

A6005 마찰교반용접시 핀 형상이 기계적 강도에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect that Pin Shape have an Influence on Mechanical Strength in Friction Stir Welding A6005

*#박희상¹, 최만용¹, 박정학¹

*#H. S. Park (moonring@kriss.re.kr)¹, M. Y. Choi¹, J. H. Park¹

¹ 한국표준과학연구원 안전그룹

Key words : Friction stir welding, pin

1. 서론

화석 연료의 지나친 사용에 따른 지구온난화는 현재 세계 곳곳에 커다란 자연재앙을 만들고 있다. 이러한 문제를 발생시킨 여러 가지 이유 중 하나는 다른 에너지에 비하여 값이 저렴하여 에너지 효율성이 떨어지는 운송수단의 사용이 문제로 부각되었다. 최근 이와 같은 문제에 대응하기 위하여 범세계적으로 친환경적이며 에너지 효율이 좋은 운송수단의 제작에 가장 널리 활용되고 있는 재료는 알루미늄이라 하겠다. 이러한 알루미늄의 결합에는 여러 가지 방법이 사용되고 있으나 그중에서도 널리 활용되는 기술로는 TIG, RSW 등과 같이 용융용접이 현재도 널리 사용되고 있다. 하지만 알루미늄 합금의 용접에는 빠른 열확산 속도, 산화막, 열변형에 의한 문제등이 꾸준히 제기되어 왔다. 이러한 용융용접법의 단점을 최소화 시켜 줄 수 있는 기술로 고상접합 방법인 마찰교반용접(FSW)이 활용되고 있다. FSW는 영국 TWI에서 1991년 개발된 기술로 그동안 특허로 등록되어 로열티를 지급하고 사용해야 하는 문제점이 있었지만 특허 시효 20년이 곧 다드는 시점에서 이 기술의 활용은 점차 늘어가리라 본다. 마찰교반용접은 모재를 용융점 아래에서 고상접합 시키는 접합방법으로 용융후에 나타나는 열변형과 좌굴등의 현저히 적게 나타나며 용접시에 발생하는 스패터와 흡가스등의 문제를 해결하는 친환경적인 용접법이라 하겠다. 이러한 마찰교반용접에 영향을 미치는 여러 가지 인자 중에 용접툴의 하단에 위치한 핀(pin) 형상은 중요한 요소중에 하나이다. 본 연구는 현재 철도차량에 사용중인 열처리 경화형 A6005-T5 재질의 알루미늄합금의 맞대기 용접을 통하여 각각의 툴의 성능이 미치는 영향을 파악하여 앞으로 활용될 기술의 기초가 되는 모적을 두었다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 실험에서는 열처리 경화형 A6005-T5 알루미늄 압출체를 길이 250mm, 너비 80mm, 두께 3.2mm의 시편을 제작하여 실험하였다. 시편을 고정할 수 있는 고정장치에 시편을 위치하여 맞대기 용접이 가능하도록 수평을 맞춘 후 시편을 나사형 클램핑장치를 통하여 고정하였다. 각각의 고정압은 일정할 수 있도록 나사의 회전비율을 동일하게 하였으며, 실험재료의 화학성분과 기계적 물성치는 Table 1과 Table 2와 같다

Table 1 Chemical composition of A6005-T5

Al	Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	etc
A6005-T5	0.4-0.7	0.5-0.9	0.35	0.30	0.50	0.30	0.20	0.10	

Table 3.4 Mechanical properties of material

Aluminum	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
A6005-T5	270.45	243.5	17	104

2.2 실험장치 및 방법

알루미늄 판재를 마찰교반용접의 실험을 수행 할 수 있는 상태로 고정장치를 수직밀링머신의 베드위에 고정시킨 후 용접 작업시 발생하는 열을 효율적으로 배출할 수 있는 백킹 플레이트와 나사 크램핑 장치를 이용하여 시편고정기구에 알루미늄 판재를 맞대어 위치시킨 후 시편 양단과 위면을 회전시 발생할 수 있는 이탈과 좌굴을 막기위하여 나사를 조여 가이드 판으로 시편을 Fig. 1과 같은 방법으로 고정시킨 후 용접한다.

