

고온용 이종금속간 전자빔 용접부의 기계적성질에 관한 연구

A Study on the Mechanical Properties of the Electron Beam Welded Joint between Dissimilar Heat Resistant Alloys

윤 영철*, 김 대영*, 윤 중근*

*현대중공업 산업기술연구소

1. 서 론

선박용 디젤 엔진의 배기 밸브, 발전용 가스 터빈 및 항공기용 제트 엔진의 부품 소재로 널리 사용되고 있는 니켈기 초내열합금은 고온에서의 기계적 성질, 내식성 등이 우수한 반면 내열강 소재에 비해 가격이 비싼 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 고온의 가혹한 조건에서 사용되는 부분은 니켈기 초내열합금을 여타 부분은 일반 내열강을 사용하여 두가지의 이종 금속을 접합하여 부품을 제조하는 기술이 연구되고 있다.

특히 선박용 디젤 엔진의 배기 밸브는 헤드(head)부가 약 500℃ 이상의 고온에서 배기 가스 등에 의한 부식 분위기에 노출되나 스템(stem)부는 상대적으로 덜 열악한 환경임을 고려하여, 헤드부에 Nimonic 80A와 같은 니켈기 초내열합금을 사용하고 스템부에 일반 내열강을 사용하여 두가지 금속을 마찰 압접, 고상 확산 접합 등의 방법으로 접합하는 조합형 배기 밸브가 개발되고 있다[1].

본 연구에서는 이종 금속간의 접합 방법을 이용한 조합형 배기 밸브 제조의 일환으로 니켈기 초내열합금인 Nimonic 80A와 내열강인 SNCrW를 이종 금속간 고품질 정밀 용접이 가능한 전자빔 용접 방법으로 접합을 시도하였으며, 용접부에 대한 특성 평가를 통해 실 제품에의 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 Nimonic 80A는 1080℃에서 용체화처리 후 700℃에서 시효처리한 것이며,

SNCrW는 1000℃에서 용체화처리한 소재를 사용하였다. 직경 60mm의 봉강을 밀착, 가접한 상태에서 전자빔 용접기의 진공 챔버 내에서 회전하며 용접하였다. 이때 사용한 전자빔 용접기는 최대 가속전압이 150kV, 최대 빔 전류가 100mA인 것으로, 본 연구에 사용한 시편은 150kV, 60mA 조건과 150kV, 40mA 조건으로 용접한 것을 사용하였다.

전자빔 용접으로 제작한 시편에 대해서 UT 검사를 실시하여 결함 유무를 확인하였으며 용접부에 대한 미세조직 관찰, 경도시험, 인장시험 등을 통해 용접부 특성을 평가하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

두가지 조건으로 제작한 시편에 대해서 UT 검사를 실시한 결과 150kV, 60mA 조건의 경우는 중심부에 결함이 존재하였으나 150kV, 40mA 조건의 경우는 건전한 것으로 확인되었으며, 건전한 시편을 사용하여 용접부에 대한 평가를 실시하였다.

그림 1의 용접부에 대한 단면 마크로 조직에서 용착 금속의 폭이 약 1.5mm 정도로 매우 균일하며 거시적인 결함이 존재하지 않음을 알 수 있다. 용접부에 대한 미세조직 관찰 결과, 용착 금속은 전형적인 dendrite 조직이었으며 Nimonic 80A와 SNCrW 소재의 열영향부에서는 결정립이 약간 성장하였음을 확인할 수 있었다.

용접부에 대한 경도시험 결과를 그림 2에 나타내었는데, 용착 금속의 경도가 가장 낮으며 Nimonic 80A 소재의 열영향부에서 경도 저하 현상이 다소 심하게 나타남을 알 수 있다. 이러한 열영향부에서의 경도 저하 현상은 Nimonic

80A 소재가 γ' 석출물에 의한 시효경화형 합금임을 감안하면 용접 시의 열적인 효과에 의해 석출물이 재 고용됨에 의한 것으로, fusion line으로부터 거리에 따라 경도 저하 정도가 감소하는 경향으로부터도 확인할 수 있다. 최저 경도를 갖는 용착 금속은 성분 분석 결과에서 두 소재가 균일하게 재 합금화된 Ni-Fe 기지에 Cr, Ti, Al, W 등이 존재하는 것으로 나타났는데 이는 시효경화형 초내열합금과 유사함을 알 수 있다. 따라서 석출경화를 위한 적절한 열처리를 실시하면 용접부의 경도 감소를 복원할 수 있음을 예상할 수 있다.

용접부에 대한 열처리는 두가지 소재에 대한 조건 중 용착 금속과 열영향부에서 γ' 에 의한 석출경화가 가능한 Nimonic 80A의 열처리 조건에 준해 실시하였다. 그림 2에 열처리 후의 경도 분포를 나타내었는데 용착 금속의 경도가 크게 증가하였으며 또한 Nimonic 80A의 열영향부 경도도 상당히 복원되었음을 알 수 있다. 이러한 경도의 상승은 시효처리에 따른 석출경화에 의한 효과임을 알 수 있다.

