

마찰교반 점용접(FSJ)을 이용한 자동차용 Al 합금의 파단특성

Fracture mode of friction spot joined Aluminum alloy used in automobile industry

김특기* · 천창근* · Rajesh S.R.* · 김홍주* · 장웅성*

*포항산업과학연구원(RIST) 용접센터

ABSTRACT Friction Spot Joining (FSJ) has a strong potential for aluminum alloy joining in automobile industries. The present paper focuses on the attempt to optimize the FSJ process for lap joining of A5052-H32 and A6061-T6 aluminum alloys. For A5052 maximum tensile shear strength has been observed for a tool rotating speed of 800rpm and for A6061 at 1000 rpm. Study on fracture modes of the tensile tested specimens of both A5052-H32 and A6061-T6 revealed, for high tensile strength values, plug fracture mode and lower tensile values, shear fracture mode. Above 2000 rpm distortion of the base metal, beside the tool shoulder was larger and plug fracture mode has been observed.

1. 서 론

1970년대 두 차례에 걸친 석유파동 이후 에너지 절감의 필요성이 대두 되었고, 이러한 인식은 최근 자동차 수요의 증가에 따른 지구의 심각한 환경오염과 자원고갈로 인해 필요성이 배가되었다.

자동차 및 수송기기 분야에서 소재의 경량화는 연비향상으로 인해 에너지를 절감할 수 있고, 배기가스의 배출을 줄일 수 있는 가장 적합한 방법이라 할 수 있다. 특히, 자동차 산업에서 경량화 소재로 많이 사용되는 알루미늄 합금은 엔진, 열교환기, 휠, 서스펜션 암, 범퍼빔 등에 적용되어 왔고, 현재 차체분야에 까지 확대되어 적용분야가 점점 넓어지고 있다. 현재 강재의 차체 조립을 위해 저항점용접(Resistance spot welding ; RSW)이 널리 쓰이고 있으나 알루미늄의 경우에는 전기전도도와 열팽창계수가 높아 많은 에너지의 소모와 전극팁의 오염에 따른 용접품질의 불균형으로 그 적용분야가 상당히 제한적이다.¹⁾

최근 마찰교반용접(Friction stir welding ; FSW) 공정을 응용한 새로운 기술인 마찰교반 점용접(Friction spot joining ; FSJ)이 이러한 문제점들을 해결하기 위한 접합방법으로 주목받고 있다. FSJ는 용점이하의 고상상태에서 접합이 이루어져 용융 용접된 접합부의 기계적 성질이 저

하하는 등의 문제점이 나타나지 않아 용점이 낮아 쉽게 연화될 수 있는 경량합금의 접합에 활발히 이 기술이 적용되어 왔고, 현재 용점이 높은 비경량합금에 까지 폭넓은 적용을 위해 많은 연구들이 이루어지고 있다. 그러나, FSJ는 접합용 툴을 이용하기 때문에 툴의 내구성 문제로 어려움이 있다. 따라서 두 금속의 적당한 혼용이 요구되어지는 분야가 차츰 증가하는 추세이다. 이 접합방법을 이용하여 최근 자동차 경량화 재료로서 각광을 받고 있는 A5052와 A6061 알루미늄 합금의 마찰교반 점용접부의 접합 후 파단 특성을 살펴보았다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 재료는 Al-Mg계 비열처리 가공경화형 전신재 합금 A5052-H32 합금(1t)과 Al-Mg-Si계 열처리 석출경화형 전신재 합금 A6061-T6 합금(1t)을 이용하여 접합을 실시하였다. 사용된 재료의 화학성분과 기계적인 특성을 Table. 1에 나타내었다.

2.2 실험방법

FSJ 접합공정은 겹쳐진 모재에 접합 툴을 회전시켜 가압하고 소재 속으로 일정한 시간동안 삽입하면, 접합 툴과 소재 사이에 회전운동과 압력에 의한 마찰열이 발생하여 재료가 연화되어 툴의 편에 의해 소성유동이 일어나 접합이 이루어진다.^{2) 3)}

알루미늄 소재에 대한 접합 실험은 FSJ 장치를 이용하여 접합인자 즉, 접합용 툴의 회전속도(rotational speed), 접합시간(dwel time), 툴의 삽입깊이(plunge depth), 상판(upper plate), 하판(back plate)을 변화시켜 결함이 없는 건전한 접합부를 얻고자 하였다. 사용한 툴은 6의 숄더각(shoulder angle)을 가진 형상을 지닌 직경 11mm 숄더와 직경 3mm, 길이 1.45mm인 편을 지닌 것을 사용하였다.

