 위한 제관장치 및 레이저 용접을 위한 용접 지그를 개발하였으며, 제작된 용기를 이용하여 국내 원자로에 투입 시료를 분석하고 있고, 또한 제작된 용기를 이용하여 프랑스 국립연구소에서 분석 연구를 수행 중에 있다.

II. 실험방법

1. 사용재료

vanadium 용기를 제작하기 위해서 두께 0.125mm 의 vanadium sheet를 구입하였다. vanadium 용기의 순도는 약 99.99% 이상의 vanadium을 사용하였으며, vanadium 재료의 물성 특징은 표-1 과 같다. 이 표에서와 같이 기화점과 용융점의 온도차가 크므로서 레이저 용접 특성은 매우 좋을 것으로 판단된다.

표-1. Vanadium 재료의 물성표

Boiling Point	Melting Point	Latent Heat of Evaporation	Latent Heat of Fusion	Thermal Conductivity
3380 °C	1890 °C	8975 J/g	345 J/g	30.7 W/m °K

2. 용기제작 및 용접지그

vanadium 용기는 그림-1 과 같다. 이런 용기의 제관을 위해서 제관장치를 제작하였다. 용기의 규격은 직경 8.0mm, 길이 48mm 원통형으로 원통으로 제작하기 위하여 그림은 사진-1 과 같은 장치를 제작하였다.

용기의 레이저 용접을 위해서 용접 지그를 제작하였다. 레이저 용접방식은 펄스형 Nd:YAG 레이저 용접기를 이용하여 fillet 용접을 수행하였다. 레이저 용접시 사용된 보호가스는 Ar. 가스를 사용하였으며, 사진-2에서 보는 바와 같이 용기 내부의 보호가스 투입을 위해서 용기양쪽에 보호가스 공급 장치를 부착하고, 레이저 빔이 조사하는 부분에 용접 노즐을 통하여 보호가스를 공급하였다.

3. 레이저 용접조건

레이저 용접을 위한 광학계는 다음과 같이 구성하였다. 직경 1000 um의 광섬유를 이용하여 전송된 레이저빔은 f 25mm + 20mm의 집광 장치를 이용하여 가공물에 조사하였다. 이때 사용된 렌즈의 크기는 직경 10 mm, f 25mm 및 20mm 의 SF11 재질의 집광렌즈이며, 이는 용접시 용접 상태를 monitoring 하기 위하여 제작하였다. 레이저 용접 빔의 직경은 약 800 um 정도의 크기를 갖는다.

표-2. 레이저 용접 조건

Average Power	Repetition Rate	Peak Power	Shielding Gas	Welding Speed
48 W	20 PPS	8 kW	Ar. 25liter/min.	200 mm/min.

또한 레이저 용접시 용접 부위의 산화 방지를 위해서 Ar. 보호 가스를 레이저 빔 축으로 분사하였으며, 이때 동축 노즐의 직경은 약 8 liter/min 정도의 유량을 제어하였다.

III. 결과 및 고찰

레이저 용접된 부분의 기계적 특성으로는 금속 현미경 조직 검사를 위하여 용접 단면을 에칭 하였다. vanadium 에칭은 대부분 HF 용액을 이용하여 에칭하며, 이번에는 1ml의 HF 에 30ml 질산 과 30 ml lactic acid (C3H6O3)을 이용하여 약 10 초동안 용접 시편을 탈지면으로 문질렀다. 이렇게 에칭된 용접단면은 사진-3 과 같다. 그리고 비드폭을 측정된 결과 폭은 약 800um 정도이며, 그림 1에서도 용접 비드의 크기와 동일 하게 나타난다.

용접된 부분의 기계적 특성으로 vanadium 용접 부위의 경도는 모재보다 약 20% 증가한 Hv=120 정도의 값을 갖는다. 그러나 용접 경계 부분인 HAZ 부분의 크기가 약 100um 정도로 매우 좁게 나타난다. 이는 모재의 두께가 박판이므로 열전달의 효과가 거의 없음을 알수 있다.

또한 펄스 레이저를 사용함으로써 적은 입열량으로 용입 깊이를 증가 시키면서 변형을 감소 시킬수 있다.

이렇게 제작된 vanadium 용기는 사진-4 와 같다.

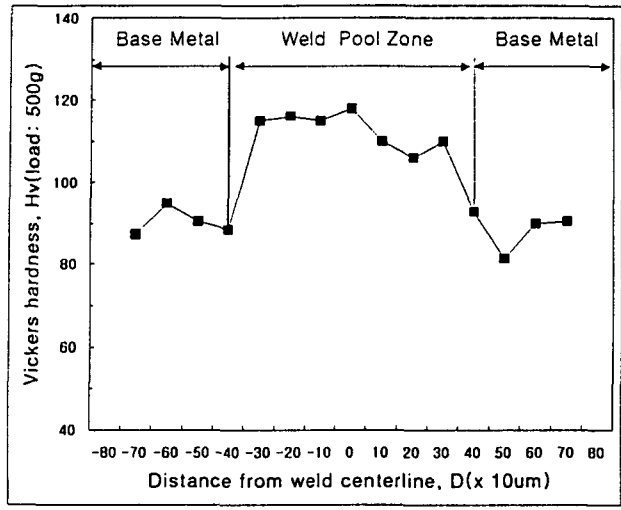


그림-1. 레이저 용접부위 경도분포도

제작된 용기의 기능 실험으로는 vanadium 용기에 중성자를 조사하는 것이다. 이러한 중성자 조사에 의한 용접부위의 spectrum 분석은 용접부위의 균일도 및 상태를 알 수 있으며, 레이저 용접부위가 중성자에 의한 spectrum 신호 상태를 알 수 있다. 그림-2는 중성자를 조사한 경우 용접된 vanadium 용기의 spectrum을 나타낸다. 여기서 spectrum의 신호에서 noise 신호가 평균이하로 나타나므로 용기로서의 사용이 가능하다.

