

전극의 재료와 크기가 전극소모에 미치는 영향

최재용* · 전언찬** · 정재현***

Influence on Relative Electrode Wear by Material and Size of Electrode

J. Y. Choi · E. C. Jeon · J. H. Jeong

Key words : Pulse-on duration(방전 펄스 폭), EDM(Electric Discharge Machining), Metallic molding steel(금형용강), Graphite electrode(흑연전극), Copper electrode(동전극), Decomposition carbide(분해탄화물)

Abstract

This study has been performed to investigate REW(relative electrode wear) in condition of various pulse-on duration using the copper and graphite electrode with change of the electrode size on the heat treated STD11 which is extensively used for metallic molding steel with the EDM. The results obtained are as follows ; a) Graphite has much more benefits than copper electrode when rapid machining is done without electrode wear. b) Negative REW result from the electrode that is very liable attach to decomposition carbide. c) Increasing of machining time cause to increase wear length of the copper electrode and decrease wear length of the graphite electrode. d) The more pulse-on duration, copper electrode has the less REW. e) The edge portion of the electrode wears remarkably at the beginning of machining.

1. 서 론

가공이란 물질의 이동과 변형등에 의해 필요로 하는 형태로 만드는 것이다.

일반적으로 사용되고 있는 기계가공은 전기에너지를 전동기등의 운동에너지로 변환하여 공구가 가공하는 것이다. 그러나 산업의 고도화와 사회

의 발전에 따라 고정밀도의 가공이나 난삭제등 새로운 재료에 대한 가공의 요구가 높아짐에 따라 전기에너지를 직접 가공부분에 공급하는 방안이 제안되었고 이것이 방전가공이다.

고경도 재료를 비교적 간단히 가공할 수 있는 방전가공법은 복잡한 형상의 가공에 대한 응용 면에서 볼 때, 연삭가공 등과 비교하여 방전가공의 우

* 한국해양대학교 대학원(원고접수일 : 99년 5월)

** 동아대학교 공과대학 기계공학과

*** 한국해양대학교 공과대학 기계공학부

위성이 나타나고 있다.¹⁾ 여러 가공법 중에서 방전 가공이 두드러지게 특이한 점의 하나는 가공 단위(단위 제거 현상에 기초를 두는 제거량)가 주로 전기적인 양(방전전압, 방전전류, 방전펄스폭, 방전 휴지폭등)에 의해 결정되는 점이다. 가공 면의 거칠기가 장치의 구조나 동작과는 상관없이 가공전원에서 주는 방전펄스에 의해 정해진다. 그리고 전기적인 양은 현재 광범위하게 변화시키는 것 중에 가장 용이한 물리량이라고 말할 수 있다. 그러므로 방전가공에서는 아주 작은 절삭깊이를 방전펄스 에너지, 즉 방전펄스의 전류치와 펄스폭을 작게 함으로써 쉽게 실현할 수 있고 이것은 방전가공이 미세 가공에도 적용할 수 있음을 나타낸다.²⁾

방전가공은 가공특성에 날아드는 펄스성 방전에 의한 열가공 현상임은 잘 알려져 왔으나 특세에는 가공액이 존재하여 가공속도가 향상되면 될수록 가공칩의 농도나 액체 분해 생성물이 증가하여 방전 발생 환경을 변화시킨다. 더구나 가공특세는 보통 수십 μm 정도로 아주 작은 값이어서 가공이 진행됨에 따라 가공특세의 상태는 급격히 변한다.

실제 방전가공에서는 에너지 공급시간이 일반적으로 $10^{-7} \sim 10^{-3}$ sec 정도의 불꽃방전에 수반되는 짧은 아크 방전현상을 이용하여 가공이 이루어지고 있다. 이 에너지 공급시간을 방전펄스폭(Pulse-on duration)이라고 하며, 방전전류과고치(Peak pulse current)와 함께 방전에너지를 나타내는 중요한 요소가 되고, 가공할 때의 모든 특성, 즉 공작물 가공량(MRR : Metal Removal Rate), 전극소모비(REW : Relative Electrode Wear) 및 표면조도 등에 큰 영향을 미치게 된다.

