

고속 회전에칭을 이용한 미세공구의 개발

김성현*(부산대 대학원), 박준민(부산대 대학원), 정해도(부산대 기계공학부)

Development of Micro Tool using High Speed Etching Process

S. H. Kim(Graduate School, PNU), J. M. Park(Graduate School, PNU), H. D. Jeong(PNU)

ABSTRACT

In this study, the micro shaft was fabricated by high speed etching process. The integration of the kinetic energy of circumference and the effect of etching takes less time to fabricate the micro shaft than any other conventional methods. First, the end part of the rod(SKD11) was dipped in chemical solution($FeCl_3$) and the rod rotated at high speed(3500-10000rpm). Experimental setup was simply composed of high speed motor, chemical solution and ϕ 1mm rod. The main factors of diameter control are chemical concentration, reaction time and rpm. As a result, the diameter of the dipped rod was decreased by $200\mu m$ by high speed rotation and its shape and surface was good. From this experiment, we found the possibility to manufacture micro shaft without very expensive equipment.

Key Words : micro shaft(미소축), high speed etching process(고속에칭), chemical solution(부식액), high speed rotation(고속회전)

1. 서론

현재 전세계는 무한경쟁의 시대에 들어서면서 항공우주, 반도체 등을 비롯한 첨단산업 분야의 기술적 선점과 시장확보를 위해 많은 국가들이 정부 주도하의 적극적인 연구와 투자를 아끼지 않고 있다. 이러한 상황 속에서 많은 기능성 부품과 제품들은 점차 소형화, 경량화, 고정밀화 되어 가는 추세에 있으며, 특히 마이크로 가공에 의한 마이크로 디스 부품의 개발과 가공기술 확보가 주요 쟁점으로 떠오르고 있다. 따라서 본 연구에서는 미세가공용 공구의 개발에 그 초점을 두고 적용에 적합한 미세 크기의 축을 제조하는 방식을 제안하였다. 일반적으로 미세축과 같은 형상은 자체의 직경이 줄어들어 따라 강성도 작아지기 때문에 범용의 가공기로 직경 0.3mm이하의 미세축을 가공하는 데는 한계가 있으며, 문제점을 극복하기 위해서는 공작물의 고정밀도 가공과 표면품위의 제어 측면에서 상당한 기술적 어려움이 존재하는 분야이다. 따라서 정밀한 가공을 위해서 고가의 NC장치나 정밀 이송장치들을 사용하고 있어 가공 시스템의 가격이 비싸지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 기계적인 미세축 가공방법들의 단점들을 보완하기 위해서 부식의 한 종류인 침식부식과 케비테이션에

근거한 방법인 고속회전 에칭에 의한 미세축 가공법에 관해 소개하며 제작에 영향을 줄 수 있는 변수들에 대한 고찰을 하였고, 조건별로 미세축을 직접 제작해서 그 가능성을 확인하였다.

2. 이론적 배경

부식성 유체와 금속 표면 사이에서의 상대적인 움직임 때문에 금속이 침식을 받거나 열화받는 속도가 급격히 증가되는 현상을 침식 부식(erosion corrosion)이라 한다. 똑같은 용액이라도 정체되어 있거나 유속이 낮을 때에는 부식속도가 대단히 낮을 수 있다. 그러나 부식용액이 빠른 속도로 움직이는 경우에는 보호피막이 물리적으로 침식되어 제거되어지며 따라서 금속표면이 직접 부식용액에 노출됨으로써 부식이 촉진될 수 있다. 이때의 상대적인 움직임의 속도는 일반적으로 매우 빠르기 때문에 기계적인 마모(wear)효과나 마찰(abrasion)효과도 포함된다. 이때 발생하는 침식 부식에 관한 해석으로는 아래와 같은 내용들이 있다. 가장 폭넓게 받아들여지고 있는 침식부식의 메카니즘은 다음과 같다.⁽¹⁾ 부식액과의 접촉을 통해서 시편의 표면은 상당히 두텁지만 낮은 강도의 부식막으로 덮여있

