

전해연마를 적용한 미세 마이크로 니들의 표면 향상에 대한 연구

정성택¹ · 김현정¹ · 위은찬¹ · 공정식² · 백승엽[†]

인덕대학교 융합기계공학과^{1,*}
(주)티포엘²

A study on the Surface Improvement of Fine-Micro Needles Applying Electrochemical Polishing

Sung-Taek Jung¹ · Hyun-Jeong Kim¹ · Eun-Chan Wi¹ · Jung-Shik Kong² · Seung-Yub Baek[†]

Department of Mechanical Convergence Engineering, Induk University^{1,*}
Technology for Your Life Co., Ltd.²

(Received September 20, 2019 / Revised September 26, 2019 / Accepted September 30, 2019)

Abstract: As the consumer market in the mold, automation and aerospace industries grows, the demand for chemical machining using on electrochemical polishing increases. To enhance the surface roughness and gloss of the micro-needle, we have studied for an electrochemical polishing. Electrochemical polishing requires the chemical reaction of solution and material according to the electrolyte and electrode. In this study, sulfuric acid(30%), phosphoric acid(50%), and DI-water(20%) were used as the electrolytic solution, and the electrolytic solution temperature used 58 °C. Electrochemical polishing was carried out in experimental conditions, and the micro-needle experiment was carried out from the basic experiment to obtain the experimental conditions. Experimental results show that as the voltage and current increase, the surface roughness improved and the gloss is improved. So, the best result for this experiment was obtained in condition 6, which improved micro-needle.

Key Words: Deburring, Electrochemical polishing, Experiment, Micro-needle, Electrolytic, Surface roughness

1. 서 론

최근에 각종 기계 부품 및 제품들의 소형화로 인해 각종 초정밀 생산기술이 요구된다. 생산기술의 고도화에 따른 발전으로 친환경 기술 및 효율적인 가공기술의 개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히, 자동차, 조선, 항공기의 부품 및 여러 산업분야에서 다수의 미세 홀을 가공할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 이러한 추세에 맞춰 방전가공, 기계적인 드릴링, 초음파 가공, 레이저 가공 등 여러 기술들이 개발되었다. 그러나 이렇게 개발된 기술들은 다음과 같은 한계점이 있다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이 특수가공은 시대가 지나면서 우수한 표면 조

도를 확보하기 위해 다양한 가공법들이 요구되고 있다.

종래의 표면 처리 연구로는 연삭(Grinding) 및 래핑(Lapping)기술을 활용하여 수많은 연구자들이 표면 개선을 위한 연구들을 수행 하였으며, 연삭 가공의 경우 연삭숫돌 입자 및 가공물에 따라 재현성이 떨어지므로 제품에 신뢰도로 찾기 어렵다. 따라서 특수가공법으로 비접촉식 가공을 통한 표면 처리를 위해 화학 용액을 이용한 폴리싱 기술이 많이 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 부품들의 결함으로 부식이 되는 요소부품들에 대응하기 위해 디버링(Deburring) 효과가 좋으며, 첨단 부품소재와 의료부품에도 많이 사용되는 전기화학 폴리싱(Electrochemical polishing)을 선정하였다.

E.S. Lee^{1,2)} 등은 Electrochemical micromachining (EMM)을 이용하여 전기 화학적 환경에서 공구의 전극과 공작물 사이에 펄스를 적용하여 50 μm 이하

1. 인덕대학교 융합기계공학과
† 교신저자: 인덕대학교 융합기계공학과
E-mail: sybaek@induk.ac.kr

의 홀 가공법을 제시하였다. J.W. Park^{3,4)}은 스테인리스 소재를 이용하여 전해연마 가공 시 전류 밀도(Current Density)와 가공 시간에 따른 가공 특성 분석에 대하여 연구하였다. 또한, 스테인리스강의 표면을 복합적인 가공방법을 활용하여 기존의 전해가공법에서 초음파 진동(Ultrasonic Vibration)을 부가한 진동 화학 폴리싱을 비교 분석하였다. S.H. Kim⁶⁻⁸⁾은 전해연마 특성을 분석하기 위해 표면조도와 마이크로 버(Burr)의 크기, 전류 밀도, 가공 시간 및 전극의 간극(Gap-Size)으로부터 측정하여 표면 결치기 개선에 대한 연구를 수행하였다. 또한 마이크로 연료전지 분리 판의 유로 채널을 제작하기 위해 전해 연마 기술을 이용하여 가공조건 최적화에 대한 연구를 수행 하였다^{9,10)}.