지금까지 전극의 특정부위의 소모는 정밀가공 또는 기계가공에서의 제거가공에 초점이 맞추어졌다. 따라서 전극소모현상을 이해하기 위해서는 다른 관점에서의 고찰이 필요하고 정밀한 제품의 생산에 큰 영향을 미치기 때문에 주의 깊게 고려해야 한다. 또한 방전가공 공정을 고능률화하여 생산성을 향상시키고 방전 현상을 안정시키기 위해서도 전극에 관한 연구가 활발히 이루어져야 한다.

열처리한 STD11의 Wire cut-EDM 가공 특성에 미치는 방전가공조건에 대하여는 많은 연구가 진행되어 왔으나^{3)~7)}, Die sinking EDM에 의한 방전

가공의 특성과 전극재료에 따른 최적방전가공조건에 대하여는 미흡한 실정이다. 특히 가공면에 대해서는 치수 형상 정밀도나 표면 거칠기 등과 같은 외관적인 평가 이외에 제품으로서의 내마모성, 내식성 등에 대한 성능적인 평가도 포함하는 표면성상(Surface Integrity)이라는 단어가 종종 사용되고 있으며 가공면의 개선에 대한 관심이 점점 높아지고 있다.⁸⁾

따라서 본 연구에서는 CNC 방전가공기에서 동전극(Copper electrode)과 흑연전극(Graphite electrode)으로 금형 제품에 널리 사용되는 열처리된 STD11을 대상으로 가공조건, 즉 방전펄스폭 및 방전전류과고치를 변화시켜 전극소모의 메커니즘(mechanism)을 이해하고, 전극의 크기에 따른 전극소모를 평가하여 정밀한 방전가공이 이루어질 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험재료

본 실험에 사용한 실험재료인 STD11은 금형산업에 널리 사용되는 합금공구강으로써 그 화학적 성분을 Table 1에 나타내었고, Table 2의 조건으로 열처리한 후, 에머리 페이퍼 #1000으로 정밀 연마하여 가공면의 표면조도를 $R_{\text{max}} = 0.5 \mu\text{m}$ 으로 일정하게 하였다.

그리고 전극재료인 동전극은 밀링머신인으로

Table 1 Chemical compositions of the STD11(wt. %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W
1.64	0.35	0.25	0.025	0.002	11.19	0.54	0.17	0.44

Table 2 Heat treatment conditions and hardness of the STD11

Quenching	Temperig	Hardness(Hv)
1,030° C, 1hr O.C.	200° C, 1hr A.C.	720

Table 3 Experimental conditions

Item	Unit	Conditions
Pulse-on duration	μs	20, 50, 100, 200, 400
Pulse-off duration	μs	20(constant)
Peak pulse current	A	10
No-load voltage	V	90(constant)

Table 4 Physical properties of graphite and copper electrode

Item	Unit	Graphite	Copper
Density	g/cm ³	1.82	8.93
Flexural	kg/cm ²	590	3000
Resistivity	μΩ · cm	1400	1.72
Vickers hardness	Hv	544	55
Specific heat	J/g · K	0.669	0.117
Melting point	K	3800	1400
Open porosity	%	8	about 0
Heat of fusion	cal/cm ³	41.8	83.1

단면가공하였고, 흑연전극은 에머리 페이퍼 #1000으로 연마하여 표면조도를 $R_{max} = 0.5 \mu m$ 일정하게 하였으며, Table 3의 조건으로 각각 실험하였고,

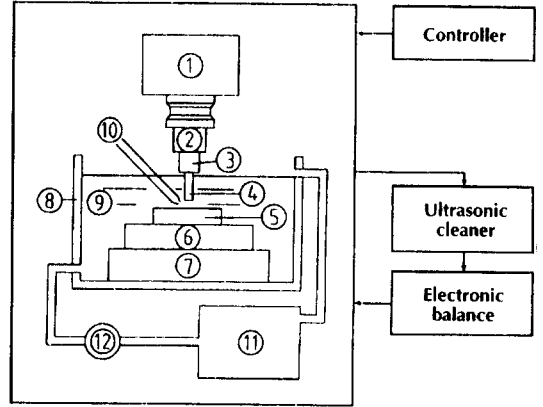
Table 4는 동전극과 흑연전극의 물리적 성질을 나타내었다.

