알루미늄 합금의 겹치기 마찰교반용접시 모재 위치가 기계적 강도에 미치는 영향에 관한 연구

A study on the effect of base metal position on mechanical Strength during lap joint dissimilar friction stir welding process of aluminium alloys

*#박희상[1], 최만용[1], 최원두[2], 고준빈[3]

*H. S. Park(m55nring@naver.com)[1], M. Y. Chio[1], W. D. Chio[2], J. B. Ko[3]

[1] 한국표준과학연구원 안전그룹, [2]한밭대학교 공동실험실습관, [3]한밭대학교 기계설계공학과

Key words : FSW(Friction Stir Welding), RSW(Resistance Spot Welding), TWI(The Welding Institute)

1. 서론

최근 자동차, 철도, 선박으로 대표되는 운송수단의 경량화에 이용되는 재료로 가장 각광 받고 있는 재료로 알루미늄이 널리 사용되고 있다. 이러한 알루미늄 합금을 산업현장에서 활용하는 가장 많은 방법중에 하나인 접합법으로는 TIG, RSW 등 과 같은 용융 용접법을 대체로 많이 사용 하고 있지만, 열전도가 높아 열 확산이 빠르고 이에 따라 모재의 팽창이 일어나 열변형을 유발하는 등의 문제점이 발생하고 있다. 이와 같은 용융용접의 단점을 극복하는 새로운 기술로 고상접합 방법인 마찰교반용접법(FSW)이 활용되 있다. FSW는 1991년 영국의 TWI에서 개발된 최신용접법으로 모재를 용융점 아래에서 고상용접시키는 방법으로 용융에 따른 열변형과 흄 가스 등을 억제하며 발화점이상으로 스패터를 발생시키는 기존 용접법의 위험성을 줄여주는 친환경적인 용접법이다. 기존의 겹치기 용접의 경우 용융부가 윗부분 모재는 충분이 용융되는 반면 아랫부분의 용융부가 불량한 경우가 발생하였다. 그러나 마찰교반용접을 통한 겹치기 용접을 수행하였을 때 용접 불량을 억제할 수 있는 장점이 있다. 본 실험은 열처리 경화형 알루미늄 A6061-T6과 가공경화형 A5052-H32 알루미늄 합금 재질의 이종 겹치기 용접을 실험하였다. 두 종류의 알루미늄합금의 특성을 고려하여 모재의 위치와 공구회전수, 이송속도 등에 변화를 주어 마찰교반용접시 이종재료와 핀 형상에 따른 용접부의 용접특성과 기계적 성질을 파악하는데 그 목적을 두었다.

2. 실험재료 및 장치

2.1 실험재료

본 실험에서는 가공경화형 A5052-H32 알루미늄 압출제를 길이 150mm, 너비 80mm, 두께 3.2mmt로 제작하여 실험하였다. 시편을 고정할 수 있는 고정장치에 시편을 물려 설치하여 겹치기 용접이 가능하도록 수평을 맞춘 후 양단을 일정간격으로 고정하여 움직이지 못하게 하였다. 각각의 고정압은 일정할 수 있도록 나사의 회전비율을 맞추었으며 실험재료의 화학성분과 기계적 물성치는 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical composition of materials(Wt. %)

Materials	Si	Mn	Mg	Cu	Cr	Fe	Al
A6061-T6	0.60	0.15	1.0	0.22	0.20	0.35	Bal.
A5052-H32	0.25	0.10	2.4	0.10	0.28	0.40	Bal.

Table 2 Mechanical properties of material

Materials	Mechanical properties			
	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
A6061-T6	359	330	16	125
A5052-H32	240	210	23	77

2.2 실험방법

알루미늄 판재를 마찰교반용접의 실험조건을 수행 할 수 있는 조건을 갖춘 수직밀링머신의 배드 위에 알루미늄판재를 고정하여 용접 작업 시 발생하는 열을 효율적으로 배출해줄 수 있는 벡킹 플레이트와 클램프장치를 결합한 고정 틀에 알루미늄 판재를 겹치게 하여 위치시킨 후 판 옆면에 툴이 회전할 때 발생하는 판의 틀어짐을 막기 위한 가이드 판을 옆면에 밀착 시킨 후 양옆의 간격조절나사를 이용하여 알루미늄 모재 판과 판사이의 간격을 없는 상태로 만든 후 Fig. 1과 같이 용접한다.

