

GC 의 기계 · 화학적 가공특성에 관한 연구

A Study of Mechanical- and Chemical- machining characteristics of glassy Carbon

*장경인¹, 이민규¹, 석종원², #민병권¹, 이상조¹
 *K. -I. Jang¹, M. K. Lee¹, J. Seok², #B. -K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr)¹, S. J. Lee¹
¹ 연세대학교 기계공학과, ² 중앙대학교 기계공학부

Key words : glassy carbon, micro milling, magnetorheological finishing, electrochemical etching, material removal

1. 서론

최근 정보 및 광학기술분야의 발달로 다양한 유리부품의 수요가 급증하고 있다. 유리 부품은 다양한 제조공정을 통해 생산되는데 이 중, 유리몰딩프레스법(Glass Molding Press, GMP)은 고정밀 유리 부품의 대량생산이 가능한 공정으로 주목을 받고 있다[1]. 사출을 위한 재료로 석영유리(Quartz Glass)가 대표적인데, 석영유리는 유연온도(Softening temperature)가 매우 높기 때문에 일반적인 금형재료로는 사출성형 시 본래의 형상을 유지하기 힘든 단점이 있다.

글래스 카본(glassy carbon, GC)은 이러한 한계를 극복하기 위하여 새롭게 대두되고 있는 금형재료로써 다른 금형재료에 비하여 고온에서 안정하고 강할 뿐만 아니라 석영유리에 달라붙지 않는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 지닌 GC 을 금형으로 사용하기 위해 집속이온빔, 레이저 등 다양한 특수가공방법을 이용하여 가공을 시도해 왔다. 집속이온빔가공은 고정밀 형상 가공이 가능하지만 가공속도가 매우 낮은 단점이 있으며 레이저가공은 가공속도가 빠른 대신에 고세장비를 가진 형상가공이 불가능한 단점이 있다[2].

이러한 고속 고정밀 유리사출용 GC 금형 제작을 위한 기존 공정의 한계를 극복하기 위해서는 새로운 형태의 복합공정이 필요하며 이를 위한 기초 연구로 본 논문에서는 GC 가공특성 중 대표적인 기계적 가공 특성 및 화학적 가공 특성 [3, 4]에 관한 실험적 연구를 수행하였다.

2. GC 의 기계적 가공 특성

마이크로 밀링 공정을 이용하여 고경도의 취성 재료인 GC 의 기계적 가공특성을 분석하기 위해 그림 1 에 나타난 공정을 이용하여 GC 의 표면에 사각형상의 구조물을 가공하였다.

절삭조건에 따른 GC 의 취성 및 연성가공 특징을 알아보기 위해 축방향 절입깊이 5 μm, 절삭이송속도 5mm/min, 공구회전속도 50,000rpm 의 속도로 고속 가공한 황삭공정과 축방향 절입깊이 0.3 μm, 절삭이송속도 0.2 mm/min, 공구회전속도 50,000rpm 의 속도로 저속 가공한 정삭 공정을 이용하여 GC 을 가공하였고 그 결과를 그림 2 에 나타내었다.

그림 2 의 (a-b)와 (c-d)는 각각 직경 0.2mm 의 엔드밀 공구로 GC 의 표면을 각각 황삭 과 정삭으로 가공한 표면이며 해당 표면을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 촬영한 사진이다. 그림에 나타나 있듯이 황삭으로 가공한 GC 의 표면은 크고 작은 균열 및 돌기가 존재하는 특징이 나타났으며 되며 표면조도는 530.5nm 로 측정되었다. 이는 황삭가공 시 재료가 깨어져나가는 취성 영역가공에 가깝기 때문인 것으로 판단된다. 그 다음으로 그림 (c-d)은 GC 의 표면을 황삭 가공 후 정삭으로 추가 가공한 표면이다. 그림에 나타난 것과 같이 황삭 시 생성된 균열 및 돌기의 상당 부분이 정삭 가공에 의해 제거되는 것을 알 수 있으며 이 때의 표면조도는 306.9nm 로 측정되었다. 이러한 가공특성은 낮은 축방향 절입깊이 및 절삭이송속도로 인해 재료가 연성영역에서 가공되는 경향이 높아지기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 정삭가공