이와 같이 전해 연마 가공 기술의 경우 지난 연구자들이 많은 노고 끝에 특수가공 기술을 발전 시켜 왔으며, 최근 OLED 웨도우 마스크(Shadow mask) 제작에도 전해연마와 전해가공 기술이 많이 사용되고 있다. 또한, 최첨단 반도체 기술 및 의료분야에도 많은 연구와 제품양산에 수행되고 있다¹¹⁻¹³⁾.

이에 본 연구에서는 지난 선행 연구 결과로부터 도출된 내용을 기반으로 전해연마 가공 기술을 활용하여 STS 316L 소재의 기초 연마 실험과 미세 마이크 니들을 확보하기 위한 전해연마 가공 기술에 대한 공정 조건에 대하여 연구를 수행하고자 한다.

2. 전기화학 이론

2.1. 페러데이의 법칙(Faraday's law of electrolysis)

제 1 전기분해 법칙은 전기화학 분해는 전극에서 변화되는 물질의 질량은 전극에서 전달되는 전기의 양에 비례 되며, 제 2 전기 분해 법칙은 주어진 전하에 대해 전극에서 변화되는 물질의 질량은 원소의 등가 중량에 직접 비례된다. 물질의 량은 물질에 의해 수행하여 반응하는 정수로 나눈 분자량이다⁹⁾.

전기 화학적 반응의 속도에 영향을 미치는 변수들이 Fig. 2 (a)에 나와 있으며, 보이는 바와 같이 용해 된 산화를 환원 된 형태 R로 전환시키며 일련의 단계로 구성된 전체 전극의 반응을 $O + ne \leftrightarrow R$

로 고려해야 된다. 또한, 전기 화학 공정 중 전극에서 또 다른 화학 반응이 발생할 수 있으며 음극(-)에서 가장 작은 산화 전위를 갖는 반응이 일어나고, 양극(+)에서 가장 큰 산화 전위를 갖는 반응이 먼저 일어난다.

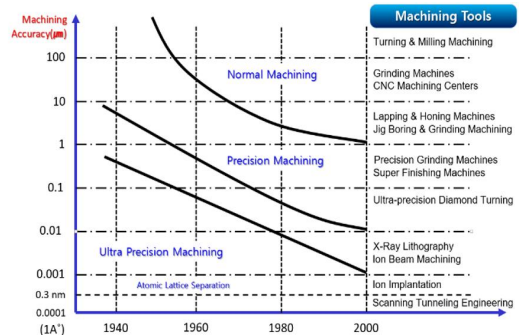
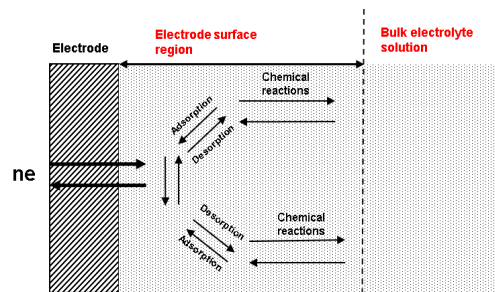
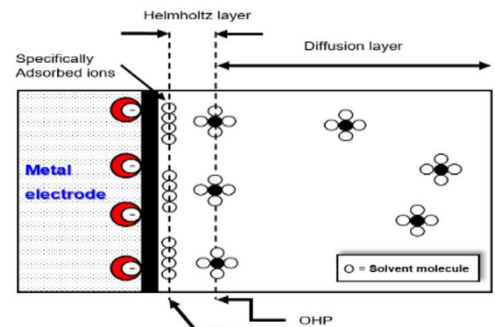


Fig. 1 Advancement of machining accuracies⁵⁾



(a) Pathway of a general electrode reaction⁵⁾



(b) Double layer on electrode¹⁾

Fig. 2 Comparison schematic of (a) the pathway of a general electrode reaction and (b) double layer on electrode

2.2. 전기 이중층(Electrical double layer)

전기화학가공에서 전기 이중층에 대한 이론적 내용은 가장 필수적이다. 전극과 가공물을 전해질 용액에 넣을 때, 금속과 용액 사이에 평형 차가 보통 형성된다. 평형은 금속에 남아있는 전자가 계면에서 용액 내의 양이온의 양과 같고 반대 인 층의 층을 형성하는데 이때 용액 내의 양이온의 양전하 및 금속 전극에서 전자의 음전하는 전기 이중층을 형성한다. 이에 대한 이중층의 용액 면은 Fig. 2 (b)와 같이 몇 개의 층으로 이루어져 있다.

