

6XXX계 알루미늄합금의 마찰교반점용접시 접합변수에 따른 삽입하중 및 접합강도 변화

Variation of axial load and joint strength with welding parameters in friction stir spot welded 6XXX aluminum alloy

표성은*, 이창용*, 최돈현*, 연윤모**, 정승부*

* 성균관대학교 신소재공학부

** 수원과학대학 소재응용학과

1. 서 론

항공기, 차량, 기차 등 운송수단의 경량화는 에너지의 고효율적인 사용을 위한 시대적 흐름이라 할 수 있다. 이러한 운송수단의 경량화를 위해 기존의 철강 같은 무거운 재료를 대신할 재료로 가벼우면서 좋은 강도를 가지는 알루미늄 합금이 대두되었으나, 알루미늄 합금은 접합 등 가공기술의 한계로 인해 그 사용이 제한되어왔다. [1] 하지만 최근 마찰교반 점 접합(FSSW : Friction Stir Spot Welding)이라는 고상접합 기술이 개발됨으로서, 다양한 알루미늄합금의 접합이 용이해졌다. FSSW기술은 피접합체들을 고정시킨 후, 회전하는 톨을 수직으로 삽입하여 톨의 마찰에 의한 열 등을 이용하여 접합시키는 방법이다. 용융접합 혹은 리벳법 등에 비해 FSSW법이 갖는 장점은 용융으로 인한 접합특성 저하가 없다는 점과 첨가제가 필요 없다는 점 등을 들 수 있다. 6XXX계 알루미늄 합금은 Al에 Mg, Si를 첨가하여 준안정상인 금속간화합물 Mg_2Si 를 형성하는 합금으로, 온도가 내려감에 따라 Mg_2Si 의 고용도가 떨어지는 점을 이용해 석출경화가 가능한 재료로서 훌륭한 내식성으로 인해 자동차용 판재로 널리 사용되는 재료이다. [2]

본 실험에서는 6XXX계 알루미늄 합금의 FSSW법을 이용한 겹치기접합으로, 삽입깊이와 유지시간을 고정하여 접합하였으며, 톨의 삽입속도와 회전속도를 변수로 하여 접합부의 특성을 평가해보았다. 그리고 FSSW장치에 Load Cell을 장착하여 삽입속도의 변화에 따른 하중을 측정하였고 그 변화를 살펴보았다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 재료는 석출경화형 6XXX계 알루미늄 합금을 이용하였으며, 길이 100mm, 넓이 30mm, 두께 1mm 인 판재의 양 끝단을 30mm 겹쳐서 접합하였다.

톨은 공구강 재료를 사용하여 솔더 하부에 원통형의 핀이 형성된 형태의 것을 사용하였다.

마찰교반 점 용접법에는 여러 가지 공정변수가 있지만 본 실험에서는 회전속도 2가지(700rpm, 1600rpm)와 톨 삽입속도 3가지(15mm/min, 45mm/min, 90mm/min)로 공정변수를 달리하여 총 6가지 조건으로 제작하였으며, 삽입깊이는 0.6mm, 유지시간은 2초로 고정하였다.

시편 제작 시 지지대 부분에 load cell을 장착하여 하중을 측정하였으며, 제작된 시편은 인장 시험으로 기계적인 특성을 알아보았다.

접합한 시편의 단면관찰은 광학현미경을 통하여 실시하였다.

3. 결 과

Fig. 1은 45mm/min조건에서 700rpm과 1600rpm에서의 접합부의 단면을 찍은 Macro 사진이다. 아래 보는 것과 같이 둘 다 접합부의 판과 닿은 부분 아래에서는 상판과 하판의 경계가 없이 잘 접합되어 있음을 알 수 있다. 다만, 1600rpm의 경우 툴의 솔더 아포트부분에서 완전히 접합되지 않은 상·하판 사이의 계면이 700rpm의 경우보다 더 접합중심부 가까이까지 연결되어 있는 것을 알 수 있다.

