

알루미늄에 대한 미세 표면 전해가공에 관한 연구

백승엽*(인하대 대학원 기계공학과), 이은상(인하대 기계공학과), 원찬희((주)예원테크)

A study on the Micro Surface Electrochemical Machining for Aluminum Alloy

S. Y. Baek(Mech. Eng. Dept., IHU), E. S. Lee(Mech. Eng. Dept., IHU),
C. H. Won(Yewon Tech Co., LTD)

ABSTRACT

Micro Surface Electrochemical Machining has traditionally been used in highly specialized fields such as those of the aerospace and defense industries. It is now increasingly being applied in other industries where parts with difficult-to-cut material, complex geometry and tribology such as computer hard disk drive(HDD) are required. Pulse Electrochemical Micro-machining provides an economical and effective method for machining high strength, high tension, heat-resistant materials into complex shapes such as turbine blades of titanium and aluminum alloys. Usually aluminum alloys are used bearings to hard disk drive in computer. In order to apply aluminum alloys to bearing used in hard disk drive, this paper presents the characteristics of Micro Surface Electrochemical machining for aluminum alloy.

Key Words : Micro Surface Electrochemical Machining(미세 표면 전해가공), High strength(고강도), High tension(고장력), Heat resistant material(내열재료), difficult-to-cut material(난삭재료)

1. 서론

최근에 산업이 발전함에 따라서 기계부품의 내구성을 증가시키기 위해서 종래 보다 내구성이 뛰어난 재료가 사용되어진다. 기존의 기계부품에서 요구되는 기계적 혹은 구조적 특성에 앞서서 기능적 특성을 필요로 함으로써 일반적인 기계가공법의 적용이 곤란한 경우가 존재한다. 따라서 미세 형상의 기능부품들을 효과적으로 제작하기 위해서 종래의 기계가공만으로는 가공을 하기 힘들기 때문에 기계가공과는 다른 새로운 방식의 미세 가공 기술이 적용되어야 한다. 이러한 미세 가공 기술로서는 주로 반도체 산업에 적용되는 부품의 가공에 사용되는 미세 표면 전해가공 기술이 대두되고 있다.

전해도금은 전기화학 가공중 가장 오래된 가공법으로써 전해액 중의 순수 금속 또는 합금에 금속이온을 부착시키는 방법으로서 전해연마와는 상반되는 원리이다.⁽¹⁾

미세 표면 전해가공은 버, 스크래치, 뒤틀림, 표면 잔류 응력이 없기 때문에 난삭재 및 복잡한 재료를 가공할 수 있는데 주로 항공 터빈 부품, 외과 수

술용 부품, 베어링 케이지, 몰드, 마이크로 요소에 사용되어지고 있다.⁽²⁾ 전기화학 가공에서는 전기적 특성이 주된 역할을 하고 화학적인 특성이 보조적인 역할을 한다. 따라서 미세 표면 전해가공에서 중요한 인자들은 전류밀도, 가공시간, 전극간극, 전해용액, 공구의 형상 등으로 나타낼 수 있다. 기존에는 직류전원을 사용해서 가공을 수행해왔지만, 최근에는 펄스를 사용함으로써 미세한 간극의 유지와 형상 정밀도를 높이고, 표면 거칠기를 양호하게 하는 펄스 전해 가공이 연구되어지고 있다.

펄스 전해가공은 원활한 전해액 공급과 미세한 전극간극의 유지 및 펄스전원의 안정된 공급으로 인해 양극인 공작물에서 전류가 집중되어 활발한 전해용출로 치수 정확도와 가공품질을 한층 더 높일 수 있고 고농률의 미세 형상 가공기술을 가능하게 했다.⁽³⁻⁵⁾ 미세 표면 전해가공 기술의 장점은 버의 제거, 표면 잔류응력 제거, 괴가공물의 기계적 성질에 제한을 받지 않으며, 공구의 마모가 거의 없다는 것이다. 단점은 전도체 재질만 가공이 가능하고, 결정립계 침식, 고설비비, 안전 및 공해 문제, 그리고 전극의 제작이 어렵다는 것이다. 하지만 이러한 단

점에 비해서 가공 효율이 더욱 좋기 때문에 자동차, 항공기 산업분야 등에 널리 사용되고 있다. 미세 표면 전해가공의 적용을 위해서는 매커니즘의 이해가 필수적인데, 이를 위한 연구가 오래 전부터 진행되어 다양한 전해 가공 인자가 정의, 적용되어왔다. 본 연구에서는 항공 부품 및 각종 소형부품에 널리 사용되는 알루미늄 합금에 대해서 미세 표면 전해가공 기술을 적용해서 산업에서 불필요한 자원 낭비 없이 효과적인 가공을 통해서 원하는 정밀도의 제품을 만들어 내는데 도움이 되고자 한다.

