

대형 밸브스핀들의 마찰용접 공정개발

Process Development of the Friction Welding for Large Valve Spindle

박희천* · 정호승** · 조종래** · 이낙규***

* ㈜케이에스피

** 한국해양대학교 기계정보공학부

*** 한국생산기술연구원

연구 필요성

1. 선박 건조량 면에서는 세계 시장의 약 40% 이상으로 1위.
2. 선박용 엔진 생산고는 세계 생산량의 약 70%로 1위.
3. 선박용 밸브의 경우 대형 기준으로 약 80%정도가 수입 또는 반제품을 수입.
4. 소재의 전량 수입에 의존하는 경우 원자재 가격의 변동에 따른 경쟁력에 위협이 될 수 있음.
5. 기존 대형 배기밸브의 경우 Nimonic 80A 소재를 일체형으로 제조하고 있기 때문에 소재의 낭비가 매우 심함.
6. 온도 영향이 많은 부위만 Nimonic 80A 소재를 사용하여 가격 경쟁력을 높이는 동시에 소재 수입을 줄이는 효과.

연구 내용

1. 직경 540mm의 밸브 헤드부에 사용되는 Nimonic 80A 소재와 직경 115mm의 스템부에 사용되는 SNCrW의 두 이종재질을 사용하여 관성마찰용접 방법으로 배기밸브를 제작한다.
2. 관성마찰용접을 하기 위해서는 플라이휠 에너지, 1차 가압력, 2차 가압력에 대한 공정 변수들의 조건을 알아야 한다. 또한 열전달, 기계적 특성, 유동응력이 서로 다른 이종재질에 대한 마찰용접은 동종마찰용접보다 어렵다.
3. 실험에 앞서 전산수치해석은 시간적, 경제적 많은 이익을 얻을 수 있다. 그래서 마찰용접공정에 대한 열점소성 유한요소해석을 수행하여 다양한 공정변수들이 마찰용접 공정에 미치는 상관관계에 대해 연구하여 이를 바탕으로 대형배기밸브를 실제제작하고자 한다.
4. 선박용 대형 배기밸브는 아주 열악한 환경에서 작동되므로 접합부의 미세조직 관찰, 성분분석, 인장, 경도, 충격, 피로시험 등의 기계적, 금속적 특성평가를 통해 마찰 용접부에 대한 신뢰성을 확인하고자 한다.

마찰용접 소재 특성

Nimonic 80A

1. 고온에서 우수한 기계적 특성과 내식성, 내산화 특성을 지니고 있다.
2. 항공, 조선, 핵발전소 등의 부품으로 널리 사용되고 있다.
3. 초내열합금 Nimonic 80A는 열간 성형 및 가공이 상당히 어렵다.
4. 전량 외국에서 수입하며, 가격이 고가이다.

Mechanical properties of Nimonic 80A and SNCrW

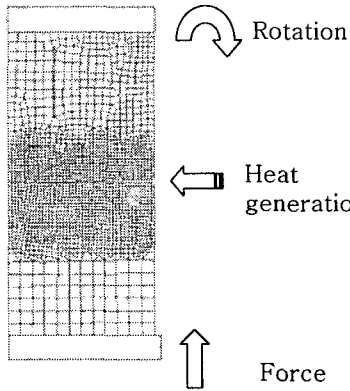
Materials	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
Nimonic 80A	900	1200	15	25
SNCrW	350	750	30	50

Chemical compositions of Nimonic 80A and SNCrW (w.t %)

	Al	Si	Mn	Cr	Ti	Ni
Nimonic 80A	1.57	0.03	1.00	19.8	2.59	Bal
SNCrW	0.01	1.40	0.80	19.8	0.01	9.5

