

마찰교반접합에 의한 겹치기 이음부의 기초적 연구

Fundamental Study of Lap Joint on FSW

이중헌*, 박경채*, 이선홍*, 고영봉**

* 경북대학교, ** 한국화학시험연구원

ABSTRACT Development of FSW for use in lap joint production would expend the number of applications that could benefit from the technique. In the study, an extensive investigation was carried out on FSW lap joints, including interface morphology and mechanical properties. Welding variables included welding speed, rotation speed and, of particular importance, lap joint a methods. Examination of metallographic cross sections and failure locations showed a critical sheet interface present in all welds. Results indicates FSW lap joints may potentially replace other joining processes like resistance spot welding and riveting.

1. 서 론

Al 및 Mg등의 경량합금은 저밀도이면서 높은 비강도 특징을 가지고 있지만, 저용점 금속으로 종래의 용융 접합법으로는 양호한 접합부를 얻기가 힘들었다. 그러나 마찰교반접합법(friction stir welding, 이하 FSW)이라는 소성유동을 이용한 고상 접합법의 개발로 저용점 금속의 접합이 가능해졌을 뿐만 아니라, 접합부의 성능이 비약적으로 향상되었다. 현재 많은 연구가 진행되고, 그 결과가 계속 보고되고 있다. 주로 자동차 산업, 항공 우주 산업 등의 분야에서 수송기기의 경량화 및 신뢰성의 향상을 목적으로 구조용 재료에 Al합금의 FSW 적용이 활발히 진행되고 있으며, 지금까지는 대부분 FSW 맞대기 접합의 연구가 진행되어 왔다. 겹치기 접합의 개발은 여러 산업분야와 기술적인 측면에서 이로운 점을 가지고 있지만, 겹치기 접합에 대한 연구가 많지 않은 실정이다. 이 때문에 겹치기에 의한 영향에 대해서 기초적인 점에서도 조사의 필요성이 있다.

본 연구에서는 겹치기 접합의 적용을 고려하여 Al 5052합금 판재의 겹치기 접합을 실시하고, Cu coating한 판재를 이용하여 소성유동 및 기계적인 특성에 미치는 접합계면의 영향을 조사하고자한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 자체 제작한 FSW 기기를 이용하여 접합을 실시하였으며, 실험재료는 Al-Mg계 비열처리 합금인 Al 5052를 사용하였다. 합금 조성과 기계적 특성은 Table 1~2에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of Al 5052 alloy

	Mg	Fe	Cr	Si	Cu	Mn	Zn	Others	Al
wt%	2.2 ~ 2.8	0.4	0.15 ~ 0.35	0.25	0.1	0.1	0.1	0.15	rem

Table 2. Mechanical properties of Al 5052 alloy

Tensile strength(MPa)	260
Yield strength(MPa)	230
Hardness(HB)	68

시험편 제작은 100mm^L×100mm^W×2mm^T의 두 판재를 50mm씩 겹치도록 접합을 실시하였다. 접합 Tool은 Table 2와 Fig. 1에 나타낸 것처럼 Pin과 Shoulder부분을 각각 제작하여 체결하는 형태로 제작하였다.

Table 3. Designated parameters of welding tool

Type of Material		Shoulder diameter	Pin diameter	Pin length
Pin	Shoulder			
HSS	SK3	15	6	3.8

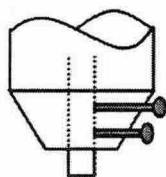


Fig. 1 The basic profiles of tool

접합시 판재 위치에 따른 인장강도 변화를 비교하기 위해서 Al 판재의 배치를 변화시켜 접합을 실시하였으며, 모식도를 Fig. 2에 나타내었다.

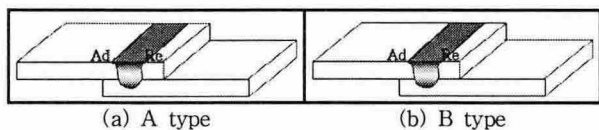


Fig. 2 General schematic of FSW lap joint

또한 advancing side와 Retreating side의 접합면의 소성유동 관찰을 위해서 한쪽 Al 판재의 100mm^L×50mm^W를 blasting 처리 후 Cu(99.9wt%) 분말을 약 100 μ m 두께로 Plasma spray coating하여 동일한 조건으로 접합하였다. 실험에 적용한 접합조건을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. FSW parameters in the present study