Table. 1 Chemical compositions and mechanical properties of A6061-T6 and A5052-H32 alloy

Chemical composition (wt)(%)						
	Mg	Si	Cr	Mn	Cu	Al
A6061	0.8	0.4	0.1	0.15	0.15	bal.
A5052	2.8	0.25	0.35	0.1	0.1	bal.
Mechanical properties						
	TensileStrength (N/mm ²)	Elongation (%)	YieldStrength (N/mm ²)			
A6061	310	12	276			
A5052	230	8	195			

건전한 접합부의 결함 유무는 육안에 의한 접합부 관찰 및 접합한 재료를 절단하여 마운팅, 연마 후 에칭하여 광학 현미경을 사용하여 접합부 조직을 관찰하였다.

또한 건전한 접합부의 기계적 특성을 평가하기 위하여 인장전단시험을 실시하였다. 접합부 인장전단시험은 JIS Z 3140 규격에 맞추어 시편을 제작하여 실시하였으며, 조직적 특징은 광학현미경(OM : Optical Microscopy)을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합부 형상과 기계적 특성

FSJ 공정 후 시편의 형상은 표면에 툴의 편에 의해 만들어진 홈이 중앙에 남아있고, 이음부의

가장자리에 툴이 모재 속에 삽입되어져 원소재가 밖으로 돌출되어 링 형상의 돌기가 형성되어 있다. FSJ 시편의 접합부 단면은 일반적인 FSW 접합부와 유사하게 교반부(Stir Zone ; SZ) 기계적 열영향부(Thermo - Mechanically Affected Zone ; TMAZ), 열영향부(Heat Affected Zone ; HAZ), 모재부(Base Metal ; BM)로 구분된다.

두 합금의 회전속도에 따른 FSJ 접합된 접합부의 인장전단강도를 Fig. 1에 나타내었다. A5052 합금은 800rpm에서 A6061 합금은 1000rpm에서 인장전단강도가 가장 높게 나타났고, 상대적으로 A5052 합금보다 A6061합금의 인장특성이 더 높게 나타났다.

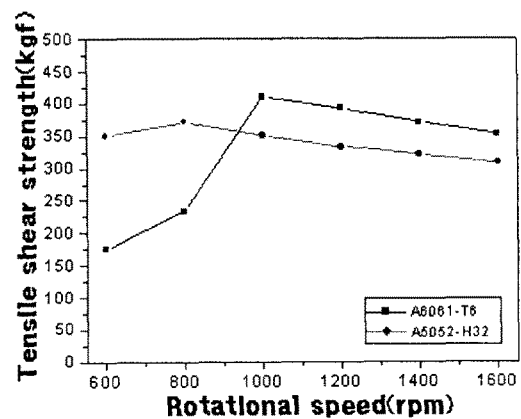


Fig. 1 Tensile shear fractured load in Al alloys as a function of rotational speed(rpm) (plunge depth: 1.8mm, Dwell time : 2.0sec)

두 합금의 최적 접합조건이 다른 이유는 두 합금의 고온에서의 기계적 성질이 다르기 때문이다. 실제로 FSJ 공정의 온도는 거의 고상선에 가깝다.⁴⁾ 열팽창의 경우 A5052는 28.1 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ 이고, A6061은 27.1 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ 로 FSJ 공정 시 동일한 회전속도에서 두 합금을 비교하면 A5052 합금이 더 극심한 소성변형을 하게 되어 오히려 강도 저하의 원인이 될 것이다. 따라서, A5052의 경우 A6061보다 더 낮은 회전속도에서 최적의 접합 특성을 보인다.

3.2 접합부의 파단형상

FSJ 공정 후 인장전단시험 후의 파단형상은 범용적으로 사용되는 전기저항점용접부의 파단형상과 유사하다. 파단형상은 열영향부와 교반부 사이에서 파단이 일어나는 테어파단(Tear fracture), 열영향부에서 파단이 일어나는 플러그 파단(Plug fracture), 편홀과 교반부 사이에서 파

단이 일어나는 전단파단(Shear fracture)의 세 가지로 나타난다. 테어파단과 플러그파단일 경우 인장특성이 대부분 높게 나타난다. Fig. 2는 두 합금이 가장 높은 인장특성을 가지는 회전 속도 별 단면과 kissing bond를 나타내었다. Fig.3은 두 합금을 FSJ공정 후 인장전단실험 시 관찰되는 파단형상을 나타낸 것이다.