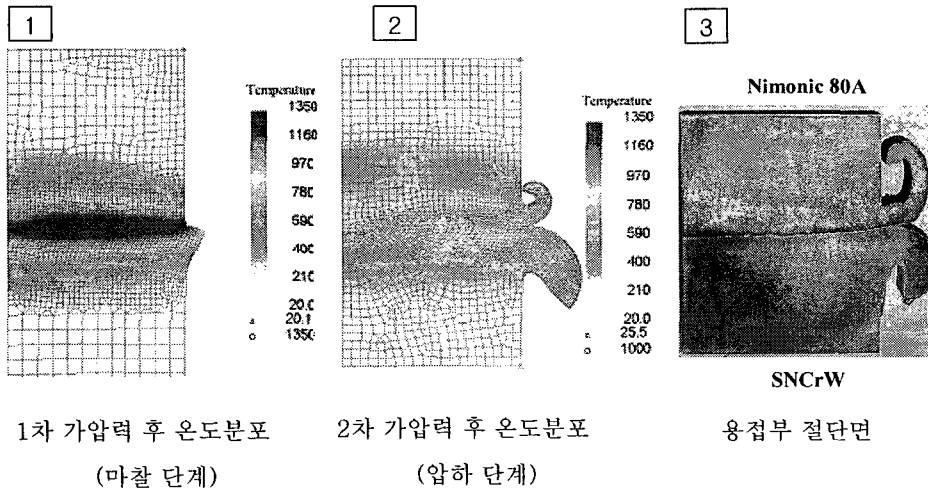
마찰용접 공정 소개

Inertia friction welding

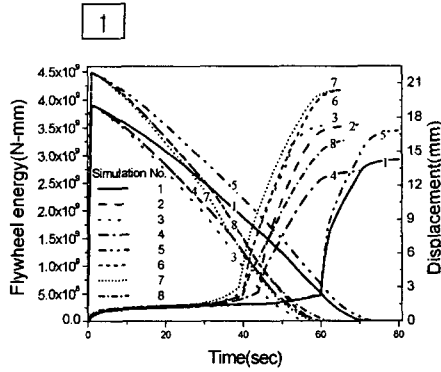


1. 마찰용접공정은 마찰 단계(friction phase)와 압하 단계(upset phase)로 행하여진다.
2. 마찰 단계에서는 하나의 소재를 플라이휠 에너지를 이용하여 회전시키며 다른 소재는 정적인 상태에서 일정한 힘을 가한다.
3. 두 소재의 접촉면은 마찰에 의해 열이 발생하며 두 소재는 국부적으로 연성이 상당히 증가하고 가압력에 의해 소재가 변형된다.
4. 마찰 단계 후 압하 단계에서는 보다 큰 가압력으로 플라이휠의 회전을 정지시킴과 동시에 두 소재를 접합시킨다.
5. 열전달과 대변형해석에 사용되는 상용 프로그램 DEFORM-2D를 이용하여 열접소성 유한요소 해석을 수행하였다

마찰용접 해석 과정



마찰용접 해석 조건



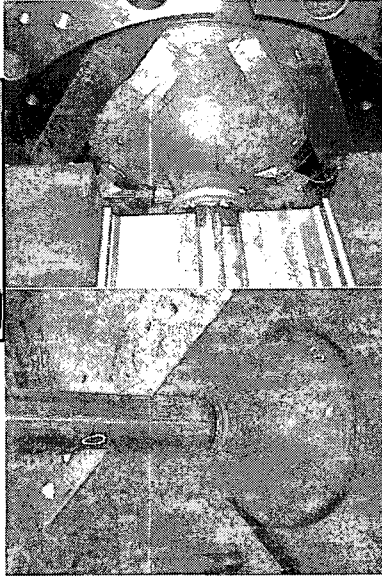
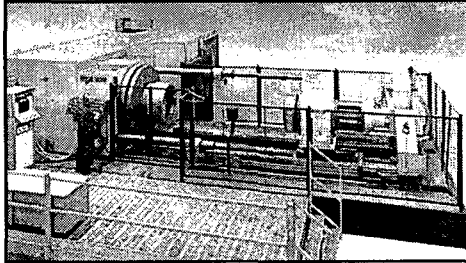
Test number	Process parameters		
	Flywheel energy (N-mm)	1st force (N)	2nd force (N)
1	3.9E9	2.3E6	4.0E6
2	3.9E9	2.7E6	4.0E6
3	3.9E9	2.9E6	4.0E6
4	3.9E9	2.7E6	3.5E6
5	4.5E9	2.3E6	4.0E6
6	4.5E9	2.7E6	4.0E6
7	4.5E9	2.9E6	4.0E6
8	4.5E9	2.7E6	3.5E6

