

5J32 알루미늄 합금의 마찰 점용접 Spot Friction Welding of 5J32 Al alloy

이 원배*, 이 창용*, 연 윤모**, 정 승부*

* 성균관 대학교 신소재 공학과

** 수원 과학대 자동화 시스템과

ABSTRACT Joint strength of spot friction welded 5J32 Al alloy were investigated according to the tool shape and the tool penetration depth. General spot friction stir welding tool consists of a shoulder having bigger diameter and a threaded pin projected from the shoulder, which resulted in the generation of large up-lifting of upper plate around the weld nugget because of the deeper penetration and the severe stirring effect of threaded pin. Two kinds of welding tools without the threaded pin were used to avoid the distortion and improve the joint strength. One was a simple cylindrical shape and the other was cylindrical shape with small projection. Therefore, the process was named as spot friction welding comparing to spot friction stir welding because spot friction welding don't use a stirring effect. Using the cylindrical shape tool with small projection, the up-lifting of upper plate were avoided and joint strength were superior to that of the joint using simple cylindrical shape tool. At the 0.5mm of too penetration depth using cylindrical tool with small projection, nugget pull fracture mode can be observed and shear fracture mode were dominant at the rest conditions.

1. 서 론

CO₂배출가스의 저감 및 연비를 향상시키기 위해 자동차의 경량화가 진행됨에 따라 종래재료를 대체할 수 있는 경량화 재료로서 알루미늄(Al)합금의 역할이 증대하고 있다. 이에 따라 최근 자동차분야에서 Al합금의 사용비율 및 사용부위가 점차 증가하고 있으며 현재 알루미늄 합금은 스포츠카는 물론이고 일반 승용차 (popular car)에도 적용 되고 있다. 철 계 재료로 이루어진 자동차 부품을 결합시키기 위해, 저항 점용접 (resistance spot welding, RSW)이 널리 이용되고 있다. 그러나 알루미늄 합금접합에 적용할 경우, 몇 가지 문제를 야기 시킬 수 있으며 RSW의 적용에 제한이 있다. 물리적으로 Al합금은 강판에 비해 열전도도 및 비열이 높고 전기저항이 낮아 발열하기 어려우면서도 열이 방출되기 쉬워 용접하기가 쉽지 않았다. 이 때문에 RSW로 Al합금판재를 용접하는 경우, 더욱 많은 전력이 요구되며 단기간에 다수의 전극봉(electrode)을 교체해야 하며 때때로 부품의 형상을 저해하는 접합부의 뒤틀림을 야기 할 수 있다. 따라서

self-piercing riveting 또는 clinching 과 같은 기계적인 체결(mechanical fastening) 공정이 대신하여 이용된다. 이를 극복할 수 있는 새로운 점용접기술이 요구되어 왔다.

2001년에 FSW의 원리를 응용한 마찰교반 점용접(Spot Friction Stir Welding: Spot FSW)기술이 개발되어 자동차 차체용 Al합금을 고상상태로 접합할 수 있는 새로운 점 접합기술로서 주목을 받고 있다. Spot FSW기술은 접합 톨을 회전시키면서 겹치기 이음부의 상판 및 하판에 삽입시켜 상·하판을 소성유동시킴에 의해 접합계면을 활성화시켜 접합하는 방법으로 전력소비가 매우 적고 톨 수명이 길며 환경친화적 점 접합기술이라는 장점을 갖고 있어 선진국의 경우, 자동차 패널용 Al합금의 점용접에 적용되어 승용차의 후드, 트렁크, 도어 및 루프 등의 용접분야에서 실용화되고 있다¹⁻²⁾.

본 연구에서는 일반적인 마찰교반접합용 톨을 이용하여 점 접합 한 경우, 핀의 과도한 교반 및 톨 침투 깊이 증가로 인한 접합부에 과도한 기계적인 뒤틀림을 일으킨다. 따라서 나사산 형태의 핀이 없는 접합 톨 즉, 마찰가압력만을 이용하여

마찰 점 접합을 실시하고자 한다. 틀 형상의 변화 및 침투깊이의 변화에 따른 접합부 특성 및 접합 강도를 평가하였다.