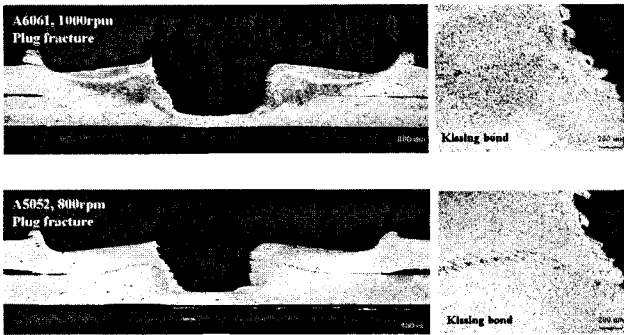


Fig.2 Cross section details of A6061&A5052 FSJ having the highest tensile strength

	Plug fracture	Tear fracture	Shear fracture
A6061			
A5052			

Fig.3 Fracture mode in the case of A6061&A5052 FSJ

인장전단강도 값이 현저히 낮은 회전속도 600rpm에 A6061의 경우 교반영역이 작고, FSJ 공정 시 발생하는 결합인 Kissing bond의 영역이 매우 넓어 Shear fracture 형태로 파단이 일어나고, 상대적으로 인장특성이 높은 1000rpm에서는 Kissing bond의 영역이 뚜렷하지 않고 열영향부와 교반부 영역 사이의 경계면이 뚜렷하게 관찰되어 Plug fracture 형태로 파단이 일어난다. A5052의 경우 상대적으로 인장특성이 높은 800rpm에서는 Kissing bond의 영역이 뚜렷하지 않고, Plug fracture 형태로 파단이 일어난다. 또한, A5052는 회전속도 1600rpm에서 핀 주위에 교반부 영역에서 낚시바늘과 유사하다하여 hook라 불리는 구간이 뚜렷하게 관찰되고⁵⁾ 이 경계부위에서 파단이 일어나 Tear fracture 형태로

관찰되는 것으로 사료된다.

4. 결 론

FSJ를 이용한 AA5052, AA6061 합금의 접합을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) A5052 합금은 800rpm에서 A6061 합금은 1000rpm에서 최고 인장전단강도를 나타냈고, A6061 합금이 A5052 합금보다 상대적으로 높은 인장전단강도를 가졌다.
- 2) 두 합금 모두 높은 인장전단강도를 나타낼 때는 대부분 Plug fracture 형상으로 파단이 일어났고, 낮은 인장전단강도를 나타낼 때는 Shear fracture 형상으로 파단이 일어났다.
- 3) 두 합금 모두 높은 회전속도(2000rpm 이상)에서는 인장전단강도 값이 낮게 나타났지만, 열에 의한 소재의 변형으로 인해 Plug fracture 형상과 Tear fracture 형상이 관찰되는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. R. Sakano, K. Murakami, K. Yamashita, T. Hyoe, M. Fujimoto, M. Inuzuka, Y. Nagao, H. Kashiki : Development of Spot FSW Robot System for Automobile Body Members, 3rd International Friction Stir Welding Symposium, September, 2001, 27-28.
2. M. Fujimoto, M. Inuzuka, M. Nishio and Y. Nakashima : Development of Friction Spot Joining, Quarterly Journal of Japan Welding Society 74-4, 2004, 4-7 (in Japanese)
3. W. M. Thomas et al.: Friction Stir Butt Welding, International patent Application No. PCT/GB92 Patent Application 1991, No. 9125978.8
4. A. Gerlich, P.Su, T.H.North, and G.J.Bendzsak : Friction Stir Spot Welding of Aluminum and Magnesium Alloys, Materials Forum, 2005, 290-294
5. Hideki Hiramatsu, Kouji Michida, Yasumasa NaKashima, Mitsuo Fujimoto : Investigation of Predominant Mechanical Parameters and its Prediction in Joint Strength of Friction Spot Joining 2005, 443-453