전기화학/기계적 연마공정의 재료제거 특성
Material removal characteristics of electrochemomechanical polishing process

*남은석[1], 이찬영[1], 장경인[1], 석종원[2], #민병권[1]
*E. S. Nam[1], C.-Y. Lee[1], K.-I. Jang[1], J. Seok[2], #B.-K. Min (bkmin@yonsei.ac.kr)
[1]연세대학교 기계공학과, [2]중앙대학교 기계공학부

Key words : Glassy carbon, tribocorrosion, electrochemical impedance spectroscopy

1. 서론

최근 고경도 전도성 소재의 3차원 표면연마를 위해 전기화학적 반응을 이용한 자기유변유체 연마공정이 연구되었다.[1] 이 공정은 고경도 전도성 소재의 표면을 전기화학적 산화를 통해 유화시킨 후 자기유변유체를 이용해 산화막을 제거하는 것이다. 기계적 연마와 전기화학적 반응이 동시에 구현되기 때문에 공정의 재료제거 메커니즘을 확인하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 전기화학적 임피던스 분석법을 이용해 글래시카본의 전기화학 에너지와 기계적 에너지의 시너지로 인한 재료제거 메커니즘을 확인하고 몇 가지 공정변수를 선택해 재료제거량을 비교하였다.

2. 실험장비 구성

전기화학적 반응과 기계적 가공력을 동시에 인가할 수 있는 장비를 제작하였다. 일반적인 트라이볼로지 연구에 쓰이는 Block-on-ring 실험 장비에 수조를 설치하여 시편 표면에 전기화학적 에너지를 인가할 수 있도록 Fig. 1 과 같이 설계하였다.[2] 글래시카본 시편은 20×20×1 mm 로 경면처리된 것을 준비하였고 시편과 링에 가해지는 힘을 확인하기 위해 Loadcell (MAS101, CAS)을 설치하였다. 전해질은 1M NaOH를 사용하였고 백금전극와 카로멜전극을 이용하여 전압을 인가했다. 전압 인가 및 전류 모니터링은 포텐시오스텟 (Parstat2273, Princeton Applied Research) 을 이용했다. 기계적 가공을 위한 링은 지르코니아로 제작하였고 서보모터에 연결하여 회전속도를 조절할 수 있게 하였다.

Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) 실험은 40 N을 가한 상태에서 0.4 V의 AC전압을

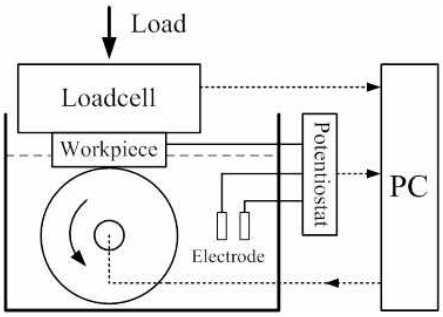

Fig. 1 Schematic diagram of tribocorrosion cell

10 Hz에서 100 kHz로 점차 빠른 속도로 걸었다.

시너지에 의한 재료제거량 비교를 위해서 전압, 링 회전속도, 인가하중을 변수로 선정하였다. 전압은 0.2, 0.4, 0.6 V으로 달리하였으며, 회전속도는 0.2, 0.3, 0.4 m/s, 인가하중은 20, 40, 60 N으로 실험을 진행하였다.

3. 실험 결과 및 분석

EIS 분석의 결과는 Fig. 2 와 같다. 링이 회전하지 않는 경우 단순 부식상태이기 때문에 반원과 직선의 조합으로 Nyquist diagram이 그려졌다. 이는 산화막 생성으로 인한 저항과 산화막 내부의 대전된 전하로 인한 캐패시터로 이루어진 RC 등가회로로 해석할 수 있다. 낮은 주파수영역에서 보이는 직선은 수용액의 저항으로 전해질 내부 물질이동에 의해 나타나는 것으로 등가회로에서는 저항으로 해석한다. 링의 회전으로 기계적 가공이 진행되면 Nyquist diagram의 모양이 달라진다. 먼저 링의 회전으로 산화막이 깨지게 되어 RC회로를 뜻하는 반원이 작아지게 된다. 부식과 달리 저주파수 영역에서 또 하나의 반원 형태가 형성되는데 이는 링의 회전으로 인해 깨진 산화막과 전해질 사이에서 재산화를 위한 전하의 재배열로 인한 것으로 볼