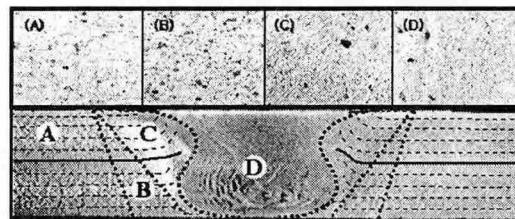
Alloy	Rotating speed (rpm)	Welding speed (mm/min)
Al 5052	600, 900, 1200, 1500	100, 400, 700

접합부의 미세조직 및 상 분석을 위해 광학 현미경(OM, Optical Microscopy)과 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)을 사용하였다. 또한 접합부의 기계적 특성을 평가하기 위해 인장시험 및 경도 시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합부의 미세조직

Fig. 3은 접합부의 미세조직을 나타낸 것이다. 접합부는 FSW의 전형적인 welding nugget이 존재하는 형태를 보였으며, stir zone과 접하는 부분에는 wave line과 상·하부 판의 interface가 관찰되었다. 접합부의 미세조직은 접합변수의 변화에 따른 차이는 크게 보이지 않았다. SZ의 경우 동적재결정으로 조직이 미세화 되었고, TMAZ에서는 소성유동 및 입열의 영향으로 변형 및 약간의 미세화가 이루어진 것이 확인되었다. HAZ의 경우 모재의 조직과 큰 차이는 보이지 않았다.



(A) Base metal (B) Heat affected zone(HAZ)
(C) Thermomechanically affected zone(TMAZ)
(D) Dynamically recrystallized zone(Stir zone)
Fig. 3. Microstructure of FSW zone

3.1 접합부 기계적 특성

Fig. 4에 접합부의 인장 강도를 나타냈다. B type의 경우 RS측에서 파단이 발생하고, 대부분의 접합조건에서 인장강도가 거의 일정한 것을 확인할 수 있었다. 반면 A type은 AS측에서 파단이 발생하고, 접합속도가 100mm/min의 경우 tool 회전수의 증가에 따라 인장 강도가 급격히 감소하였다. 이것은 겹치기 접합의 경우 인장 강도가 조직 변화의 영향보다 interface의 위치에 따라 결정되는 AS / RS측의 두께에 영향을 받기 때문으로 사료된다.

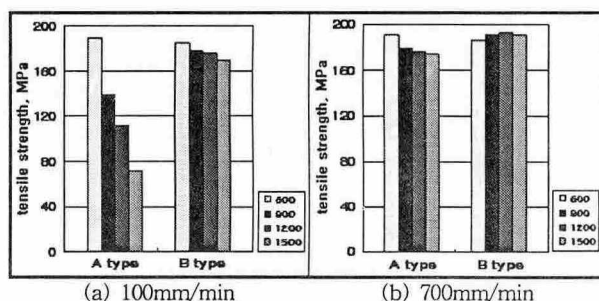


Fig. 4 Tensile strength of FSW lap joints

그림 Fig. 5는 소성유동 및 interface의 관찰을 위해 Cu분말 Plasma spray coating한 Al 판재의 접합단면을 나타낸 것이다. Interface의 관찰결과 AS측에서는 상승 후 급격히 하강하는 경향을, RS측에서는 조금 상승하는 경향을 나타냈다. 접합속도가 100mm/min에서는 tool 회전수가 증가할수록 AS측의 interface가 급격히 상승하여 미접합면이 증가하였고, 접합속도가 700mm/min에서는 tool 회전수에 관계없이 interface가 상승하는 정도가 거의 일정하게 나타났다. 반면 RS측의 경우 대부분의 조건에서 interface의 소성유동의 변화가 없었는데, 이것은 겹치기 접합의 경우 판재의 경계면이 존재하여 RS측의 소성유동이 저해되기 때문으로 사료된다.

