

# 전해복합에 의한 미세절삭가공 특성연구

손민기\* · 손성민\*\* · 안중환\*\*\*

## A Study on the Characteristics of Compounding Electrolytic Machining in micro-cutting

M.K.Son, S.M.Son(Dept. of Mechanical.&Intelligent Sys. Eng. PNU),

J.H.Ahn(Pusan National University)

**Key Words:** Diamond micro-cutting(다이아몬드 미세가공), Electrolysis(전기분해), Oxidized layer(산화층), Cutting force(절삭력), Compound machining(복합가공)

### Abstract

This paper presents a new method for cutting steel with a diamond tool using electrolysis. The electrolysis is adopted in the diamond cutting to prevent the high chemical activity between a diamond tool and an iron-based workpiece. The basic principle of the method is to oxidize a thin substrate of the workpiece by electrolysis ahead of the diamond tool which cuts the oxidized layer. A desired shape can be obtained by repeating this process.

The cutting force is reduced because the diamond tool removes only the weakened material by electrolysis. The reduction of the cutting force suppresses the excessive wear of the diamond tool.

The oxidization penetrates several micrometers in depth along the previously formed shape. The corrosion rates depend on current density and make suggestions on the optimum cutting conditions.

### 1. 서론

다이아몬드 공구는 강도가 크고, 날끝 반경을 이론적으로 2nm까지 제작하는 것이 가능하여 초미세 절입을 할수 있어 초정밀 가공에 주로 사용되고있지만 철계금속의 가공시 공구마멸이 심해지는 재료 특성상 금형재료로서 우수한 장점들을 갖고 있는 철계공작물가공에 이용하지 못한다는 문제점을 갖고 있다. 또한, 예리한 날끝을 가질수 있는 다이아몬드공구에 의한 미세 절삭가공기술은 초정밀 절삭에 의해 수nm대의 표면조도와 형상정도에 달하는 기술에 이르렀으나 치수효과에서 비롯되는 가공력의 증대에 의해 버발생, 형

상의 찌그러짐 등이 문제가 되어 정밀도의 향상에 장애가 되고 있다.

이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 다이아몬드공구를 이용한 미세가공에 전해가공을 복합하여 재료에 국부적 용출 및 산화층을 생성하고, 그 산화층만을 선택적으로 제거하므로써 치수효과에 의한 가공력의 증대를 억제하고, 동시에 다이아몬드 공구의 심각한 마멸을 방지하고자 한다. 그 결과로 다이아몬드 공구에 의해 철계 금형재료를 우수한 정밀도로 가공할 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 가공원리

#### 2.1 전해가공의 이론적 배경

페러데이 법칙(Faraday's law)에 의해 전기화학가공시 제거되는 금속량은 다음과 같이 정의된

\* 부산대학교 대학원  
\*\* 부산대학교 대학원  
\*\*\* 부산대학교 기계공학부

다.

$$m = \frac{A I t}{z F} \quad (1)$$

여기서  $\frac{A}{z}$  는 등가전기화학량(electro-chemical equivalent)이라 하며 가공 시 중요한 파라메터가 된다.

합금의 경우에는 함유원소의 개수가 많기 때문에 "Superposition of charge" 방법을 적용할수있다. 이 방법은 다음과 같은 수식에 의해 정의된다.

$$\left(\frac{A}{z}\right)_{alloy} = 100 \left[ \frac{X_A}{(A_A/Z_A)} + \frac{X_B}{(A_B/Z_B)} \dots \right] \quad (2)$$

$A, B, \dots$  : elements of alloy

$X_A$  : % of element A

$X_B$  : % of element B

$A_A$  : atomic weight of element A

$A_B$  : atomic weight of element B

$Z_A$  : valency of element A

$Z_B$  : valency of element B

$F$  : Faraday's constant

전류효율은 이론적인 금속제거율과 실제 금속 제거율의 비로 정의되며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\text{Current efficiency} = \frac{\dot{m}}{(A/zF)} \quad (3)$$

$\text{NaNO}_3$  전해액의 경우 전류효율은 전류밀도가 작아지면 급격히 감소된다. 그 때문에 전극에 가까운 전류밀도가 비교적 큰 부분의 용출이 두드러지게 되고, 따라서 전해형사공에 유리하다.

