

본 연구는 한국과학기술정보연구원이 미래창조과학부 과학기술 진흥기금으로 수행하는 2014 ReSEAT프로그램지원에 의해 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

전해가공과 방전가공의 기술동향

Review of Electrochemical and Electrodischarge Machining

김유상*

*한국과학기술정보연구원 전문연구위원(ReSEAT) (E-mail:kiysjnc@reseat.re.kr)

초록: 전해가공(ECM)과 방전가공(EDM) 공정은 독특한 출력이 가능한 두 가지 이점이 있다. 방전가공과 전해가공은 보다 효과적이면서 거대하고, 미세한 나노 특성과 재료 가공의 정확한 3차원 복잡 형상 가공의 대안을 제공해준다. 본고에서는 학술적이고 산업적인 연구와 응용에 있어서 기여를 반영한 전해가공과 방전가공 공정의 기술적인 진전을 간략히 기술하였다.[1]

1. 서론

대량의 미세부품과 공구강, 초경 초합금과 티타늄 합금이 자동차, 항공, 전자, 광학, 의료기 소자와 통신 산업에서 급속히 증가해왔다. 이들의 예외적인 특성에도 불구하고, 가공하기 까다로운 재료는 적용이 제한되었다.

이러한 재료들은 회전 밀링과 같은 종래의 가공 공정을 공지에 빠지게 했다. 티타늄 합금은 강하며, 낮은 열전도도와 보다 높은 화학적 반응성은 높은 절단 온도와 강한 밀착성을 나타내었다. 방전가공과 전해가공의 유사한 점은 보다 효과적이면서 거대하고, 미세한 나노 특성과 재료 가공의 정확한 3차원 복잡 형상 가공의 대안을 제공한다. 본고에서는 가공이 어려운 재료의 설계, 표면 보전, 감시 및 제어, 공구 재료와 공구 마모 및 하이브리드 공정에 있어서 학술적이고 산업적인 연구와 응용의 기여를 반영한 ECM과 EDM공정의 기술적인 차이점을 간략히 기술하였다.

2. 본론

본고에서는 전해가공(ECM)에 대한 현재 기술현황과 전망에 대해 기술하였다. ECM은 전기 분해하는 동안에 양극용해 기구에 의해 된다. 선형의 음극과 제조 공정 중, 작용 양극의 내부 전극 갭을 통과하는 10~25V 교류와 직류가 공급되며, 전해용액은 0.1~0.6mm 내부 전극 갭을 통과하면서 10~60m/s 고속으로 흐른다. 전류밀도는 20~200A/cm²이다. 양극용해 속도는 금속의 전기화학적 특성, 전해액 특성 및 공급되는 전기 전류/전압에 의존하는 전기분해의 패러데이 법칙에 의해 지배된다. ECM은 제조 공정 중, 작용 양극에 선명한 거울상을 나타낸다.

ECM의 이점은 종래의 가공 공정에 비해서 회전 밀링과 같이, 재료 경도에 관계없이 기구의 마모가 필요하지 않으며, 높은 재료 가공 속도, 완만한 광택 표면과 응력과 결함이 없는 복합 결합 구조 부품 생산을 할 수 있다. 그러므로 ECM은 터빈 블레이드, 엔진 주조, 베어링 케이징, 기어, 다이스와 금형 및 외과의 임플란트에 적용된다.

최근, 티타늄과 밀링에 의한 니켈 기반의 블레이드 디스크 거칠기의 기술적이고 화학적인 연구가 수행되었다. ECM은 티타늄 합금의 가공과 대량생산 규모에 적합한 반면, EDM은 소량의 배치 규모의 선택에 더 효과적이다. ECM 공정의 연구와 기술 개발 활동은 새로운 응용이 요구되는 다양하고 하이브리드 공정에 관련되어 있다.

펄스 전해가공(PECM)은 직류(DC) 전류를 대체하여 펄스 전력을 사용한 ECM을 다양화해 왔다. PECM은 가공 정확도가 높고, 공정의 안정성과 제어에 적합하다. 이유는 PECM의 양극용해가 향상되고, 좁고 안정한 갭의 내부 전극 갭에 있어서, 개량된 전해용액 유동 조건 때문이다. 미세가공이 적용될 때, PECM은 펄스 전해 미세가공(PECM)으로 간주한다. ECM 공정 기구는 자동차 유성기어, 유동제어 밸브, 의료 스텐트와 초전도 마이크로와 캐비티에 적용하는 전해 연마와 마스크, 전해 에칭 개발에 펄스/역전동 펄스를 시도하는 데 사용되어 왔다. 이미 언급한 바와 같이, ECM 응용은 항공, 바이오 의료, 데버링, 에너지, 자동차 부품의 홀 깊이 가공과 마찰공학을 포함한다.

