

AFM을 이용한 스테인레스 스틸의 나노 전해가공 Nano Electrochemical Machining of Stainless Steel by AFM

*김길준¹, 유종선¹, #류시형¹

*K. J. Kim¹, J. S. Yu¹, #S. H. Ryu(ryu5449@jbnu.ac.kr)¹

¹전북대학교 기계공학과

Key words : Nano Electrochemical Machining, AFM, Stainless steel, Micro Electrolyte Droplet

1. 서론

최근들어 유연한 나노 구조물 제작 기술로서 원자현미경(AFM)을 이용한 나노 패터닝 기술이 주목을 받고 있다. AFM 탐침과 가공하고자 하는 재료 사이에 기계적, 전기적, 또는 화학적 작용을 유도하여 재료 표면에 나노 구조를 형성하고자 하는 연구들이 활발히 수행되고 있다.¹ AFM은 대기, 액체, 진공 중에서 사용이 가능하며, 폴리머, 반도체, 금속 등 대상 재료에 제한이 없다는 장점을 가지고 있다. AFM을 이용한 나노 제조 분야에서는 양극산화에 의한 나노 점 및 나노 선의 생성과, 폴리머나 연질금속에 대한 기계적 압입, 굽기에 관한 연구들이 많이 수행되었다. 또한, 탐침에 유기 잉크를 묻혀서 표면에 기능성 나노 구조를 형성하는 딥펜 기술도 활발히 연구되었다. AFM 양극산화를 통해 반도체 기판에 미세 산화물 구조를 형성할 수 있고 이는 단전자 트랜지스터 등 나노 전자소자 제작에 응용되고 있다. 기계적인 가공법은 탐침에 의해 표면에 가해지는 힘을 이용하여 재료를 긁어내는 방식으로 나노 구조를 가공하는 것으로, 제거된 재료가 주위에 쌓이거나 고경도 금속 재료에 적용할 경우 탐침의 마모가 발생하는 단점이 있다. 그 밖에 열기계적 압입, 전해증착 등에 의해 나노 패터닝을 형성한 결과들이 보고되고 있다.

기계적인 방법에 대한 대안으로서, 마이크로 전해가공 기술을 AFM에 적용하고자 하는 연구가 시도되었다.² 그러나 프로브 전체를 전해셀에 침지시킬 경우 전기장이 분산되어 전해가공의 재현성이 현저하게 떨어지게 된다. 실제로 프로브 전체를 전해셀에 침지시킬 경우 팁 끝에서 전해가공이 이루어지지 않았으며, 높은 전압을 인가할 경우에는 과도하게 발생한 버블이 캔틸레버를 움직여 안정적인 가공이 어려움을 알 수 있었다. 이러한

문제점을 해결하기 위해 Kim 등은 Fig. 2와 같이 액적 형태의 미량 전해액을 탐침 주위에 주입하여 전기장을 집중시키는 방법을 제안하였다.³

본 연구에서는 미세 액적 형태의 전해액 속에서 대표적인 내부식성 재료인 스테인레스 스틸을 전해가공하는 방법에 대해서 연구하였다. 묽은 황산 수용액에서 오스테나이트계 스테인레스 스틸 304에 나노 구조를 가공하였다.

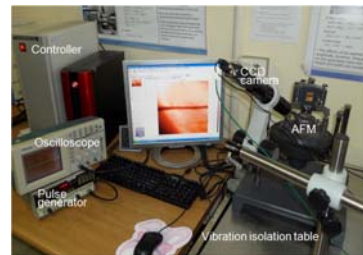


Fig. 1 AFM and CCD system for nano electrochemical machining in a micro electrolyte droplet

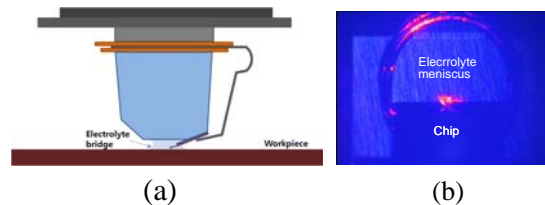


Fig. 2 (a) Schematic and (b) CCD image of electrolyte meniscus formed between the substrate and crystal bottom

2. 실험결과 및 분석

Fig. 3은 0.1 M 황산수용액에서 펄스 주파수 1 MHz, 펄스 전압 4.3 V, 오프 타임 전압 -1.7 V, 탐침 이송속도 1.0 μm/sec 조건으로 SS 304를 전해밀링한 사진이다. Fig. 3(a)에서는 370 nsec의 펄스 폭을, (b)에서는 270 nsec의 펄스 폭을 각각 사용하였다.

가공된 형상의 주위에 제거된 재료가 쌓이지 않아 전해가공에 의해 재료가 제거되었음을 유추할 수 있다. 그러나, 탐침 주위에서 발생한 과도한 버블로 인해 레이저가 튕겨져 나가 가공 형상이 왜곡된 것을 볼 수 있으며, 제작된 캐비티의 깊이는 각각 (a) 1.4 μm , (b) 470 nm로 측정되었다.