2.2 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치의 개요도를 Fig. 1에 나타내었다. 그리고 실험에 사용한 CNC 방전가공기(A3C-R)는 컴퓨터가 내장되어 각종 가공조건 및 좌표값을 연산처리하기 위한 기능이 장착되어 있으며 주축대 및 테이블은 DC 서보 모터와 정밀 볼스크류에 의해 제어되어 이송이 매우 정밀할 뿐만 아니라 입력된 프로그램에 의해 정확한 가공치수의 설정이 가능하며, 항상 깨끗한 가공액을 가공탱크에 충만시키는 구조로 되어 있다. 그림에서 ①은 주축대, ②는 클램프이며, ③은 전극을 고정하기 위한 SNT콜렛전극홀더(SNT12 : Sodick national taper)이고, ④는 전극이다. 그리고 ⑤는 시험편, ⑥은 정밀 바이스, ⑦은 테이블, ⑧은 가공탱크, ⑨는 가공액이다. ⑩은 방전에서 발생하는 분해가스, 가공칩, 탄화물 등을 배출시키기 위한 가공액 분사 노즐이며, ⑪은 서비스 탱크, ⑫는 가공액 송출 펌프이다.

2.3 실험방법

방전가공기의 SNT 콜렛전극홀더에 전극을 고정시키고, 시험편과 전극의 직각도를 검사한 후 방전현상에 영향을 주는 각 가공조건을 Table 3과 같



- ① EDM hHead stock
- ② Clamp chuck
- ③ SNT Collet electrode holder
- ④ Electrode
- ⑤ Workpiece
- ⑥ Precision vise
- ⑦ Table
- ⑧ Work tank
- ⑨ Dielectric fluid
- ⑩ Nozzle injection
- ⑪ Service tank
- ⑫ Pump

Fig. 1 Experimental apparatus of EDM

이 변화시켜 동전극과 흑연전극의 면적별로 같은 조건으로 실험하였다. 전극은 각각 직경이 10, 15, 20mm의 원봉을 사용하였으며, 실험에 사용한 가공액은 케로신(Kerosine : KOTON 600)이고 가공탱크내의 가공액 높이는 시험편의 상면으로부터 80 mm가 되도록 하였고, 가공부위로부터, 10 mm거리에서 가공액 분사 노즐을 통해 1 kg/cm²의 압력으로 가공액을 분사시켰다. 실험전 시험편을 에머리 페이퍼 #1000으로 정밀 연마하여 3분간 초음파 세정을 하고 건조시킨 후 디지털 천칭으로 무게를 측정하였고, 가공후 시험편의 중량 감소량을 측정하여 단위시간당 공작물 가공량을 구하였다. 그리고 가공편은 전자현미경으로 사진 촬영하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 방전 펄스폭에 따른 전극 소모

절삭가공에서의 공구문제와 같이 전극재료는 방전가공에서 매우 중요한 문제이다.

전극사이에 진압을 인가하여 전연파괴가 일어

나면 음극에서 전자가 방출하여 전류가 흐르게 된다. 이 전자가 전극사이에 존재하는 원자와 충돌하여 양(+)극에 도달하면 방전이 시작되어 설정된 방전에너지를 방출하면서 플라즈마 상태로 되고 이어서 방전이 끝나게 된다. 따라서 양극은 주로 전자의 충돌을 받고 음극은 양이온의 충돌을 받게 된다.

전기적으로 극성이 다르다는 것은 방전점 넓이가 다르다는 것이 가장 큰 차이점이고 열과 압력의 현상은 같은 조건이라고 볼 수 있을 것이다.

그러나 실제 방전 중에는 방전 시에 발생한 가공액 분해물과 가공칩이 전극사이에 흡착하거나, 가스로 둘러싸이는 전극면에 불탄 흔적이 발생하는 등 전극극성에 의한 차이가 생기게 된다. 전극소모에 대해서는 방전에너지의 배분이라든가 전기적인 성질만으로는 설명할 수 없다. 가공중 일정한 조건이 되면 공작물의 칩이 가공전극측에 정착하고, 이것이 방전하고 있는 가공전극을 덮어서 하나의 층을 형성하게 된다.