다. 이 막은 부식환경으로부터 재료의 보호막으로써 작용한다. 하지만 부식성 유체가 높은 속도로 재료표면을 흐르게 되면 재료표면의 전단응력은 점차 증가한다. 그리고 표면에서의 전단응력이 어떤 임계속도(breakaway velocity)에 다다르면 막의 일부분 중에서 취약한 부분부터 떨어져 나가기 시작한다. 그리고 하부의 새로운 표면이 부식성 유체와 직접적인 접촉을 하게된다. 위에서 언급된 메커니즘에 관한 설명이 완전히 침식부식을 설명하는 것은 아니다. Loss and Heitz⁽²⁾가 주장하고 있는 침식부식에 대한 다른 종류의 메커니즘은 부식막의 기계적인 제거가 아니라 시편과 부식성 유체와의 고속흐름에 의한 부식막의 용해에 의해 이루어진다는 것이다. 이상에서와 같이 아직까지 침식부식에 관한 정확한 제거 메커니즘은 알 수 없지만 높은 속도로 움직이는 부식성 유체와 재료사이의 반응으로 인하여 재료의 부식으로 인한 재료 제거율이 증가한다는 점은 분명하다. 또 하나의 다른 이론적 배경으로서는 캐비테이션(cavitation)에 의한 재료 제거이다. 이는 침식부식과 유사한 형태의 침식에 의한 손상이다. 캐비테이션이 부식에 의해 촉진되는 경우가 많기는 하지만, 일반적인 침식부식과는 달리 부식이 기본이 되는 것은 아니다. 캐비테이션은 고속의 액체 흐름에 노출된 금속표면을 따라 압력변화에 의해서 생성된 기포들이 파괴되는 것과 관련하여 발생한다. 굽은 표면을 따라 흐르는 액체에서는 압력강하가 일어나게 되는데 이때 압력이 액체의 증기압 이하로 감소하게 되면 국부적인 비등 현상이 발생한다. 압력강하는 항공기 에어포일(air foil)을 따라 형성된 기류에 의해 양력이 발생하는 현상과 유사하다. 기포들이 금속표면에 닿아 파괴될 때의 반복압력과(repeated pressure

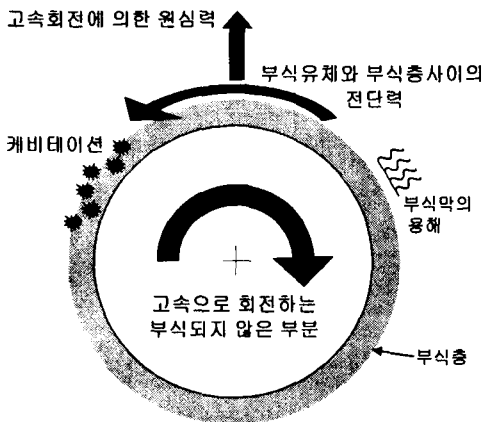


Fig. 1 Mechanism of high speed etching process

impact)는 금속표면을 침식시키기에 충분하며 특히 취약한 부식생성물이 존재할 경우 특히 그러하다. 침식부식의 경우에서처럼, 보호표면피막이 제거되거나 얇아지면 하부 소지금속의 부식이 더욱 촉진되며 그리하여 표면에 침식 가능한 부식생성물이 다시 쉽게 형성된다. 특히 이번에 수행한 실험에서는 직경이 1mm인 축을 고속으로 회전을 시키기 때문에 축의 반경방향으로 강한 원심력이 작용을 한다. 이 원심력으로 유체전단에 의해 약해진 부식층의 부분들이 좀 더 쉽게 떨어져 나가게 된다.

Fig.1은 이번 실험에서의 주된 이론적인 배경으로 언급된 제거 메커니즘에 관한 그림이다.

