

마찰교반 점용접(FSJ)을 이용한 자동차용 Al 합금의 접합성 평가

Evaluation of Friction Spot Joining Weldability of Al Alloys for Automotive

조현진** · 김홍주* · 노중석*** · 장용성* · 방국수**

*포항산업과학연구원(RIST) 용접센터

**부경대학교 일반대학원 소재프로세스공학과

***태광테크(TKT) 기술연구소

ABSTRACT In an attempt to optimize friction spot joining process of Al alloys for automobiles, joining parameters such as tool rotating speed, plunging depth, and joining time on the joints properties were investigated. A wide range of joining conditions could be applied to join Al alloys for automobile without defects in the weld zone except for certain welding conditions with a lower heat input. For sound joints without defects, tensile shear strength of joints was higher than acceptable criteria of tensile shear strength of resistance spot welded joints for aluminum.

1. 서 론

자동차 산업에서 알루미늄 합금은 엔진, 열교환기, 휠, 서스펜션 암, 범퍼빔 등에 사용되고 있다. 오늘날, 알루미늄의 적용분야는 차체분야에 까지 확대되어졌고 그 적용부분은 점점 넓어지고 있다. 현재 강재의 차체 조립을 위해 저항점용접(RSW)이 널리 쓰이고 있으나 알루미늄의 경우에는 높은 전기 에너지의 소모와 이에 따른 변형을 동반하는 문제점을 지니고 있다.¹⁾

FSW 공정을 응용한 새로운 기술인 마찰교반 점용접(FSJ)은 이러한 점에서 최근 자동차 산업 등에서 주목받고 있다. 비용융 고상접합공정인 FSJ는 기존의 전기저항 점용접에서 발생하는 높은 에너지 소비량과 용융 용접된 접합부의 기계적 성질이 저하하는 등의 문제점을 해결할 수 있는 접합방법이다. 또한 기계적인 틀 기술에 기초하는 공정이므로 용접공정의 변화에 따른 생산성과 품질 편차가 적고 자동화가 용이한 이점을 지니고 있다. 현재 쉽게 연화되어질 수 있는 저용점 경량합금의 접합에 이 기술이 적용되어지고 있으며 폭넓은 적용을 위해 많은 연구들이 이루어지고 있다. 따라서 이 접합방법을 이용하여 최근 자동차 차체 재료로서 각광을 받고 있는 5052와 6061 알루미늄 합금의 마찰교반 점용접부의 접합특성을 검토하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 재료는 Al-Mg계 비열처리 합금 Al5052-H34 합금과 Al-Mg-Si계 열처리 합금 Al6061-T6 합금을 이용하여 접합을 실시하였다. 사용된 재료의 화학성분과 기계적인 특성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of Al6061-T6 and Al5052

Chemical composition (weight)(%)								
	Mg	Si	Cr	Mn	Cu	Zn	Fe	Al
Al 6061	1.0	0.7	0.2	0.15	0.2	0.25	0.7	bal.
Al 5052	2.6	0.25	0.25	0.1	0.1	0.1	0.4	bal.
Mechanical properties								
	Tensile Strength(MPa)		Elongation(%)		Yield Strength(MPa)			
Al 6061	289		10		241			
Al 5052	234		4		179			

2.2 실험방법

FSJ 접합공정은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이

접혀진 모재에 회전하는 비소모식 접합 툴이 적절한 축하중으로 일정한 시간동안 삽입되어 마찰열을 발생시켜 틀에 인접한 모재를 연화시킨다. 그 후 삽입된 툴에 인접한 모재에 소성 유동현상이 발생되어 접합이 이루어진다.²⁾

알루미늄 소재에 대한 접합 실험은 FSJ 장치를 이용하여 접합인자 즉, 접합용 툴의 회전속도 (rotating speed), 접합시간(joining time), 툴의 삽입깊이(plunging depth), 툴의 제원 등을 변화시켜 결함이 없는 건전한 접합부를 얻고자 하였다. 건전한 접합부의 결함 유무는 육안에 의한 접합부 관찰 및 접합한 재료를 절단하여 마운팅을 한 다음 폴리싱 연마 후 광학 현미경을 사용하여 접합부 조직을 관찰하였다.