3. 전해연마 실험 구성

본 실험에서는 마이크로 니들(Micro-needle)을 제작하기에 앞서 전해 연마의 실험 조건을 확립하기 위해 기초 실험을 수행하였으며, 실험에서 확보된 결과로부터 실험 조건을 정의하여 마이크로 니들을 제작하기 위한 실험을 수행하였다. 전해 연마에서 사용된 실험조건은 Table 1에서 나타낸 바와 같이 6 개의 실험 조건으로 구성 하였다. 조건1의 경우 STS 316L 소재를 사용하여 기초 실험을 수행하기 위한 조건1)이며, 앞서 수행된 조건을 기준으로 2~6번의 조건을 하향 조정하여 마이크로 니들을 제작하기 위한 실험 조건을 세웠다.

실험을 수행하기 위한 장비 구성에 대한 모습을 Fig. 3에서 보이고 있으며, Fig. 3 (a)은 STS 316L 소재를 사용하여 기초 실험 통해 조건을 확립하기 위한 모습이다. 또한, Fig. 3 (b)은 Micro-Needle을 제작하기 위해 전해연마 기술을 사용하여 제작하는 모습을 보이고 있다. 실험에서 사용된 전극(Electrode)의 재질은 구리(Copper) 재질을 사용하였다. 전기화학 가공은 전기화학적 반응을 보이기 위해 시료에 양극(+), 전극에는 음극(-)으로 하여 금속의 전기화학 용출로부터 표면 개선을 위해 수행하였다. 전해질(Electrolyte)은 강산(Strong Acids)을 사용하였다. 전해액을 제조하기 위해 사용된 용액의 비율은 황산(H₂SO₄)30%, 인산(H₃PO₄)50%, 증류수(H₂O)20%를 각각 용기에 첨가하여 혼합시켰다. 용액을 혼합 후 실험에서 사용된 전해액의 온도는 58℃ 이다. 실험에서 사용된 전원공급(Power Supply)장치는 DC-powder supply(MK-Powder 1500W)를 사용하여 실험 조건을 부가하였다. 또한, Fig. 3에서 보이는 바와 같이 일정하게 혼합된 전해액에 산화 전극과 환원 전극을 침전시킨 후, 전류를 인가했을 경우 금속이 용해되는 모습을 확인 하였다.

4. 전해연마 실험 결과

전해연마 실험을 수행하면 Power Supply에 부가된 가공 조건들이 Fig. 4에서 보이는 바와 같이 시간에 따라 순차적으로 가공이 이루어지는 모습을 볼 수 있다. 또한, 실험으로부터 확보된 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에서 3차원 zygo 표면 측정기를 이용하여 STS 316L 소재를 측정된 모습과 광학 현미경으로

Table 1 Electrochemical polishing condition

No	Voltage (V)	Current (A)	Time (sec)	Temperature (°C)
1	50,45,35,30	26	50,45,35,30	58
2	13	13	56	
3	15	15	60	
4	20	20	40	
5	25	25	40	
6	50	26,20,14,8	50,40,35,30	

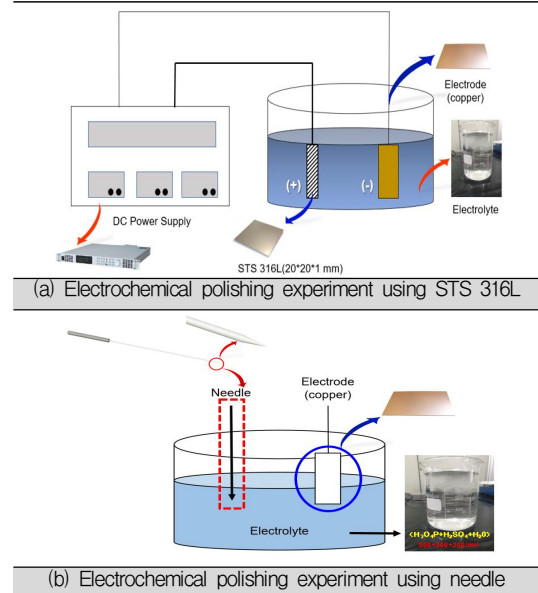


Fig. 3 Comparison of the experiment set-up of STS 316L and needle material using on electrochemical polishing.