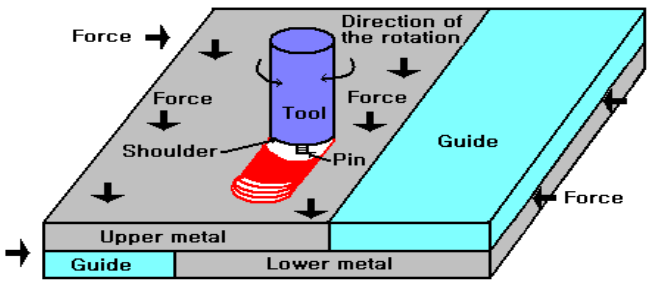


Fig. 1 Typical weld tool and process parameters used in the FSW process

열처리 경화형 알루미늄 A6061과 가공경화형 A5052 재질의 이종 겹치기 용접을 실험하였다. 두 가지 재료의 물성치를 고려하여 시험판의 위치와 공구회전수, 이송속도 등에 변화를 주었다. 실험조건은 Table 3과 같다. 툴의 진행방향을 기준으로 좌우를 구분하여 A5052가 좌측 위, A6061이 우측아래일 때는 A5052/A6061로 표기하고 반대인 경우 A6061/A5052로 표기하였다. 실험은 좌측 판을 위에 우측 판을 밑에 놓고 용접을 진행하였다. 1340rpm, 1600rpm, 1800rpm, 2380rpm에서 500mm/min의 속도로 회전수만을 달리하여 조건별 실험값을 구한 후 가장 양호한 회전수에서 용접속도에 변화를 주어 더 나은 용접조건을 찾아보았다. 압입은 툴의 숄더부가 닿는 순간을 기준으로 하였다. 툴의 재질은 SKD61 공구강으로 나사형(threaded cylindrical) 핀(pin)을 갖은 툴(tool). 핀의 길이는 4.5mm 직경은 나사형 툴 기준으로 5mm의 직경을 갖도록 제작하였고 형상은 Fig. 2 같다.(10) 핀의 길이는 4.5mm 직경은 나사형 핀으로 5mm의 직경을 갖도록 제작하였다.

Table 3 FSW lap joint conditions of A6061 and A5052

Aluminum	Tool type	Pressing depth (mm)	Rotation	Tilting angle (°)	Welding speed (mm/min)	Spindle (rpm)
A6061/A5052	Threaded cylindrical	0.6	Counter-clockwise	2.5	500	1340
						1600
A5052/A6061						1800
						2380

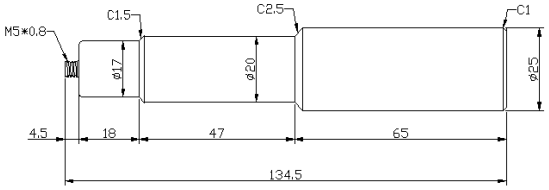


Fig. 2 FSW tool and pin profiles

2.3 기계적 강도 특성 평가

인장강도를 측정하기 위하여 Fig. 4와 같은 시편을 제작하였고, 시험에 사용된 시험기는 INSTRON 4484를 IX series 프로그램을 이용하여 컴퓨터 제어하여 인장속도를 2mm/min로 하여 인장시험을 하였다.

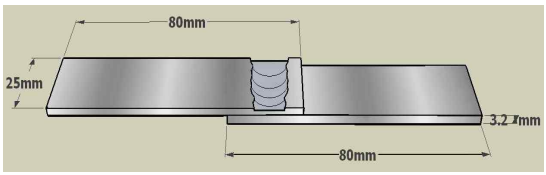


Fig. 4 The Dimensions of specimen and tensile specimen

2.4 용접부의 미세조직 관찰

각각의 다른 조건에서 실험한 시편의 단면을 광학현미경을 이용하여 각각의 용접조직들을 미세 관찰 하였다. 광학현미경 관찰을 위해 일반적인 연마법을 이용하여 시편을 제작하였고, 증류수120ml, 질산3ml, 염산2ml, 불산2ml를 사용한 켈러시약을 사용하여 50sec로 1차부식후 20초로 2차 부식하여 각각의 조직영역을 관찰하였다.