3. 미세축 제작 실험

3.1 실험장치

고속회전에칭(high speed etching process)을 이용하여 미세축을 제작하기 위한 실험장치는 Fig.2와 같다. 아래의 장치는 탁상형 미세 드릴링 머신이며 회전축의 속도는 3500~12000rpm까지 자유롭게 변속을 할 수 있으며 축의 위치를 수직으로 자유롭게 변경시킬 수 있다. 또한 부식액을 담고 있는 액조의 크기는 충분한 것으로 하여서 시간이 지남에 따라 발생할 수 있는 부식액의 오염을 줄일 수 있는 것이어야 한다.

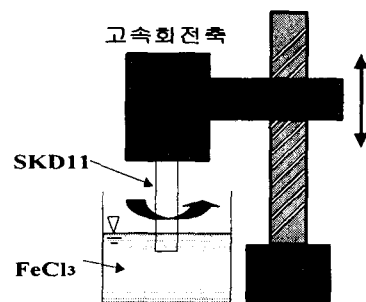


Fig. 2 Experimental setup

또한 축회전시 부식액 내에서 보다 부식액의 계면에서 더 활발한 반응이 일어난다. 그러한 영향으로 인하여 미소축의 계면에서의 부분이 다른 부분에 비하여 직경이 다소 감소했음을 알 수 있다. 따라서 그러한 영향을 없애기 위하여 축의 재료중 가공이 이루어질 부분만 남겨두고 나머지 부분을 광경화성수지로 코팅을 한 뒤 가공을 하면 앞에서 서술했던 문제점이 해결될 수 있다. Fig.3은 광경화성수지로 재료표면을 코팅하는 과정이다. Fig.4은 계면에서의 영향을 개선하기 전과 후의 모습으로써 개선 후 표면에서의 영향이 많이 개선됐음을 볼 수 있다.

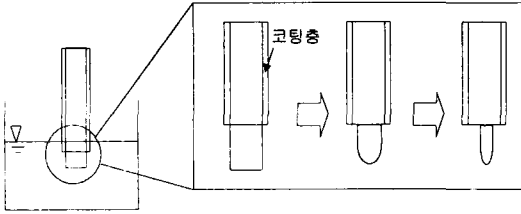
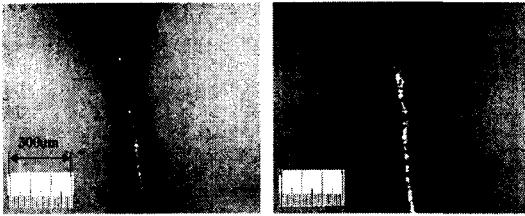


Fig. 3 Surface coating by photocurable resin



(a) before (b) after

Fig. 4 Photograph on the surface effect

3.2 실험방법

고속회전에칭을 이용하여 미세축을 제작하기 위해서 축의 재료로는 합금공구강인 SKD11를 사용하였고 부식액으로는 염화철(FeCl_3)을 물에 희석을 하여 사용하였다. 일반적으로 금속조직을 보기 위해 표면 부식을 행할 때 질산(HNO_3)과 염화철(FeCl_3)을 사용한다.⁽³⁾ 따라서 이번 실험에서 비교를 하기 위해서 질산과 염화철을 모두 사용을 해 보았으나 질산은 가공능률이 염화철에 비하여 떨어졌으며, 무엇보다도 질산은 자체의 휘발성 때문에 축의 형상을 제어하는데 상당한 어려움이 따랐다. 그래서 이번 실험에서는 미세축을 제작하기 위해서 염화철을 부식액으로 사용하였다. 미세축의 제작에 있어서 중요한 요소는 축의 형상과 표면의 상태가 중요하다. 그러므로 이번 실험을 통하여 미세축의 최적 제작 조건을 도출하기 위하여 실험에서 고려되어질 수 있는 조건들에 대하여 다양한 범위에서 실험을 수행하여 조건에 따른 미세축을 제작하였다. 부식액의 농도(wt%), 회전수(rpm), 회전시간(time)의 실험변수에 따른 변화 특성을 살펴보고, 각 조건에서 제작된 미세축의 직경과 형상을 광학현미경을 통하여 관찰하였다.

