

초내열합금의 대형마찰용접 공정해석 및 평가

정호승* · 김윤환* · 조종래** · 박희천*** · 이낙규****

Evaluation and Process Analysis of the Superalloy Friction Welding for Large Shaft

H. S. Jeong, Y. H. Kim, J. R. Cho, H. C. Park and N. K. Lee

Abstract

Friction welding was used to weld the turbine wheel and shaft and have a good welding quality. Friction welding was conducted on the two dissimilar material, Nimonic 80A and SNCrW. The control of friction welding process parameter such as flywheel energy, interface temperature, amount of upset have an effect on the mechanical properties of the welded joint. FE simulation can be a useful tool to optimize the weld geometry and process parameters. Flash shape and thickness weld is consistent with the simulated results. Process analysis was performed by the commercial code DEFORM 2D. Mechanical property of weld joints was evaluated by microstructure, chemical component, tensile, impact, hardness test set on.

Key Words : Nimonic 80A, Friction Welding, Mechanical Property, Process Parameter

1. 서 론

니켈기 초내열합금은 고온에서 내산화성, 기계적 강도등이 우수하기 때문에 가스터빈부품 등 고온부품에 다량 이용되고 있다. 그러나 원소재 가격이 여타 금속 소재에 비하여 매우 비싸다. 따라서 고온에서 가혹한 환경하에 놓이는 중요부품에 대해서는 니켈기 초내열합금을 사용하고 비교적 좋은 환경에서는 저급의 내열강을 용접하여 사용하는 것이 경제적으로 유리하다.

마찰용접은 두 재료에 압력을 가한 상태에서 상대운동을 주어 발생하는 마찰열을 이용하여 고상상태(solid state)로 접합하는 방식이다. 마찰용접은 동종재료는 물론이고 이종재료의 접합에도 용이한

용접법으로 일반 용접에 비하여 열영향부(HAZ)의 범위가 좁고, 여러 가지 장점을 가지고 있어 자동차, 전기, 조선, 화학, 원자력, 기타 공학분야와 건축 산업에서도 성능이 우수한 특성을 활용 광범위하게 사용되고 있다.

마찰용접의 방법은 크게 직접구동마찰용접(direct drive friction welding)과 관성마찰용접(inertia friction welding) 두 가지가 있다. 두 가지 모두 마찰용접을 하는데 큰 차이점은 없으나 직경이 큰 경우(100mm 이상)에는 관성마찰용접 방식이 유리하다. 그 이유는 직접구동 방식은 대용량의 모터가 필요로 하나 관성마찰용접 방식은 큰 플라이 휠의 관성력을 이용하므로 적은 모터 파워로도 가능하다. 또한 마찰용접 변수가 Direct 방식의 경우는 마찰

* 한국해양대학교 대학원 기계공학과

** 한국해양대학교 기계정보공학부

*** ㈜ 케이에스피

**** 한국생산기술연구원

하중을 제어해야 하므로 변수가 더 많으며 실험적인 결과 열 영향부도 관성마찰용접 방식이 적은 것으로 알려져 있다.

국내에서는 아직까지 대형 마찰용접기가 보급되지 않아 직경 100mm 이상의 특수강에는 마찰용접법이 적용된 경우가 없고, 크기가 비교적 작은 소형의 경우에만 마찰용접법을 적용하고 있다.

본 연구에서는 실험 소재로 직경 120mm의 초내열합금 Nimonic 80A와 SNCrW 대형 솔리드 형태의 환봉을 가지고 실험 하였고, 용접부의 특성평가를 하였다. 실험에 앞서 유한요소 해석을 통해 마찰용접의 공정변수의 영향을 파악하였다.

2. 실험방법

2.1 마찰용접 공정해석

마찰용접 공정은 마찰 단계(friction phase)와 업셋 단계(upset phase)로 행하여 진다. 먼저 마찰 단계에서는 일정 압력하에서 마찰계면(faying surface)에 회전으로 인한 미끄럼 운동을 발생시킨다. 이 때 발생하는 마찰열에 의해 소재는 국부적으로 연성이 상당히 증가하고 가압력에 의해 밀러나 점차 부재의 길이가 짧아진다. 마찰 단계 후 업셋 단계에서는 보다 높은 압력으로 가압하여 플라이 휠의 회전을 정지시킴과 동시에 두 소재를 접합시킨다.

이러한 과정을 통해 이종재질의 마찰용접을 해석하기 위해서는 재질의 유동응력과 플라이 휠의 관성모멘트와 에너지, 소재간의 마찰계수가 필요하다. 소재와 공정변수는 Table 1과 2에 나타내었다.

Table 1은 Nimonic 80A와 SNCrW 소재의 화학조성비를 나타내고, Table 2는 공정변수를 나타낸다.

2.2 용접부 특성평가

마찰용접은 마찰 단계의 하중과 업셋팅 단계의 하중, 플라이 휠의 에너지에 따라서 열영향부와 용접부의 기계적 특성이 변한다. 이러한 특성을 평가하기 위해 다음과 같은 특성평가를 하였다.