3. 나사형 프로브 툴에 의한 조직거동 및 인장시험

재료의 강도가 다른 두 모재의 이종용접을 위해서 여러 가지 변수가 작용하기에 가장 좋은 조건의 값을 찾아가며 실험을 진행하였다. Fig. 5를 통해 A6061/A5052와 A5052/A6061의 용접시 가장 높은 인장강도 값을 보인 실험조건은 1600rpm, 500mm/min으로 A5052의 최대 인장강도값은 149.09MPa이고 반대로 A6061을 위쪽 판으로 위치시켰을 때 최대 인장강도값은 154.17MPa였다. 파단위치는 앞선 겹치기 마찰교반용접에서와 같은 위쪽에 위치한 시험편에서 파단이 일어났다. 이와 같은 원인은 Fig. 6의 조직관찰을 통해서 파악할 수 있는데, 툴의 프로브가 회전하며 만들어 내는 반 용융 상태의 모재가 와류를 일으키며, 동심원 형태의 너깃을 만들고 모재와 경계가 형성되며 그 형태를 따라 아래쪽 판의 모재가 밀려 올라가는 역할을 하게 되어 위쪽 판으로 영역이 확장이 된다. Fig. 6은 1340rpm, 500mm/min과 2380rpm, 500mm/min로 용접한 시편을 인장하여 파단이 발생하는 부분의 과정을 보여주고 있다. Fig. 6의 (a), (b)를 비교해보면 위쪽으로 침범하는 경계를 더욱 확연하게 파악할 수 있는데, 툴의 회전속도가 빠를수록 너깃의 형태는 동심원에 가까워지며, 아래쪽 모재가 밀려 올라가는 것이 심해지는 것을 발견할 수 있었다. 용접이 되는 두 모재의 기계적 강도가 다르기 때문에 A6061/A5052에서는 아래쪽의 A5052가 1340rpm, 500mm/min에서도 너깃형태의 교반부를 쉽게 만들어 내지만 A5052/A6061의 경우는 교반이 쉽게 일어나지 않는 현상을 보였으며, 툴의 회전수가 늘어날 수 록 아래쪽의 A6061이 위로 밀려 올라가는 모습을 보였다. 그러나 높은 회전수인 2380rpm, 500mm/min에서 A6061/A5052와 A5052/A6061 모두에서 인장강도값이 현저하게 낮아지는 결과를 보였다. 이는 과도한 입열량과 회전수에 따라 아래판과 위판의 교반이 쉽게 일어남에 따라 위쪽으로 밀려올라가는 양이 많아지고, 위쪽 시편의 두께가 얇아지며, 툴의 숄더부분에서 발생한 마찰열로 인해 위쪽에 위치한 시편이 연화되어 기계적인 강도가 저하됨에 따른 영향이라 하겠다. Fig. 6을 통해 우측에 형성된 경계선은 위쪽 모재의 최상층부 근까지 연결이 된 그림을 보여준다. 이는 용접시 위쪽 모재의 인장시편 방향이 우측에 위치하였을 때는 가파른 형태의 경계선을 따라 파단이 진행되므로 좌측에 위치하였을 때 보다 용접성능이 떨어지게 되는 원인이 된다.

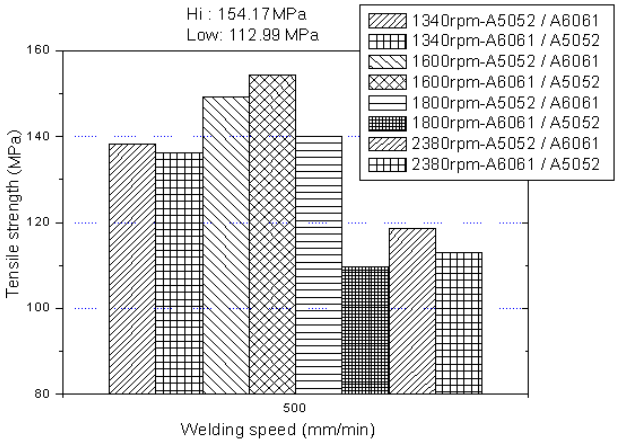
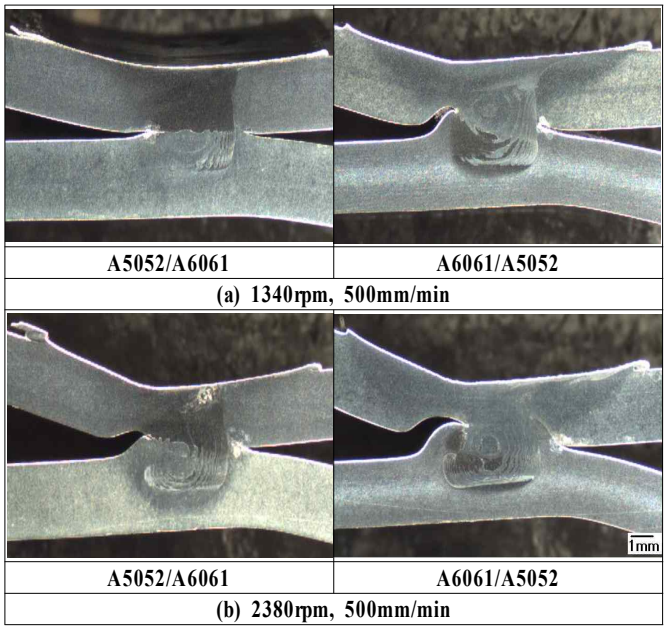


Fig. 5 Tensile strength of FSW lap joint : A6061 & A5052



A5052/A6061	A6061/A5052
(a) 1340rpm, 500mm/min	
A5052/A6061	A6061/A5052
(b) 2380rpm, 500mm/min	

Fig. 6 Macro structural variation with various welding conditions : (a)1340rpm (b)2380rpm

4. 결론

이종 겹치기 실험을 통하여 A5052/A6061 또는 A6061/A5052의 인장강도와 재질의 적당한 교반이 일어나는 값은 1600rpm, 500mm/min으로 너무 빠른 회전속도에서는 오히려 강도가 저하되었다. 이종겹치기 마찰교반용접시 회전속도와 이송속도에 따라 두 모재의 용접부내의 교반이 달리 일어남을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

1. 고영봉, 박경채, 김종배, "Al 5052 합금의 마찰교반 겹치기 접합 소성유동 특성," 대한용접학회 06 춘계 학술대회 개요집 ,2006
2. 김 익호, " Al 5052 / Al 6061합금의 겹치기마찰교반용접 특성," 경북대학교 석사논문, 2006