

알루미늄 선박용 5456-H116 알루미늄 합금의 최적 마찰교반 용접 조건 연구

Investigation on optimum condition in friction stir welding of 5456-H116 material for Al ship

김성중*, 우용빈*, 박종식*, 한민수*, 김정일*

* 목포해양대학교 기관시스템공학부

1. 서 론

1991년에 영국용접 연구소에서 개발된 마찰교반용접은 회전 공구에 의한 마찰열과 접합부재 내부에 발생하는 소성유동을 유효하게 이용하는 고상접합이며, 동시에 판재의 맞대기 접합에 최적이기 때문에 개발 이래 단기간에 철도차량, 항공, 우주, 자동차, 선박, 반도체, 토목 구조물 등 다양한 분야에서 판재의 맞대기 접합기술로서의 지위를 확고히 하고 있다. 특히 알루미늄 합금의 접합에 적합한 것은 지구환경문제 등에서 한층 경량화가 요구되는 수송기기의 분야에 최적의 용접기술이라고 말할 수 있다. 이에 부응하여 해양 분야에서는 기존의 중소형 선박은 FRP 선이 대다수였으나, 환경문제나 화재 그리고 충돌 등의 문제가 다발하여 알루미늄 선박으로의 전환이 불가피한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 선박용 재료로 사용되는 재료 중 하나인 5456-H116 재료에 대하여 다양한 용접 변수로 용접을 실시한 후 최적의 마찰교반 용접 조건을 규명하고자 한다.

2. 실험재료 및 실험방법

5456-H116 시편에 대하여 마찰교반용접은 공구의 어깨 직경은 20Φ, 핀 길이와 압입 깊이는 4.5mm, 피치는 1.0mm, 전진각은 2°로 하였으며, 전나사형 공구를 반시계 방향으로 실시하였다. 또한 핀 직경은 5Φ와 6Φ로 하였으며, 회전속도와 이송속도를 변수로 하여 실시하였다. 다양한 용접조건에서 최적의 조건을 규명하였으며, 용접 관련 조건 등은 Table 1에 나타내고 있다.

Table 1 5456-H116 시편의 마찰교반용접 시 조건

핀 직경 ; 5Φ		핀 직경 ; 6Φ	
회전속도 (RPM)	이송속도 (mm/min)	회전속도 (RPM)	이송속도 (mm/min)
170	-	170	15, 22, 32
210	-	210	15, 22, 32
500	61, 124, 267, 342	500	15, 22, 32, 41, 61, 87, 124
800	61, 124, 267, 342	800	15, 22, 32, 41, 61
1100	-	1100	15
1800	61, 124, 267, 342	1800	15, 61
2500	-	2500	15

3. 실험결과 및 고찰

먼저 5456-H116 시편에 대하여 핀 직경이 5Φ인 것을 사용하여 다양한 용접 조건에서 용접을 실시하였을 경우 용접 시편의 외관을 보여 주고 있다.

Fig. 1은 800RPM인 경우 이송속도에 따른 시편 외관을 나타내고 있다. 이송속도가 61mm/min인 경우는 대체적으로 교반 상태가 양호한 것으로 보이나 시작과 끝부분에 보이드가 형성되었음을 알 수 있다. 124mm/min는 비드와 교반상태는 양호한 것으로 보이나 전체적으로 보이드가 형성되었으며, 267mm/min인 경우는 용접 시 외관은 대체적으로 매끈한 상태를 유지하였으며, 초기와 종료 시점에 보이드가 형성되었는데 이런 경우는 전체에 걸쳐서 형성되었다고