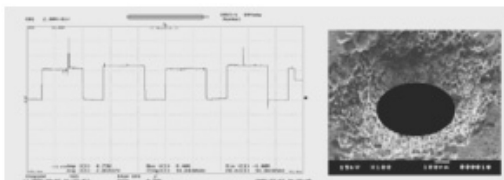


그림 1. 발화된 홀

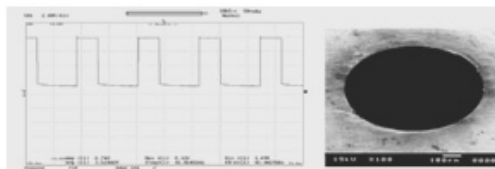


그림 2. 발화되지 않은 홀

ECM은 경질의 금속 재료, 반도체 복합재료를 가공할 수 있으며, 전도성이 넓고 다양하다. 그림 1,2,3에서 보이는 바와 같이, ECM을 사용하여 $0.5\mu\text{m}$ 소형 부품을 가공할 수 있다. 전기화학적 표면 처리 기술로써 100nm 의 낮은 표면 조도를 달성할 수 있었다. 티타늄의 ECM 연구에서 전해용액의 빠른 속도는 재료 제거 속도와 표면 특성을 초래했다. HF 전해용액으로써 광EMC를 사용한 미세 전가 기계 시스템(MEMS)을 응용하여 실리콘 상에 고품상비의 $1\mu\text{m}$ 미세구조체가 조립되었다. 밀링하여 EDM과 비교해 볼 때, ECM은 Ti 합금을 가공하는 데 가장 비용이 적게 소요되어 효과적이다.

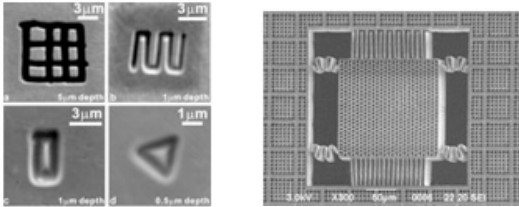
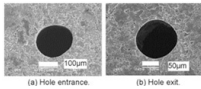
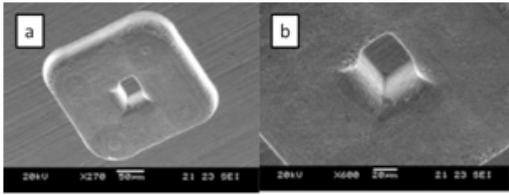
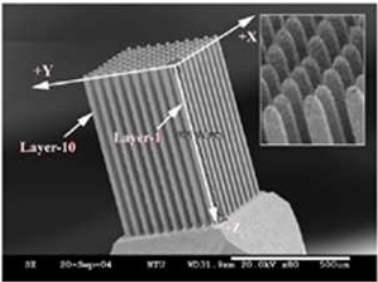
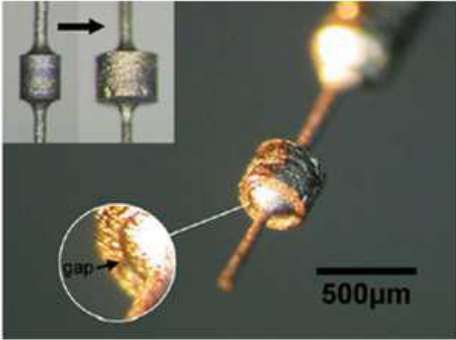
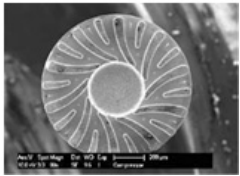
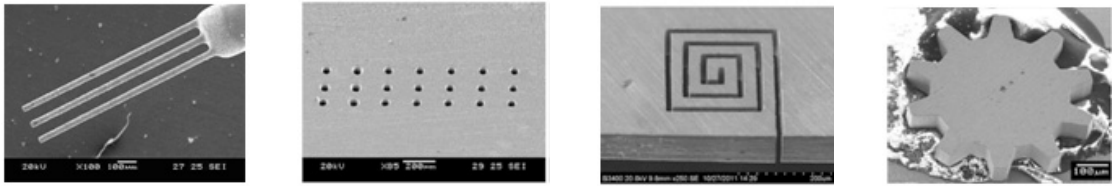


그림 3. 좌측: Au 작용 전극(양극)상의 미세 ECM, 우측: ECM의 응용(하; 밀링가공, MEMS기어, 생체 및 의료부품)



3. 결론

본장에서는 최근 부각되고 있는 나노 스케일 가공에 대한 최신 기술을 소개하였다. 최근 소개된 나노 규모의 가공 기술에서, 그림 12에서 보이는 바와 같이, 15nm 이하를 생성시키는 데 자동적으로 유기 오일 매체에 침지된 예리한 전극 기구가 사용되었다. 분석을 수행하는 데 주사터널현미경(STM)이 사용되었다. 그림 13과 같이, 가공 도구 선단 반경과 도구 표면의 수명을 연장하기 위하여 텅스텐 산화물과 텅스텐 카바이드의 나노 결정 기지로 개량되었다. Nano-EM은 전류 변위(I-Z) 분광곡선의 감시에 의한 가공 전 후의 도구 품질 향상을 위하여 플랫폼과 원래 공정으로서, 대기 중에서 STM을 사용하여 수행되었다.