마찰용접된 시험편의 중앙부분을 절단하여 연마한 후 에칭하여 금속현미경 및 SEM 관찰을 실시하였다. 마찰용접시 열영향부의 조직변화를 보기 위해 금속현미경 관찰을 하였고, 상호확산에 의해서 생성되는 반응층을 보기 위해 SEM 관찰을 통하여 화학분석을 행하였다.

용접부의 열영향부의 기계적 특성을 확인하기

위해 인장, 경도, 충격 시험을 하였다.

Table 1 Chemical compositions of Nimonic 80A(1) and SNCrW(2) (wt%)

	Al	Si	Mn	Cr	Ti	Ni
1	1.57	0.03	1.00	19.8	2.59	Bal
2	0.01	1.40	0.80	19.8	0.01	9.5

Table 2 Simulation parameter (Rotation energy)

Energy (N-mm)	3.91447×10 ⁹
Moment of inertia (N-mm-s ²)	1.049×10 ⁶
Efficiency	1
Friction factor	0.9

3. 실험결과 및 고찰

3.1 해석결과

소재는 직경 120mm 이고, Table 2의 해석변수를 이용하여 Nimonic 80A와 SNCrW 대형 솔리드 형태의 환봉을 해석하였다. Fig. 1은 마찰용접 공정 후 플래쉬 생성과 마찰용접 업셋팅 공정 중 온도분포를 나타낸 것이다. 해석을 완료한 후 플래쉬의 두께를 비교하여 보면 SNCrW 쪽이 Nimonic 80A보다 훨씬 크다. 이와 같은 플래쉬의 크기의 차이는 Nimonic 80A가 SNCrW에 비하여 매우 큰 고온 강도를 갖는다는 사실로 설명될 수 있다. 즉 고온에서 소성 변형에 대한 저항이 Nimonic 80A 쪽이 SNCrW보다 크기 때문에 Nimonic 80A 쪽 플래쉬 생성량이 적은 것이다.

3.2 마찰용접 결과 및 고찰

Fig. 2는 실제 마찰용접 실험 후 용접부의 절단면 형상이다. Fig. 1과 비교했을 때 플래쉬의 형상이 유사함을 알 수 있다.

Fig. 3은 금속 현미경으로 관찰한 마찰용접부의 형상이다. 모재 조직보다 용접부 조직이 매우 미세한 조직임을 알 수 있다.

Fig. 4는 SEM을 이용하여 용접부를 촬영한 형상이다. 그림에 나타난 것과 같이 반응층과 마찰용접부의 폭이 약 400μm 이고, 두 모재의 성분이 섞여 있음을 알 수 있다. 그 성분은 Table 3에 나타내었다.

인장 시험은 용접 전후의 성질 변화와 접합 강

도를 평가하기 위한 것이다. 용접부의 인장 시험에 의해 기계적 특성인 항복(yield), 인장(tensile) 강도와 연신율(elongation), 단면수축률(R.A)을 얻었다. Fig. 5 는 그 기계적 특성 값을 도식화 한 것이다. 인장시 용접부가 아닌 SNCrW 모재에서 파단이 됨을 알 수 있고, 인장강도는 SNCrW 에 비하여 인장값이 유사하게 나왔으며, 연신율과 단면수축률은 상대적으로 값이 작은 Nomonic 80A 보다 크게 나타났다.

충격시험은 시험편을 충격적으로 파단시 흡수 에너지의 크고 작음으로써 재료의 인성과 취성의 정도를 판정하는 시험이다. 충격 시험은 샤르피(Charpy) 시험기를 사용하였다. Fig. 6 은 충격시험 결과 값의 평균치를 도식화 한 것이다. 용접부의 충격값은 다른 두 모재의 중간값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

경도시험은 광물, 금속 등의 비교경도를 결정하는 시험이다. 경도시험은 마이크로 비커스(vickers) 경도계를 사용하였다. 경도 측정은 Fig. 7 의 시험편에서 용접부를 중심으로 측정하였으며, 두 재질의 경도가 나타나고 있다. 접합부의 반응층 400 μ m 범위 내에서는 경도차가 크게 나타나고, 그 외 지역에서는 모재보다 더 큰 경도값을 나타내었다. 이것은 재결정 및 성형에 의한 금속유동의 영향 때문으로 판단된다.

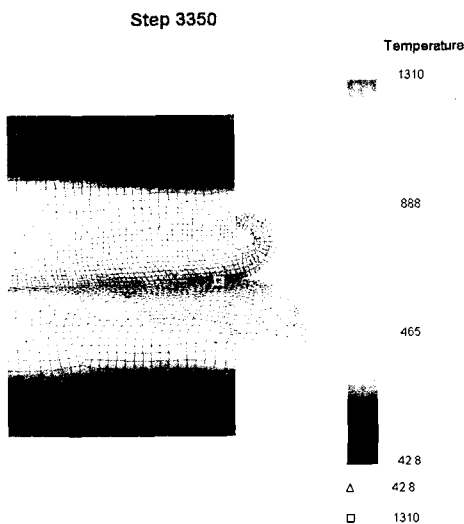


Fig. 1 Predicted weld shape during the friction welding using Deform 2D

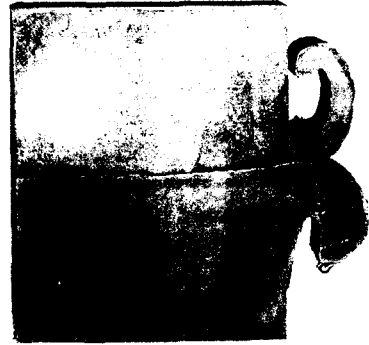


Fig. 2 Forming shape of friction welding processing



Fig. 3 Microstructures of the welded region (400 μ m)