Table 1 Parameters in experiment

시간(min)	30	60	90	120
FeCl_3 (wt%)	5	10	15	20
rpm	3500	5000	8000	10000

3.2.1 시간에 따른 변화

가공 시간은 미세축을 제작하는 능률적인 측면에서 중요하다. 시간에 따른 축의 변화는 Fig.5와 같다. 가공시간이 길어질수록 축의 직경은 줄어들 수 있다. 특히 장시간의 가공이 이루어져서 상당한 직경의 변화가 있는 후에도 미세축의 직진성이 아주 양호한 전체적인 형상과 표면의 상태가 오랜 시간의 가공 후에도 상당히 양호함을 볼 수 있다. 그래서 2시간 가공 후에는 축이 $200\mu\text{m}$ 의 균일한 직경을 가짐을 보인다.

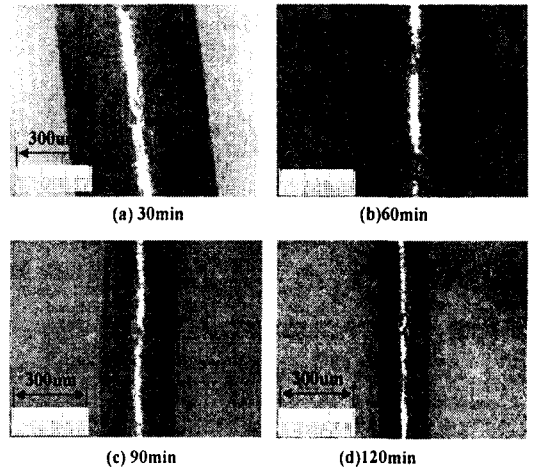


Fig. 5 Shape of shaft according to time
wt% : 10% , rpm : 8000

3.2.2 농도에 따른 변화

부식액의 농도에 따른 변화는 단위시간당 부식층이 생성되는 속도에 영향을 미치므로 고농도의 부식액에서의 재료는 급격한 부식막의 생성과 함께 제거된다. 따라서 상대적으로 약해진 부식막이 쉽고 빠르게 제거된다. 염화철의 농도가 증가할수록 단위시간당의 재료 제거량이 증가하는 것을 Fig.6에서 볼 수 있다. 하지만 5% ~ 15%사이에서는 양호한 형상을 유지하면서 직경이 줄어드는 반면에 20%에서는 형상이 양호하지 못함이 관찰되었다. 이는 부식액의 농도가 높을수록 재료 제거능률은 급격히 향상은 되나 형상정도와 표면에는 좋지 않은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

3.2.3 회전수에 따른 변화

rpm은 앞에서 언급했던 제거 메커니즘에서 기계적인 제거 메커니즘과 매우 밀접한 관련이 있다. 회전속도가 빠를수록 재료표면에서의 유체와의 전단응력과 부식층이 받는 원심력 그리고 케비테이션이 발

생하는 정도에 영향을 미칠 수 있는 변수라 할 수 있다. Fig.7은 rpm에 따른 축의 변화 모습이다. 농도의 변화만큼 급격한 형상변화는 보이지 않으나 높은 회전수에서는 제거 메커니즘의 불안정성으로 인하여 형상의 불균일함이 보인다.