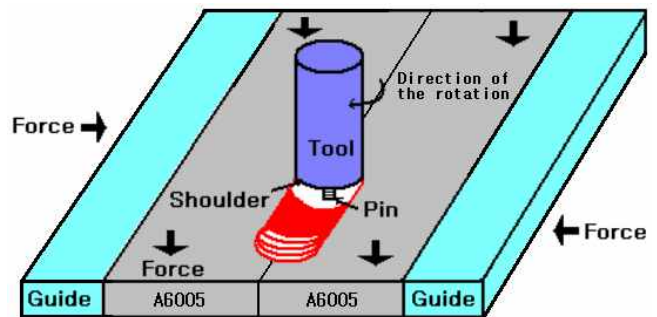
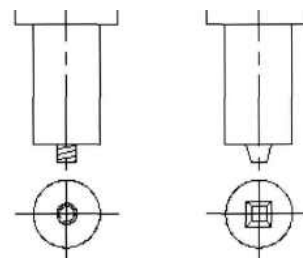


Fig. 1 Typical weld tool and process parameters used in the FSW process

서로 다른 핀 형상의 Fig. 2와 같은 두 가지 툴을 이용하여 실험을 진행하였다. 툴에 따른 용접성의 차이를 파악하기 위하여 이송속도를 600mm/min으로 고정하고, 회전수를 1600rpm, 1800rpm, 2380rpm으로 차이를 두어 0.2mm로 압입한 채로 나사형 핀과 사각뿔형 핀의 형상을 갖은 툴을 이용하여 실험하였다. 실험 조건은 Table 3과 같다.

Table 3 FSW lap joint conditions of A6005

Tool type	Pressing depth (mm)	Rotation	Tilting angle(°)	Welding speed (mm/min)	Spindle (rpm)
Threaded cylindrical	0.2	Counter-clockwise	2.5	600	1600
Quadrangular pyramid					1800
					2380



(a) Threaded cylindrical (b) Quadrangular pyramid

인장강도를 측정하기 위하여 Fig. 3과 같은 시편을 제작하였고, 시험에 사용된 시험기는 INSTRON 4484를 IX series 프로그램을 이용하여 컴퓨터로 제어하여 인장속도를 2mm/min로 하여 인장 시험을 하였다.

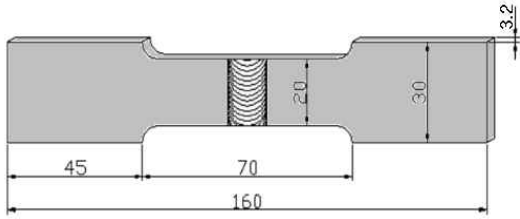


Fig. 3 The Dimensions of specimen and tensile specimen

3. 툴의 핀 형상에 따른 기계적 강도

Fig. 4에서 나타난 인장시험 결과는 모재인 A6005-T5의 최대 인장강도 270.45MPa에 비해 마찰교반용접으로 얻을 수 있는 최대 인장강도는 나사형 (Threaded cylindrical : T tool) 핀 툴의 1800rpm에서 도출된 값인 227.1MPa로 모재 대비 84%의 용접성능을 나타냈으며, 가장 낮은 인장강도는 사각뿔형 (Quadrangular pyramid : Q tool) 툴을 이용한 1600rpm, 600mm/min에서 얻은 214.89MPa로 모재대비 79%의 인장강도를 보였다. Q 툴로 용접을 수행한 1600rpm, 600mm/min에서는 용접부의 교반부에서 파단이 일어났는데 이는 교반이 충분하지 않아 발생한 용접 결함이라 하겠다. 이러한 현상은 1600rpm에서 일어났지만 1800rpm에서는 용접결함이 발생하지 않은 상태에서 용접성능이 좋지 못하였고, 2380rpm에서는 T툴과 Q툴이 비슷한 강도를 얻을 수 있던 사실에서 동일한 이송속도로 용접을 하였을 때 낮은 회전수에 의한 충분한 혼합 조건에서 마찰열이 충분히 입열 되지 못한 상태에서의 빠른 이송은 Q 툴에서 결함을 발생시킬 가능성이 높은 결과를 가져온다 하겠다. 또한 전체적으로 용접시에 버(Burr)가 많이 발생하는 모습을 보였는데 A6005-T5 재질의 산화막이 발달함에 기인한다 하겠다. 인장시험 결과를 통하여 나사형 핀 툴에 비하여 사각뿔형 핀의 용접성능이 상대적으로 떨어진다 하겠다.