2. 미세 표면 전해가공

2.1 미세 표면 전해가공 기술

미세 표면 전해가공 기술은 전기적·화학적인 반응을 이용해서 기계적인 가공과 복합적으로 가공효과를 일으키면서 금속 용출을 이용하여 원하는 표면 형상을 도출하는 특수가공기술로서 고장력강, 내열재, 초경합금등의 가공에 사용되는 방법이다.⁽⁶⁾

일반적으로 절단, 디버링, 구멍 뚫기, 형조각등의 분야에 적용되고 또한 항공우주분야나 터빈 블레이드, 로켓 엔진 부품에 사용되어 왔으나 최근에는 초소형회전체인 베어링에 마이크로 단위의 홈을 가공하는데 많이 사용되고 있다.⁽⁷⁾

2.2 미세 표면 전해가공

Fig. 1은 전해가공 중에 발생하는 화학 반응에 관한 원리를 나타내고 있다.

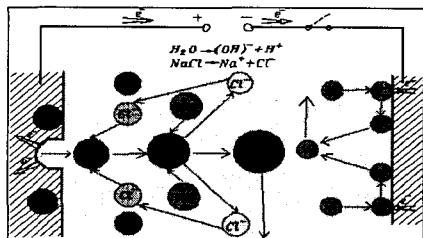
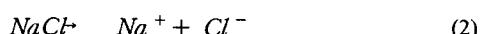
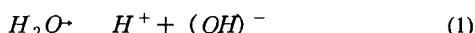


Fig. 1 Diagram of electrochemical reactions during ECM of iron in NaCl electrolyte

전해액 용해는



의 결과로 나타난다. 즉, 전해액 속에서 공작물에 양극의 전류를 인가하고 공구에 음극의 전류를 인가했을 때

$(OH)^-$ 와 $(Cl)^-$ 등의 음이온은 양극의 전류가 인가된 곳으로 이동을 하고,

H^+ 와 Na^+ 등의 양이온은 음극의 전류가 인가된 곳으로 이동을 한다.

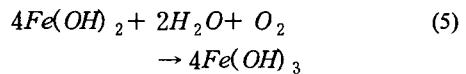
따라서, 양극에서는



와 같이 철은 2가의 음이온과 결합을 한다. 음극에서는



와 같이 화학반응으로 인해 수소가스와 수소이온이 생성된다. 이런 화학적인 반응의 결과는 철(Fe)이온들이 다른 이온들과 결합하면서 Fig. 2에서 보여주듯이 수산화철인 $Fe(OH)_2$ 로 침전되어서 나오게 되는 것이다. 따라서 제1철을 함유한 수산화물은 제2철의 수산화물을 형성하기 위해서 물과 산소와 함께 또다시 반응을 일으킨다.



그리고 전기화학 공정 중에 $NaCl$ 은 소모가 되지 않으므로 일정한 전해액의 농축을 가지기 위해서는 물을 더 첨가시키는 것이 필요하다. 이런 금속 전해액 조합으로 전기분해는 양극에서의 철 분해와 음극에서의 수소생성을 수반한다. 그리고 다른 반응들은 전극에서 일어나지 않는다.

3. 이론적인 배경

전해액의 전도도는 전해가공시의 중요한 요인으로서 저항의 역할을 하는 파라미터의 하나로 온도상승이나 수소가스의 발생 등에 영향을 받는 파라미터로 인식되어 있는데 옴 법칙(Ohm's law)에 따르면 다음과 같다.⁽⁶⁾

$$k_c = \frac{SI}{V} \quad (6)$$

k_c 는 전해액의 전도도이고, I는 전류밀도, V는 전압, S는 전극간극을 나타내고 있다.

