

전기분해를 이용한 난삭재의 다이아몬드 미세가공

손성민*(부산대원), 손민기(부산대원), 임한석(싱가폴대), 안중환(부산대)

Diamond micro-cutting of the difficult-to-cut materials using Electrolysis

SeongMin Son, MinKi Son(Dept. of Mechanical. & Intelligent Sys. Eng. PNU)
HanSeok Lim(Dept. of Mechanical Eng. NUS), JungHwan. Ahn(Pusan National University)

ABSTRACT

This paper presents a new cutting method, i.e. diamond cutting, aided by electrolysis, in order to cut ferrous materials with diamond tools. Diamond cutting is widely applied in manufacturing ultraprecision parts such as magnetic disk, polygon mirror, spherical/non-spherical mirror and copier drum, etc. because of the diamond tool edge sharpness.

In general, however, diamond cutting cannot be applied to cutting steels, because diamond tools wear excessively in cutting iron based materials like steel due to their high chemical interaction with iron in high temperature. In order to suppress the diffusion of carbon from the diamond tool and to reduce increase of cutting force due to size effect, we attempt to change chemically the compositions of iron based materials using electrolysis in a limited part which will be soon cut.

Through experiments under several micro-machining and electrolysis conditions, cutting using electrolysis, compared to conventional cutting, was found to result in a great decrease of the cutting force, a better surface and much less wear tool.

Key Words : 다이아몬드 미세가공 (Diamond micro-cutting), 전기분해 (Electrolysis), 부식층 (Oxidized layer)

1. 서론

최첨단의 가공기술인 초정밀 가공기술은 제품의 소형화 집적화를 위해 꾸준히 연구가 진행되어 많은 발전이 이루어졌다. 그럼에도 불구하고 난삭재의 절삭에서는 아직 많은 문제점을 남기고 있다.

초정밀 가공에 다이아몬드 공구가 주로 사용되고 있지만 철계금속의 가공시 마멸이 심해지는 재료 특성상 금형재료로서 우수한 장점들을 갖고 있는 철계 공작물가공에 사용하지 못한다는 문제점을 갖고 있다. 또한, 예리한 날끝을 가질 수 있는 다이아몬드 공구에 의한 미세 절삭가공기술은 초정밀 절삭에 의해 수 nm대의 표면조도와 형상정도에 달하는 기술에 이르렀으나 치수효과에서 비롯되는 가공력의 증대에 의해 버발생, 형상의 찌그러짐 등이 문제가 되어 정밀도의 향상에 장애가 되고 있다.

이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 다이아몬드 미세가공에 전기분해 기법을 적용하여 재료에 국부적 변질층을 생성하고, 그 변질층만을 선택적으로 제거함으로써 치수효과에 의한 가공력의 증대를 억제하고, 동시에 다이아몬드 공구의 심각한 마멸을 방지하고자 한다. 그 결과 미세형상의 정밀도를 향상시키고, 다이아몬드 공구에 의한 철계 금형재료의 가공을 가능하게 하는 효과를 얻을 수 있을 것이다.

2. 전기분해를 이용한 다이아몬드 가공의 원리

금속은 결정 구조를 가지고 있어서 전자들이 그 결정구조를 통해서 자유롭게 움직일 수 있기 때문에 금속이 전해질과 접촉해 있을 때 전기화학적 반응으로 부식이 일어난다. 금속이 부식하게 되면 입자들

