플라즈마 전해 산화법에 의해 용융알루미늄도금 강판 상 형성한 산화층과 그 성장 과정
Oxide Films Formed on Hot-Dip Aluminized Steel by Plasma Electrolytic Oxidation and Their Films Growth Stages

최인혜[a,*], 김창민[b], 박준무[a], 박재혁[a], 황성화[a], 이명훈[a]
[a*]한국해양대학교 기관공학과(E-mail: leemh@kmou.ac.kr), [b]덕산산업(주)

초 록: 지난 수 십 년 동안, 전 세계적으로 자원의 소비가 급격히 증가하게 되면서 최근 자원 고갈은 물론 환경오염이 커다란 이슈로 문제가 되고 있다. 이에 따라 재료 관련 분야에 있어서는 보다 효율적이고 친환경적인 방법으로 자원을 활용해야 된다는 필요성이 대두되었고 이와 같은 관점에서 목적하는 성분이 우수하고 환경 친화적인 표면처리 재료 개발연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 그 중 플라즈마 전해 산화(Plasma Electrolytic Oxidation, PEO)는 알루미늄, 마그네슘 등의 경금속의 경도를 향상시키고 높은 내마모성, 내식성을 갖게 하는 표면처리로써 그 관심이 증가하고 있다. 이 플라즈마 전해 산화는 일반적으로 공정비용 대비 효과적이고 환경 친화적이며 코팅 성능 면에서 우수하다고 알려져 있다. 이러한 고유한 특성으로 인해 플라즈마 전해 산화 코팅은 최근 몇 년 동안 기계, 자동차, 우주항공, 의학 및 전기 산업 등의 분야에서 그 적용이 점차 증가하고 있는 상황이다. 한편, 플라즈마 전해 산화 코팅을 하는 모재들의 경우 부동태 산화피막을 용이하게 형성할 수 있는 특성의 모재에 한정되고 있어서 그 응용확대에 한계가 있는 것이 사실이다.
따라서 본 연구에서는 플라즈마 전해 산화법을 사용하여 용융알루미늄도금 강판 상에 산화피막 형성을 시도하였다. 전원공급 장치의 양극은 전해질 속에 잠겨있는 작동전극에 연결하고 음극은 대전극 역할을 하는 스테인레스강 전해질 용기에 연결되었다. 전해질은 Sodium Aluminate 및 기타 첨가제를 함유한 것을 사용하였고 온도는 열교환기를 사용하여 30℃ 이하로 유지되었다. 또한 여기서 전류밀도는 5~10 A/dm^2, 실험 주파수는 700Hz, Duty cycle은 30 및 90%의 각 조건에서 공정처리 시간을 각각 30분 및 60분 동안 진행하였다. 이와 같은 조건에서 형성한 막들에 대해서는 주사형전자현미경(SEM)을 이용하여 코팅 막의 표면 및 단면의 모폴로지를 관찰하였음은 물론 EDS 및 XRD 측정을 통하여 원소조성분포 및 결정구조를 각각 분석하였다. 또한 이 코팅 막들에 대한 내식성은 5% 염수분무 환경 중 노출시험(Salt spray test), 3% NaCl 용액에서의 침지 시험 및 전기화학적 동전위 양극분극(Potentiodynamic Polarization) 시험을 진행하여 평가하였다.
이상의 실험결과에 의하면, 제작조건별 플라즈마 전해 산화 코팅 막의 모폴로지 및 결정구조가 상이하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 코팅 막의 모폴로지 관찰 결과, 공정 시간에 비례하여 표면에 존재하는 원형 기공의 수는 감소하였으나 그 크기가 커지고 크레이터의 직경 또한 커진 것이 확인되었다. 이 기공은 마이크로 방전에 의해 형성된다고 알려져 있는데 공정 시간이 증가함에 따라 코팅 두께가 점차 증가하여 마이크로 방전의 빈도수가 줄어들고 그 강도는 증가하게 되어 기공 크기가 증가한 것으로 사료된다. 또한 공정시간이 긴 시편에서 표면에 크랙이 다수 존재하는 것으로 확인되었다. 이것은 방전에 의해 고온이 된 소재가 차가운 전해질과 만나게 되어 생긴 큰 온도구배로 인해 강한 열응력이 발생하여 균열을 초래한 것으로 보인다. 조성원소 분석 결과 원형 기공 주변의 크레이터 영역에는 알루미늄이 풍부하였으며 그 주변에 결절상을 갖는 구조에서는 전해질 성분의 원소가 포함되어 있는 것이 확인되었다. 이러한 코팅 막의 표면 특성은 내식성에 영향을 주게 된 원인으로 사료된다. 동전위 분극측정 결과에 의하면 플라즈마 전해 산화 공정 시간이 길어질수록 부식전류밀도가 증가하였다. 이것은 공정시간이 길어짐에 따라 강한 방전이 발생하여 기공의 크기가 증가하고 크랙이 발생하게 되면서 내식성이 저하된 것으로 판단된다. 종합적으로 재료특성 분석 및 내식성 평가를 분석한 결과, 플라즈마 전해 산화의 공정 시간이 너무 길게 되면 오히려 내식성은 저하되는 것이 확인되었다. 이상의 연구를 통하여 고내식 특성을 갖는 플라즈마 전해 산화 막의 유효성을 확인하였으며 용융알루미늄강판 상에 실시한 플라즈마 전해 산화 처리에 대한 기초적인 응용 지침을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. A.L.Yerokhin et al, (2003). Jounal of Physics D:Applied Physics, 36, pp.2110-2120