

Ir-192 산업용 방사선원의 생산을 위한 저항용접기술 개발

<Development of resistance welding technology for producing Ir-192 industrial radiation sources>

한인수*, 손광재*, 이준식*, 장경덕*, 박울재*

In-Su Han*, Kwang-Jae Son*, Jun-Sig Lee*, Kyung-Duk Jang*, Ul-Jae Park*

*한국원자력연구원 동위원소이용연구센터

*Radioisotope Research & Development Center, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 305-353, Korea

ABSTRACT

Ir-192 source is one of the most widely used radioisotopes in the field of non-destructive testing applications. To obtain radiation safety it is necessary to take into consideration integrity of welded joint in the production of sealed radiation source. Generally, the quality of a resistance welded joint is strongly influenced by process parameters during the welding process such as current, welding time and applied force. In this study, resistance welding technology and system were developed for sealing of Ir-192 industrial radiation source capsules. In order to evaluate the weld quality in real time, quantitative relationships between process parameters and electrode displacement were also established.

1. 서 론

밀봉선원은 방사성물질을 용기에 넣어 새지 않도록 그대로의 형태로 방사선원을 사용하는 것으로 1962년 연구용원자로를 이용한 RI 시험생산을 시작으로 40년 넘게 국내에 방사선원, 방사성추적자등 여러 분야에서 광범위하게 활용되어 산업발전, 의료복지, 학술연구 등 산업경쟁력 및 국민 삶의 질 향상에 기여가 큰 품목이기 때문에 이 제품의 개발 및 생산기술의 고급화는 매우 중요하다. 제품의 특성상 방사성동위원소를 포함하고 있기 때문에 캡슐의 기계적 강도 및 밀봉성능의 완벽한 유지가 필수적이다. 또한 캡슐의 기계적 안전성은 용접부의 품질에 의해 좌우되기 때문에 높은 수준의 밀봉용접기술의 확보가 필요하다. Ir-192 선원은 밀봉선원으로 치료용 및 비파괴검사용 방사선원으로 사용된다. 적용분야로는 의학용으로 유방암, 자궁암등 각종 암치료 분야에 널리 사용되고 비파괴검사 분야에서는 영상이 선명하고 초점이 작아 건축물, 발전소 등 여러 곳에서 활용되고 있다.

현재 원자력연구소에서는 연구용 원자로 『하나로』와 부대시설인 핫셀을 이용하여 연간 5-10만 Ci 규모로 Ir-192 NDT 선원 캡슐을 GTAW 기술로 생산중이다. 하지만 GTAW는 전극봉의 손

상으로 잦은 교체로 작업자 피폭량의 증가를 초래하고 또 생산성 저하의 주요요인이 되며, 장시간 용접에 의한 과도한 입열량으로 용접불량을 초래하였다. 마지막으로 작업자의 숙련도에 따라 품질이 좌우된다. 이러한 문제점을 보완하기 위한 저항용접을 적용하였다..

저항용접의 장점은 장수명의 전극으로 작업자 피폭을 감소하고 생산성이 향상되고 단시간에 용접공정이 완료되어 적은 입열량으로 용접불량을 방지하고 재현성이 우수하다. 또한 작업자 의존도가 낮아서 작업자 숙련도에 따라서 품질이 좌우되지 않는다.[1]

이러한 저항용접은 건전한 용접품질을 얻는 것이 중요하다. 저항용접 공정의 품질감시 하는 방법에는 전극변위의 측정이 있다. 용접조건에 따라 피용접재는 용접 열에 의해 팽창-수축이 일어나서 전극이 움직이는 원인이 된다.

따라서 본 연구에서는 전극변위에 미치는 공정 변수를 정량적·정성적으로 제시하고 저항용접전원장치, 가압시스템 및 제어시스템의 설계 및 제작하였으며 실험계획법을 이용하여 전류, 가압력 및 통전시간 등 용접조건이 용접부 형상에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 선원에 대한 최적의 용접조건을 도출하였다. [2]

2. 실험

2. 1 시스템의 설계 및 구성

저항용접시스템은 Fig. 1과 같이 가압시스템, 용접전원장치, 제어시스템의 3가지 부분으로 구성된다. 가압시스템은 전극가압력 5 ~ 150 kgf의 범위로 사용할 수 있도록 설계하였고, 용접전원장치는 전류는 1~10 kA의 범위로 통전시간은 1/60 sec로 제어할 수 있게 설계하였다.