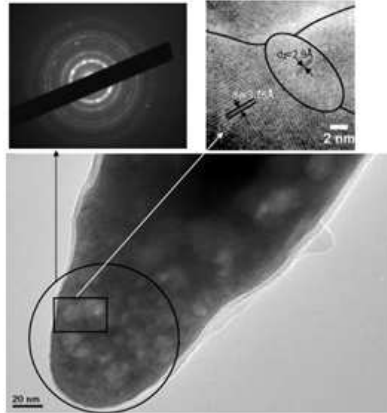


그림 13. 나노 EM 도구는 나노 결정체(WO_3 , C, W와 WC)의 보호층과 전도층으로써 덮임

펄스 전류를 고려한 전해 표면 처리 공정은 작용 전극인 회전 양극과 정지 전극인 음극 모형으로 제작되었다. 속이 빈 음극과 펄스 전압은 열 발생을 억제했다. 온도 효과를 고려한 ECM 공정의 모의 시험에서, 온도가 높을수록 높은 가공 속도의 온도 분배가 양극 형상에 영향을 미친다는 사실을 발견했다[2]. 도구 설계를 보다 정확하고 단순화하기 위하여, 보다 작은 갭 상태가 요구된다. 최근, 차원의 정확도와 에어 박막(airfoil)의 전해 형상의 생산성은 PECM에 따르는 ECM 적용에 의해 향상될 수 있었다.

ECM에 사용된 전해용액은 가공 재료의 형태에 좌우되며, 산, 염기와 중성 수용액이 사용되어 왔다. 금속 조각을 용해하는데 희석한 산 용액이 채택되었다. WC 복합체 가공에는 산 용액에 있어서 부동태가 생성하기 때문에, 알칼리와 중성 용액을 사용한다. 수용액 중에서 OH-이온과 함께 착이온을 형성하는 비수용액(NH_4NO_3/NH_3)이 몰리브덴(Mo)의 ECM에 사용되었다. 친환경적으로, 독성이 없는 물과 같은 전해용액을 사용한 환경에 친화적인 미세 ECM 성능과 구연산(citric acid)이 최근 보고되었다.

EDM의 가장 주요 문제점은 표면 상태이다. 방전 펄스 에너지는 표면 상태에 영향을 주는 가장 중요한 요소이다. 전류와 전압증가와 함께 재료의 표면 거칠기는 증가한다. 최근, 가공재료에 손상을 극도로 낮춘 초고주파/단 펄스의 와이어 EDM가능성에 관한 연구가 보고 되었다. EDM에 의해 가공된 Al_2O_3 복합체나 전해 혹은 정밀연마는 방전 전류와 펄스공급 시간과 함께 표면 거칠기가 증가하였다. 9Ti-6Al-4V합금의 연마와 와이어 EDM을 비교한 연구에 있어서, 와이어EDM이 피로강도 수명이 길고, 표면상태가 양호하게 나타났다. 방전가공(EDM)과 전해가공(ECM) 방법은 유사하지만 생산 현장에서 각각의 용도에 따라 다르게 사용된다. EDM은 금속에서 미세 조각을 떼어내는 기계가공으로서 기계가공 중 공구 마모가 발생하는 것과는 대조적으로 ECM은 전기도금의 반대되는 역 공정으로서 공작물과 공구가 직접 접촉하지 않기 때문에 공구마모가 발생하지 않는 이점이 있다.

최근, ECM과 EDM가공 기술을 융합하여 인간 수명 향상과 함께, 인공관절 접속 부품에도 사용량이 증가하고 있다. 향후, 반도체나 생체용 고강도 경량 재료의 표면처리, 미세조직, 미소경도, 잔류응력 제거는 물론, 표면을 보다 미세하고 정밀하게 가공할 수 있을 것이다. 이에 ECM과 EDM가공을 융합한 전극을 성형하고 조립하는 기술 개발이 필수적이라 사료된다.

참고문헌

1. K.P. Rajurkar, M. M. Sundaram, A. P. Malshe, Review of Electrochemical and Electrodischarge Machining, The Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM), Procedia CIRP 6(2013), pp.13-26