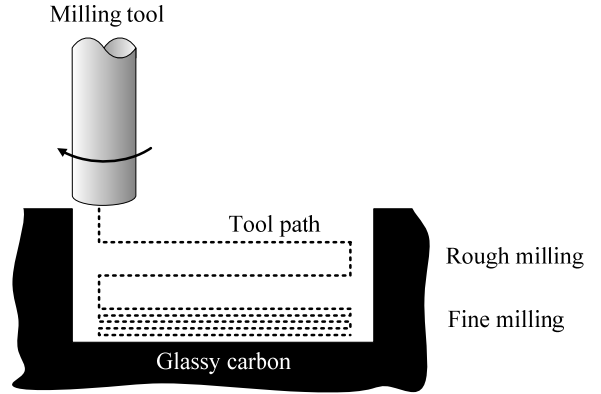


Fig. 1 Schematic diagram of micro milling process

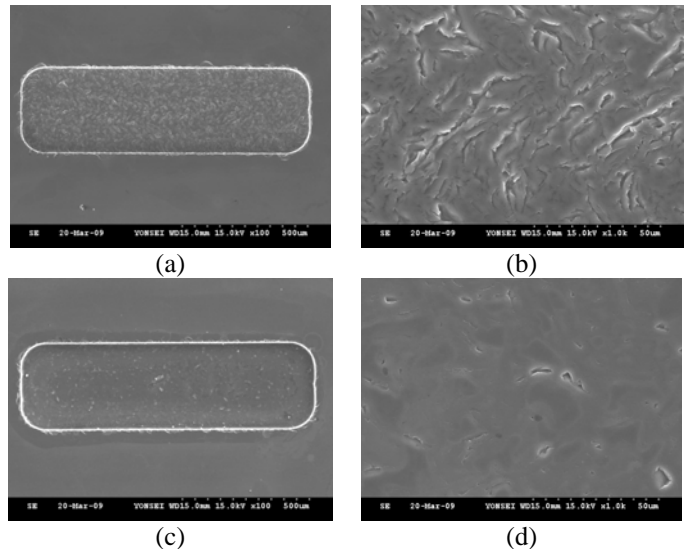


Fig. 2 SEM images of machined surface of glassy carbon using : (a) rough end milling, magnification 100X; (b) rough end milled, magnification 1kX; (c) fine end milling, magnification 100X; (d) fine end milled, magnification 1kX

후 표면의 향상되는 장점이 있지만 상대적으로 낮은 공정 속도를 가지는 단점이 있다.

이러한 실험 결과를 비추어 볼 때 기계적 방법만으로 고정밀 형상의 가공물을 얻기 위해서는 정삭 가공이 필수적이지만 정삭 가공 시 소모되는 가공 시간이 너무 커서 전체적인 공정의 효율성이 떨어지기 때문에 기계적인 가공 공정만으로 실제의 가공에 적용하기에는 적합하지 않다는 것을 알 수 있다.

3. GC 의 전기화학적 에칭 특성

GC 의 재료 제거하기 위한 또 다른 방법으로는 화학반응을 이용한 표면 에칭방법이 연구되어 왔다. 일반적으로 높은 내화학성을 가지는 GC 는 황산, 인산 등 강산성을 띄는 에칭 용액을 사용하여 가공하거나 NaOH 와 같은 약산성에칭 용액에 전기에너지를 가하여 가공하는 전기화학적 방법을 사용한다. 본 연구에서는 비교적 제어가 손쉽고 안

전한 후자의 방법을 이용하여 GC 의 표면을 에칭하였으며 그 특성을 분석하였다.

그림 3 는 본 연구에서 사용한 GC 의 전기화학적 에칭 방법에 대한 개략도를 나타낸 그림이다. (+)극에 GC 을 그리고 (-)극으로 내부식성이 높은 니켈을 연결한 뒤 양단에 5V 를 10 분간 가하여 (-)극의 니켈에서는 수소기체를 (+) 극에서는 산소기체를 발생시켰다. 이 때에 (+)극성을 띄는 GC 의 표면은 에칭 시간이 지남에 따라 전기화학반응에 의하여 산화(Oxidation)되는 면적이 점점 증가하게 된다.

그림 4 (a)와 (b)는 원래의 GC 의 표면 그리고 전기화학적으로 에칭된 GC 의 표면을 대상으로 각각 전자주사현미경을 이용하여 측정된 사진이다. 그림에 나타난 것과 같이 GC 의 표면이 산화되면서 표면의 표면이 부식 또는 에칭이 되어 표면의 형상변화가 나타나게 되는 것을 알 수 있다. 이를 분석하기 위해 광학식 측정 장비(ZYGO 6300)를 이용하여 해당 표면을 측정하였으며 그 결과 초기 약 1nm 의 낮은 표면조도를 가지고 있던 GC 의 표면은 전기화학적 에칭 후 약 90nm 의 표면조도를 가지는 거친 표면으로 변화하게 되는 것을 알 수 있었다.