1. Flywheel energy and displacement curve versus time
2. Simulation parameter condition for inertia welding process

마찰용접 해석 결과

1. 해석조건 1과 5의 경우 1차, 2차 가압력은 같고 플라이휠 에너지가 상대적으로 큰 경우 공정시간은 같아지며 압하량이 많아진다.
2. 해석조건 1과 3의 경우 플라이휠 에너지와 2차 가압력은 같고 1차 가압력이 상대적으로 큰 경우 압하량이 많으며 공정시간은 짧아진다.
3. 해석조건 2와 4의 경우 플라이휠 에너지와 1차 가압력은 같고 2차 가압력이 상대적으로 큰 경우 공정시간은 비슷하며 압하량은 많아진다.

대형배기밸브 제작



1. 마찰용접기
2. 마찰용접 제작 공정
3. 마찰용접 후 사진

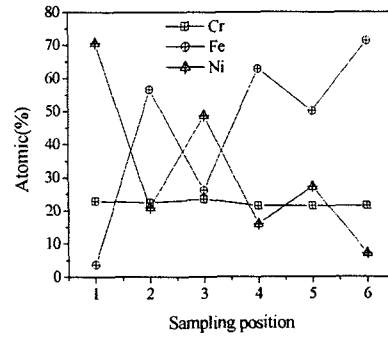
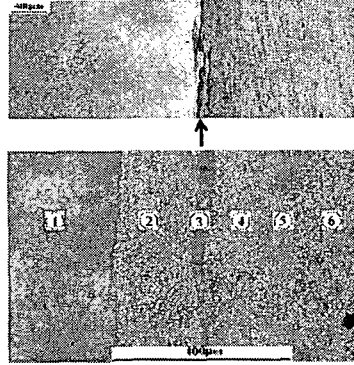
(주)케이에스피, 한국해양대학교, KITECH

마찰용접 특성 평가

1. 마찰용접 공정해석을 바탕으로 대형배기밸브를 실제제작하였고, 용접부의 특성 평가를 통해 마찰용접부에 대한 신뢰성을 확인할 필요가 있다.
2. 마찰용접 접합부를 절단하여 연마한 후 에칭하여 마찰용접부의 미세조직변화를 금속현미경을 이용하여 관찰하였다.
3. 상호확산에 의해서 생성되는 반응층을 보기 위해 SEM을 이용하여 화학분석을 실행하였다.
4. 용접부의 신뢰성을 평가하기 위해 인장, 경도, 충격, 피로 시험을 하였다.
5. 인장시험은 직경 12.5mm, 표점거리 50mm 인 표준시편을 사용하였다. 경도시험은 마이크로 비커스(micro Vickers)를 이용하여 접합부의 용접선에 대한 수직방향으로 측정하였다. 충격시험은 2mm 노치 표준시편을 사용하여 실행하였다. 피로시험은 원소재와 접합부에 대한 로타리 밴딩 피로 시험기를 이용하여 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^7$ 범위에서 실행하였다.

(주)케이에스피, 한국해양대학교, KITECH

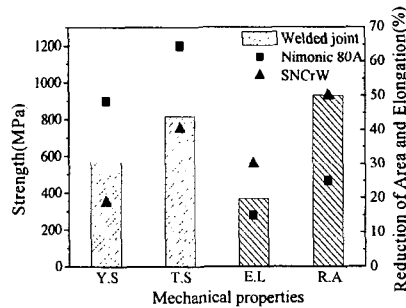
마찰용접 특성 평가



1. 이종 소재에 대한 접합부 단면에 대한 미세조직사진이다.
2. 고온 변형에 의한 재결정과 금속유동을 확인할 수 있었다.
3. SEM을 이용하여 접합부의 사진이며 성분 측정 위치를 나타내었다.
4. 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 니켈성분이 감소하고 철 성분이 증가함을 알 수 있었고 약 400 μ m 범위에서 측정성분들이 혼재해 있음을 확인할 수 있었다.