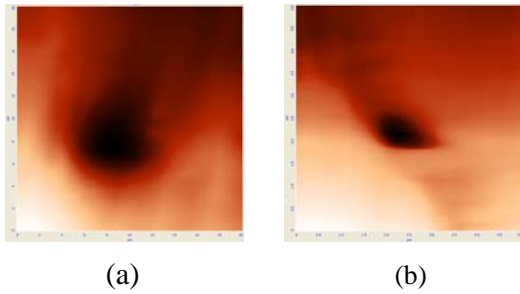


Fig. 3 Cavities machined on SS 304 by electrochemical milling: (a) 1.4 μm deep, (b) 470 nm deep

Fig. 4는 0.3 M 황산수용액에서 펄스 주파수 1 MHz, 펄스 폭 100 nsec, 펄스 전압 3.3 V, 오프 타임 전압 -0.7 V, 탐침 이송속도 2.0 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 조건으로 나노 캐비티를 가공한 사진이다. Fig. 4(a)의 형상을 가공한 후, (b)의 형상을 차례로 가공하였다. 가공된 형상이 일정하지 않고, 주위에 마운드가 형성된 것으로 보아 순수 전해가공이 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 펄스가 가해지지 않은 상태에서는 탐침의 가압력을 증가시키더라도 기계적인 긁힘 현상이 관측되지 않는 것으로 볼 때, 전해와 증착의 복합 작용에 의한 결과이거나 높은 전기장 하에서 표면이 열적으로 연화된 후 기계적 긁힘이 일어난 것으로 해석될 수 있다.

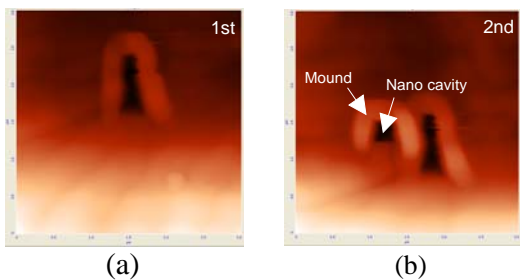


Fig. 4 Cavities machined on SS 304 by electrochemical milling: (a) 110 nm deep, (b) 120 nm deep

Fig. 5는 Fig. 4와 동일한 조건에서 펄스 폭만을 70 nsec로 변경하여 나노 홈을 가공한 사진이다. 가공된 홈의 길이는 2.5 μm , 폭 200 nm, 깊이 110 nm 이다.

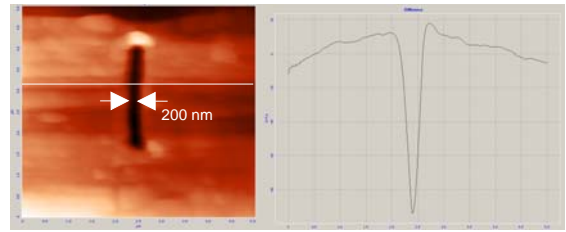


Fig. 5 Nano-groove of 200 nm wide, 110 nm deep fabricated on SS 304 by electrochemical machining

3. 결론

펄스 부가 AFM을 이용하여 미세 액적 형태의 묽은 황산수용액에서 스테인레스 스틸에 나노 패턴을 가공하였다. 황산수용액의 농도와 펄스 주파수, 펄스 전압, 펄스 폭, 탐침 이송속도를 변화시키면서 나노 전해가공 특성을 살펴보았다. 전해밀링을 통하여 깊이 100 nm ~ 1.5 μm 까지의 다양한 미세 캐비티를 가공하였으며, 폭 200 nm, 깊이 110 nm의 나노 홈을 가공하였다. 펄스 조건에 따라 순수 전해작용과 증착 혹은 기계적인 긁힘이 복합적으로 일어남을 확인할 수 있었으며, 보다 재현성 있는 금속 나노 구조물 제작 기술을 확보하기 위해서는 가공 메커니즘 규명에 필요한 추가적인 연구와 실험이 진행되어야 한다.

후기

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2009-0071106).

참고문헌

1. Xie, X., Chung, H., Sow, C. and Wee, A., "Nanoscale Materials Patterning and Engineering by Atomic Force Microscopy Nanolithography," *Materials Science and Engineering*, **54**, 1-48, 2006.
2. Abril, O., Gundel, A., Maroun, F., Allongue, P. and Schuster, R., "Single Step Electrochemical Nanolithography of Metal Thin Films by Localized Etching with an AFM Tip," *Nanotechnology*, **19**, 325301, 2008.
3. Kim, K. J., Yu, J. S. and Ryu, S. H., "Nano Electrochemical Machining Using a Pulse Applied AFM," *Proceedings of KSPE 2012 Spring Conference*, May 30 ~ June 1, Jeju, 491-492, 2012.