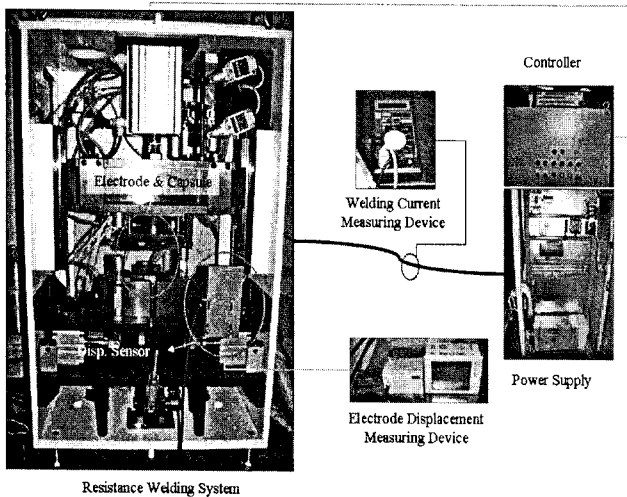


Fig. 1 Photographs of resistance welding system

2. 2 실험

용접 품질에 영향을 주는 공정변수 중 가압력, 전류, 용접시간을 변화해 가며 실험을 실시하였다. 총 65회의 실험을 실시하였으며 이에 대한 용접조건은 Table 1에 보인바와 같다.

Table. 1 Process parameters for experiment

Parameter	Symbol	Unit	Min.	Av.	Max.
Applied Force	F	N	184.7	246.3	307.9
Welding Current	I	kA	3.29	3.62	3.95
Welding Time	T	cycle	2	3	4

각각의 조건에서 용접된 시편의 단면검사를 위하여 마운팅, 폴리싱, 에칭한 후 광학현미경으로 관찰하였다.

Fig. 2은 최적의 용접조건으로 용접을 한 단면을 보여준다.

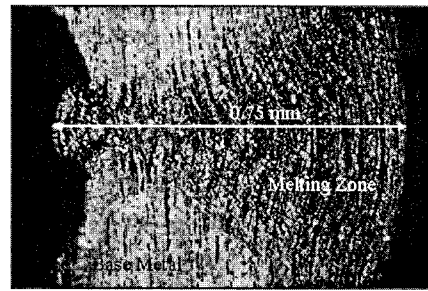


Fig. 2 Cross-section of welded joint

실험결과 최적의 용접조건은 가압력은 184 N, 용접전류는 3.29 kA 그리고 용접시간은 4 cycle 일때의 조건에서 건전한 용접부를 얻을 수 있었다.

3. 실험식의 도출

본 연구에서는 종속변수로 전극변위로 설정하고 독립변수로 가압력, 전류, 용접시간을 기반으로 변수들 중심으로 다중회귀분석을 통하여 선형 및 곡선형 모델을 도출하였다. (식, 1~2)

linear model

$$D = K_0 + K_1F + K_2I + K_3T \quad (1)$$

curvilinear model

$$D = \beta_0 F^{\beta_1} I^{\beta_2} T^{\beta_3} \quad (2)$$

D는 전극변위 F는 가압력, I는 전류, T는 용접시간, K, β 는 매개변수이다.

4. 결과 및 고찰

타 방사선원 적용을 기초자료로 활용하여 공정변수와 품질관계를 정량화하였다. 본 실험에서는 직접적인 방법으로 비접촉식 레이저 변위센서를 이용하여 용접이 진행되는 동안 전극변위의 변화량으로 나타내었다. 점용접시 발생하는 열에 의하여 용접 접촉부의 접촉저항이 변화하여 피용재의 팽창과 수축이 일어나 전극이 움직이는 원인이 된다.[3,4] 따라서 용접과정 중 비접촉식 레이저 변위센서로 전극 변위를 측정하여 용접부 품질을 평가하였다.

Fig. 3는 용융부의 전극변위를 이용한 단면사진이다. 전극변위가 0.12 mm보다 작으면 용융이 거의 일어나지 않았고 0.35 mm보다 크면 과도한 표면 용융이 나타난다. 하지만 전극변위가 0.12 mm보다 크고 0.35 mm보다 작을 때 좋은 품질을 얻을 수 있었다.

실험한 측정 데이터를 토대로 변수들 간의 관련성을 규명하기 위하여 SPSS를 사용하여 회귀분석을 통한 (3), (4) 실험식을 도출하였다.