Faraday의 법칙에 따라서 펄스 on-time에서의 금속제거량은 다음과 같다.⁽⁶⁾

$$\frac{dS}{dt} = \frac{A k_c (V_0 - \Delta V)}{Sz \rho_a F} - f \quad (7)$$

S : gap side
 A : atomic weight
 t : machining time
 z : valency
 Vo : voltage pulse
 ΔV : overpotential
 F : Faraday's constant(96500C)
 κ_c : combined electrolyte conductivity
 ρ_a : anode metal density
 f : electrode(cathode) feed-rate

4. 실험 장치 및 가공 조건

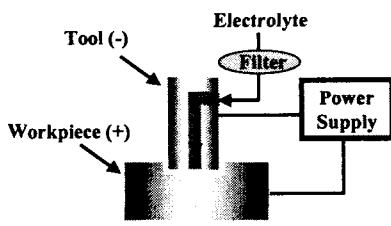


Fig. 2 Schematic diagram of experimental set

Table 1 Experimental conditions

Power supply	50A, 300V
Workpiece(anode)	Al2024
Electrode(cathode)	Cu
Electrolyte	NaNO_3
Surface measurement system	Taylor Hobson

Fig. 2는 미세 표면 전해가공을 위한 실험장치의 개략도이다. 공작물을 양극으로 하고 음극전극과 함께 알칼리성 전해액을 공작물에 분사시켜주면서 가공부를 전해시켜서 가공을 수행하였다. 가공부에 균일한 전해 용출 작용을 일으키고, 공작물에서 배출된 침이 전극에 부착되는 것을 방지하기 위해서 전해액은 전극과 공작물사이에 10m/s~60m/s의 속도로 분사되게 하였다. 사용된 전해액은 1μm의 일반필터와 탄소필터를 이용해서 적절한 필터링을 통해 재공급 되도록 순환하여 사용하였다. 실험 결과의 신뢰성을 높이기 위해 동일 조건에서 2회 반복 실험을 수행하였으며, 가공된 시편에 대해서는 4회 반복 측정을 수행하였다. 대표적인 실험장치 사양은 Table 1과 같다.

5. 실험결과 및 고찰

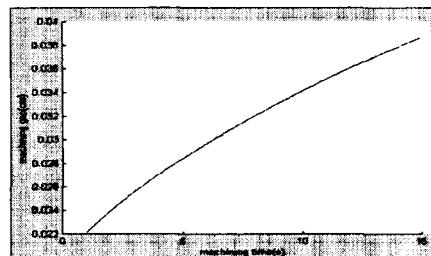


Fig. 3 Theoretical removal rate vs machining time

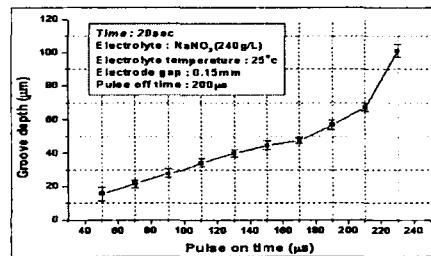


Fig. 4 Relationship between groove depth and pulse on time

Fig. 3은 이론적인 시뮬레이션 결과를 토대로 가공시간의 범위에 따라서 가공 깊이를 극사적으로 추측하여 원하는 가공 깊이를 달성하였다.

Fig. 4는 펄스 on time의 변화에 따른 가공 깊이를 나타내고 있다. 위 그래프에서 on time 210μs에서 가공 깊이가 급격하게 증가하는 것을 보이는데 이는 가공중 온도의 상승으로 인해서 재료의 연화현상 때문이라고 예측할 수 있다.

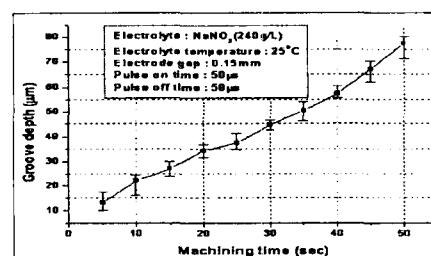


Fig. 5 Relationship between groove depth and machining time

Fig. 5는 가공 시간의 변화에 따른 가공 깊이를 나타내고 있다. 가공 시간이 증가할수록 가공 깊이가 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 6은 전극의 간극 변화에 따른 가공 깊이를 나타내고 있다. 실제로 전극의 간극이 0.45mm 이상에서는 가공의

깊이가 변화가 거의 없는 것을 본 실험에서 알 수 있었다. 그 이유는 간극이 일정 한계를 벗어나면서 저항이 증가하고 그로 인해 전류가 분산되어 더 이상의 반응이 일어나지 않기 때문이다.