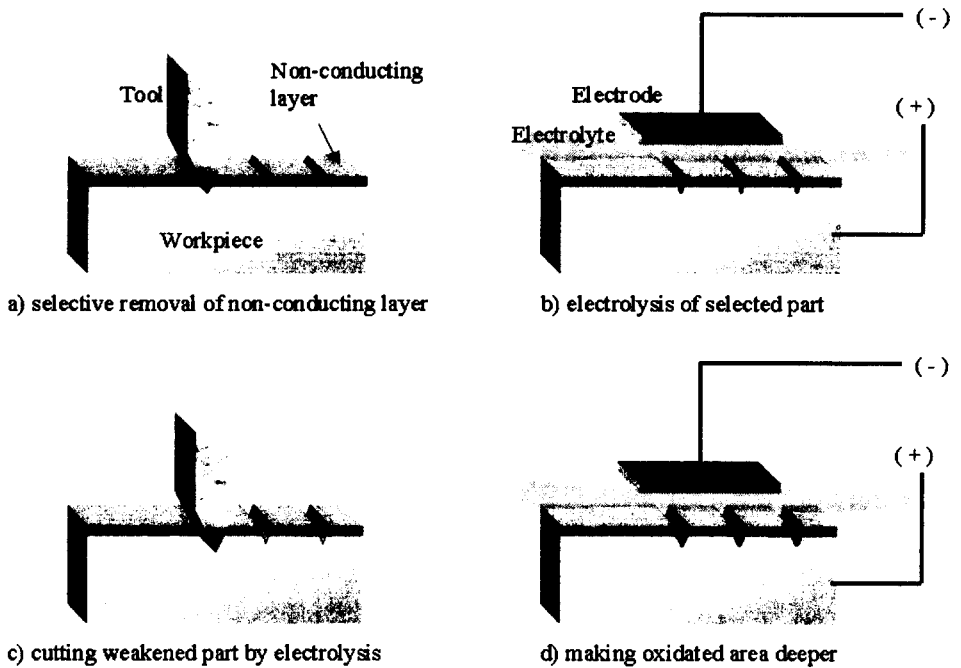


Fig. 1 Principle of diamond cutting of steel using electrolysis

사이의 결합력이 떨어져 열화하게 된다. 금속의 부식을 유도하기 위한 전기분해는 전극사이의 화학적 반응을 촉진시키는 전기적에너지에 의한 전기화학적 프로세스이다. 전기분해를 일으키기 위한 전기에너지를 공급하는 두 개의 전극은 양극(anode)과 음극(cathode)캐소드로 구성되어 있는데, 음극에서는 환원반응이 일어나고, 양극에서는 산화반응이 일어나 부식이 진행된다. 따라서, 본 연구에서는 공작물이 양극이 된다. 그림 1은 전기분해를 이용한 다이아몬드 미세가공의 원리를 나타낸다. 공작물의 일부분을 선택적으로 제거하기 위해서는 부식층을 만들기 위한 전기분해도 공작물의 일부분에서만 일어나야 하므로 공작물의 표면을 비전도물질로 코팅한다. 이상태에서는 공작물의 어느 곳에서도 전기분해는 발생하지 않는다. 그러나, 코팅된 비전도층을 제거하여 공작물 모재가 노출되었을 때, 공작물(anode)과 별도로 설치한 전극(cathode)을 양극으로 하여 그 사이에 전해액을 분사시키면 모재가 나타난 부분에만 부식층이 발생하게 된다. 이 부식층을 다시 공구로 제거하고, 전기부해하여 부식시키는 과정을 반복하면 원하는 형상을 만들어 낼 수 있다.

3. 실험장치 및 조건

그림 2는 다이아몬드 미세가공에 전기분해를 이

용하여 실험하기 위한 장치의 사진이다. 가공기는 1 μm 의 분해능을 가진 XY축과 0.2 μm 의 분해능을 가진 Z축으로 구성되어 있다. 음극으로 사용되는 재료는 무산소동(OFHC : Oxygen Free High-conductive Copper) 이고, 공작물을 양극(anode)으로하여 전류를 흘린다. 전해액으로는 일본 노리다케社의 AFG-M을 50배 희석하여 사용하였다. 가공실험에 사용된 조건들을 표 1로 정리하였다.

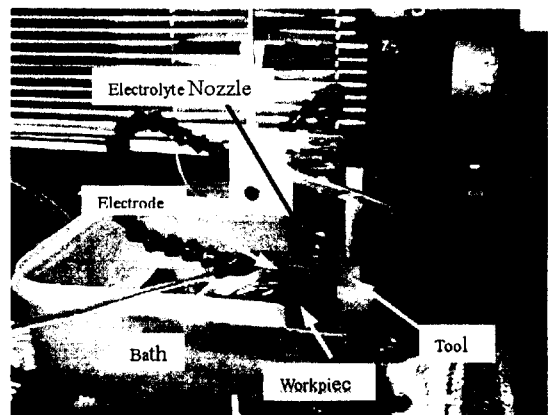


Fig. 2 Photograph of electrolysis aided diamond cutting

Table 1 Condition for electrolysis aided diamond cutting

Tool		Artificial Diamond
Workpiece		S45C
Cutting Condition	Depth of Cut	1, 2, 4, 6, 8, 10 [μm]
	Feedrate	1, 3, 5, 10 [mm/sec]
Gap		0.5, 1, 1.5 [mm]
Electrolysis Time		0.1, 0.25, 0.5, 0.8, 1 [sec]

