

최적 조건의 마찰교반 프로세싱을 실시한 5456-H116 합금의 전기화학적 특성평가

Evaluation of electrochemical characteristic on optimum friction stir processing for 5456-H116 Al alloy

박재철^{1*}, 백신영², 김성중³

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

1. 서론

최근 알루미늄 합금을 중심으로 마찰열을 이용하여 재료를 연화시킨 후 기계적인 교반에 의한 고상접합법이 활발히 연구되어지고 있다 이러한 마찰교반접합법의 특성을 응용하여 마찰열을 이용한 기술로는 마찰교반용접, 마찰교반 점용접, 마찰교반 프로세싱 등이 있으나, 본 연구에서는 마찰교반 프로세싱에 관한 연구를 실시하였다. 마찰교반 프로세싱은 재료 자체의 특성 뿐만 아니라 고속으로 회전하는 공구의 형상과 이송속도 및 회전속도의 변화 등 다양한 공정변수가 재료의 특성변화에 큰 영향을 미치는 기술이므로 이에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다

본 연구에서는 최적의 조건에서 마찰교반 프로세싱을 실시한 후 해수에서 전기 화학적 특성을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 본론

본 실험에 선박용 재료로 사용되는 Al-Mg 합금 중 5456-H116 합금을 모재로 하여 마찰교반 프로세싱을 실시하였다. 프로세싱 조건은 공구의 어깨 20Φ, 핀 길이와 압입 깊이는 4.5mm, 핀 직경은 6Φ, 피치는 1.0mm, 전진각은 3°로 하였으며, 전나사형 공구를 반시계 방향으로 회전시켜 마찰교반 프로세싱을 실시하였다 또한, 이송속도 및 회전속도를 변수로 하여 가공을 하였다 인장시험은 대기 중에서 0.2mm/min의 인장속도로 3회 실시하였는데 인장시험의 평행부의 길이는 60mm, 표점거리는 50mm, 폭은 6mm, 두께는 5mm로 가공하였으며 최대인장강도, 항복강도, 연신율, 인성 및 파단되는데 걸리는 시간을 상호 비교하였다 다양한 변수에 대한 실험결과, 5456-H116 합금에 대한 마찰교반 프로세싱 기술의 적용시 이송속도 15mm/min, 회전속도 250RPM에서 Full screw probe를 사용한 경우가 최적의 조건으로 규명되었다 또한 최적조건인 마찰교반 프로세싱된 시편과 모재에 대하여 천연해수에서 자연전위 측정양분극·음분극 실험, 타펠분석 그리고 부식전위의 미세한 경향을 파악하고자 정전위 실험을 실시하였으며 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 부식경향을 관찰하였다

Fig. 1은 최적의 조건에서 마찰교반 프로세싱된 시편과 모재부에 대한 해수용액에서의 86,400초(24시간) 동안 자연전위 측정 결과를 비교한 그래프이다 모재부와 마찰교반 프로세싱된 시편 모두 침지초기에는 염소이온에 의해 피막이 파괴되어 급격히 전위가 비방향으로 이행하였으며 7500초 전후에서 전위가 서서히 상승하였다. 마찰교반 프로세싱된 시편의 경우 56,000초 전후에서 염소이온에 의한 보호피막의 파괴로 전위가 비방향으로 급격히 하락하였으며 보호피막의 파괴와 재생성을 반복하면서 서서히 귀방향으로 상승하였으며 이후 안정된 전위를 나타내었다 반면, 모재의 경우에는 꾸준히 전위가 상승하였고 모재부가 최적 조건의 마찰교반 프로세싱된 시편 보다 해수 환경하에서 더욱 귀한 전위를 나타내었다