Fig. 2는 방전펄스폭에 대한 전극소모비를 나타낸 것이다. 여기서 전극소모비는 다음의 관계로부

터 계산하였다.

$$REW = \frac{W_t}{W_p} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서 REW : 전극소모비 (%)

Wt : 전극의 소모중량 (g)

Wp : 공작물의 소모중량 (g)

전극소모비는 대략 30 %정도의 소모비보다 클 경우에는 안정되지 않는다. 이것은 가공 중에 발생한 분해된 흑연의 결정성능과 칩의 혼입률, 그리고 칩의 입자크기 등에 의하여 전극표면의 피복성이 변화하기 때문이라고 생각된다.⁹⁾ 방전전류와 고치(Ip)가 5A일 때 방전펄스폭(ton)이 200μs이하에서는 방전펄스폭의 증가에 따라 동전극의 전극소모비는 감소하고, 흑연전극은 전극소모비가 증가하다가 그 이상의 방전펄스폭에서는 거의 일정한 값을 나타낸다. 이것은 가공액이 열 분해되어 생긴 탄화물이 전극에 부착되고, 이 탄화물과 공작물사이에서 방전이 계속되기 때문이라고 생각되며, 이러한 조건에서는 전극의 방전점이 넓고 전류밀도가 저하하여 양극(+) 표면으로부터의 침적 물이 파손되지 않기 때문이라고 생각된다. 그리고 동전극에 비해 흑연전극의 소모비가 적게 나타나는데, 이것은 결정과 결정의 경계는 방전 때 열 피로가 생겨 탈락되어 소모되는데 열전도율이 낮아 열 피로가 작고, 조직이 치밀하고 용점과 비열이 높으며 분해 탄화물과의 친화력이 크기 때문이라고 생각되고 많은 탄화물이 전극에 부착하여 負(-)의 전극소모비가 존재한다고 생각된다.¹⁰⁾

특히 낮은 펄스폭에서 負(-)의 전극소모비를 가지는 것은 펄스폭이 클 때보다 분해탄화물의 크기가 작기 때문에 전극에 정착되기가 쉬워서 전극의 부피가 커지는 것으로 생각된다. 역극성회로를 사용하여 동전극으로 강을 가공한 경우의 전류밀도는 다음과 같이 표시된다.

$$J_{st}(-)cu(+)=I_p/(\pi/4)(2.4(\tau_{on})0.4(I_p)0.4)^2 \\ =0.22(I_p)0.2/(\tau_{on})0.4(A/cm^2)$$

즉 Ip값이 증가할수록 전류밀도(J)는 증가하게 되고 그에 따라 방전압력이 증가하여 공작물의 가공량이 많아지게 된다고 생각된다.

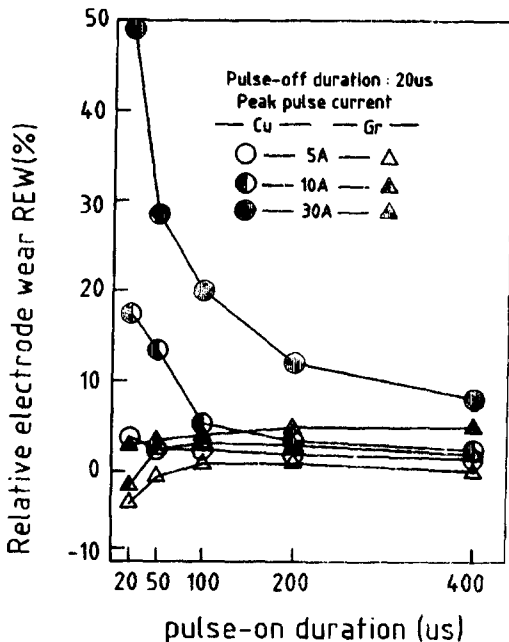


Fig. 2 Relation between relative electrode wear and pulse-on duration

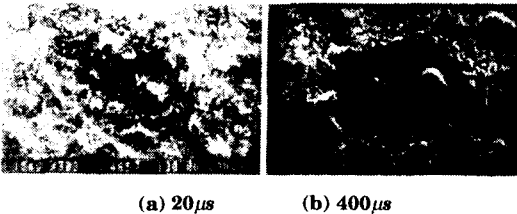


Fig. 3 Photo. of copper electrode surface on variation of pulse-on duration : IP=10A