2. 장 실험방법

본 실험에 사용된 재료는 5J32 Al 합금이며 측정된 5J32 합금의 최대 인장강도는 327MPa, 항복 강도는 213MPa 및 연신율은 약 27%였다. 접합용 tool소재로서는 SKD11을 사용하였다. 접합시의 tool 각도는 0°로 하였으며 겹치기 점 접합 하고자 하는 면을 밀착시켜 접합용 지그로 고정시킨 후 Spot FW실험을 행하였다. 두 가지 형태의 접합 틀이 이용되었는데, 하나는 단순 원통형의 접합 틀 (Cylindrical Tool, CT)이었으며 다른 하나는 원통형의 접합 틀 끝 부분에 직경이 약간 작은 돌기가 형성된 핀 (Cylindrical Tool with Projection, CTP)이었다. 본 실험에 적용된 마찰 점 접합 공정, 시험편 크기 및 접합 틀의 형상을 Fig.1에 나타낸다. 핀의 삽입깊이의 영향을 조사하기 위하여 2500rpm의 틀 회전속도 하에서 삽입깊이를 0.2-0.5mm로 변화시켰으며 접합 시간은 1초로 하였다. Spot FW 접합부의 경도는 마이크로 비커스 경도 시험기를 사용하여 접합중심부로 부터 0.5mm간격으로 측정하였으며 시험하중은 25g으로 하였다. Spot FW접합부의인장전단강도평가에는 100×30×1mm크기의 시편을 사용하여 $1.67 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ 의 변형속도로 시험을 행하였다.

Spot FW 접합재의 표면 및 이면을 광학현미경으로 관찰하여 접합부의 외관상태를 조사하였다. 또한, 접합부조직을 관찰하기 위하여 버후(buff)연마 후 keller용액으로 약10초간 에칭한 후에 광학현미경으로 Spot FW접합부 상태, 접합조직 및 접합결함유무 등을 상세히 관찰하였다. 인장전단시험 후, 파괴거동을 파악하기위해 파단면을 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였다.

3. 장 실험 결과 및 토의

Fig.2 는 접합 틀의 침투 깊이 및 형상에 따른 접합부 상판의 형상 변화를 나타낸 그림이다. (a)와 (b) 는 각각 CTP와 CT를 이용하여 접합한 접합체 이다. CTP를 이용한 접합부의 경우 접합

부의 직경이 틀의 침투깊이에 따라 변함을 확인하였으나, CT를 이용한 경우, 접합부 직경의 변화는 거의 관찰할 수 없었다. 상판은 접합 틀의 가압에 의해 버튼 (burton) 형태로 두께가 감소하였으나 아랫면의 경우는 편평한 형태를 그대로 유지 하였다. 접합부에서는 어떠한 결함도 관찰할 수 없었으며 외관상으로 양호한 점 접합부를 형성하고 있음을 알 수 있다.

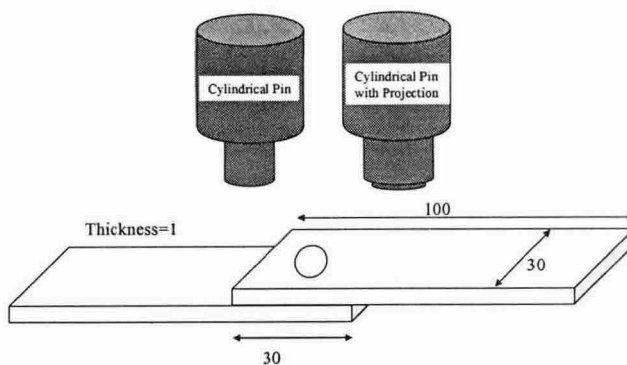


Fig.1 Schematic illustration of spot friction welding process, shapes of welding tool and specimens dimension

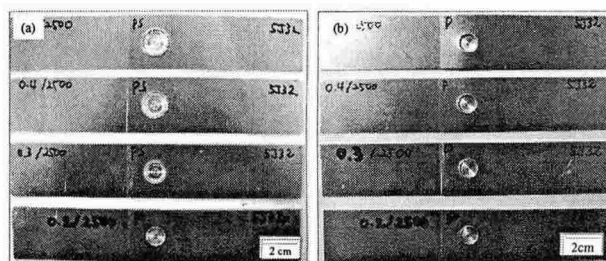


Fig.2 Photos of upper surface with tool penetration depth and tool shape: (a) CTP and (b) CT

Fig.3은 점 접합체의 상판 들어올림 (up-lifting) 현상을 관찰하기 위해 접합체 옆면(side view)을 관찰한 사진이다. CTP접합 틀을 사용한 경우, 접합 틀의 침투 깊이와 관계없이 들어올림 현상을 관찰 할 수 없었으며 모재가 가지고 있던 직선 형태를 그대로 유지함을 알 수 있다. 그러나 CT접합 틀을 이용한 경우, 틀 침투깊이가 0.2, 0.3mm인 경우, 들어올림 없이 접합부가 형성 되었으나, 그 이상의 깊이로 침투 시킨 경우, 들어올림 현상이 발생함을 알 수 있다.