또한 건전한 접합부에 대하여 기계적 특성을 평가하기 위하여 경도시험(0.3kgf, 2sec) 및 인장전단시험을 실시하였다. 접합부 인장전단시험은 JIS Z 3140 규격에 맞추어 시편을 제작하여 실시하였으며, 미세 조직적 특징은 광학현미경 이용하여 미세조직을 관찰하였으며, SEM(Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 파단면을 관찰하고 각 상들의 조성 분석은 EDX(Energy Electron Microscopy)를 사용하였다.

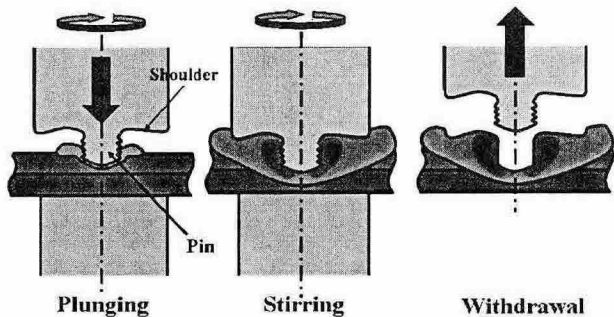


Fig 1 Schematic diagram of friction spot joining process

3. 결과 및 고찰

3.1 접합부 조직 및 접합성 평가

3.1.1 접합부 조직

Fig 2는 Al 6061-T6를 접합용 툴의 회전속도 2500rpm, 삽입깊이 1.4mm, 축하중 2656N, 접합시간 6sec일 때의 접합되어진 단면을 나타낸 것이다. 접합부 단면은 일반적인 FSW 접합부와 유사하게 교반부(SZ) A, 기계적 열영향부

(TMAZ) B, 열영향부(HAZ) C, 모재부(BM) D로 구분되어진다. A영역은 접합 중 접합 솔더면과 접합된 주위에 발생한 마찰열에 의해 접합부가 가열되어 핀에 의한 기계적인 교반에 의한 소성유동 및 그로 인한 동적 재결정이 일어나 미세한 결정립을 지니고 있다. B영역에서는 기계적인 변형에 의해 조직이 연신되어졌고 C영역에서는 전체적으로 결정립이 조대해졌고 일부 기계적인 변형을 받은 부분도 남아 있다. D영역은 전형적인 석출경화형 알루미늄 합금의 모재조직인 압연조직과 분산되어있는 석출물로 이루어져 있다.

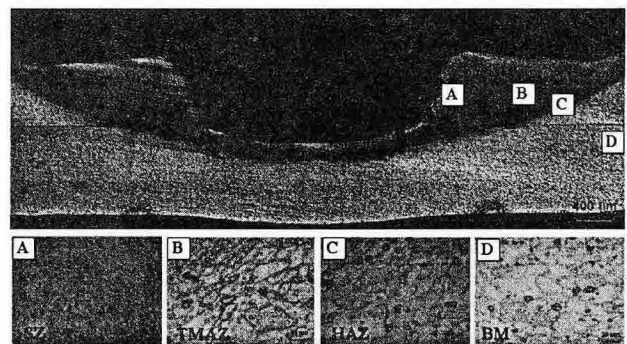


Fig 2 Macro and microstructure feature of FS joined (Al 6061, 2500rpm, 2656N, 6sec, 1.4mm)

3.1.2 접합부 기계적 특성

접혀진 Al 6061-T6 합금에 회전속도를 변화시킨 FSJ 접합부의 경도를 측정하여 Fig 3에 나타내었다. 모재에서 툴에 가까워질수록 낮은 경도를 보이며 이는 회전마찰열의 영향으로 인한 연화가 그 원인이다. 또한 회전속도가 빨라질수록 접합부의 연화현상이 커지는 것을 알 수 있다. 이는 연화현상은 열 이력에 영향을 받게 된다는 것을 말해준다.³⁾

두 합금의 FSJ 접합된 접합부의 인장전단강도를 Fig 4에 나타내었다. 접합부의 인장전단강도는 기존의 RSW 접합부에 비해 더 높은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이는 기존의 용융용접이 지니고 있던 기공 및 균열 등의 용접결함과 용융으로 인해 취약한 응고조직의 형성, 가공 및 석출경화성의 손실 등의 문제점으로부터 어느 정도 해방되어질 수 있기 때문으로 사료된다.