본 연구에서는 실제가공에 앞서 전류밀도 및 가공시간에 따른 이론적인 금속제거량을 구하고, 이를 실제가공에 근사적으로 활용한다.

2.2 전기분해를 이용한 다이아몬드 가공의 원리  
금속은 결정 구조를 가지고 있어서 전자들이 그

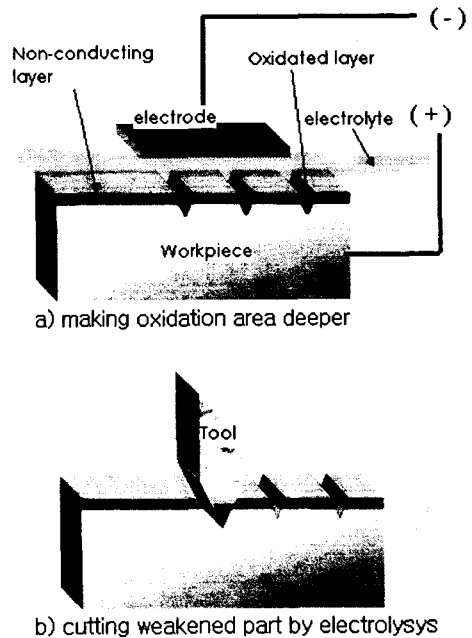


Fig.1 Principle of diamond cutting of steel using electrolysis

결정구조를 통해서 자유롭게 움직일 수 있기 때문에 금속이 전해질과 접촉해 있을 때 전기화학적 반응으로 부식이 일어난다. 금속이 부식하게 되면 입자들 사이의 결합력이 떨어져 열화하게 된다. 음극(cathode)에서는 환원반응이 일어나고, 양극(anode)에서는 산화반응이 일어나 부식이 진행되므로 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. 이 상태에서는 공작물의 어느 곳에서도 전기분해는 발생하지 않는다. 그러나, 코팅된 비전도층을 제거하여 공작물 모재가 노출되었을 때, 모재가 나타난 부분만 전해작용에 의해 부식층이 발생하게 된다. 이 부식층을 공구로 제거하고, 노출된 모재를 다시 전해작용에 의해 부식시키는 과정을 반복하면 원하는 형상을 만들어 낼 수 있다.

### 3. 실험장치 및 조건

그림 2는 다이아몬드 공구를 이용한 철계금속의 미세가공에 전기분해를 이용하여 실험하기 위한 장치의 사진이다. 가공기는 1 $\mu$ m의 분해능을 가진 XY축과 0.2 $\mu$ m의 분해능을 가진 Z축으로 구성되어 있다. NaNO<sub>3</sub> 전해액을 펌프를 이용하여 외부에서 공급하고, 무산소동(OFHC: Oxygen Free High-conductive Copper)을 음극으로 공작물(SKD11)을 양극으로하여 전압을 가한다. 가공실험에 사용된 조건들을 표1로 정리하고, 공작물의 이론적인 금속제거량을 구하기 위하여 SKD11의 조성을 표2에 정리하였다.

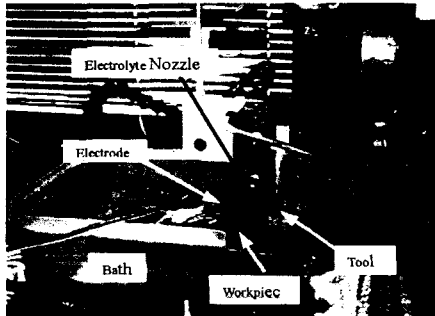


Fig.2 Photograph of electrolysis aided diamond cutting

Table 1 Condition for electrolysis aided diamond cutting

Tool		Artificial Diamond, CBN
Workpiece		SKD11
Cutting condition	Depth of Cut	1,2,4,6,8 [ $\mu$ m]
	Feedrate	2.5 [mm/sec]
Electrode Gap		1 [mm]
Electrolysis Time		2 [sec]
Electrolyte		NaNO <sub>3</sub> Aqueous solution