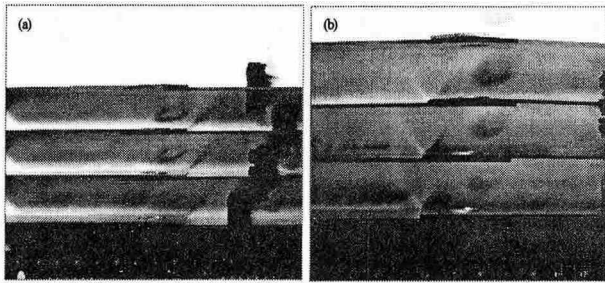


Fig.3 Photos of side view of spot friction welded 5J32 Al alloy with tool penetration depth and tool shape : (a) CTP and (b) CT

Fig.4는 틀의 삽입깊이 및 형상의 변화에 따른 위면 접합부의 직경의 변화를 나타내고 있다. 틀의 형상에 관계없이 내부 직경 (inner diameter)의 변화는 거의 관찰 할 수 없었다. CTP접합 틀을 이용한 경우, 틀의 삽입깊이가 증가함에 따라 외부 직경 (outer diameter)이 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 그러나 CT접합 틀을 이용한 경우, 틀의 침투 깊이가 증가함에 따른 외부직경의 변화는 거의 관찰 할 수 없었다.

외부 직경은 접합부 내부에서 틀의 회전 작용으로 인해 접합부 위 부분으로 배출되는 재료의 양과 관련이 있으며 소성변형의 도입과도 관계가 있다. 따라서 약간의 돌기를 가지고 있는 틀이 더 많은 소성변형을 도입시킨 것으로 사료된다.

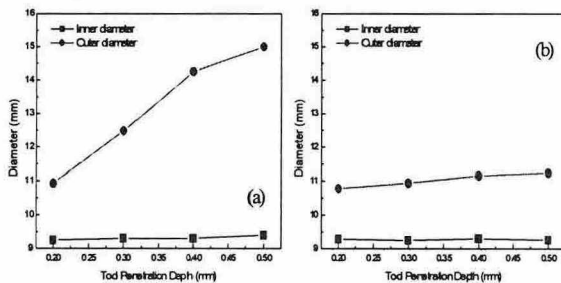


Fig.4 Variation of joint diameter with tool penetration depth and tool shape: (a) CTP and (b) CT

Fig.5는 각각의 틀의 형태 및 틀 침투깊이에 따른 접합부의 인장전단하중의 변화를 나타내고 있다. CPT접합 틀을 이용하여 접합한 접합체의 경우, 틀의 침투깊이가 증가할수록 접합부 강도가 증가함을 알 수 있으며, 틀 침투깊이가 0.5mm인 경우, 최대값 5000N 이상의 강도를 나타내었다. 향후 더 깊은 침투깊이로 접합한 경우의 접합 강도에 대한 파악이 필요하다. 그러나 CT접합 틀을 이용하여 접합한 접합체의 경우, 틀의

침투깊이가 증가함에 따라 약간 증가하는 경향을 보였으나 미미한 수준이며, 0.4mm에서 최대값을 보였으며 0.5mm로 증가한 경우는 약간 감소하는 경향을 나타내고 있다.

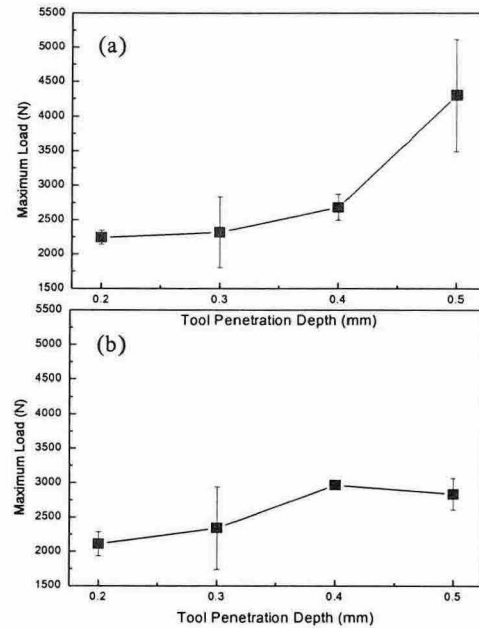


Fig.5 Variation of maximum shear-tension load with tool penetration depth and tool shape: (a) CTP and (b) CT

전단 인장 시험 후 파단면을 관찰 한 결과, 강도가 가장 높았던 CTP접합 틀을 이용하여 0.5mm 침투깊이에서 접합한 접합체의 경우, 접합부 상하 파단 형태 (weld nugget pull fracture)가 관찰되었으나 그 외의 경우 접합부가 인장 하중에 의한 미끄러짐 파단 형태 (shear fracture mode)가 관찰됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Yun Mo Yeon, Chang Yong Lee, Won Bae Lee, Seung Boo Jung and Woong Seong Chang: Spot Friction Stir Welding and Characteristics of Joints in Aluminum Alloys, Journal of KWS, 23-3 (2005) 16-20