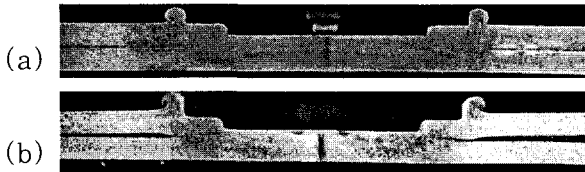


Fig. 1. Micrographs of the cross-section of friction stir spot welds made by the tool on (a) 700rpm-15mm/min (b) 1600rpm-15mm/min

Fig. 2는 각 조건에서의 인장전단강도를 나타낸 것이다. 그래프를 통해 삽입속도는 인장전단강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 타 연구자의 연구 결과와 일치했으며, 인장전단강도에 무관하게 삽입속도를 증가시키는 것이 전체 접합 공정시간을 감소시켜 줄 것으로 예상된다.[2]

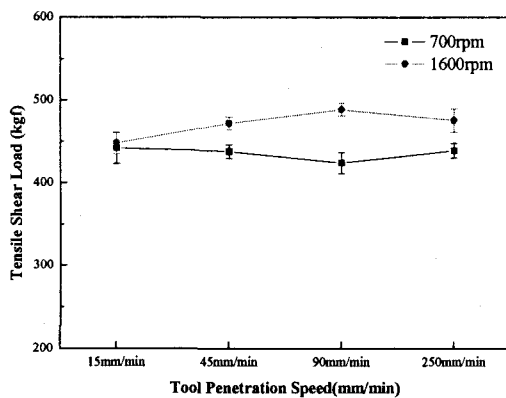


Fig. 2. Effect of plunge rate on TSL for two rotational speeds.

Fig. 3은 45rpm에서의 700rpm과 1600rpm에서의 인장 후 파면 사진이다. Fig. 1.에서 언급했던 상·하판 사이의 완전히 접합되지 않은 계면의 끝부분에서 파괴가 일어난 것을 확인 할 수 있었다. 1600rpm에서는 중심부로부터 툴의 솔더가 시작되는 지점 근처에서 파괴가 일어났으며, 700rpm에서는 툴의 솔더 바깥 지점 근처에서 파괴가 일어났음을 알 수 있다.

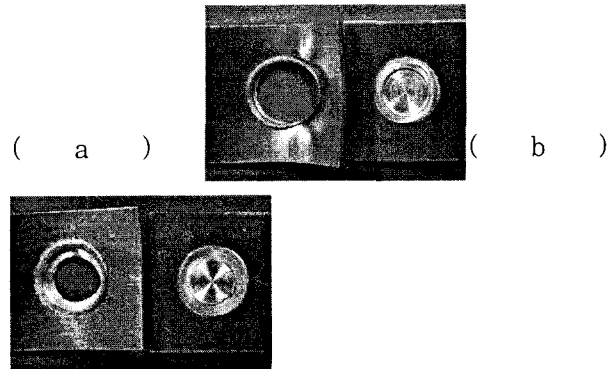


Fig. 3. Broken tensile shear test specimens that are welded on (a) 700rpm (b) 1600rpm

Fig. 4는 동일한 삽입속도(90mm/min)에서의 각 툴 회전속도를 달리하여 측정한 삽입 하중 그래프다. 0.0s은 툴이 시편에 들어가기 시작하는 점이다. 0.0s부터 0.7s까지 구간에서 load값은 급격히 증가하여 0.7s에서 최대 삽입 하중을 가지며, 이 지점에서 툴의 삽입깊이가 0.6mm에 도달한 것으로 추측된다. 0.7s부터 2.7s까지 구간은 툴이 더 이상 들어가지 않고 유지되고 있는 구간이다. load값이 완전히 0이 되지 않고 load 그래프가 점점 완만하게 수렴하는 것을 알 수 있다. 2.7s부터 2.8s까지 구간은 툴이 시편에서 빠져나가는 영역이며, 2.8s이후는 삽입 하중이 0으로 툴이 더 이상 시편과 닿아있지 않다는 것을 나타낸다.

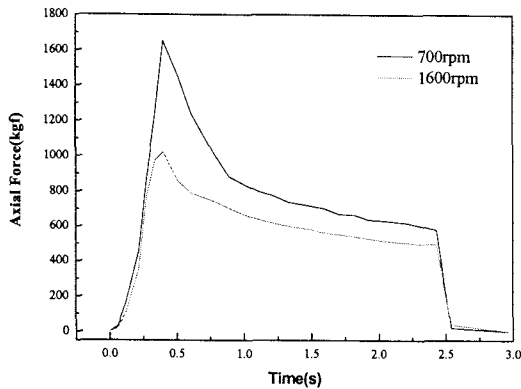


Fig. 4. FSSW axial force-time plots for two rotational speeds

Fig. 5는 1600rpm에서의 툴 삽입속도에 따른 삽입 하중을 나타낸 것이다. 툴의 삽입속도가 증가함에 따라 최대 삽입 하중까지 도달하는 시간은 짧아져 시작점부터 최대 하중까지의 그래프의 기울기가 커지는 경향을 보였다. 그리고 회전속도가 증가할수록 최대 삽입 하중도 증가하는 양상을 보였다.