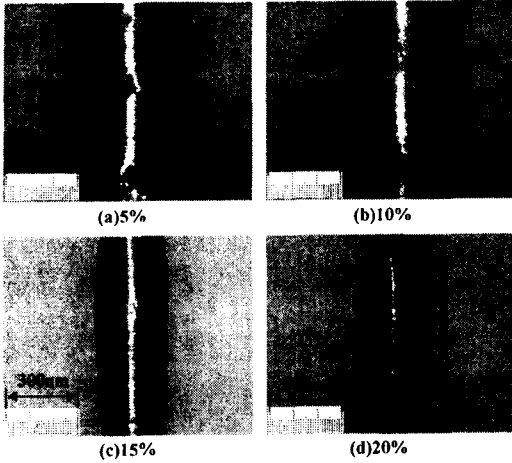


Fig. 6 Shape of shaft according to wt%
time : 60min , rpm : 8000

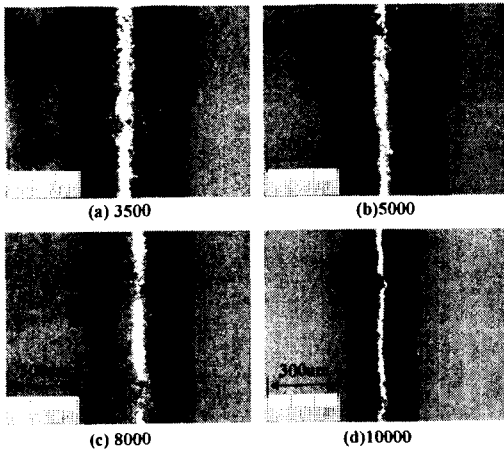


Fig. 7 Shape of shaft according to rpm
wt% : 10% , time : 60min

4. 결론 및 고찰

고가의 제어장치를 사용하지 않고 단순히 부식액과의 반응성을 이용한 고속 회전에칭방법을 이용하여 염화철($FeCl_3$) 10wt%, 8000rpm, 2시간의 가공조건에서 안정적으로 200 μ m의 직경을 가진 축을 제작할 수 있었고, 최소 100 μ m(Fig.7)의 균일한 형상을

가질 수 있었다. 가공시간, 부식액의 농도, 축의 회전수 등을 변화 시켜가며 실험을 수행한 결과 가공시간의 변화에서는 시간에 비례해서 축의 직경이 작아졌으며, 축의 형상도 아주 양호했다. 하지만 부식액의 농도변화에서는 농도가 20wt% 이상이 되면 축의 형상이 좋지 않음을 볼 수 있었다. 그리고 rpm의 변화에서는 그다지 크게 영향을 받지 않음을 볼 수 있었다. 따라서 부식액의 높은 농도에 의한 높은 재료 제거율은 축의 형상을 좋게 하기 위해서는 바람직하지 않다는 것을 알 수 있다. 향후 이러한 기초 실험을 토대로 가공조건을 좀더 정밀한 제어를 통하여 축의 직경을 줄이고 형상을 좋게 할 수 있을 것이다. 또한 광경화성 수지코팅 방법을 이용하여 계면에서의 과도한 부식을 막을 수 있었다.

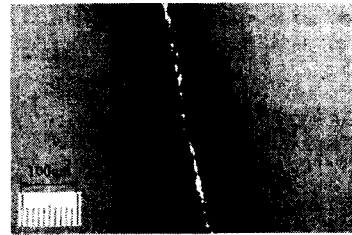


Fig. 8 Micro shaft with 100 μ m diameter

후기

본 연구는 산업기반 기술개발 사업인 Milli-Structure생산기술 개발사업 과제의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Syrett, B. C., Corrosion, Vol.32, No.6, June 1976, pp.242-252
2. Bremhost, K. and Lai, J. C. S., Wear, Vol.54, No.1, May 1979, pp.87-100
3. G. S. Haynes and R. Baboian, Eds., "Laboratory Corrosion Tests and Standards", ASTM, Philadelphia, 1985, pp. 373-399
4. 임영모, 김수현, 박윤근, "전해프로세스를 이용한 미세축제작 및 응용에 관한 연구", 제1회 MEMS 학회 논문집, pp183-188, 1999