Table 2 Chemical composition of test specimens

	Fe	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	V
X (wt%)	85.12	1.43	0.34	0.36	0.002	11.84	0.66	0.22
A (atomic weight)	55.84	12.01	28.08	54.93	32.06	51.99	95.94	50.94
Z (valency)	+2	+2	+2	+2	+4	+2	+6	+2

### 4. 실험결과

#### 4.1 가공조건에 따른 절삭력의 변화

전기분해에 의해 생기는 공작물 상의 부식층에 대한 특성을 조사하기 위하여 동일조건하에서 전기분해를 선행하고 절삭했을때와 일반적인 절삭 방법으로 절삭했을때의 절삭력을 그림 3에 비교하였다.

먼저, 이론상 2 $\mu$ m 및 4 $\mu$ m의 전해용출이 일어나는 전류밀도를 구하고 그 값에 대한 전압을 확인하였을때 각각 9(V), 14.2(V)였다. 이론적 계산식을 통해 얻어진 전원조건에 의해 공작물을 전기분해하고 다이아몬드공구를 이용하여 산화층을 절삭해 나갔다. 그 결과 그림 3에서 보이는 바와 같이 전해를 이용하여 산화층을 생성시키며 절삭가공한 경우 배분력의 변화는 거의 없었으나, 주

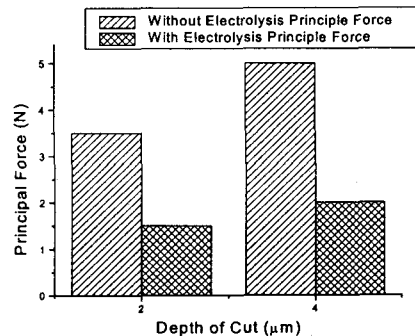


Fig 3 Comparison of cutting force between without and with electrolysis

분력에서 큰 변화를 보였다. 또한, 전해를 이용하여 산화층 층의 절삭에 있어서는 절삭깊이에 어느정도 무관하게 주분력이 완만하게 증가하는 것을 볼수 있었다.

일반적인 절삭가공에서는 2( $\mu\text{m}$ )의 절삭깊이에서 다이아몬드 공구의 손상이 확인되고 심한 경우 공구가 부러지는 현상이 발생되었다.

#### 4.2 전해조건에 따른 산화층의 두께 변화

그림 3에서 측정된 절삭력을 바탕으로 전해조건에 따른 산화층의 두께를 관찰하였다.

동일한 전해조건에서 2, 4, 6, 8( $\mu\text{m}$ )의 전해용출이 일어나야 하는 이론상의 전류밀도를 구하고, 그에 대응하는 전압을 확인한후 전원조건을 이에 맞추었다. 그 후, 1회절입량을 2( $\mu\text{m}$ )로 하여 다이아몬드공구 대신 CBN공구를 이용하여 반복적으로 절삭하였을 때의 절삭력은 그림 4와 같다. 그림 4에서 보듯이, 절삭깊이가 약 2~4( $\mu\text{m}$ )이내에서는 그림 3의 전해시의 절삭력과 비교적 비슷한 정도의 절삭력이 측정되었다. 그러나 4( $\mu\text{m}$ )이상의 범위에서는 전원조건에 무관하게 절삭력이 일반적인 절삭때의 절삭력이 측정되었다.

즉, 본 연구의 실험조건에서는 최대 4( $\mu\text{m}$ )이상의 전해용출은 발생하지 않은 것으로 예상된다.

#### 4.3 가공면 및 공구마모

전기분해에 의해 생성된 부식층을 절삭하였을 경우의 가공면과 일반적인 방법에 의해 가공했을 경우의 가공면을 현미경으로 관찰하였다.