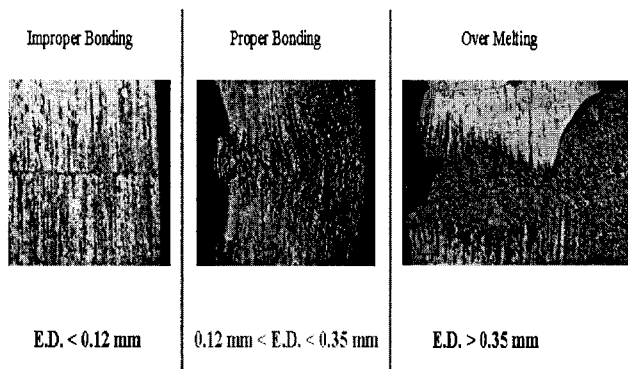


Fig. 3 Photographs of cross-section in accordance with electrode displacement

Linear Model

$$D = -0.594 - 0.0063F + 0.151I + 0.0958T \quad (3)$$

Curvilinear Model

$$D = 10^{-4.502} (F)^{-0.313} (I)^{4.247} (T)^{2.883} \quad (4)$$

실험을 통해서 얻은 65개의 데이터를 회귀모델에 적용하여 용접부의 품질에 미치는 영향을 알아보았다. 실험식을 도출한 결과 곡선형모델이 선형모델에 비해 전극변위의 관심영역에서 더 적합하다는 것을 알 수 있었다. (Fig. 4)

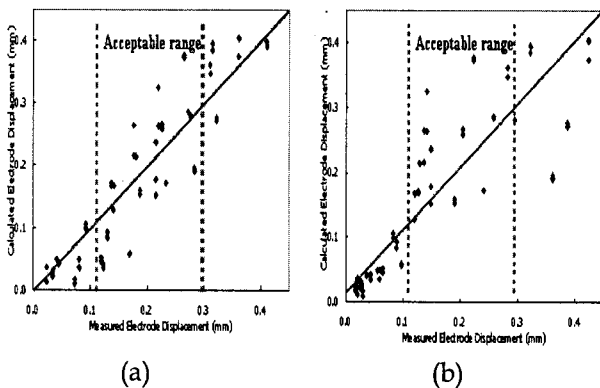


Fig. 4 Electrode displacement model analysis, (a) linear model, (b) curvilinear model

5. 결 론

밀봉선원 생산을 위한 저항용접의 전원 공급 장치 및 가압시스템 설계 및 제작하여 공정을 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 캡슐의 형상 및 용도에 따른 접합 메커니즘을 규명하고 전기저항 및 열전달 등 용접공정에 접촉부 형상에 미치는 영향을 정성적·정량적으로 제시하여 하였다. 먼저 저항용접에 영향을 주는 공정변수인 가압력, 전류, 용접시간을 변화를 주면서 최적의 용접조건 가압력 184N, 용접전류 3.29kA, 용접시간 4

cycle에서 건전한 용접부를 얻을 수 있었다. 그리고 공정변수와 품질관계를 정량화하기 위해서 레이저 변위센서를 이용하여 용접 공정이 진행되는 동안 전극변위가 0.12 mm보다 크고 0.35 mm 보다 작을 때 용접부의 품질을 얻을 수 있다. 따라서 이를 통해 품질평가가 가능함을 확인할 수 있었다.

또한 용접부의 실시간 품질평가를 위한 실험식을 도출하였다.

참 고 문 헌

- [1] S.M. Cho, Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Results, Journal of KWS, Vol. 15, No. 2, April, 1997
- [2] J.W. Lww, C.H. Park, J.H. Koh, S.H. Jung, M.K. Chung, An Investigation of Welding Variables on Resistance Upset Welding for End Capping Of HWR Fuel Elements, Journal of KWS, Vol. 7, No. 2, Jun, 1989
- [3] Min Jou, Real time monitoring weld quality of resistance spot welding for fabrication of sheet metal assemblies, Journal of Materials Processing Technology 132(2003) 102-113
- [4] Y.H. Park and J.W. Kim, A study on a Signal Processing Method for Detection of the Weld Seam by Using Laser Displacement Senaor, Journal of KWS, Vol. 13, No. 4, Dec. 1995
- [5] B.H. Chng, Y.Zhou, Numerical study on the effect of electrode force in small-scale resistance spot welding