

## 마찰교반 프로세싱시 5456-H116 합금에 대한 이송속도 변수와 최적 공구형상에 따른 특성

### Characteristic with traveling speed and optimum probe type in friction stir processing for 5456-H116 Al alloy

박재철<sup>1\*</sup>, 한민수<sup>2</sup>, 장석기<sup>3</sup>, 김성중<sup>4</sup>

(1\*) 목포해양대학교, 기관시스템 공학부 대학원

(2) 목포해양대학교, 기관시스템 공학부 대학원

(3) 목포해양대학교, 기관시스템 공학부

(4) 목포해양대학교, 기관시스템 공학부

#### 1. 서론

최근 알루미늄 합금을 중심으로 마찰열을 이용하여 재료를 연화시킨 후 기계적인 교반에 의한 고상접합법이 활발히 연구되어지고 있다 이러한 마찰교반접합법의 특성을 이용하여 재료의 미세조직 변화와 결정립 미세화에 의한 기계적 특성을 향상시키기 위한 기술로 마찰교반 프로세싱 기술이 부각되고 있다 마찰교반 프로세싱은 재료 자체의 특성 뿐만 아니라 고속으로 회전하는 공구의 형상과 이송속도 및 회전속도의 변화 등 다양한 공정변수가 재료의 특성에 큰 영향을 미치는 기술이며 앞으로 이에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 알루미늄 선박용 재료로 사용되는 재료 중 하나인 5456-H116 합금에 대하여 공구의 형상과 이송속도 변수에 대한 최적의 마찰교반 프로세싱 조건을 규명하고자 한다

#### 2. 본론

본 실험에 사용된 모재는 Al-Mg 합금(5000계열) 중에서 5456-H116을 사용하였다. 모재의 크기는 150mm × 150mm × 5t의 판재로 가공하였으며 모재의 롤링방향으로 마찰교반 프로세싱을 실시하였다. 이때, 공구의 회전속도는 800RPM이며, 전진각 3°, 회전방향은 반시계방향으로 고정하여 실시하였다

공정변수에 따라 모재의 특성개선에 영향을 미치는 인자를 평가하기 위해 공구의 형상과 이송속도에 변화를 주었으며, 이송속도를 15, 22, 32, 61, 124, 267, 507, 720mm/min으로 변화시키면서 실험을 실시하였다

**Fig. 1**은 본 연구에서 사용된 공구의 형상을 나타내고 있으며 나선형 프루브(Full Screw Probe)와 무나사형 프루브(Non-Screw Probe) 그리고 모재의 표면 개질을 위한 원통형 평면 공구(Surfacing)를 사용하였다. 프루브가 있는 공구의 경우 압입깊이 4.5mm, 피치 1mm, 직경이 6Φ인 공구로 프루브를 고속으로 회전하면서 모재의 내부에 삽입한 후 롤링방향으로 이송시키는 반면, 원통형 평면의 경우는 모재에 회전하는 공구를 1mm 압입하여 프로세싱을 실시하였고, 프로세싱을 양면(Double)과 단면(Single)으로 나누어 실시하여 세부적인 공정변수를 적용하였다

**Fig. 2**는 5456-H116 시편에 대하여 800RPM에서 공구형상과 이송속도의 변화로 다양한 조건에서 마찰교반 프로세싱을 실시하였을 경우 시편의 외관을 보여주고 있다 나선형 프루브에 비해 무나사형 프루브의 경우가 비드면에 보이드(void)가 발생하는 등 큰 결함이 생겼는데 이는 프루브와 모재의 접촉면적이 적기 때문에 마찰열이 부족하였으며 회전하는 프루브의 오른나사에 의한 충분한 용입이 발생하지 않았기 때문으로 사료된다 한편, Surfacing 은 Single인 경우 비드면이 깨끗하고 칩 발생량이 적었으나 Double의 경우에는 큰 칩이 발생하였고 그로 인해 비드면이 박리되어 탈리되는 현상이 나타났다는 Double surfacing시의 접촉면이 열적 영향을 받은 부위로 열에 의해 연화되었기 때문으로 사료된다