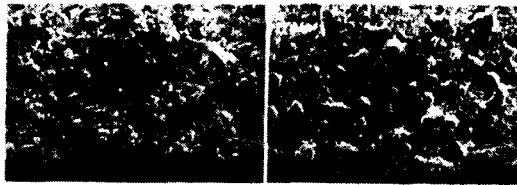


Fig. 4 Photo. of graphite electrode surface on variation of pulse-on duration : IP=10A

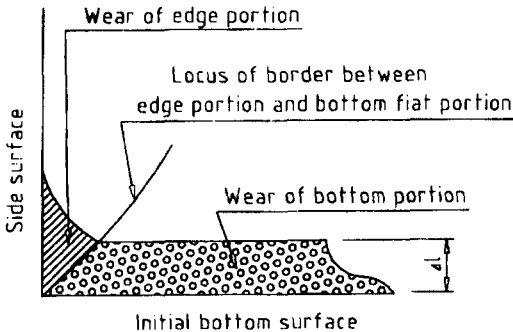


Fig. 5 Definition of wear of edge portion and bottom on flat surface

3은 I_p 가 10A이고 τ_{on} 이 20 μs , 400 μs 일 때 방전가공후의 동전극면을, Fig. 4는 같은 조건에서의 흑연전극면을 찍은 사진이다. Fig. 3의 (a)와 Fig. 4의 (a)와 같이 펄스폭이 작은 경우는 방전흔이 좁으며 전극면에 공작물의 미세한 칩이 전면에 걸쳐 부착되어 있는 것을 볼 수 있으나, Fig. 3의 (b)와 Fig. 4의 (b)와 같이 펄스폭이 큰 경우는 방전흔이 매우 넓게 확장되어 있고 부분적으로 미세한 칩과 카본의 결정화가 약간 덜된 상태인 그래파이트 카이본이 피복되어 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 흑연전극은 동전극에 비해 방전펄스폭에 따른 방전흔의 차이가 적고 크기도 작는데 이것은 흑연전극

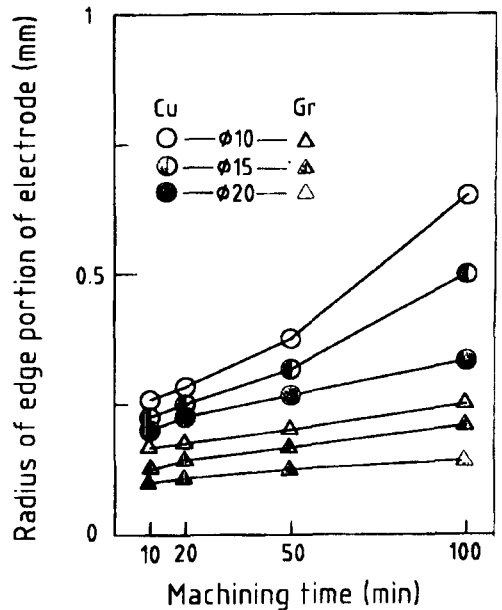


Fig. 6 Relation between machining time and radius of edge portion of electrode

의 조직이 치밀하고 비점이 높아 내열성이 우수하기 때문이라고 생각되며 분해탄화물이 전극면의 오목부위에 많이 침적해 있는 것을 볼 수 있다.

3.2 가공시간에 따른 전극소모

Fig. 5는 방전가공중에 전극 형상의 변화를 고찰하기 위하여 전극의 평면 부분과 가장자리 부분의 소모기구를 나타낸 것이다.

방전이 진행되는 동안 직각인 가장자리 부분이 둥근 형상으로 바뀌게 되고 가공의 진행과 함께 소모로 인한 전극의 길이가 짧아지게 된다.