(주)케이에스피, 한국해양대학교, KITECH

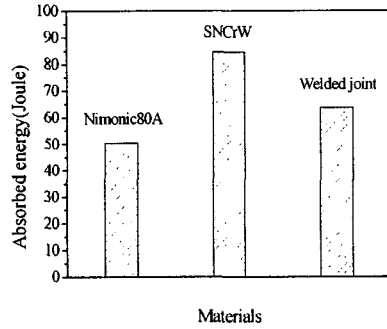
마찰용접 특성 평가



1. 원소재와 접합부에 대한 인장시험을 하였고 기계적 특성인 항복, 인장강도와 연신율, 단면수축률을 평가하였으며 실험에서 구해진 값들을 도식화하였다.
2. 인장시 접합부가 아닌 SNCrW 모재 부분에서 파단이 됨을 알 수 있었다.
3. 인장강도와 단면수축률은 SNCrW 모재와 비슷하게 나왔으며, 연신율은 원소재인 Nimonic 80A보다 값이 크게 나타났다.

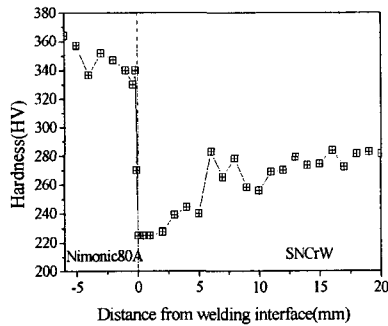
(주)케이에스피, 한국해양대학교, KITECH

마찰용접 특성 평가



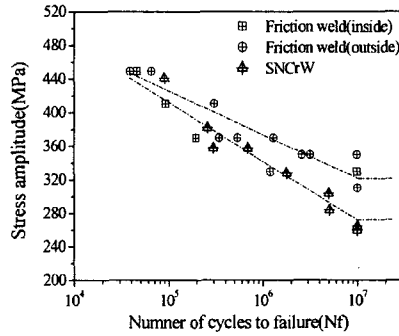
1. 충격시험은 샤르피(Charpy) 시험기를 사용하여 시험을 하였다.
2. 실험결과는 실험 평균치를 도식화 한 것이다.
3. 접합부의 충격에너지는 47~72 J 범위에서 측정되었다.
4. Nimonic 80A의 충격에너지(47~53 J)보다 높게 나옴을 알 수 있었다.

마찰용접 특성 평가



1. 경도 측정은 마이크로 비커스 경도계를 사용하였다.
2. 접합부의 중심선으로부터 수직방향으로 측정하였다.
3. 그림은 두 소재의 측정된 경도 분포를 나타내었다. 접합부 반응층 400µm 범위 내에서 두 소재의 경도가 가장 작게, 경도차는 가장 크게 나타났으며, 원소재 방향으로 갈수록 경도가 증가함을 알 수 있었다.

마찰용접 특성 평가



1. 로타리 밴딩 시험기로를 이용하여 용접부와 SNCrW 에 대한 피로시험을 하였다.
2. 그림은 접합부와 SNCrW의 피로시험 곡선을 나타낸다.
3. 1×10^7 회전에서 접합부의 피로강도는 341 MPa 이며 SNCrW의 강도는 260MPa 이었다.
4. 용접부 피로강도가 SNCrW 소재보다 피로강도가 높게 측정되었다.

결론

1. 직경 115mm 실린더 형태의 Nimonic 80A와 SNCrW 소재를 이용하여 이중 마찰용접을 실험하였다.
2. DEFORM 2D를 이용하여 마찰용접 공정해석을 수행하였다. 공정 변수 변화에 따른 최적의 마찰용접 조건을 구할 수 있다.
3. 대형배기밸브 98MC(헤드 직경:542mm, 스템직경:120mm)를 실제작하였다.
4. 인장강도, 경도, 충격 시험을 실시하였고, 마찰용접된 소재의 기계적 특성은 규정치 이상을 만족하였다.
5. 용접부 미세조직을 관찰하였고 접합부에서 화학성분 분석결과 적층된 양상을 확인하였다.
6. 이중마찰용접에 의한 용접부에 대한 기계적 특성은 모두 규정치 이상을 만족하였다.