

STS 316L 조사 연료봉의 TIG 용접에 관한 연구
A study on the TIG welding for STS 316L irradiation fuel rod

이철용, 배기광, 박희성, 문제선, 김수성, 양명승
한국원자력연구소

1. 서론

안전성이 크게 강조되는 원자력분야에서 연료봉 용접은 매우 중요한 비중을 차지하고 있다. 연료봉 용접방법으로는 TIG(Tungsten Inert Gas) 아크용접, 저항용접(Resistance Welding), 레이저용접(Laser Beam Welding) 및 전자빔용접(Electron Beam Welding) 등이 있다. 현재 국내에서 사용중인 용접방법은 용접재료 특성과 사용환경에 따라서 달라지는데, 중수로 핵연료에서는 저항용접을, 하나로 핵연료에서는 전자빔용접을 사용하고 있으며, DUPIC 핵연료에서는 레이저 용접등을 연구하고 있다[1-3].

조사시험용 DUPIC 핵연료 제조에서는 핵연료를 연료봉 피복관 안에 삽입하고 봉단마개를 끼워맞춘 후 용접하였는데, 봉단마개와 피복관의 용접재료를 STS 316L로 선정하고, 용접방법으로 TIG 아크용접을 하여 조사 연료봉을 제조하였다. 본 연구에서는 조사 연료봉 제조시 사용된 TIG 용접특성을 파악하고, TIG 용접으로 제조된 조사 연료봉의 건전성을 평가하고자 한다.

2. TIG 조사 연료봉 장치

조사 연료봉은 그림1.과 같이 연료봉내에 1.2기압 상태에서 He 가스를 채우고 스프링, space block, 소결체를 넣고 STS 316L 재질의 피복관과 봉단마개를 TIG 아크용접을 하였다. 용접되는 1/2"(12.7mm) 피복관의 두께는 0.89mm로 기존 중수로 핵연료 Zircaloy-4피복관 두께 0.415mm 보다 2배이상 두껍다. 또한 피복관과 봉단마개가 끼워지는 부분은 5/100공차로 가공하였다.

본 연구에서는 제살용접을 기준으로 용접시 직류 아크전류와 용접시간 및 용접속도 등의 변수를 프로그램하여 자동제어할 수 있는 Orbital TIG 용접장치를 사용하였는데, 용접시 산화방지와 연료봉내 He 충진을 위해 0.01Torr 의 진공후 He을 주입한 다음 Ar 차폐상태에서 용접하였다. 또한 조사 연료봉 용접 후 건전성을 평가하기 위해 용접부위 조직검사, 인장시험, 헬륨 누출(He leak)시험, 연료봉내 He 성분분석 및 치수검사 등을 수행하였다.

3. 시험결과 및 고찰

그림2와 같은 TIG 용접기로 차폐가스인 Ar을 14ℓ/min 유량으로 흘리면서 4단계의 레벨별로 아크 전류값을 34A에서 50A로 변화를 주어 용접하였을 때 피복관과 봉단마개의 경계면에 생기는 용접비드와 용접깊이의 변화를 관찰하였다. 용접된 시료는 abrasive wheel의 cutter로 절단하고, grinding과 polishing 과정을 거치고 최종적으로 에칭하였다. 그림 3, 4는 아크전류 38A와 50A에서의 용접형상인데, 텅스텐 전극을 피복관과 봉단마개의 경계면 상부중심에 위치하여 용접하여도 용융형상이 피복관 쪽으로 이동하여 생겼다. 이것은 피복관과 봉단마개의 열전도차에 기인한 것으로 판단되며, 용접위치를 경계면에서 봉단마개 쪽으로 이동하여야 하고, 피복관과 봉단마개가 완전하게 용접되기 위해서는 50A 보다 큰 전류값이 필요함을 알 수 있었다. 그림5는 용접위치를 봉단마개 쪽으로 약간 이동시키고, 아크전류를 1레벨 70A, 2레벨 65A, 3레벨 60A, 4레벨 56A값으로 용접하였을 때 최적의 조건을 얻었다. 이 용접조건으로 모의 시편을 제조하여 다음과 같이 건전성 실험을 하였다. 먼저 용접전후의 연료봉의 길이변화 측정에서는 약 0.3에서 0.5mm의 감소가 생겼으며, 용접 후 He 누출 검사를 수행하였는데 2.5×10^{-7} cc/sec 의 기준치 이하로 He누출은 없음이 확인되었다. 그리고 연료봉내 채워진 He 성분분석을 하였는데, He 충전율은 평균 89%로 기준치 80% 이상이었으며, 용접부위 인장시험에서는 피복관 중간부위에서 파단됨을 알 수 있었다. 또한 용접부위 조직검사에서는 총24부위를 관찰하였는데 피복관 두께의 최소 130%에서 최대 204%의 만족스러운 용접결과를 보였다. 따라서 조사 연료봉의 TIG 용접에 대해 건전성이 입증되고, 최종

적으로 연구용 원자로에서 조사시험 될 연료봉이 제조되었다.