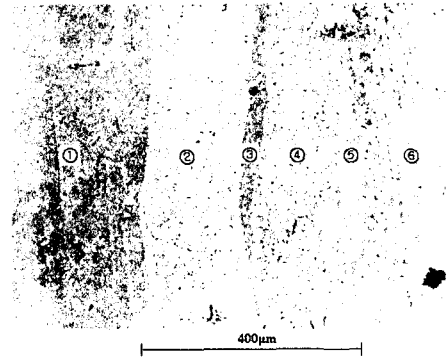


Fig. 4 SEM micrograph of welded region

Table 3 Chemical compositions of welded region (wt%)

	Cr	Fe	Ni
1	22.85	3.75	70.63
2	22.44	56.60	20.96
3	23.45	26.15	48.77
4	21.44	62.91	15.95
5	21.40	50.13	27.20
6	21.42	71.34	7.24

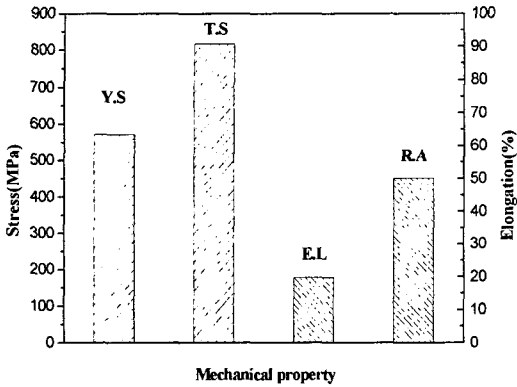


Fig. 5 Tensile properties of friction welded region

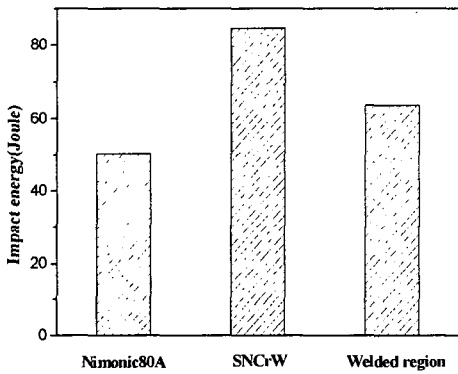


Fig. 6 Comparison of the mean value with Charpy impact test

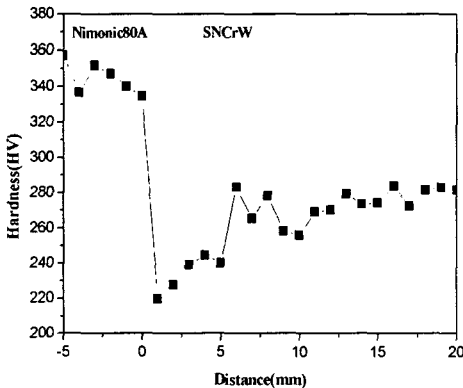


Fig. 7 Vickers hardness distribution of welded region

4. 결론

대형 shaft(Ø120mm)의 이중 마찰용접 공정 해석을 수행하였고, 실제품을 제조하여 기계적 특성을 고찰하였으며 결론은 다음과 같다.

(1) 유한요소법을 이용하여 마찰용접 공정해석을 수행하였고, 온도분포를 통한 열영향부와 업셋팅 하중의 영향을 확인하였다.

(2) 이중재질인 Nimonic 80A 와 SNCrW 를 이용하여 대형 shaft 의 마찰용접을 성공적으로 수행하였다.

(3) 마찰 용접부를 시험을 통해 평가 하였고, 물성치가 비교적 낮은 재질보다 모든 항목에서 높게 나타났으므로 기계적 특성이 우수함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 산업기술개발 사업에 의하여 지원되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) K. Lee, A. Samant, W. T. Wu, S. Srivatsa, "Finite Element Modeling of Inertia Welding"
- (2) 구윤건, 신평우, 박노광, 1996, "Nimonic 80A 와 마르텐사이트계 내열강 마찰 압접재의 조직 및 기계적 특성", 대한금속학회지, 제 34 권, 제 6 호, pp. 763~772.
- (3) 김의환, 민택기, 2001, "인코넬 합금과 스테인레스 강의 마찰용접 특성 연구", 한국공작기계학회논문집, 제 10 권, 제 2 호, pp. 73~78.
- (4) 조현수, 서성재, 1997, "Inconel 713C 와 SCM 440 의 마찰용접", Journal of KWS, 제 15 권, 제 6 호, pp. 564~570.