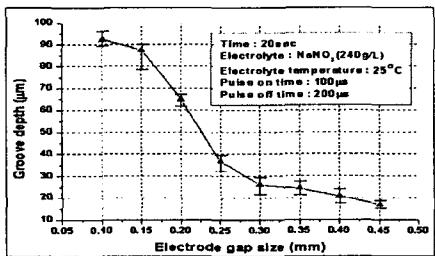


Fig. 6 Relationship between groove depth and electrode gap size

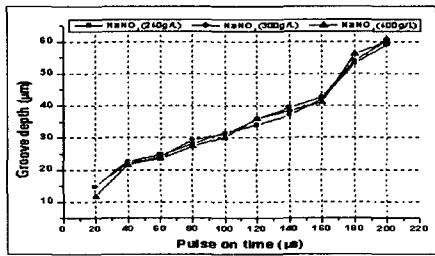


Fig. 7 Relationship between groove depth and electrolyte concentration for various pulse on time

Fig. 7은 전해액의 농도에 따른 가공 깊이를 나타내고 있다. McGeough는 전해액 농도에 따라서 효율이 어떻게 달라지는가에 대해서 언급을 하였다. 즉 농도가 낮을수록 형상 정밀도가 좋은 결과를 보이고 있다.⁽⁸⁾ 본 실험에서는 가공 변수를 달리하였음에도 불구하고, 가공 깊이의 변화가 거의 없음을 보여주고 있다. Amalnik는 전해가공이 on time이 0.1μs~0.5μs, off time이 5μs~50μs일 때 금속 용출이 일어나는 펄스 전해가공이 보다 더 좋은 형상 정밀도를 가지는 결과를 보여주고 있다.⁽⁹⁾

6. 결론

본 연구에서는 알루미늄에 대한 미세 표면 전해가공을 수행한 후 각각에 대한 가공 인자의 특성에 대해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 미세 표면 전해가공후 가공 변질층이 생기는 데 이는 전류밀도를 증가시켜서 가공 변질층을 제거할 수 있었다.

(2) 펄스 on time 210μs이후에 온도가 증가하면서 재료에 영향을 끼쳐서 가공 깊이가 급격히 증가하는

것을 보였다.

(3) 실제로 전해액 농도가 낮을수록 가공량은 거의 변화가 없지만 형상 정밀도가 더 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지정 인하대학교 소재 경량화 TIC의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Datta, M., "Applications of Electrochemical Microfabrication: An Introduction", IBM Journal of Research & Development, Vol 42, Issue 5, pp563, 1998.
2. K. P. Rajurkar, D. Zhu, B. Wei, "Minimization of Machining Allowance in Electrochemical Machining", CIRP, Vol 47, No. 1, pp 165~168, 1998.
3. K. P. Rajurkar, D. Zhu, J. A. McGeough, J. Kozak, A. De Silva, "New Developments in Electro-Chemical Machining", CIRP, Vol 48, No. 2, pp.567~580, 2000.
4. Rolf Schuster, Viola Kirchner, "Electrochemical Micromachining", Science, Vol. 289, pp98~101, 2000.
5. B. Wei, K. P. Rajurkar, S. Talpallikar, "Identification of Interelectrode Gap Sizes in Pulse Electrochemical Machining", The Electrochemical society, Vol. 144, No. 11, pp3913~3918, 1997.
6. McGeough, J. A., "Principles of Electrochemical Machining", Chapman Hall, London, 1974.
7. Chikamori, K., "Possibilities of Electrochemical Micromachining", International Journal of JSPE, Vol. 32, pp.37~38, 1998.
8. A.K.M. De Silva, H.S.J Altena, J.A. McGeough "Precision ECM by Process Characteristic Modelling", Annals of the CIRP Vol. 49/1, pp151~155, 2000
9. M.S Amalnik, J.A. McGeough "Intelligent Concurrent Manufacturability Evaluation of Design for Electrochemical Machining" Journal of Materials Processing Technology 61, pp130~139, 1996