용접부에 대한 인장 특성을 평가하기 위해 용접 상태 및 열처리 후의 시편에 대해 인장시험을 실시하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다. 인장 특성에 대한 평가 기준은 두가지 소재 중 기계적 성질이 열세인 SNCrW의 요구치와 비교하였다. 우선 용접 상태의 경우에 강도는 SNCrW의 요구치를 상회하나 연신율이 미달이며, 특히 주목할 점은 최저 경도를 갖는 용착 금속에서 파단이 발생하였다는 것이다. 용착 금속에서 파단이 발생한다는 것은 실제 제품에 적용할 경우 접합부가 가장 취약함을 나타내는 것으로 이는 제품의 내구성 측면에서 안전하지 않음을 의미한다. 반면 열처리를 실시한 후에는 그림 3과 같이 파단이 용착 금속이 아닌 SNCrW 소재 부분에서 발생하였으며, 연신율이 약간 요구치에 미달하나 인장 강도와 단면 감소율은 요구치를 만족함을 알 수 있다.

이상과 같이 전자빔 용접을 이용하여 Nimonic 80A와 SNCrW 소재를 접합한 후 적절한 열처리를 통해 용접부의 강도를 확보할 수 있음을 알 수 있으며, 이러한 특성을 실 제품에 응용할 경우 고가의 소재비를 절감할 수 있는 조합형 배기 밸브의 제작 등에 활용 가능성이 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

고온용 초내열합금인 Nimonic 80A와 내열강 SNCrW에 대한 전자빔 용접 방법을 이용한 접합에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 직경 60mm인 두가지 소재의 봉강에 대해 150kV, 40mA 조건으로 전자빔 용접을 실시하여 내부가 건전한 용접부를 얻을 수 있었다.
- 2) 용접 상태에서 용착 금속의 경도가 가장 낮으며 Nimonic 80A 소재의 열영향부에서 경도 저하 현상이 다소 심하게 나타났으나, 열처리를 통해 용착 금속 및 열영향부의 경도가 적절히 복원됨을 확인하였다.
- 3) 용접부 시편에 대한 인장시험 결과에서 용접 상태의 경우는 용착 금속에서 파단이 발생하였으나 열처리 후에는 SNCrW 소재에서 파단이 발생함을 확인하였으며, 이로부터 전자빔 용접 방법을 응용하여 조합형 배기 밸브의 제작 등에 활용 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구의 수행을 위해 시편 제작에 도움을 주신 포항산업과학연구원 용접센터의 김숙환 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

1. Y. G. Koo, P. W. Shin, N. K. Park : Microstructure and Mechanical Properties of Friction Welded Joints between Nimonic 80A and a Martensitic Heat Resisting Steel, J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., Vol. 34, No. 6, (1996), 763-771

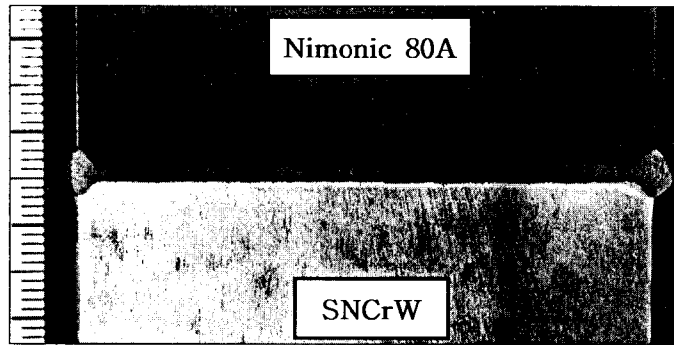


그림 1. 전자빔 용접부의 단면 마크로 조직

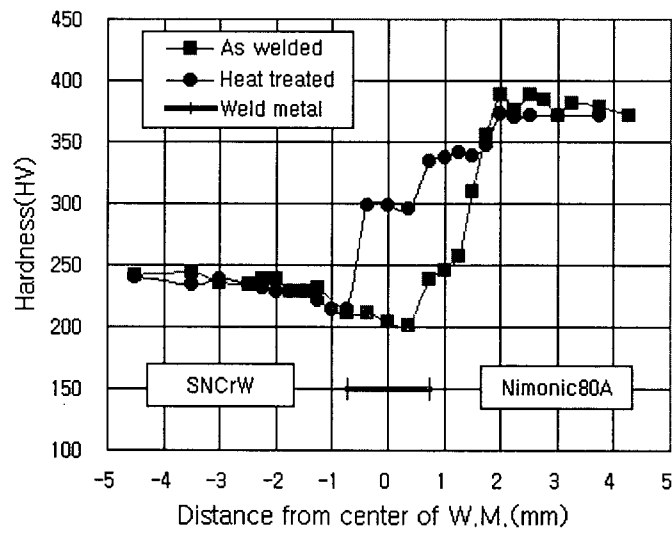


그림 2. 전자빔 용접부의 경도시험 결과

표 1. 전자빔 용접부의 인장시험 결과

구분	YS(MPa)	TS(MPa)	EL(%)	RA(%)	파단 위치
EBW(열처리 後)	-	781	23.7	55.3	SNCrW 모재
EBW(열처리 前)	510	760	14.0	45.8	용접부
SNCrW	≥350	700-850	≥28	≥45	-
Nimonic 80A	≥800	≥1200	≥15	-	-

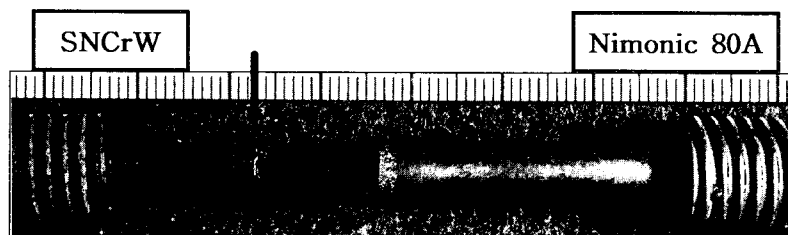


그림 3. 열처리 후 시편의 인장 파단 양상