Fig. 6은 τ_{on} 이 50 μs , I_p 10A로 가공했을 때 가공시간에 대한 가장자리 부분의 반경을 동전극과 흑연전극의 크기별로 나타낸 것이다. 가공시간의 증가에 따라 가장자리부분의 반경은 증가하고 동전극은 흑연전극에 비하여 반경의 증가가 크다. 그것은 위의 방전에너지 조건에서는 동전극의 소모가 흑연전극에 비해 많이 발생함을 알 수 있다. 그리고 전극의 크기에 따른 반경의 차이는 전극의 크기가 클수록 반경의 크기는 감소한다. 이것은 같은 시간동안 방전면적의 넓이차이로 인한 한 점에서

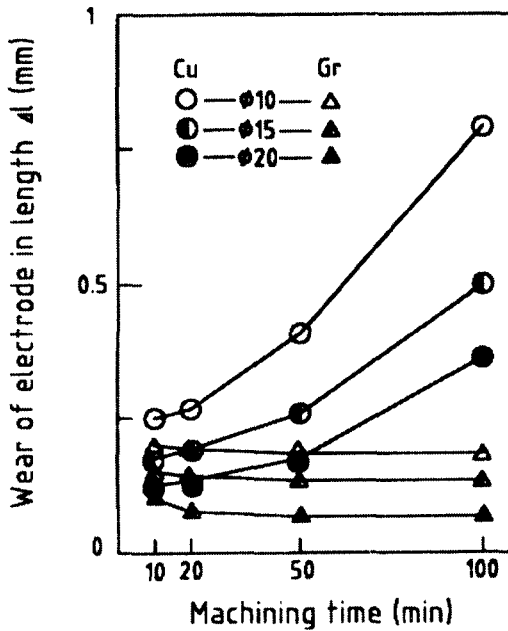


Fig. 7 Relation between machining time and wear of electrode in length

의 방전수가 상대적으로 적기 때문이라고 생각된다. 그리고 전극의 가장자리 부분의 소모는 가공시간이 길어져 전극의 소모가 증가하면 전극의 측면보다는 바닥면 쪽으로의 소모가 증가한다. 즉 바닥면 방향이 긴 타원형을 나타내게 된다. 따라서 각진 부분을 가공할 때 정밀한 치수의 형상을 얻기 위해서는 전극소모를 충분히 예측한 전극의 제작이 필요하다고 생각된다. 특히 $\phi 10$ 의 동전극은 방전 시간이 길어짐에 따라 전극의 가장자리 부분의 소모가 급격히 증가하는데 이것은 각진 부분에서 방전집중이 일어나기 쉬워 둥근 형상으로 변하게 되고 이에 따른 면적의 증가로 가장자리 부분도 바닥면과 같이 방전유발이 일어나기 쉬운 상태가 되기 때문이라고 생각된다.

Fig. 7은 τ_{on} 이 $50 \mu s$, I_p 10A로 가공했을 때 가공시간에 대한 전극의 길이변화를 동전극과 흑연전극의 크기별로 나타낸 것이다.

시간의 증가에 따라 동전극의 소모길이(ΔL)는 증가하는데 비하여 흑연전극의 소모길이는 미세하게 감소한다. 이것은 동전극이 방전의 진행으로 입자의 탈락 때문에 소모가 빨리 진행되는데 비

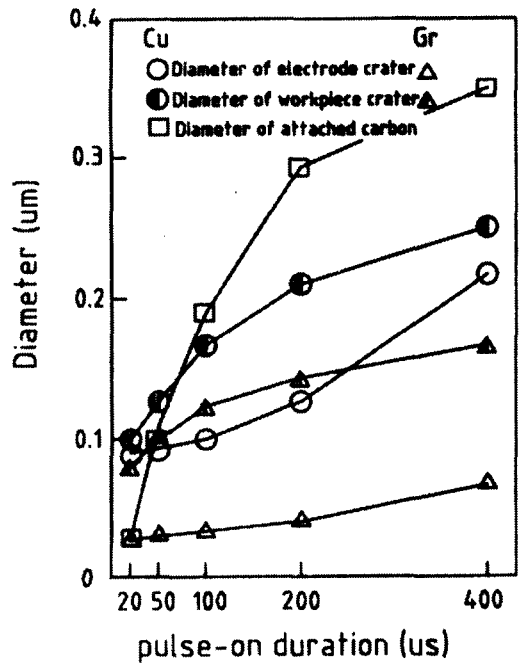


Fig. 8 Relation between pulse-on duration and diameter of attach area and of single discharge crater

