

**Multi-pass 마찰교반 프로세싱을 적용한 AC7AV 알루미늄 합금의
기계적 특성평가**
**Evaluation of mechanical characteristic on cast AC7AV Al alloy by multi-pass
friction stir processing**

박재철^{1*}, 한민수², 박종식³, 김성중⁴

- (1*) 목포해양대학교 기관시스템 공학부 대학원
(2) 목포해양대학교 기관시스템 공학부 대학원
(3) 목포해양대학교 기관시스템 공학부 대학원
(4) 목포해양대학교 기관시스템 공학부

1. 서론

최근 북유럽을 중심으로 주조재의 결정립 미세화에 의한 금속주물의 기계적 특성 개선에 관한 연구가 많은 관심을 받고 있다. 이러한 결정립 미세화를 위한 기술로 마찰열을 발생시켜 재료를 연화시킨 후 기계적 교반에 의한 고상접합법인 마찰교반용접이 1991년 영국의 용접기술연구소에서 개발되었으며 이 기술을 응용하여 재료의 미세조직의 변화와 결정립 미세화에 의한 기계적 특성을 향상시키기 위한 마찰교반 프로세싱 기술이 부각되고 있다. 이러한 마찰교반 프로세싱은 회전하는 공구를 모재에 삽입하여 발생되는 마찰열로 재료를 연화시킨 후 기계적인 교반에 의해 재료의 특성을 개선하는 가공 기술이다.

본 연구에서는 Al-Mg계 주조합금을 모재로 하여 기계적 특성 향상을 위한 목적으로 Multi-pass 마찰교반 프로세싱을 적용하였으며, 결정립 미세화를 통한 주조합금의 소성변형에 따른 조직의 미세화 및 기계적 특성을 개선하는데 목적이 있다.

2. 본론

본 실험에 사용된 모재는 Al-Mg계 주조합금 중에서 AC7AV를 사용하였으며 모재의 크기는 150mm × 150mm × 8t의 판재로 가공하였으며 고속으로 회전하는 공구를 모재의 내부에 삽입한 후 모재를 이송시키는 과정을 반복적으로 실시하였다.

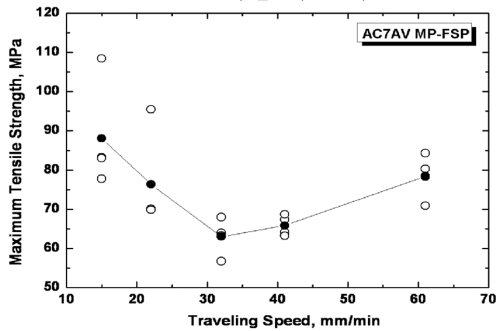
공구의 형상은 어깨 직경 20Φ, 프루브 길이 7.5mm, 나사의 피치 1mm, 직경이 6Φ인 전나사형 프루브(Full Screw Probe)이고, 전진각 3°, 회전방향은 반시계방향으로 고정하여 실시하였다. 회전속도를 1600RPM, 삽입 깊이는 7.5mm로 고정하고 이송속도 및 공정횟수에 변수를 두어 모재의 특성개선에 미치는 영향을 평가하였다. 이송속도 변수는 15, 22, 32, 41, 61mm/min 등 다양한 조건에서 실험을 실시하였으며 동일 조건에서 One-pass 또는 Multi-pass로 공정횟수에 변수를 두어 실험을 실시하였다. Multi-pass processing시 공구의 진행방향은 비드면의 advancing side이며, 프로세싱의 간격은 7mm로 하여 실시하였다. 마찰교반 프로세싱 완료 후 시편의 기계적 특성을 평가하기 위해 인장시험을 실시하였으며 그 조건은 유압식 인장시험기(Instron 8516)로 0.2mm/min의 인장속도로 시험을 실시하였다. 또한, 마찰교반 프로세싱된 시편을 Keller 용액에 침적시켜 횡단면 표면을 에칭한 후 광학현미경을 사용하여 미세조직의 변화와 소성유동의 거동을 관찰하였다.