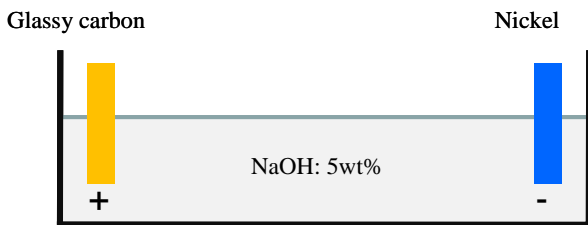


Fig. 3. Schematic diagram of electrochemical etching process

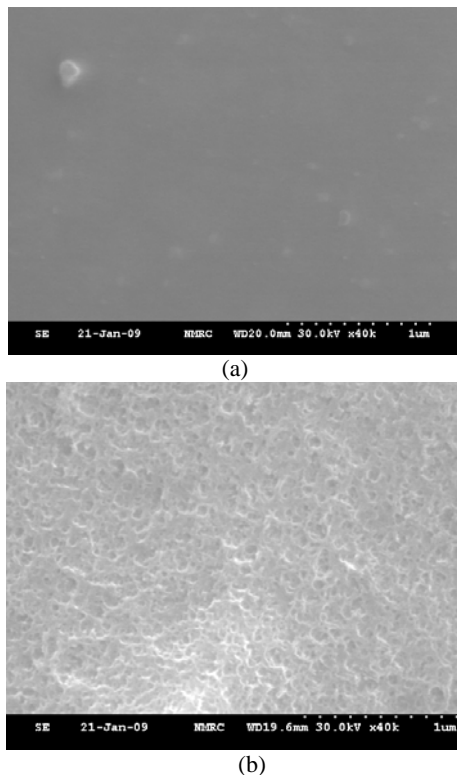


Fig. 4. SEM image of (a) original and (b) electrochemically etched glassy carbon surface (Magnification 40kX)

전기화학적인 방법에 의해 에칭된 GC 의 표면 성분변화 알아보기 위하여 Energy Dispersive Spectrometer(EDS)를 이용하여 표면을 측정하여 그 결과를 Table 1 에 나타내었다. 전기화학적으로 에칭된 표면성분 분석결과 약 90.6%의 탄소성분과 약 9.4% 정도의 산소성분이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 이러한 측정결과로 미루어보아 GC 은 전기화

학적 에칭에 의해 표면이 산화되면서 재료가 제거되는 것을 알 수 있었다. 이 때의 산화된 GC 의 표면의 경도는 원래의 GC 의 경도에 비하여 상대적으로 낮을 것으로 판단되며 이러한 특성을 기계적 가공공정에 적용한 한다면 가공 속도가 빠른 황삭 가공 시에도 에칭에 의해 경도가 낮아진 GC 를 연성영역에서 가공을 할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1. EDS analysis of electrochemically etched surface of glassy carbon

Element	Weight%	Atomic%
C	90.60	92.77
O	9.40	7.23
Totals	100.00	

4. 결론

본 연구에서는 내열성, 내화학성 그리고 점착력이 낮은 유리성형공정의 금형 재료로서 새롭게 대두되고 있는 GC 의 기계적, 화학적 가공특성을 연구하였다. GC 의 표면을 미세 밀링 공정을 이용하여 가공하여 기계적 가공특성을 분석하였으며, 그 결과 GC 이 가진 높은 경도와 취성 특성으로 인해 황삭 가공 시 재료가 깨어져나가 가공면의 표면 조도가 약 600nm 이상을 가지는 것을 알 수 있었다. 이와는 대조적으로 정삭 가공 시 재료가 깨지지 않고 잘려나가는 연성영역 가공이 이루어져 가공면이 300nm 이하의 표면 조도를 갖는다는 것을 알 수 있었다.

그 다음으로 전기화학적 기법을 이용하여 GC 의 화학적 에칭하였고 그 특성을 분석하였다. 그 결과 (+)극의 GC 은 전기분해에 의해 표면이 에칭 및 산화되는 것을 알 수 있었다. 약 10 분간의 에칭 후 표면의 표면조도는 약 1nm 에서 90nm 로 높아졌으며 탄소만으로 이루어져있던 GC 의 표면이 탄소 90.6%, 산소 9.4%의 산화된 표면으로 변화하는 것을 알 수 있었다. 이를 통하여 전기화학적 에칭에 의해 산화된 GC 의 경도는 낮아질 것으로 예상된다. 이러한 기초연구 분석결과는 추후 GC 금형 가공을 위한 새로운 형태의 복합가공을 제안하기 위한 기초자료로 사용될 것이다.

후기

본 논문은 지식경제부의 전략기술개발사업 “대면적 미세형상 가공시스템 개발” 과제의 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Takagi, H., Miyazawa, S., Takahashi, M., Maeda, R., "Electrostatic Imprint Process for Glass," Applied Physics Express, **1**, 024003, 2008.
2. Kuhnke, M., Lippert, T., Scherer, G., Wokaun, A., MicroFabrication of flow field channels in glassy carbon by a combined laser and reactive ion etching process, Surface & Coatings Technology, **200**, 730– 733, 2005
3. Hokao, M., Hironaka, S., Suda, Y., Yamamoto, Y., Friction and wear properties of graphite/glassy carbon composites, Wear, **237**, 54–62, 2000
4. Jung, B., Jang, K.-I., Min, B.-K., Lee, S.J., Seok, Magnetorheological finishing process for hard materials using sintered iron-CNT compound abrasives, International Journal of Machine Tools & Manufacture, **49**, 407-418, 2009