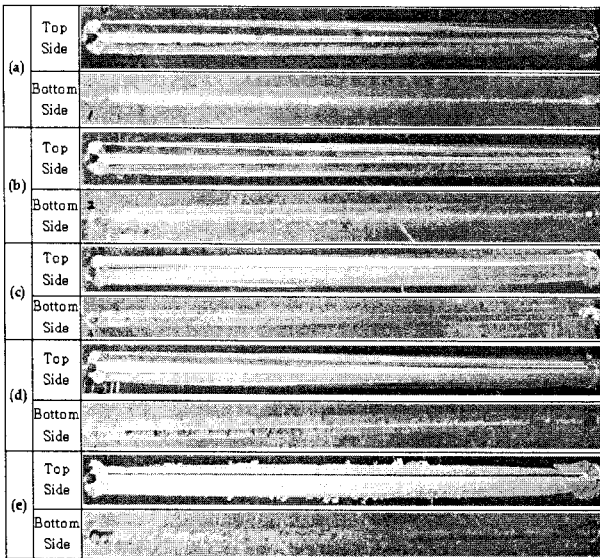


Fig. 1 800RPM인 경우 이송속도에 따른 시편 외관.
(a) 61 mm/min, (b) 124 mm/min, (c) 267 mm/min,
(d) 342 mm/min, (e) 720 mm/min

할 수 있다. 342mm/min인 경우는 보이드 형성 정도는 267mm/min인 경우와 거의 유사한 경향을 나타냈으나, 비드가 더 거칠었음을 알 수 있다. 한편 720mm/min인 경우는 전체적으로 용접 상태가 거칠고 불량하였으며, 용입부족에 의한 보이드가 넓게 형성되었음을 알 수 있다. 따라서 본 조건에서는 이송속도가 증가할수록 용접면이 거칠며, 보이드가 많이 형성되었음을 알 수 있었다. 가능한 낮은 이송속도로 실시하는 것이 양호한 용접을 달성할 수 있을 것으로 사료되었다. 그래서 낮은 이송속도를 변수로 하여, 핀의 지름을 6mm로 변경하여 실시하였다.

800RPM인 경우 다양한 이송속도에서 용접을 실시하였다. 15mm/min의 경우는 과도한 물리적인 힘으로 인하여 칩이 형성되기는 하였으나 대체적으로 용접면이 매끄러운 외관을 나타냈다. 22mm/min의 경우는 칩의 형성은 되지 않았으나 전체적으로 15mm/min의 경우와 거의 유사한 표면 상태를 나타냈다. 32mm/min의 경우는 본 회전속도에서 가장 거친 면을 나타낸 조건으로 기계적 특성이 다른 이송속도에 비하여 낮을 것으로 예측된다. 41mm/min의 경우는 아주 양호한 용접면이 형성되었으나 종료 시점에서 보이드가 형성되었음을 알 수 있었다. 61mm/min의 경우는 초기에 보이드가 형성되기는 하였으나 이후는 아주 양호한 특성을 나타냈다.

Fig. 2 모재와 마찰교반용접된 시편에 대하여 인장 시험 후 최대인장 강도를 비교하였다.