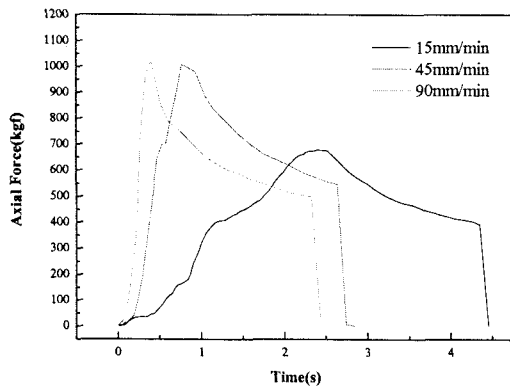


Fig. 5. FSSW axial force-time plots for different plunge rates.

Fig. 6에서 알 수 있는 사실은 툴 회전속도가 상대적으로 낮은 700rpm에서의 인장 전단 강도가 1600rpm에서의 인장 전단 강도에 비해 높게 나타났다는 점인데, Fig. 4를 통해서도 이러한 경향을 확인할 수 있었다. 이러한 경향을 갖는 이유를 설명하자면, FSSW 공정은 열에 의한 연화, 변형, 변형경화, 파괴가 거의 동시에 진행되는데, 여기서 높은 회전속도와 높은 마찰열 발생은 더 심한 열에 의한 연화를 시켜 결과적으로 낮은 하중을 갖게 되기 때문이라고 보고 되고 있다. [3]

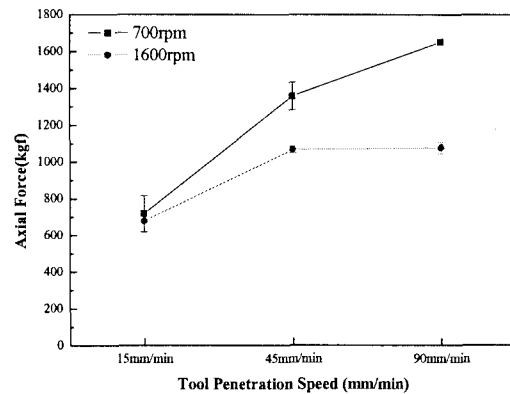


Fig. 6. Effect of plunge rate on axial force for two rotational speeds.

Fig. 2와 Fig. 6을 살펴본 결과 접합 시 툴 삽입하중과 접합부의 인장전단 강도는 연관이 적다는 결론을 내렸다. 타 연구자의 연구결과에서도 일치하는 결과가 있었으며, 그 논문에는 툴 삽입 깊이의 영향이 큰 것으로 보고 되고 있다. [3]

4. 결 론

6XXX계 알루미늄 합금을 이용하여 마찰교반 점 접합을 실시하고, 기계적 특성 등을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 적용된 툴 삽입 속도 및 툴 회전 속도 조건에서는 접합부 결함이 없는 양호한 접합이 이루어졌다.
- 2) 접합 시 툴 삽입 하중은 툴 회전속도가 빠를수록, 툴 삽입속도가 느릴수록 재료의 연화가 잘 되어 낮게 나타난다.
- 3) 접합부의 인장전단강도는 툴 회전속도와 삽입속도와는 연관이 적었으며, 삽입 깊이 변수와 연관이 클 것으로 예상된다.
- 4) 접합 시 툴 삽입하중과 접합부의 인장전단 강도는 연관이 적은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. S. Fukumoto, I. Lum, E. Biro, D.R. Boomer, Y. Zhou, Weld. J. 82 (2003) 307-s.
2. Y. S. Sato, H. Kokawa, M. Enomoto, S. Jogan : Metall. & Mater. Transaction A. 30-9(1999), 2429-s
3. S. Lathabai, M.J. Painter, G.M.D. Cantin and V.K. Tyagi / Scripta Materialia 55 (2006) 899-s