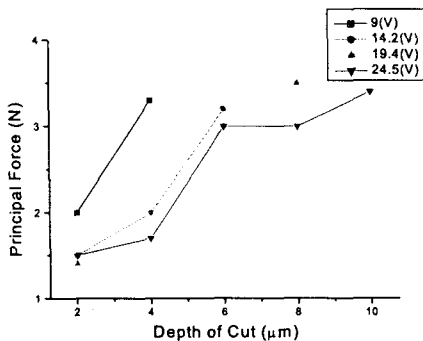
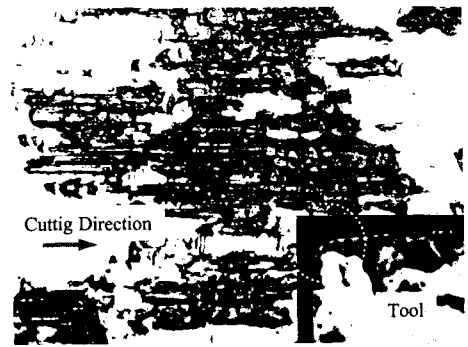


Fig 4 Comparison of cutting forces for electrolysis condition

그림5의 (a)에 보이는 것과 같이 일반적인 방법에 의한 가공에서는 불안정한 절삭구간이 존재하여 가공면이 다소 저저분해 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 $\mu\text{m}$  Ra로 전해를 이용하지 않았을 경우 거칠기의 1/4정도로 측정되었다. 그리고, 우측하단의 그림은 가공후의 공구사진인데, 전기분해를 이용하였을 경우에는 공구의 날 끝의 예리함이 살아있는 반면, 이용하지 않았을 경우에는 상당히 무디어 졌음을 확인할 수 있다.

가공면에 산화층의 흔적이 남아있는 것은 가공 전 공작물과 음극으로 사용된 전극의 표면거칠기가 나빠 균일한 전해용출이 일어나지 않은 이유로 보인다.



(a) Without electrolysis



(b) With electrolysis

Fig 5 Comparison of machined surface and tool edge

## 5. 결론

전해복합절삭을 통해 다이아몬드를 이용한 철계 금속의 가공을 가능하게 하고 치수효과에 의한 가공력의 증대를 억제할수 있었다.

하지만 양극(anode)측의 가스발생으로 인한 공작물표면의 coated layer의 손상방지대책 및 전해액의 특성에 대한 정밀한 분석이 선행되어야 한다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전해복합절삭에 의해 생성된 부식층을 절삭해 나가는 방법으로 다이아몬드 공구를 이용해 철계금속의 미세홈 가공이 가능하였다.
- 2) 일반적인 절삭가공법에 비해 전해복합절삭가공법을 이용할 경우 주분력이 크게 감소하였고, 보다 양호한 가공면을 생성할수 있었다.

## 참고문헌

- (1) RAVI VARMA, J.R.SELMAN, 1991, "Techniques for Characterization of Electrodes and Electrochemical Processes", A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION
- (2) K.SCOTT, 1991, "Electrochemical Reaction Engineering", ACADEMIC PRESS
- (3) J.A.McGEOUGH, "Principles of Electrochemical Machining" CHAPMAN AND HALL· LONDON
- (4) A.K.M.De Silva, H.S.J.Altana, J.A.McGeough, "Precision ECM by Process Characteristic Modelling", Annals of the CIRP Vol.49/1/2000
- (5) 한정섭, 1998, "부식 및 방식공학", 반도출판사
- (6) 이주성, 1988, "전기화학", 보성문화사
- (7) 이영표, 박규열, "볼랜드밀 절삭에서 전해복합에 의한 표면거칠기 특성", 한국정밀공학회 2000 추계학술대회논문집, pp.959-962
- (8) 박정우, 1999, "스테인레스 강의 전해연마 가공 특성에 관한 연구", 부산대학교 대학원 석사학위논문
- (9) 박정우, 이은상, 문영훈, "미세 홈 형성을 위한 마이크로 가공기술에 관한 연구", 한국정밀공학회 2000년 추계학술대회논문집, pp.918-921