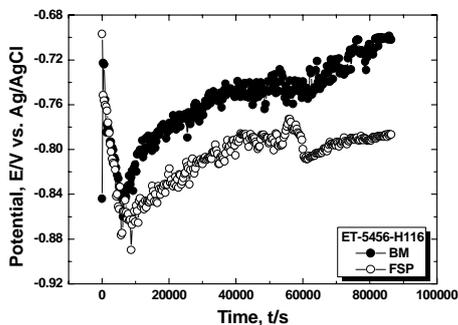


Fig. 1 5456-H116합금의 모재와 최적 조건 FSPed 시편의 자연전위 측정 결과 비교

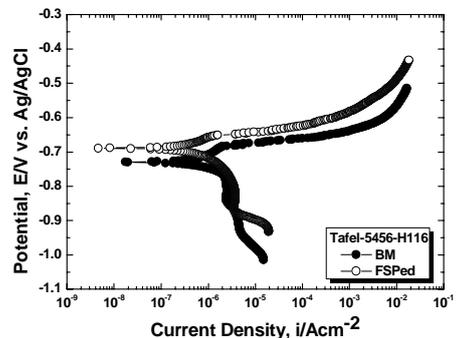


Fig. 2 5456-H116합금의 모재와 최적 조건 FSPed 시편의 타펠분석을 위한 분극곡선

Fig. 2는 5456-H116 합금의 모재와 최적 조건의 마찰교반 프로세싱된 시편의 타펠 분석을 위한 그래프 경향을 나타내고 있는 것이다 두 경우를 비교해 볼 때 부식전위는 자연전위 측정 결과와 달리 5456-H116 합금의 모재보다 마찰교반 프로세싱된 시편의 경우가 더욱 귀한 값을 나타냈다. 뿐만 아니라, 부식전류밀도 또한 마찰교반 프로세싱된 시편의 경우가 모재보다 더욱 낮은 값을 나타냈다 여기서 부식전류밀도는 부식속도와 직결되는 것이므로 부식전류밀도가 크면 부식속도가 빠르다고 할 수 있다 결과적으로 가공부가 모재에

비하여 부식전위가 귀하고 부식전류밀도가 낮으므로 갈바닉 셀 형성시 면적이 적은 가공부에서 부식이 발생하는 것이 아니라 모재부에서 부식이 발생하므로 대양극음극 현상에 의해 큰 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다. 한편, 5456-H116 합금의 모재와 최적 조건의 마찰교반 프로세싱된 시편에서의 양분극 실험 결과, 개로전위에서 가공부가 모재에 비하여 귀한 전위를 나타냈으며 전체적으로 약간 높은 전위를 나타내었다. 또한, 전위의 상승에 따라 -0.084V까지는 모재 대비 낮은 전류밀도를 나타내었다. 한편, 모재의 경우, 전위의 상승에 따라 전류밀도가 급격히 저하하는 현상이 관찰되었는데 이는 해수환경 하에서 부동태 피막의 형성에 의한 영향으로 사료된다. 부동태 피막의 재생성에 의한 전류밀도 감소현상은 1.0 V부터 실험 종료 시까지 관찰되었으나, 가공부의 경우는 부동태 현상이 나타나지 않는 꾸준한 전류밀도의 상승이 관찰되었다. 그러므로 모재에 비해 마찰교반 프로세싱된 시편의 경우가 응력부식균열에 더욱 취약할 것으로 사료된다.

음분극 실험 결과 모든 시편에 대한 전체적인 경향은 개로전위부터 용존산소환원반응($O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$)에 의한 농도분극과 $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ 의 수소발생에 의한 활성화분극의 경향을 나타냈다. 용존산소 환원반응에 의한 농도분극은 모재의 경우 -0.819 V이며, 가공부의 경우는 -0.769 V 정도까지 나타났다. 또한, 음극방식 적용 시 한계전위에 해당되는 농도분극과 활성화분극의 변곡점은 모재의 경우 -1.46 V이고, 가공부의 경우는 -1.49 V로 나타났다. 결과적으로 방식전위 적용가능 구간은 모재가 -0.819 V ~ -1.46 V이고, 가공부는 -0.769 V ~ -1.49 V로써 모재보다 약간은 넓은 범위를 나타내었다. 또한, 양분극 곡선과 비교하여 양극방식에 비해 음극방식의 경우가 용존산소의 농도분극의 영역에서 보다 훨씬 낮은 전류밀도를 나타냈으며, 방식전위 영역도 넓기 때문에 양극 방식에 비해 음극방식의 경우가 효과적일 것으로 판단된다. 이후 수소가스의 발생에 의한 활성화 분극을 나타낸 전위에서는 가공시편에 비하여 오히려 모재부가 낮은 전류밀도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 이 전위는 수소가스 발생에 의한 수소취화 현상이 나타나기 때문에, 방식전위에 해당되지 않는 전위이므로 고려 대상이 아닌 것으로 판단된다.