4. 실험결과

4.1 조건에 따른 전기분해의 효과

공작물에 부식층을 만들기 위한 전기분해의 특성을 조사하기 위하여 양극과 음극사이의 간극과 전해시간에 따른 부식층의 깊이변화에 대한 실험을 하였다. 그림 3은 전극사이의 간격변화에 따른 절삭력을 나타낸다. 공작물이 가공되는 길이는 15mm로 절삭깊이와 이송속도를 일정하게 하여 가공실험한 결과 전극사이의 간격이 커질수록 절삭력은 주분력과 배분력 모두 선형적으로 증가하였다. 이는 전극사이의 간격이 커질수록 부식층의 깊이가 얇아짐을 의미하는데, 전기분해는 전류에 의해 부식층을 만드는 것이므로 간격이 넓어질수록 전기에너지의 전달이 줄어들어서 생기는 결과로 생각된다. 그림 4는 전해시간에 따른 절삭력의 변화를 나타내고 있다. 이 실험역시 동일한 가공조건에서 전해시간만을 변수로 하여 가공했을 때의 절삭력을 측정된 것으로 전해시간의 길이와 절삭력은 반비례함을 보여주고 있다. 이

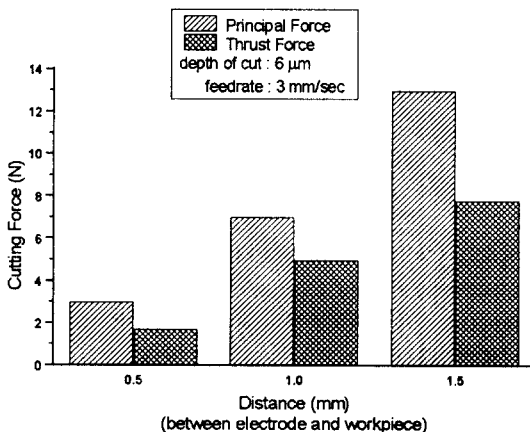


Fig. 3 Comparison of cutting forces versus gap distance

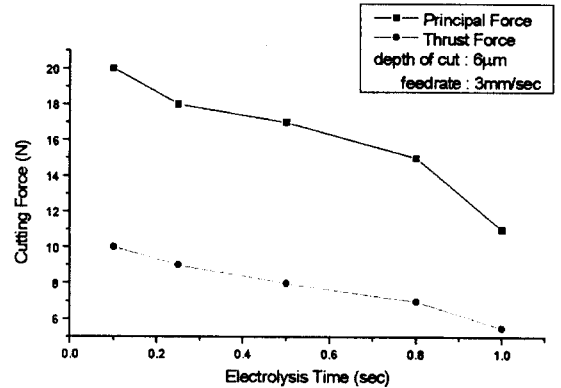


Fig. 4 Cutting forces versus electrolysis time

결과 또한 그림 3에서 확인할 수 있는 결과와 동일한 원인에 의한 것으로 생각된다. 하지만, 전해시간이 어느 정도 이상이 되면 공작물의 표면은 완전히 부도체의 피막으로 덮이게 되므로 절삭력은 일정하게 됨을 짐작할 수 있다.

4.2 가공조건에 따른 절삭력 변화

가공조건에 따른 절삭력의 변화를 조사하기 위하여 절삭깊이와 공작물의 이송속도, 즉 가공속도를 변수로 하여 절삭실험을 행하였다. 그림 5는 절삭깊이에 따른 절삭력의 변화를 보여주고 있다. 이 때, 전극(cathode)과 공작물사이의 간격은 약 0.5mm이며, 가공속도는 3mm/sec로 고정되어 있다. 전해를 이용하여 부식층을 만들며 가공한 경우 주분력은 절삭깊이 1 μm 에서 1.5N정도인 것이 10 μm 일 때, 4N정도로 완만한 증가를 보였고, 배분력 또한 0.5N에서 2N정도로 그다지 큰 변화는 보이지 않았다. 이에 반해 전기분해를 이용하지 않을 경우, 주분력이 7~80N, 배분력이 4~40N정도로 전해를 이용하였을 경우의 절삭력에 비해 매우 큰 값이 측정되었다. 그림 6은 절삭속

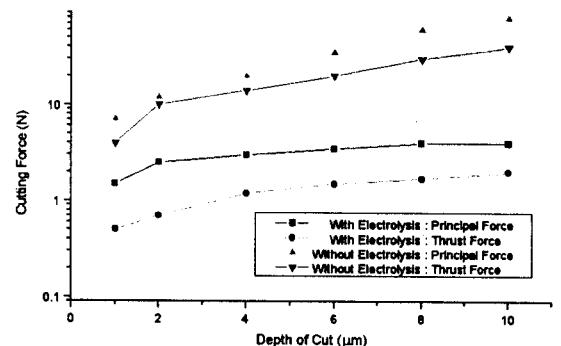


Fig.5 Comparison of cutting forces between with and without electrolysis versus depth of cut

