

Zircaloy-4 박판에서의 Nd-YAG 레이저 용접성 A Weldability of Zircaloy-4 Sheets Using Nd:YAG Laser

* 한국원자력연구소 **황용화**, 민덕기, 이형권
** 한국기술교육대학교 신소재공학과 고진현

1. 서론

레이저 용접은 고에너지 밀도의 집속빔을 이용하므로 타 용접법에 비해 좁고 깊은 용융부를 형성하고, 용접속도가 크므로 고효율 용접이 가능하다. 또한 열에 의한 열영향부와 변질층이 적어 주로 박판 및 정밀용접과 원자력 분야에 많이 적용되고 있다. Zircaloy-4는 다른 금속에 비해 중성자 흡수 단면적이 적고, 방사선 조사후 및 고온에서의 기계적 성질과 내식성, 내마모성 등 특성이 우수하므로 핵연료 피복관 및 구조재의 지지격자 소재로 널리 이용되고 있다. 경수로용 핵연료봉 지지격자는 현재 laser 용접으로 제작되고 있으며, 핵연료 분야에 확대적용 가능성을 알아보기 위해 Zircaloy-4 재료간의 레이저 용접시 여러 주요 변수와 적절한 용접조건을 도출하고자 하였다.

2. 실험방법

평균출력 550W급 펄스형 Nd:YAG 레이저 용접 시스템(Lumonics, JK701H)을 이용하고, 풀림 처리된 1.39 mm 및 2 mm 동종두께의 Zircaloy-4 판재를 압연방향으로 시편을 만들었다. 용접시 발생할 수 있는 재료의 변형을 최소로 줄이기 위해 특수 제작된 지그를 이송 고정구에 설치하여 용접재료를 고정하고, 챔브내의 이상적인 용접조건(산소 7 ppm, 습도 100 ppm이하)에서 두 가지 방법(Butt 및 Bead-on-plate)으로 용접한 후 그 결과를 서로 비교하였다. Zircaloy-4 판재의 최적 용접 조건을 구하기 위해 용접공정변수(레이저의 출력, pulse duration, 용접속도, defocusing)들이 시편의 표면상태, 용접폭과 용접깊이 등 용접에 미치는 영향과 용접 단면의 미세조직을 관찰하였다

3. 실험결과

용입 깊이에 가해지는 출력에너지의 증가에 비례하여 용입 및 비드폭의 비가 커짐을 알 수 있고, 박판에서의 형상비(폭/깊이비), Spattering 현상과 비드 상태는 펄스에너지에 관계없이 비슷한 경향을 나타내었다. Bead-on-plate용접에서는 용접속도가 증가할수록 피용접물의 표면에서 전도되는 열이 감소하여 용입폭이 상대적으로 좁아지며 용접비드의 하부 폭이 썩기모양의 둥근 삼각형을 이루었다. Butt 용접에서의 비드 모양은 완전 용입되는 용접부의 폭이 균일하게 형성되어 상부폭과 하부폭이 완만한 사다리꼴 형상을 이루는 것으로 나타났다. 시편의 미세조직에서 Zircaloy-4의 용접부는 액상영역으로 가열, 냉각되었던 용접선을 중심으로부터 β 상을 통해 냉각되므로 조대한 주상정 결정립(columnar grain)이 생기고 β 입자 내에 α 상이 상호 연결되는 바스켓위브(basketweave) 미세조직이 형성되었다. 열영향부는 α 와 α - β 영역으로 가열되었다가 냉각되므로 β 입자내 α 상들이 서로 평행한 침상의 Widmanstätten α 조직과 용접열사이클에 의해 α -기지조직이 공존하는 입자 미세화 영역이 형성되었다. 또 용접부 위의 경도는 용접부 230-250Hv, 열영향부 210-220Hv, 모재 190-210Hv 범위로 나타났다.