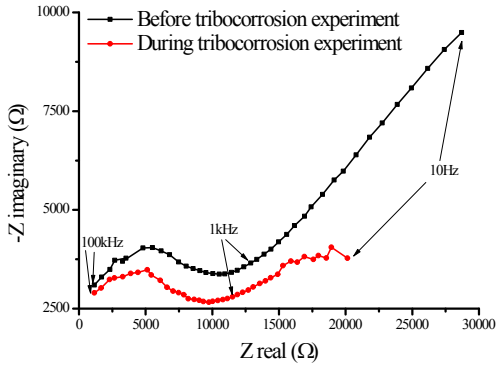

Fig. 2 Electrochemical impedance spectra before and during tribocorrosional experiments

수 있다. EIS 분석 결과를 통해 재료제거 메커니즘을 도식화하면 Fig. 3 과 같다.

전기화학적 시너지에 의한 재료제거량은 공정 중 측정된 전류를 통해 계산하였다. 식(1)은 전류와 재료제거량의 상관관계를 설명한다.[3]

$$S = \frac{Q}{zF}\int_{t_1}^{t_2} i\,dt \qquad (1)$$

위 식을 이용해 시너지에 의한 재료제거량을 계산하면 Table 1과 같다. 1, 2, 3번의 실험을 비교하면 전압이 증가할수록 시너지에 의한 재료제거량이 소폭 증가하는 것을 알 수 있다. 3, 4, 5번의 실험을 비교하면 하중이 증가함에 따라 재료제거량도 증가하는 것을 확인할 수 있다. 속도 변화에 따른 재료제거량 변화는 전압과 하중과는 다른 양상을 보인다. 결과 3번과 6번을 비교하면 속도가 0.2 ㎧에서 0.4 ㎧로 증가할 때 재료제거량도 증가한다. 하지만 6번과 7번을 비교하면 속도가 0.6 ㎧로 증가하였으나 재료제거량은 감소했다. 이는

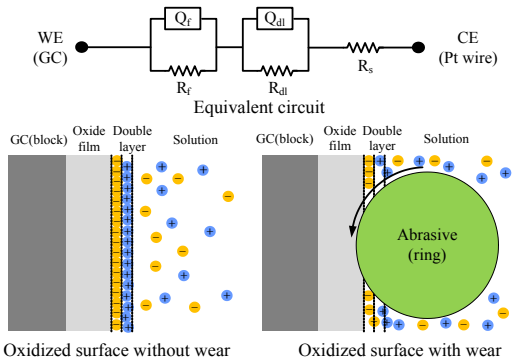

Fig. 3 Equivalent circuit model and sketches of the oxidized surfaces with and without wear

Table 1 Comparison of process conditions and resulting material removal

No	Voltage	Load	Speed	Material removal
1	0.2 V	20 N	0.2 ㎧	4.8㎍
2	0.4 V	20 N	0.2 ㎧	5.08㎍
3	0.6 V	20 N	0.2 ㎧	5.38㎍
4	0.6 V	40 N	0.2 ㎧	16.18㎍
5	0.6 V	60 N	0.2 ㎧	21.28㎍
6	0.6 V	20 N	0.3 ㎧	14.38㎍
7	0.6 V	20 N	0.4 ㎧	13.58㎍

전해질의 hydrodynamic 효과로 인해 시편과 링에 인가된 하중이 감소한 것으로 보인다. 따라서 공정 조건에 있어 회전속도를 선정하는 것이 시너지 효과를 높이는데 중요하다.

4. 결론

본 연구에서는 고경도 전도성 소재를 연마하기 위한 전기화학/기계적 연마공정에서의 재료제거 메커니즘과 시너지 효과에 의한 재료제거량을 분석하였다. 메커니즘 분석을 위해 Electrochemical impedance spectroscopy 접근법을 이용하였고 인가전압, 하중, 회전속도를 달리하면서 시너지에 의한 재료제거량을 비교하였다. 연구 결과 재료제거에 있어 기계적인 재료 제거속도가 공정 성능향상에 중요함을 확인했다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2010-0014893).

참고문헌

1. Jang, K.-I., Seok, J., Min, B.-K. and Lee, S. J., “An electrochemomechanical polishing process using magnetorheological fluid,” Int. J. Mach. Tools Manuf, 50, 869-881, 2010.
2. Jellesen, M. S., Hansen, M. Ø., Hilbert, L. R. and Møller, P., “A block-on-ring tribocorrosion setup for combined electrochemical and friction testing,“ Tribotest, 13, 115-127, 2007.
3. Landolt, D., Mischler, S. and Stemp, M., "Electrochemical methods in tribocorrosion: a critical appraisal," Electrochimica Acta, 46, 3913-3929, 2001.