접합부의 파단은 Fig 3에서 경도치가 낮아지는 접합부 중심에서 약 5mm 떨어진 부분인 HAZ영역에서 일어난다. Fig 5는 SEM을 이용

한 파단면의 사진이다. 파단면의 형상은 전형적인 연성파괴의 형상을 지니고 있다.

4. 결 론

FSJ를 이용한 Al5052, Al6061 합금의 접합을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 1) 인장전단시험결과 HAZ영역에서 파단이 일어났으며 인장강도는 알루미늄의 전기저항 점용접의 허용기준에 비해 Al5052의 경우 142%, Al6061의 경우 114%의 인장전단강도를 지닌다.
- 2) 열처리형 Al6061 합금의 경우는 비열처리형 Al5052 합금에 비해 마찰열의 열이력에 의한 연화현상이 커 정도와 인장전단강도의 감소폭이 큰 것으로 사료된다.

참고문헌

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. Y.S.Sato, H.Kokawa, M.Enomoto, S.Jogan : Metall. & Mater. Transaction A, 30-9(1999), pp.2429-2437

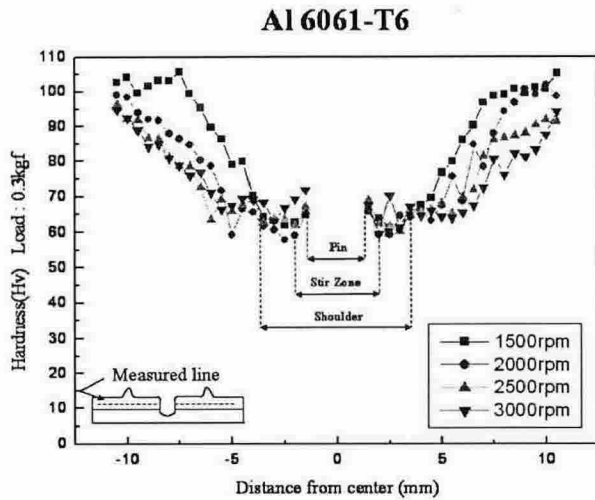


Fig 3 Vickers hardness profile of FSJ Joint of Al6061 in cross section

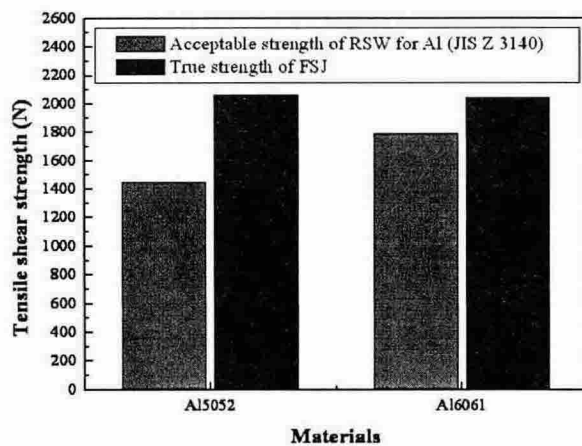


Fig 4 Comparison of tensile shear strength of RSW joint and FSJ joint

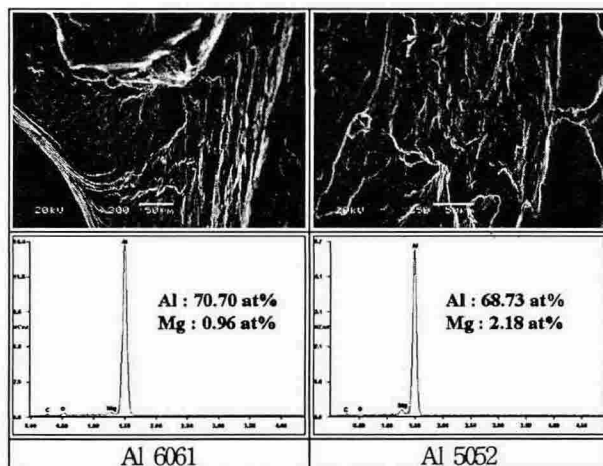


Fig 5 SEM micrograph of friction spot joined in Al 5052 and Al 6061 joints