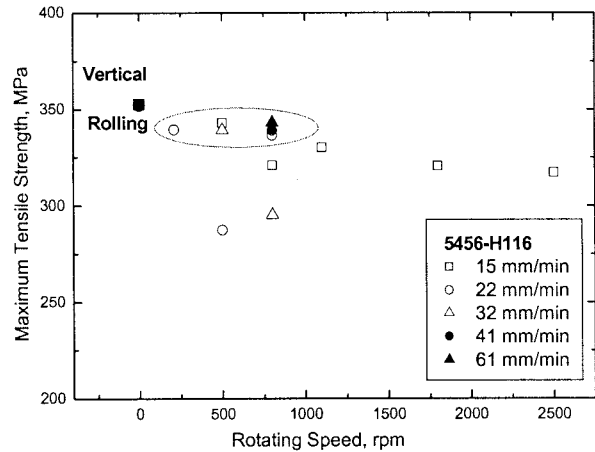


Fig. 2 인장 시험 후 최대인장 강도 비교

모재의 롤링방향과 수직방향 모두 거의 유사한 최대인장강도를 나타냈다. 210 RPM의 경우 여러 조건에서 실시하였으나 22 mm/min인 경우만 인장시험이 가능하였는데 대체적으로 높은 최대인장강도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 800RPM만 제외하고 낮은 이송속도(15mm/min)의 경우가 가장 높은 최대인장강도를 나타내고 있으며, 또한 동일 15mm/min 이송속도인 경우, RPM이 증가할수록 낮아지는 경향을 나타냈다. 한편 800RPM인 경우는 대체적으로 빠른 이송속도인 경우가 높은 최대인장 강도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 최대인장강도 비교에서 높은 값을 나타낸 영역은 그래프 안의 타원형 원으로 표기한 것(210RPM, 22mm/min ; 500RPM, 15mm/min, 32mm/min ; 800RPM, 22mm/min, 41mm/min, 61mm/min) 들이다. 높은 최대인장강도는 전체적으로 낮은 RPM에 집중되어 있음을 확인할 수 있었다.

Table 2는 마찰교반 용접한 시편의 각 요소별 우수한 항목을 상호 비교하였다. 표에 나타난 각 특성을 상호 비교한 결과 5가지 특성 중 마찰교반 용접 조건에 모두 포함되어 있는 조건은 500RPM, 15mm/min, 32mm/min ; 800RPM, 22mm/min, 41mm/min, 61mm/min 조건으로 나타났다. 210RPM의 경우는 최대인장강도와 항복강도만 만족시켰으며, 1000RPM의 경우는 연신율, 파단시간 그리고 흡수에너지만 만족시켰으므로 제외시켰다. 따라서 마찰교반 용접 시 최적 RPM은 500과 800으로 판단된다. 그러면 우수한 500과 800RPM 중 각 특성 들을 비교해 보면 500RPM은 15mm/min의 경우가 가장 높은 값을

Table 2 마찰교반 용접한 시편의 각 요소별 우수 항목 비교

	Rotating Speed			
	210 RPM	500 RPM	800 RPM	1000 RPM
Maximum Tensile Strength (mm/min)	22	15, 32	22, 41, 61	
Yield Strength (mm/min)	22	15, 22, 32	15, 22, 32, 41, 61	
Elongation (mm/min)		15, 32	22, 41, 61	15
Time-To-Fracture (mm/min)		15, 32	22, 41, 61	15
Absorption Energy (mm/min)		15, 32	22, 41, 61	15

나타낸 반면, 800RPM의 경우는 61mm/min으로 나타났다.

그래서 이 2가지 조건을 각 특성별 다시 재정리하여 Table 3에 나타냈다. 최대인장강도는 거의 유사한 값을 나타냈는데 500RPM, 15mm/min인 경우는 800RPM, 61mm/min에 비하여 거의 유사한 값을 나타냈다. 항복강도는 500RPM, 15mm/min인 경우가 800RPM, 61mm/min에 비하여 16.28MPa 높은 값을 나타냈으며, 연신율과 파단시간은 각각 0.33%와 0.03분 정도 우수한 특성을 나타냈다. 또한 흡수에너지의 경우는 559Kgf-mm 정도 높은 값을 나타냈으므로 전체적으로 500RPM, 15mm/min인 경우가 가장 우수한 특성을 보인 것으로 판단된다.

Table 3 마찰교반용접 조건(500RPM, 15mm/min과 800RPM, 61mm/min)의 기계적 특성 비교 평가

		Maximum Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)	Time-To-Fracture (min)	Absorption Energy (Kgf-mm)
500 RPM 15 mm/min	1	342.24	167.67	22.31	56.04	24724
	2	344.19	175.66	23.38	58.76	26354
	3	342.84	173.98	22.15	55.66	24703
	Average	343.09	172.43	22.61	56.04	25260
800 RPM 61 mm/min	1	339.20	154.60	20.01	50.33	21633
	2	345.29	155.58	23.40	58.81	26223
	3	345.36	158.47	23.44	58.89	26248
	Average	343.28	156.15	22.28	56.01	24701

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.