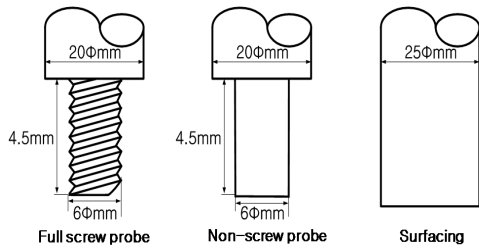


Fig. 1 마찰교반 프로세싱시 공구의 형상



Fig. 2 다양한 공구 형상에 따른 시편 외관

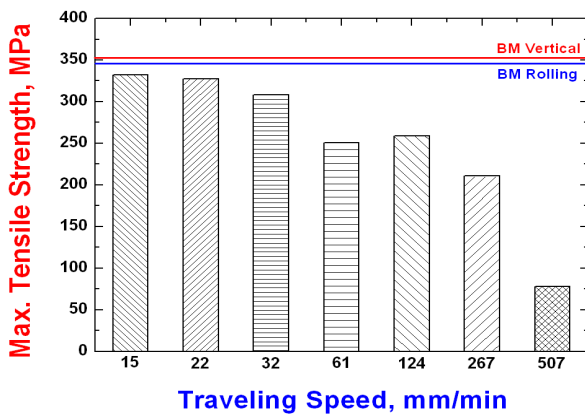


Fig. 3 이송속도 변수에 따른 최대인장강도 평균 비교

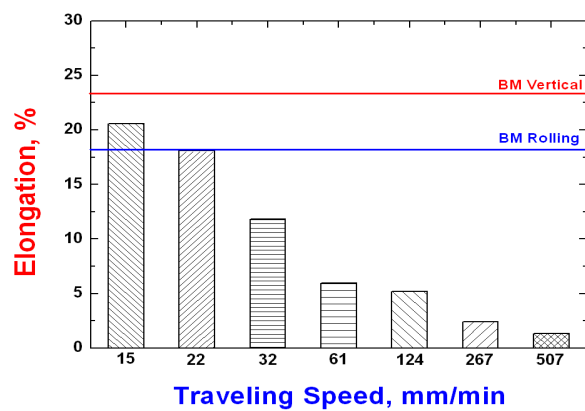


Fig. 4 이송속도 변수에 따른 연신율 평균 비교

Fig. 3과 Fig. 4는 Full screw probe를 사용한 경우 이송속도 변수에 따른 최대인장강도와 연신율을 비교한 그래프이다. 이송속도 변수 중 가장 낮은 조건인 15mm/min에서 최대인장강도가 332.5MPa이고 연신율은 20.55% 그리고 흡수에너지도 8829.48Kgf-mm로 가장 양호한 특성치를 나타내었다 이송속도 변수에 대한 마찰교반 프로세싱 기술 적용 시 이송속도가 증가할수록 기계적 특성치가 낮아지는 경향을 확인 할 수 있었다

Fig. 5은 공구형상 및 이송속도 공정변수에 따라 마찰교반 프로세싱을 실시하여 여러차례 인장시험 후 최대인장강도의 평균을 상호 비교한 그래프이다 이송속도 적용 조건 중 높은 이송속도 일수록 마찰열의 부족으로 모재의 충분한 연화가 이루어 지지 않아 마찰교반 프로세싱이 원만하게 이루어지지 못했다 공구형상에 대한 최대인장강도 비교에서 나선형 프루브의 경우 대체적으로 높은 최대인장강도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 반면, 무나사형 프루브의 경우 대부분의 조건에서 모재 대비 현저히 낮은 특성치를 나타내었다. 한편, Surfacing의 경우, Double에 비해 Single인 경우가 양호하였으며 Double의 경우 다량의 칩 발생으로 인한 단면적의 감소와 열영향에 의한 강도 저하현상에 의해 이런 경향을 나타낸 것으로 사료된다

Fig. 6는 800RPM, 15mm/min에서의 조직과 경도측정 결과를 나타내었다본 조건에서 실시된 시편의 단면 관찰결과 프루브의 교반에 따라 전형적인 형상인 오니온 링(Onion Ring)이 명확하게 형성되었으며 기공등과 같은 결함은 전혀 관찰되지 않았다 그러나 경도측정 결과 모재보다는 낮은 경도 값을 나타냈고 열영향부에서는 현저한 경도 저하가 관찰되었다

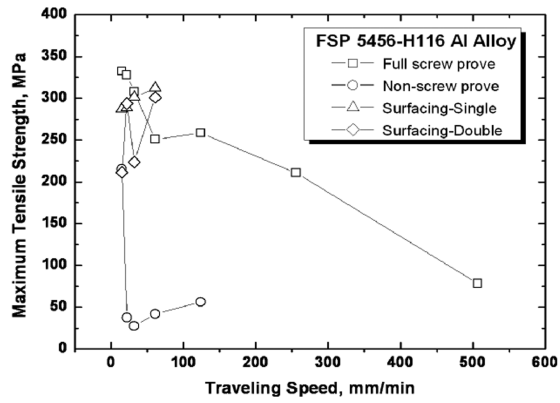


Fig. 5 공구형상 및 이송속도 조건별 최대인장강도 비교

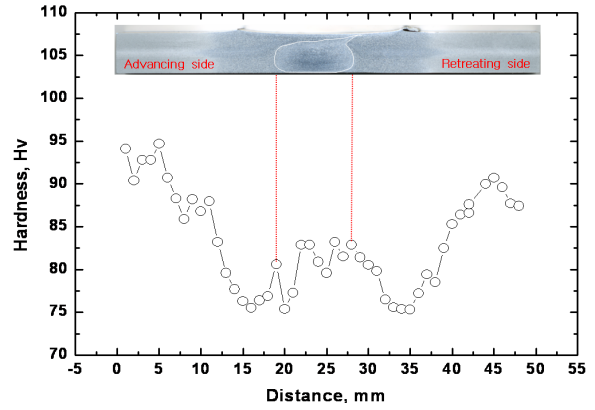


Fig. 6 800RPM, 15mm/min에서 조직과 경도 측정 결과

### 3. 결론

- [1] 공구 형상에 따른 실험 결과, 나선형 프루브의 경우가 다른 프루브에 비해 높은 마찰열 발생으로 인하여 용입이 잘 이루어져 보다 양호한 기계적 특성을 나타낸 것으로 사료된다
- [2] 나선형 프루브의 경우, 800RPM, 15mm/min의 이송속도에서 가장 높은 최대인장강도 및 연신율을 나타냈다. 또한, 낮은 이송속도 일수록 충분한 기계적 소성 유동이 이루어져 결함을 최소화한 것으로 사료된다.

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