

저항업셋 용접에서 Weld line이 기계적 성질에 미치는 영향

*
한국원자력연구소 이정원, 고진현
최창범, 정성훈

1. 서언

중수로형 원자력발전소의 핵연료 제조과정에서 용접은 중요한 공정으로 용접부의 품질관리는 아주 엄격하다. 피복관과 봉단마개를 용접한 부위는 핵연료의 원자로내 연소중 핵분열 물질의 누출가능성이 가장 높은 부위로 원자로의 안전성과 직접 관련되는 문제로 핵연료 제조공정중 가장 중요한 공정이 바로 이 봉단마개 용접이다. 이러한 봉단마개 용접부의 중요성 때문에 이에 관한 많은 연구가 수행되고 있다.

봉단마개 용접의 품질관리는 미세조직 검사에 의한 용접부에서 용접되지 않는 계면의 길이 즉, Weld line이 용접부 단면에서 차지하는 비율에 의하여 수행되고 있으나, 실질적으로 이 Weld line이 용접부의 건전성, 특히 기계적 거동에 미치는 영향과의 관계에 대한 연구는 거의 없다.

본 연구에서는 저항 업셋 용접 방식으로 수행되고 있는 Zircaloy-4 피복관의 양단 밀봉 용접에 있어 용접조건에 따른 Weld line 생성과 용접부 인장강도, 밀봉파열강도, 용접부 형상, 용접부 미세경도 변화등의 기계적 성질과의 상관 관계를 조사하여 신뢰성 높은 봉단마개 용접성 확보를 위한 정량적인 자료 구축에 그 목적이 있다.

2. 실험방법

핵연료 재료로 사용되고 있는 Zircaloy-4 합금의 피복관과 봉단마개를 저항 업셋 용접방식으로 용접하였다. 이때 피복관은 두께 0.4mm, 외경 13.

08mm의 tube였으며, 봉단마개는 외경 13.34mm, 용접접촉부 두께 0.7mm의 Fig. 1 과 같은 용접접합 설계로 하였다.

용접조건은 전극 가압력을 72 Kpa(10.5 psi)로 일정하게 유지한 상태에서 Fig 2와 같은 용접전류 파형을 사용해 용접열(main heat)만을 40 %에서 75 %까지 변화시키면서 이에 따른 용접전류 변화, 길이감소량, 인장시험, 밀봉파열시험, 미세경도 측정등을 행하였다.

3. 결과

용접열 변화에 따른 용접전류 및 길이감소량의 변화는 용접열이 증가할수록 용접전류 및 길이감소량은 직선적으로 증가함을 알 수 있었다.

용접열별 인장강도의 변화는 용접열이 증가할수록 인장강도 값은 증가하는 경향을 보여준다. 특히 40 % - 50 %에서의 인장강도는 급격히 증가하며 50 %이상부터는 용접부가 아닌 피복관에서 파괴가 발생하였다. 따라서 인장강도는 용접열 50 %가 용접부 파괴의 임계조건이 되며 그 이상 조건에서는 용접부 인장강도는 항상 피복관 인장강도보다 커서 문제가 되지 않았다.

용접부 밀봉파열 시험결과는 그 경향이 용접부 인장강도 시험결과와 유사한 경향을 나타내었다. 여기서도 용접열 50 %가 용접부 밀봉파열강도의 임계점이 되며 그 이상 조건에서는 밀봉파열강도 또한 문제가 되지 않았다.

용접부의 미세조직 검사결과는 용접열이 증가할수록 건전용접량은 증가하는 경향을 보였다. 따라서 인장 및 밀봉파열강도의 임계조건이 50 %이상 조건이고 건전용접량이 증가할수록 양호한 용접조건으로 생각할 수 있다.

용접조건별 용접부의 미세경도를 측정한 결과 미세경도 값은 용접부 중심부에서 가장 높았으며 봉단마개 및 피복관 쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보여주었다. 또 용접열이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.

4. 결론

중수로형 핵연료봉 봉단마개 용접에 있어 용접조건에 따른 기계적 성질의 변화와 최적용접조건 확보를 위한 실험결과

- 1) 용접열 증가에 따른 용접전류 및 길이감소량은 거의 직선적으로 증가하였다.
- 2) 용접부 인장강도 및 밀봉파열 강도는 용접열이 증가할수록 증가하였으며 50 %가 임계 조건으로 그 이상에서는 피복관 강도보다 강하여 문제가 되지 않았다.
- 3) 미세조직 검사에서도 용접열이 증가할수록 건전용접량은 증가하였으며 임계값 50 %이상 부터는 양호한 용접조건으로 확인되었다.
- 4) 용접부 미세경도 측정결과는 용접계면 부근일수록, 용접열이 증가할수록 미세경도 값은 증가하였다.

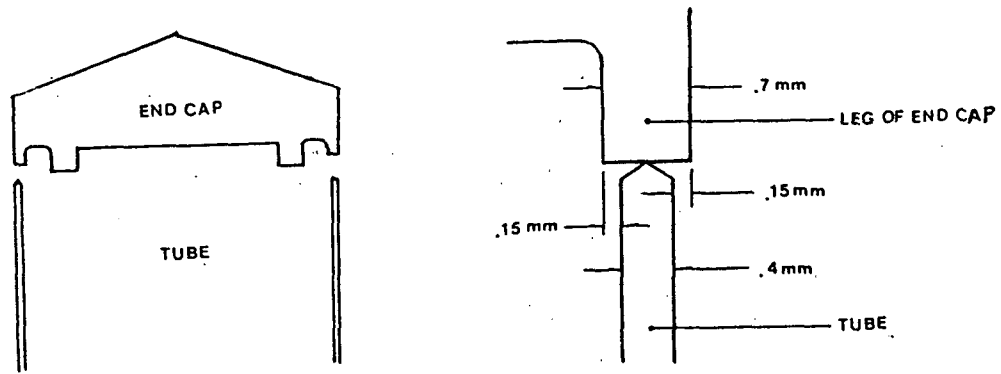


Fig. 1 Joint design for end cap resistance upset welding

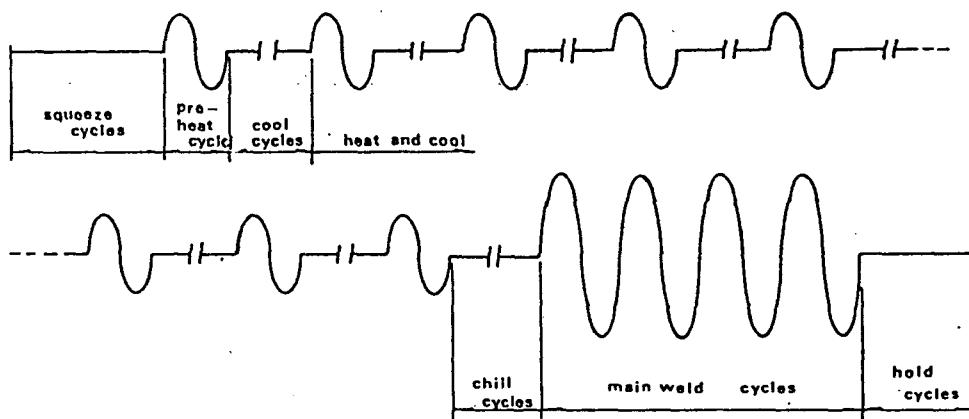


Fig. 2 Weld cycle for end cap resistance upset welding