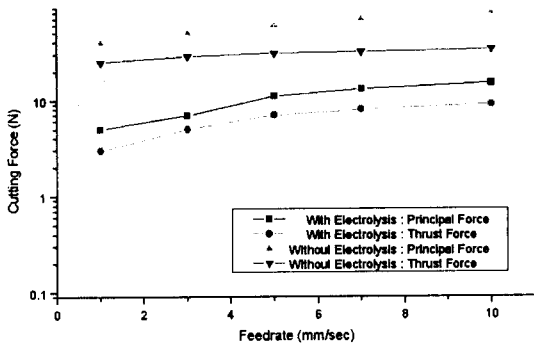


Fig. 6 Comparison of cutting forces between with and without electrolysis versus feedrate

도에 따른 절삭력의 변화를 나타낸다. 이 실험에서의 가공조건은 전극과 공작물 사이의 간격이 약 1mm, 절삭깊이는 6 μ m이다. 역시 전해를 이용하였을 때가 이용하지 않았을 경우보다 현저하게 작은 값의 절삭력이 측정되었다.

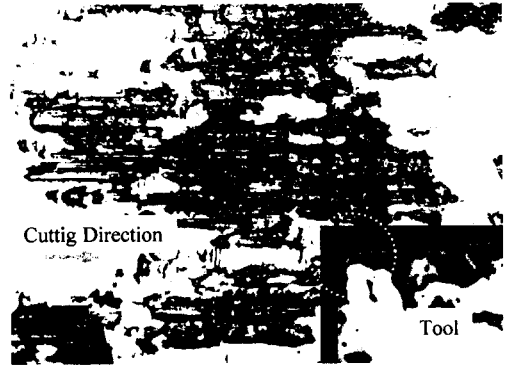
4.3 가공면 및 공구마모

전기분해에 의해 생성된 부식층을 절삭하였을 경우의 가공면과 일반적인 방법에 의해 가공했을 경우의 가공면을 현미경으로 관찰하였다. 그림 7의 (a)에 보이는 것과 같이 일반적인 방법에 의한 가공에서는 불안정한 절삭구간이 존재하여 가공면이 다소 지저분해 보이는 반면 그림 7의 (b)에 나타난 것과 같이 전기분해를 이용하여 부식층만을 가공한 면은 깨끗하지만 곳곳에 부식된 부분이 남아 있음을 확인할 수 있다. 이 가공면의 거칠기는 약 0.15 μ m R_a로 전해를 이용하지 않았을 경우 거칠기의 1/4정도로 측정되었다. 그리고, 우측하단의 그림은 가공후의 공구사진인데, 전기분해를 이용하였을 경우에는 공구의 날끝의 예리함이 살아있는 반면, 이용하지 않았을 경우에는 상당히 무디어 졌음을 확인할 수 있다.

가공면에 부식의 흔적이 남아 있는 것은 전기분해 의한 부식층의 깊이가 균일하지 않기 때문이다. 이러한 부식층을 완전히 제거하기 위해서는 최종 절삭가공할 때, 전기분해를 하지 않고 가공하여야 한다. 하지만, 전기분해를 하지 않고 가공할 때에 절삭깊이를 과도하게 하면 절삭력이 급격히 증가하여 공구의 마모를 촉진할 수도 있기 때문에 부식층의 깊이를 정확하게 조사할 필요가 있다.

5. 결론

다이아몬드를 이용한 철계 금속의 가공을 가능하게 하고 미세가공에 있어서의 치수효과에 의한 가공



(a) Without electrolysis



(b) With electrolysis

Fig.7 Comparison of machined surface and tool edge

력의 증대를 억제하기 위하여 전기분해를 이용하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전기분해에 의해 생성된 부식층만을 제거하는 방법으로 미세함을 가공할 수 있었다.
- 2) 일반적인 절삭가공법에 비해 전기분해를 이용할 경우 주분력은 약 1/5~1/20정도, 배분력은 약 1/8~1/20정도로 감소하였으며, 보다 양호한 가공면을 생성하였다.

참고문헌

1. RAVI VARMA, J.R. SELMAN, Techniques for Characterization of Electrodes and Electrochemical Processes, A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 1991
2. K.SCOTT, Electrochemical Reaction Engineering, ACADEMIC PRESS, 1991
3. 한정섭, 부식 및 방식공학, 반도출판사, 1998
4. 이주성, 전기화학, 보성문화사, 1988