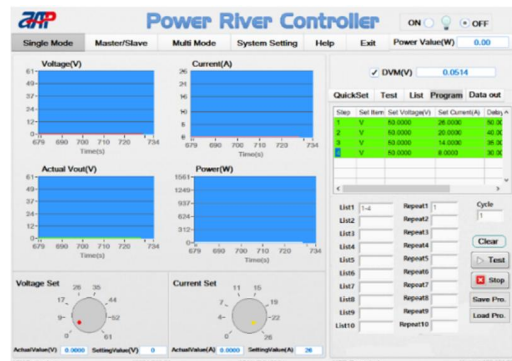


Fig. 4 Experiment with power supply (MK-Powder 1500W)

micro-needle을 측정하여 실험으로부터 확보된 데이터를 측정된 모습 보였다.

Fig. 5에 대한 데이터를 살펴보면 전압과 시간에 대한 변화로 실험을 수행 하였으며, 이에 대한 조건 1의 표면조도 결과는 Ra 0.107 μ m가 도출 되었다. 조건 1번에 대한 좋은 결과의 원인은 고전압 고 전류에서 실험된 STS 316L 소재가 실험시간이 길어지면서 표면 평탄화가 더 작용되고 이에 요철 부분이 제거된 것으로 분석된다.

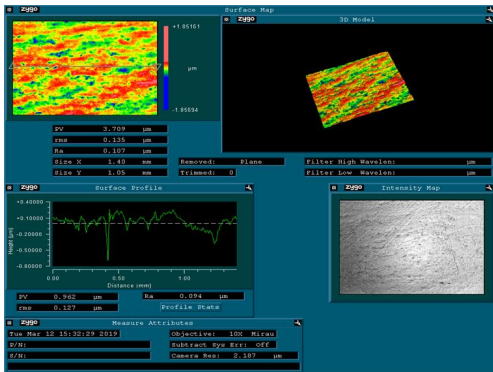


Fig. 5 3D Measurement of surface roughness of STS 316L material

Fig. 6은 마이크로 니들을 제작하기 위해 조건2에서부터 조건6까지의 실험 조건에 따라 비교한 모습을 보이고 있다. 실험 결과 2번 조건(13V, 13A)의 경우 전해 가공이 원활하게 이루어 지지 않아 표면 조도와 광택 개선이 발생되지 않았으며, 이는 전압과 전류를 낮은 값으로부터 인가하여 침전 현상으로부터 발생하는 소재의 용융 현상이 덜 발생 되어 일어 난 것으로 분석된다. 또한, 전압/전류의 실험 조건의 값이 증가할수록 표면 조도와 광택 개선이 증가되는 모습을 확인할 수 있었으며, 최종적으로 조건 6번에서 전압을 50V에서 고정하고 전류에 따른 변화를 수행한 결과 needle의 sharpness가 개선되었고, 광택 및 표면 조도는 기존 실험 결과 보다 향상되는 것을 확인하였다.

본 실험에서 개선된 표면 결과를 도출할 수 있었던 원인은 시료에 인가된 전압 조건이 고전압으로 인가되면서 초기 실험으로부터 확보된 결과와 전류의 변화로 수행되어 ECM(Electrochemical machining)과 같은 형상 제어가 가능한 것 사료되며, 실험으로부터 미세 마이크로 니들을 확보할 수 있는 중요한 조건은 step 조절을 통하여 시료에 대한 형상 제어를 수행 하면 표면과 광택을 개선시킬 수 있음을 분석하였다.