IV. 결론

중성자 회절 실험용 vanadium 용기 제작을 위하여 두께가 0.125 mm인 박판 vanadium foil을 펄스형 Nd:YAG 레이저 가공기를 이용하여 fillet 방식의 용접을 실시한 후 광학 현미경 및 hardness 측정기를 이용하여 용접부위를 측정하였다.

레이저 seam 용접 부위의 용접 균일도는 양호하며, 용접 부위의 기계적 특성도 양호하였다. 또한 원자력 연구소에서 제작된 vanadium 용기에 ‘하나로’ 연구소에서 중성자를 조사하였다. 이때 레이저 용접 부위에서 나타난 spectrum은 매우 양호하게 나타났다. 따라서 용기의 레이저 용접부분은 용접 불량에 없는 것으로 판단된다.

이와 같이 개발된 시스템을 이용하여 vanadium 용기를 용접함으로써 고 부가가치의 제품을 생산할 수 있으며, 소량의 다품종 작업이 가능하므로 생산성을 극대화시킬 수 있다.

V. 참고문헌

[1] Laser Material Processing, William M. Steen, 1994.
 [2] Guide to Laser Materials Processing, LIA, Sidney S. Charschan, 1993.
 [3] 레이저 가공 및 광계측 기술 개발 KAERI/RR-1492/94, 한국원자력연구소, 1994.

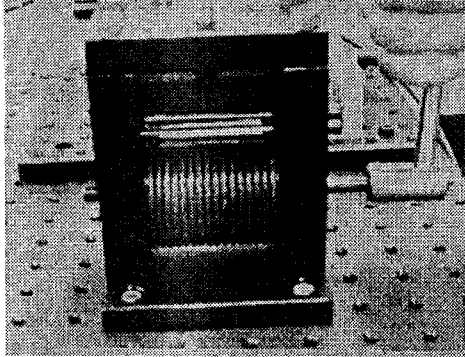


사진-1. 직경 8mm vanadium 제관장치

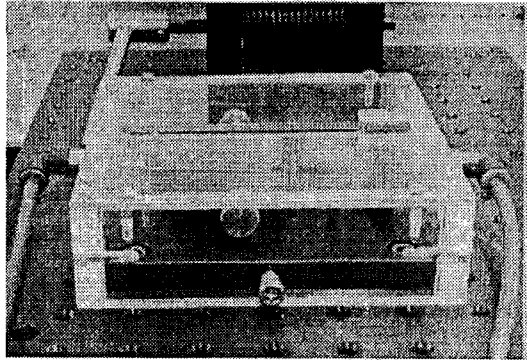


사진-2. 레이저 용접 지그

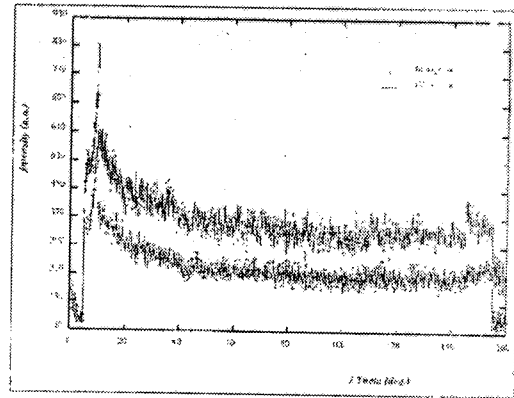
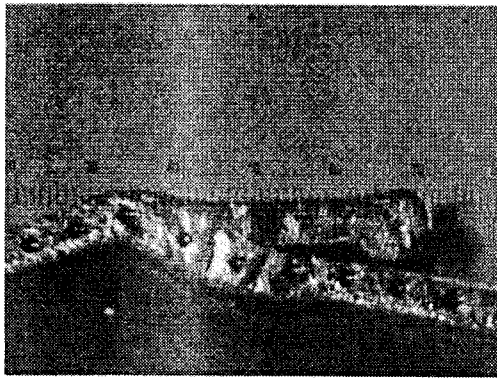


사진-3. 레이저 용접 단면 그림-2, 제조된 vanadium 용기의 중성자 spectrum

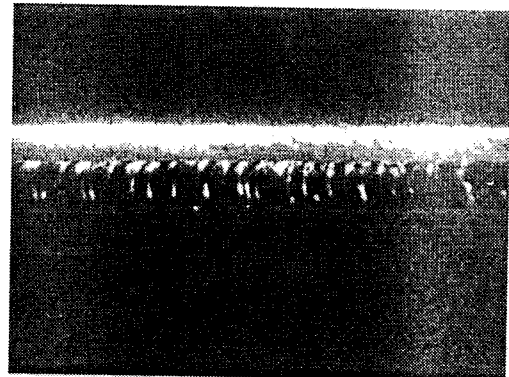
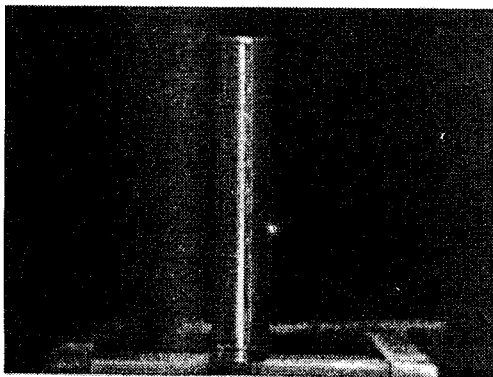


사진-4. 제작된 vanadium 용기 및 용접 부위