Fig. 3은 양분극과 음분극 시킨 전위에서 정전위 실험을 1,200초인 경우 전류밀도 평균값을 상호 비교하였다. -0.7V ~ -1.3V 사이의 전위 영역에서는 낮은 전류밀도를 나타냈기 때문에 방식전위 영역으로 사료된다. 이보다 양분극을 더 시킨 전위에서는 급격히 전류밀도가 상승하는 경향을 알 수 있으며 비방향으로 음분극 시킨 전위에서는 수소의 영향으로 전류밀도가 상승하였고 더욱 비방향으로 이행할수록 전류밀도가 보다 크게 상승하였으므로 결과적으로 -1.5V ~ -1.7V 사이의 전위에서는 방식영역과 수소가스 발생에 의한 활성화 반응의 변곡점으로 판단할 수 있다.

Fig. 4는 최적 조건의 마찰교반 프로세싱된 시편을 -1.8V ~ -0.2V의 적용 전위 범위에서 1,200초 동안 정전위 실험을 실시한 후의 표면 형상을 나타내고 있다. -1.5V ~ -1.6V의 전위 범위에서는 음분극 곡선에서 변곡점과 활성화 분극 경향을 보인 전위임을 알 수 있으며 전위가 비방향으로 이행할수록 수소가스의 영향으로 시편의 손상이 많이 관찰된다. 한편, -1.3V ~ -0.75V의 적용 전위 범위에서는 용존산소환원반응에 의한 농도분극이 발생하는 전위이므로 거의 시편 손상이 없는 양호한 표면이 관찰되었다. -0.6V 이상의 적용 전위 범위에서 전위 상승에 따라 전류밀도가 꾸준히 상승해 가는 전위에 해당되며 0.2V인 경우와 같이 용해반응이 많이 진행되었음을 알 수 있다.

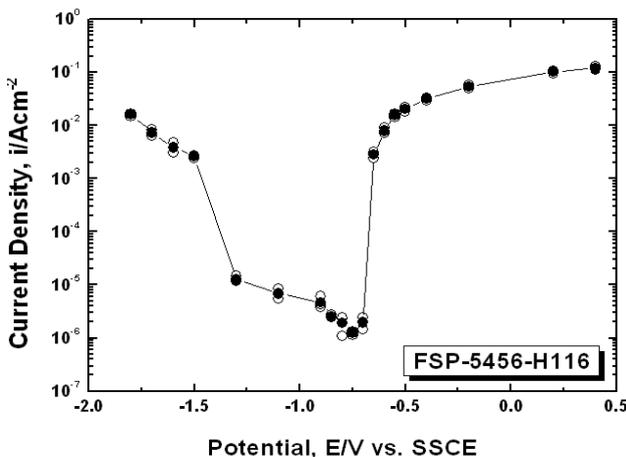


Fig. 3 최적 조건에서 마찰교반 프로세싱된 5456-H116 합금의 정전위 조건별 비교

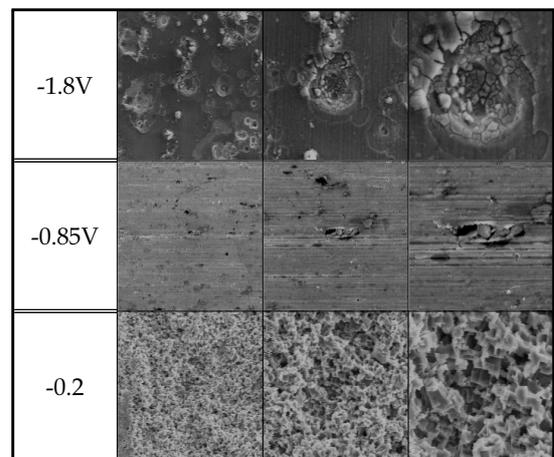


Fig. 4 최적 조건의 FSPed 시편의 정전위 실험을 실시한 후의 표면 형상 비교

3. 결론

자연전위 측정 결과 모재의 경우 부식전위가 부동태 피막의 재생성 후 지속적인 상승을 나타냈으나 마찰교반 프로세싱의 경우는 부동태 피막의 생성과 파괴가 반복되면서 불안정한 전위를 나타내었다.

마찰교반 프로세싱된 경우와 모재의 경우를 비교해 보면 거의 유사한 전기화학적 특성을 나타냈으며, 마찰교반 프로세싱된 경우가 부식전류밀도가 낮기 때문에 모재보다 내식성이 향상되었다고 사료된다. 또한 양극 방식에 비해 음극방식의 경우가 용존산소의 농도분극 영역에서 보다 낮은 전류밀도를 나타냈고 방식전위 영역도 넓기 때문에 양극방식에 비해 음극방식의 경우가 효과적일 것으로 판단된다.

감사의 글 : 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임