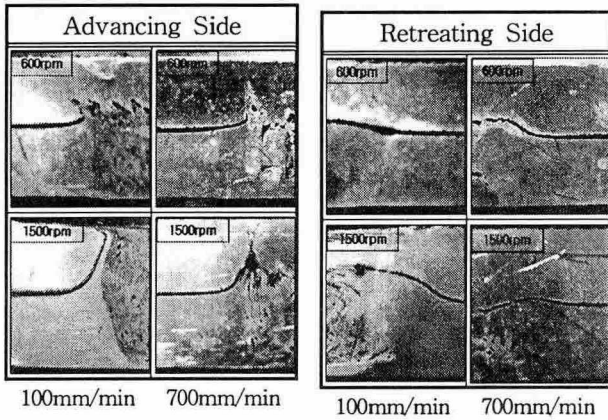
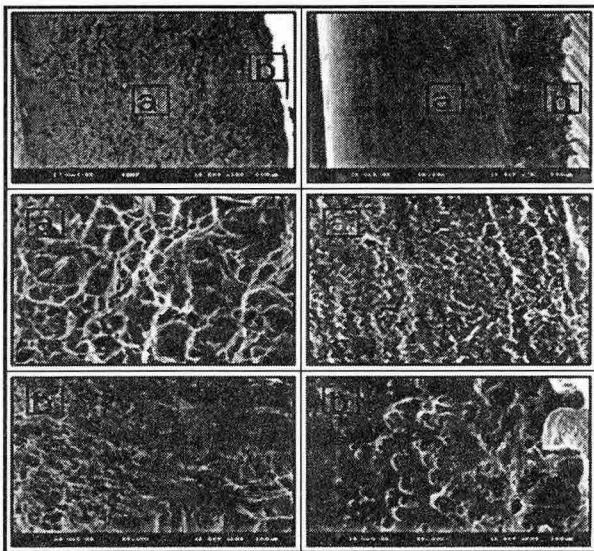


Fig. 5 Macro image of typical interface

Fig. 6은 A type 접합부의 파단면 SEM 사진으로, 모두 AS측에서 파단이 발생한 경우이다. 접합속도가 100mm/min에서 (a)의 경우 tool 회전수가 600rpm으로 전형적인 연성과괴 조직이 나타났다. (b)는 회전수가 1500rpm으로 interface의 변형이 심하게 발생하여 미접합된 부분이 많고, 연성과괴 조직이 관찰되지 않았다. 이것은 Fig. 5의 interface 변형과 잘 일치한다.



(a) 600rpm, 100mm/min (b) 1500rpm, 100mm/min

Fig. 6 Fracture surface of the tensile specimen

Fig. 7는 접합부의 경도를 측정 결과이다. 경도 측정은 표면으로부터 1mm, 3mm(하판 표면으로부터 1mm) 위치에서 측정하였다. 겹치기 접합의 경우 맞대기 접합과는 달리 상판과 하판 사이의 interface 존재로 인해 접합부의 경도 분포에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

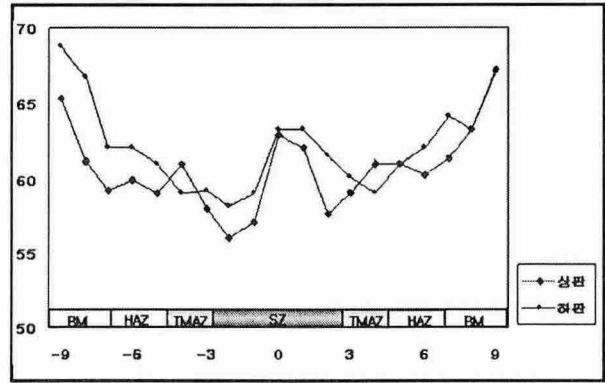


Fig. 7. Hardness distribution near the FSW zone

4. 결 론

두께가 2mm인 Al 5052 합금을 이용하여 겹치기 마찰교반접합을 실시하고, 조직 관찰 및 기계적 특성 등을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 겹치기 접합의 경우 interface의 형상이 AS측은 상승 후 급격히 감소한 반면, RS측의 경우 상승 후 완만히 하강하는 경향을 보였다. 또한 RS측에서 interface의 영향으로 소성유동이 저해되는 것으로 사료된다.

2) 겹치기 접합의 경우 인장강도는 조직의 미세화 및 내부 결함의 영향보다, interface의 위치에 따른 AS 및 RS 측의 두께에 큰 영향을 받는 것이 확인되었다.

3) 겹치기 접합의 경우 interface의 변형이 적은 RS측에 응력이 주어지는 B type의 접합 형태가 더 효율적이다.

참 고 문 헌

1. Shinoda Takeshi, Kuwano Marsaru : Lap joint of Friction Stir Welding, 2004
2. Ling Cui, Hidetoshi Fujii, Masakatsu Maeda, Kiyoshi Nogi : Effect of tool geometry on mechanical properties of friction stir welding joints, 2004