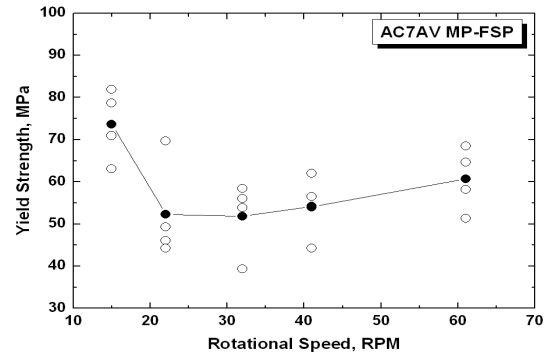
Fig. 1 1600RPM에서 이송속도 변화에 따른 시편 외관



Fig. 2 1600RPM, 15mm/min에서 Multi-pass FSP를 실시한 시편 외관



(a) 최대인장강도



(b) 항복강도

Fig. 3 이송속도 변수에 따른 최대인장강도 및 항복강도 평균 비교

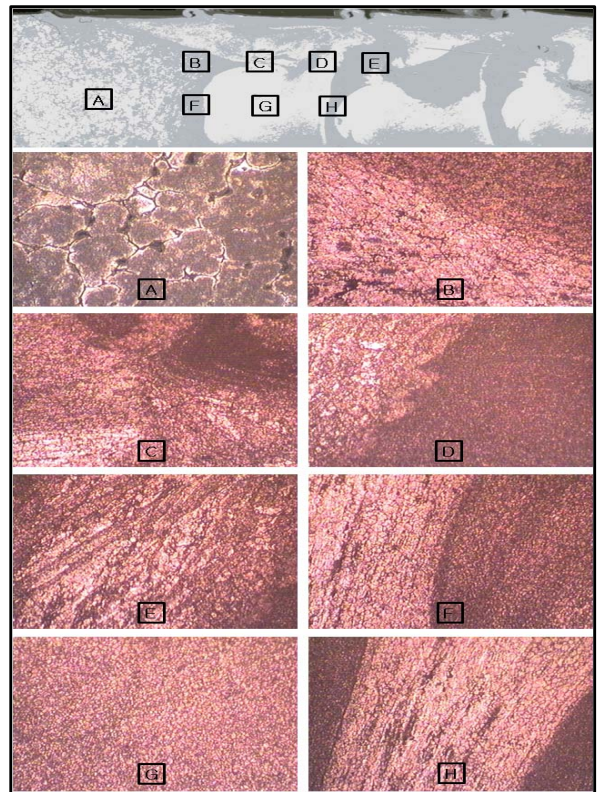


Fig. 4 AC7AV 합금의 MP-FSPed 시편의 미세조직 및 소성유동 거동 분석

Fig. 1은 AC7AV 주조합금에 대하여 1600RPM에서 이송속도를 변수로 다양한 조건에서 마찰교반 프로세스를 실시하였을 경우 시편의 외관을 보여주고 있다 이송속도 15mm/min의 경우를 제외한 22, 32, 41, 61 mm/min은 전체적으로 표면에 이송초기부터 종료시까지 보이드가 형성되었는데 이는 공구와 모재의 상대적인 운동을 통한 마찰열의 발생량보다 열의 발산량이 많아 재료의 연화가 원활하게 이루어지지 않았기 때문으로 사료된다. 또한, One-pass FSP를 실시한 경우 가공부가 아닌 모재부 또는 열영향부에서 파단되는 현상이 다수 발생하였다. 이는 주조합금 내부의 구조결함에 의한 것으로 판단된다 이러한 주조합금에 대하여 내부결함에 의한 파단을 방지하고 기계적 특성개선을 평가하기 위하여 Multi-pass FSP를 실시하였다.

Fig. 2는 AC7AV 주조합금에 대하여 Multi-pass FSP를 실시한 시험편의 형상을 보여주고 있다 Multi-pass FSP의 간격은 7mm로 비드면의 advancing side로 이송하여 FSP를 실시하였으며 이송속도 변수에 따라 Multi-pass FSP 적용하여 총 15회 FSP를 실시하였다. 이러한 마찰교반 프로세싱이 반복될수록 비드가 거칠고 보이드가 크게 형성되었음을 관찰할 수 있는데 이는 주조재 내부에 존재하는 공공이나 결함이 프로세싱에 의해 모재가 충전되기 때문에 프로세싱이 반복됨에 따라 이와 같은 현상이 발생한 것으로 사료된다

Fig. 3은 AC7AV 주조합금에 대하여 이송속도 공정변수에 따라 Multi-pass FSP된 시험편에 대한 인장시험 후 최대인장강도와 항복강도의 평균을 비교한 그래프이다 모재의 경우, 200MPa을 나타냈으나 마찰교반 프로세싱된 시험편의 경우 현저히 낮은 최대인장강도를 나타냈으며 대부분의 경우 인장시험시 재현성이 확보되지 않았다. 그 이유는 Multi-pass FSP를 실시한 경우, 각 프로세싱간의 이송 간격차에 의해 너깃부와 너깃부 사이가 열영향에 의한 강도저하 및 공정과정에서 형성된 보이드의 영향으로 사료된다. 항복강도를 상호 비교한 결과, 모재의 경우는 132.3MPa을 나타냈으나, MP-FSP된 시험편의 경우는 가장 높은 값이 15mm/min의 조건에서 74.8MPa을 나타내어 대부분의 조건에서 모재 보다 현저히 낮은 특성치를 나타내었다.

Fig. 4는 AC7AV 주조합금에 대하여 Multi-pass FSP된 시험편의 소성유동의 거동 및 미세조직을 보여주고 있다. 공구의 회전속도 1600RPM에서 15mm/min의 이송속도 변수에서 마찰교반 프로세싱된 시험편 단면 관찰결과, 소성변형에 의한 교반영역과 모재와의 구분이 명확하였다(A)는 모재의 주조조직을 보여주고 있으며, 주조결함을 쉽게 관찰할 수 있다 한편, 소성변형이 일어난 구간인 너깃부(G)와 기계적-열적영향을 동시에 받은 부분(B~F)의 결정립이 매우 미세해진 것을 관찰할 수 있으며 모재와의 구분이 명확하였다 또한 너깃부와 너깃부 사이의 구간(H)은 모재보다 미세해진 조직을 관찰할 수 있었지만 이는 마찰교반 프로세싱의 교반작용에 의해 생성된 마찰열의 열적 영향을 받은 부분으로 인장시험 시 파단이 시작되었던 부분이며 열영향에 의한 강도저하가 일어난 것으로 사료된다

3. 결론

- [1] AC7AV 알루미늄 주조합금에 대하여 공구의 이송속도에 따른 실험결과 이송속도가 낮을수록 모재내의 입열량과 소성유동량이 증가하여 보다 양호한 기계적 특성을 나타내었다
- [2] 마찰교반 프로세싱을 실시함으로써 기계적 교반작용에 의해 주조재 내부의 주조결함이 크게 감소되고 모재의 결정립이 상당히 미세화 된 것을 관찰 할 수 있었다
- [3] Multi-pass FSP의 경우, 프로세싱의 간격차이에 의해 너깃부와 너깃부 사이의 열적영향을 받은 구간에 강도저하 현상이 일어난 것으로 사료되며 이에 따라 프로세싱의 간격에 대한 변수를 적용한 연구가 필요하다고 사료된다

감사의 글 : 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.