

# 이종 금속 니오븀과 구리의 레이저 용접에 관한 연구

## Laser welding of dissimilar metals: Niobium to Copper

한국원자력 연구소 정진만, 정태문, 김철중

### 1. 서론

원자 번호가 41인 니오븀(Niobium)은 액체 헬륨의 온도인 4K 근처의 극저온에서 초전도성을 띄고 고자장하에서 초전도성이 유지되는 것으로 알려져 있어, 직접적인 방법을 이용한 대용량 전기 발생(large-scale generation of electric power) 가능성이 기대되고 있다.<sup>1</sup> 이러한, 니오븀은 가격이 비싸서, 자체적으로 대용량 발전기와 같은 설비로 제작하기에 어려움이 많으므로, 실제 대용량 발전기 등에 적용하기 위해서는 열 및 전기 전도도가 좋고, 저렴한 구리와 같은 금속과의 용접에 관한 연구가 선행적으로 이루어져야 한다.

니오븀과 구리와 같은 이종 금속간의 용접은 특수한 목적 즉, 동일 구조물에서 부분적으로 차별화된 기계적 특성을 요구할 때나, 열 및 전기 전도성과 기계적 강도가 동시에 요구될 경우 및 고가의 재료를 절약하기 위한 목적에서 사용된다.<sup>2</sup> 이종 금속간의 용접은 전자빔 용접이나 레이저 용접이 가능하나, 발전기와 같은 설비 용접의 경우에는 비용이 적게 들고 일반적인 작업 환경에서 용접할 수 있는 레이저 용접이 주로 사용된다. 그러나, 레이저를 이용한 이종 금속간의 용접은 모재(workpiece)의 물리적인 성질(physical properties)로 인해 허용되는 종류가 극히 제한되므로, 두 금속간의 용접 가능성 및 용접 특성이 조사되어야 한다.

현재까지, 니오븀과 구리간의 레이저 용접에 관한 연구는 국내외를 막론하고 거의 전무한 실정으로, 본 연구에서는 광섬유 전송 Nd:YAG 레이저 용접 장치를 이용해서 니오븀과 구리사이의 용접 가능성 및 두 이종 금속간에 용접 특성을 조사하였다.

### 2. 이종 금속 니오븀과 구리의 Nd:YAG 레이저 용접

사용된 Nd:YAG 레이저 용접 장치는 Rofin-Sinar사에서 제작된 평균 출력 1.2 kW급의 펄스형 Nd:YAG 레이저로, 시간적으로 레이저 펄스의 세기를 조절할 수 있는 특성(pulse shaping)이 있다. 레이저 펄스의 출력은 직경이 1000  $\mu\text{m}$ 인 광섬유로 전송되고, 전송된 레이저의 출력은 집속 광학계를 통해서 시편에 집속된다. 집속 광학계는 초점 거리가 25 mm인 시준 렌즈(collimation lens)와 초점 거리가 20 mm인 집속 렌즈(focusing lens)로 구성되어, 집속 spot 크기가 800  $\mu\text{m}$ 를 갖도록 설계되었다.<sup>3</sup> 집속 광학계를 선형 이동기(translator)에 부착하여 lap joint 용접이 가능하도록 하였고, 이때,

선형 이동기의 속도는 200 mm/min였다. 또한, 보호가스로 약 1.5 기압에서 8 l/min의 유량을 갖는 아르곤을 사용하였다.

사용된 구리와 니오븀 시편의 물리적 특성은 표 1에 나타나 있다. 반사율이 높기 때문에 base metal로 사용된 구리 시편은 두께가 약 2 mm였고, 두께가 각각 0.5와 1 mm인 니오븀 시편들을 구리 시편위에 올려 놓아 lap joint 용접을 수행하였다. 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 니오븀은 열 용량이 크고 구리는 열전도도가 크기 때문에, 니오븀과 구리 사이의 용접은 높은 펄스당 에너지가 요구되었다. 니오븀 시편의 두께가 1 mm이고 레이저 펄스의 펄스폭이 7.5 ms일 때, 약 25 J 이하의 펄스당 에너지 혹은 3.3 kW 이하의 첨두 출력(peak power)에서는 용접이 되지 않았다.

25 J 이상의 펄스당 에너지로 레이저 용접시 용접 진행 방향으로 용접 표면 조도(roughness)가 좋지 않은 것으로 관측되어, 조도를 개선하기 위해서 pulse shaping 기술을 사용하였다. 그림 1과 2는 각각 pulse shaping 기술을 사용하여 얻은 니오븀과 구리사이의 용접 표면과 용접 단면도이다. 이 때, 용접폭 및 용입의 깊이는 각각 약 1 mm와 1.4 mm로 측정되었다. 레이저 용접시 종종 관찰되는 균열(crack)은 거의 관측되지 않았고, 용접 표면 조도도 비교적 개선된 것을 볼 수 있었다.

### 3. 결론

니오븀과 구리의 이종 금속간 lap joint 용접 실험을 수행하였다. 현재까지, 니오븀과 구리의 이종 금속 사이의 용접은 가능한 것으로 판명되었고, 니오븀 시편의 두께가 1 mm 이고 레이저 펄스폭이 7.5 ms일 때, 니오븀과 구리가 용접되기 위해 필요한 펄스당 에너지는 약 25 J이었다. 앞으로, 레이저 펄스폭 및 pulse shaping과 같은 니오븀과 구리의 이종 금속간의 용접 최적화 조건 등이 조사될 예정이다.

### 4. 참고 문헌

1. <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/2814/41.html>
2. 정군석 외, 한국레이저가공학회지, vol.2, 1(1999).
3. 정진만 외, 한국 원자력학회 '95 추계학술발표회 논문집 II, 961(1995).

표 1. 니오븀과 구리 시편의 물리적 특성

	니오븀(Nb)	구리(Cu)
원자번호	41	29
녹는점	2468 °C	1083 °C
끓는점	4742 °C	2567 °C
기화열	7360 Jg <sup>-1</sup>	4796 Jg <sup>-1</sup>
용융열	290 Jg <sup>-1</sup>	205 Jg <sup>-1</sup>
열팽창계수	7.2×10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	17×10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
비열	268 JK <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup>	385 JK <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup>
열전도도	53.7 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	401 Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

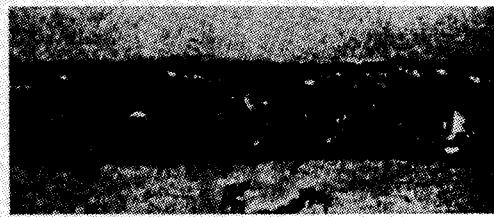


그림 1 니오븀/구리 용접의 표면 사진

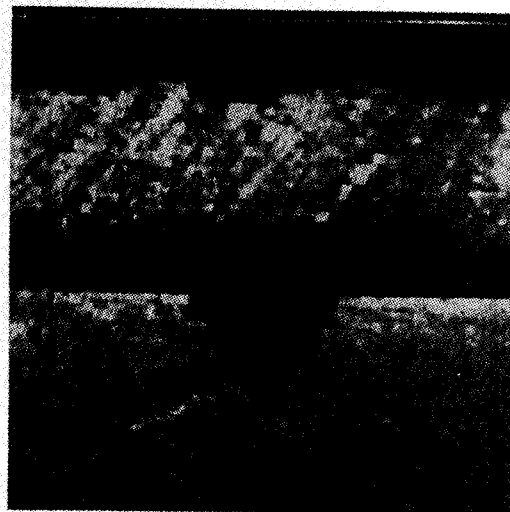


그림 2 니오븀/구리 용접의 단면 사진