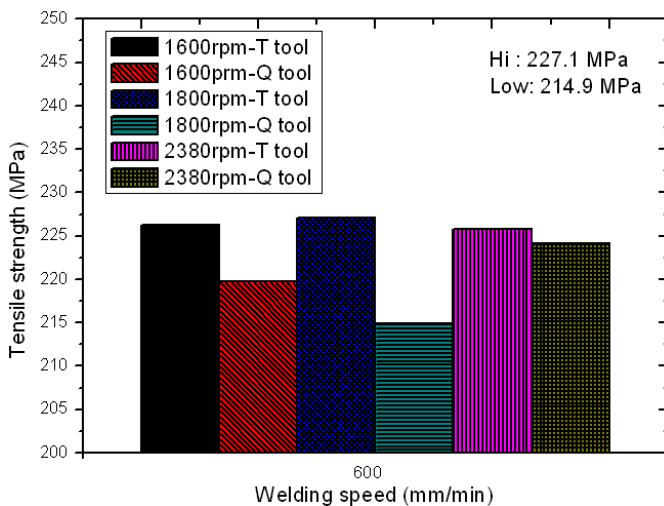


Fig. 4 T, Q tool tensile strength comparison

Fig. 5에 나타난 두 가지 툴의 연신율의 비교는 1600rpm, 1800rpm에서 보다 2380rpm에서의 연신율이 증가함을 알 수 있는데 이는 입열량의 증가로 열처리 경화형 재질인 A6005-T5가 동일한 용접속도 안에서는 회전수에 증가로 인한 마찰열이 높게 나타나게 되어 재질이 강성이 열처리의 풀림과 같이 연화되어

상대적으로 많이 연신되었다는 것을 나타낸다 하겠다. 또한 인장 시험시 용접결합의 형태로 교반부에서 파단이 일어난 Q 툴의 1600rpm에서는 연신율이 저하되어 나타났으며, 1600rpm과 1800rpm의 경우 T 툴에 비하여 Q툴이 연신율이 떨어지는 값을 보였다. 인장강도와 연신율의 비교를 통하여서도 두 값이 거의 일치하는 경향을 보였는데 이는 마찰교반용접시 나사형툴의 용접성능이 사각뿔형 툴의 용접성능에 비하여 안정된 결과를 나타낸다 하겠다.

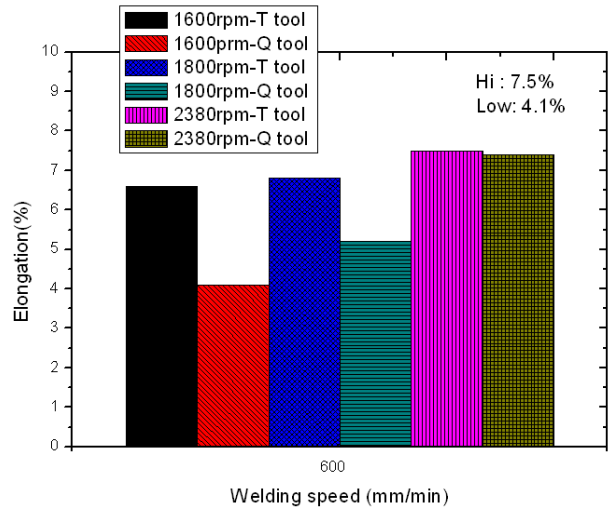


Fig. 5 T, Q tool elongation comparison

기존 연구에서 열처리 경화형 A6061-T6의 마찰교반용접의 경우 Q 툴에서 높은 인장강도를 나타낸 것과 달리 A6006-T5의 경우는 상대적으로 T툴이 안정된 용접성능을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 철도차량에서 널리 사용되고 있는 열처리 경화형 알루미늄합금재인 A6005-T5에 서로 다른 형상의 핀 형상의 두가지 툴을 이용하여 마찰교반용접을 실시하였으면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 동일한 용접 속도에서 툴의 회전수의 차이는 인장강도에 큰영향을 주지 못했다.
- 2) 충분한 입열량은 연신율을 높게 만드는 경향을 보였다.
- 3) 동일한 실험 조건에서 나사형 핀의 T 툴이 사각뿔형 핀의 Q 툴보다 인장강도와 연신율이 높게 나타나 A6005-T5의 마찰교반용접시 용접성능이 상대적으로 뛰어 남을 보였다.

참고문헌

1. 박종식, 장석기, 김성중, 한민수 "1050 Al합금판재의 핀 마찰 교반용접에 의한 실험적 연구" 한국마린엔지니어링학회 2006년도 후기학술대회논문집, pp. 71~72, 2006
2. 박희상, 이영호, 최원두, 고준빈 "A Study on the Effect that Pin Shape and Welding Speed have an Influence on Mechanical Strength in Friction Stir Welding Al6061-T6" 한국공작기계학회 논문집 Vol.17 No.4, pp. 22~28, 2008
3. 박영빈, 구정서, 구병준 "알루미늄 A6005 압출 패널의 마찰교반 용접 특성 연구" 한국철도학회 논문집 제12권 제4호, pp. 512~517, 2009