4. 결론

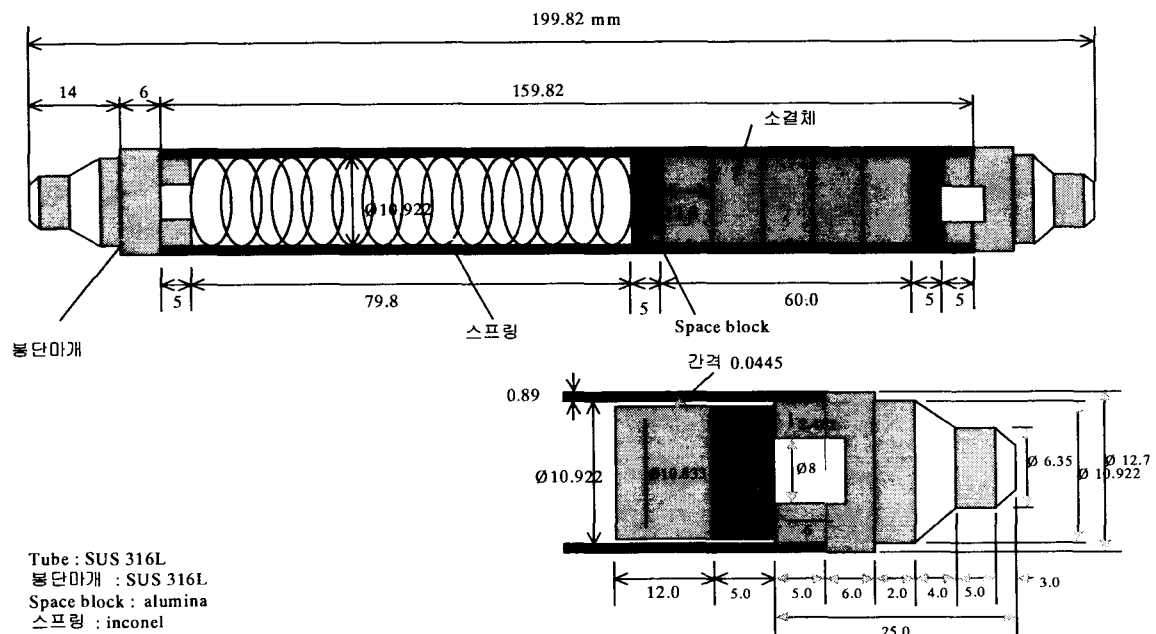
- 1) 현재 설계된 조사 연료봉의 용접시 용접위치는 피복관 쪽으로 약간 이동하여야 하고, 아크전류는 용접비드와 용입깊이를 관찰하여 본 바와 같이 1레벨에서 70A 정도가 적절하다.
- 2) TIG 용접방법에 의한 STS 316L 조사 연료봉 용접은 건전성 실험을 통해서 매우 양호한 특성을 확인하였다.

감 사

본 연구는 과학기술부의 원자력연구 개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

1. 김수성., 광섬유에 의한 Zircaloy-4 봉단마개밀봉의 Nd:YAG LBW의 최적조건에 관한 연구, 대한용접학회, 제15권6호, pp 85-95, 1997.
2. 윤국한., 레이저빔에 의한 이중 스텐레스강(오스테나이트계/페라이트계)의 접합에 관한 연구, 대한금속학회지, Vol. 34, No. 10, pp1367-1374, 1996.
3. Y.Song., A study of precipitation in as-welded 316LN plate using 316L/317L weld metal, materials science and eng., A212, pp 228-234, 1996.



Mini-element(0.89mm tube)

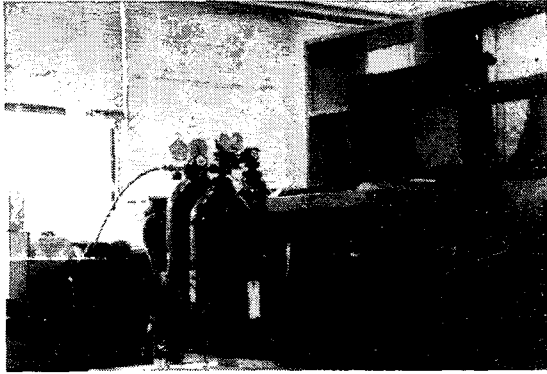


그림2. TIG 용접장치

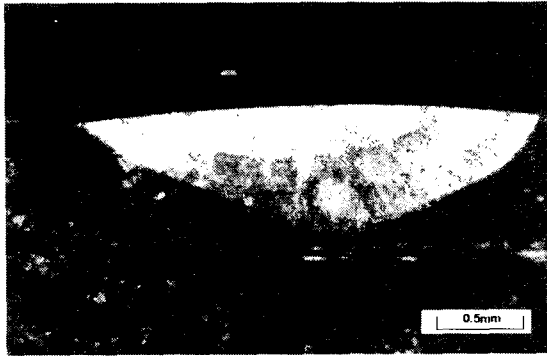


그림 3. 아크전류 38A에서 용접형상



그림 4. 아크전류 50A에서 용접형상