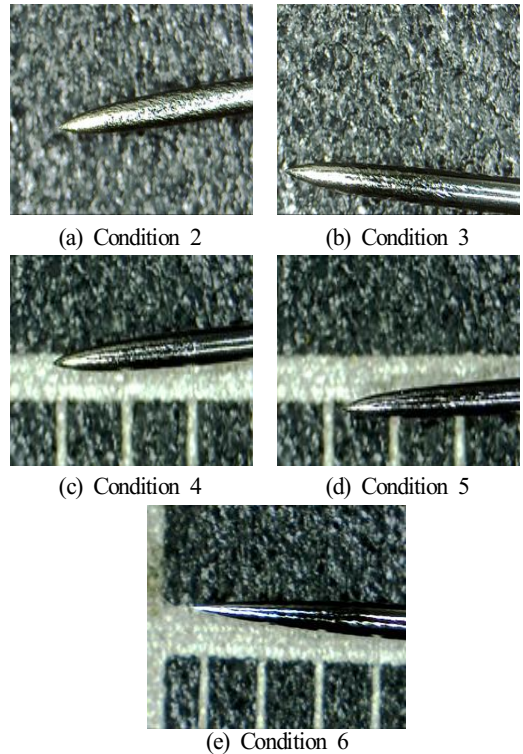


Fig. 6 Micro-needle experiment result

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 산업 분야에서 많이 사용되고 있는 특수가공법들을 조사하고 디버링과 광택 효과가 가장 좋은 전해연마 기술을 적용하여 마이크로 니들을 제작하기 위한 연구를 수행하였다. 연구를 수행함에 앞서 기본적인 실험 조건을 잡기 위해 기초 문헌 자료 수집으로부터 실험을 수행 하였으며, 전해액을 제조하기 위해 황산(30%), 인산(50%), 증류수(20%)를 각각 첨가하여 용액을 제조 하였다. 또한, 제조된 용액으로부터 58 $^{\circ}$ C에서 실험을 진행하였다. 이에 따라 STS 316L 소재를 이용하여 기초 실험을 수행하였으며, 전압과 전류에 대한 조건을 고정하고 실험시간을 변경했을 시 실험조건 1번에 대한 표면 거칠기의 Ra 값이 0.107 μ m가 도출되었다. 이는 실험시간이 길어지면서 표면 평탄화가 더 작용되면서 요철 부분이 제거된 것으로 분석된다.

기초 실험 결과에서 확보된 실험 결과를 이용하여 마이크로 니들을 제조하기 위한 전해연마 실험을 수행하였으며, 전압과 전류가 낮은 값에서 실험

을 수행했을 경우 표면조도와 광택이 개선되지 않았다. 그러나 기초 실험으로부터 확보된 조건을 50 V에서 값을 고정하고 전류의 변화를 가지고 실험을 수행한 결과 우수한 sharpness를 가지는 마이크로 니들이 확보 되었고, 광택과 표면 조도 또한 향상되었다. 이는 ECM과 같은 형상 제어가 전류의 변화로부터 발생된 것으로 분석된다. 이에 따라 전해연마의 기술이 각 산업 분야에 부품, 소재에 따라 조건들이 확립된다면 우수한 표면 조도와 광택을 가지는 부품들이 제조될 것으로 전망된다.

후기

본 논문은 중소벤처기업부 산학협력기술개발사업 과제번호(S2654236) 연구비 지원으로 진행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Lee, E. S., S. Y. Baek, and C. R. Cho., "A study of the characteristics for electrochemical micromachining with ultrashort voltage pulses", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 31.7-8, pp. 762-769, 2007.
- 2) Kim, S. H., et al. "Pulse electrochemical machining on invar alloy: Optical microscopic/SEM and non-contact 3D measurement study of surface analyses", Applied surface science 314, pp. 822-831, 2014.
- 3) Song, Ji-Bok, Eun-Sang Lee, and Jeong-Woo Park. "A study on the machining characteristics of electropolishing for stainless steel", The Korean Society of Mechanical Engineers 23.2, pp. 279-286, 1999.
- 4) Kim, Uk Su, and Jeong Woo Park., "Machining Characteristics according to Electrochemical Polishing (ECP) Conditions of Stainless Steel Mesh", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers 14.6, pp. 41-48, 2015.
- 5) Bhattacharyya, Bijoy., "Electrochemical micromachining for nanofabrication", MEMS and nanotechnology. William Andrew, 2015.
- 6) Kim, Sung Hyun, et al., "A study on the characteristics of micro electropolishing for stainless steel", Advanced Materials Research. Vol. 328. Trans Tech Publications, 2011.
- 7) Lee, Eun Sang, and Tae Hee Shin., "An evaluation of the machinability of nitinol shape memory alloy by electrochemical polishing", Journal of mechanical science and technology 25.4, p. 963, 2011.
- 8) Park, B. J., B. H. Kim, and C. N. Chu., "The effects of tool electrode size on characteristics of micro electrochemical machining", CIRP annals 55.1, pp. 197-200, 2006.
- 9) Jae-Hwa Chung, et al., "Optimization of Electro Polishing Processing Conditions for Deburring of Micro Fuel Cell bipolar plate", Korea Society of Die & Mold Engineering Vol 11, pp. 51-55, 2017.
- 10) Ji-Seon Jeong, et al., "Analysis of residual stress of Nitinol by surface Polishing Method", Korea Society of Die & Mold Engineering Vol 11, pp. 51-56, 2017.
- 11) Choi, Seung-Geon, et al., "A study of the current density analysis for two type method on the invar alloy in electrochemical machining", Journal of Mechanical Science and Technology 31.9, pp. 4345-4351, 2017.
- 12) Kim, Dong-Woo, et al., "Application of design of experiment method for thrust force minimization in step-feed micro drilling", Sensors 8.1, pp. 211-221, 2008.
- 13) Lee, E-S., "Machining characteristics of the electropolishing of stainless steel (STS316L)", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 16.8, pp. 591-599, 2000.