하여 흑연전극은 방전액의 분해 탄화물이 가공시간의 증가에 따라 흑연전극과의 친화력으로 많이 달라붙기 때문이라고 생각된다.

그리고 전극의 크기가 증가할수록 전극의 소모도 적다. 이것은 면적의 증가로 방전유발에 의한 원활한 방전과 분해 탄화물의 집착범위가 넓고 한집에서의 방전수가 상대적으로 적기 때문이라고 생각된다.

Fig. 8은 동전극의 방전흔 직경과 분해탄화물의 직경을 방전펄스폭에 따라 나타낸 것이다.

방전흔의 생성에 영향을 미치는 인자는 공작물과 전극재료의 물리적 기계적 성질, 가공액의 물리적 성질과 가공액의 분출 압력 방전에너지의 크기 등이 있다.¹²⁾

전극의 방전흔 직경은 공작물에서의 방전흔직경¹³⁾과 달리 방전펄스폭의 증가에 따라 그 증가폭이 적다.

그러나 분해 탄화물의 직경은 펄스폭의 증가에 따라 크게 증가함을 알 수 있다. 따라서 직경이 큰

분해탄화물이 발생할 수 있는 긴 방전펄스폭에서 전극소모는 적어지고 분해 탄화물과의 친화력이 큰 전극일수록 전극소모는 적다.

4. 결 론

CNC 방전가공기로 금형 제품에서 널리 이용되고 있는 열처리한 STD11을 사용하여 방전펄스폭 및 방전전류과고치를 변화시켜 전극소모를 동전극과 흑연전극을 대상으로 전극의 크기 별로 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전극의 소모 없이 고속가공을 행할 경우 동전극보다 흑연전극을 사용하는 것이 유리하다.
2. 분해 탄화물과의 친화력이 큰 흑연전극은 부(負)의 전극소모비가 존재한다.
3. 가공시간의 증가에 따라 동전극의 소모 길이는 증가하고 흑연전극의 소모길이는 미세하게 감소한다.
4. 동전극은 방전 펄스폭이 클수록 전극소모가 적다.
5. 전극 가장자리부분의 소모는 가공이 시작될 때 현저하게 커진다.

참고문헌

1. M. Nakamura, "EDM of Ceramics", Journal of the JSPE, Vol.57, No.6, pp.959~962, 1991
2. 増澤隆久, "微細放電加工", 日本精密工學會誌, 第57卷, 第6號, pp. 31~35, 1991
3. 増井清徳, 曾根 匠, 出水 敬, "ワイヤ放電加工面の硬さ變化", 日本精密工學會誌, 第57卷, 第1號, pp. 138~143, 1991
4. Y. Suzuki, "Improvement of Surface Roughness in Wire EDM", ISEM-9, pp. 80~88, 1989
5. 國枝正典, "放電加工における放電点分布の觀察", 日本精密工學會誌, 第57卷, 第6號, pp. 941~944, 1991
6. 緒方 勳, 向山芳世, 崔小新, "液中放電面の特性に關する研究", 精密工學會誌, 第56卷, 第12號, pp. 105

~110, 1990

7. K. K. Hon, "An Experimental Study of Built-up Phenomenon in EDM", ISEM-9, pp. 321~324, 1989
8. 増井清徳, 曾根 匠, "放電加工面の性狀と高品位化", 日本精密工學會誌, 第56卷, 第6號, pp. 13~16, 1990
9. 柳濟九, "放電加工", 大光書林, 1988 전언찬(全彦燦)
10. 최재용, 전언찬, 정재현, "방전에너지에 따라 동전극과 흑연전극이 방전가공면에 미치는 영향", 한국정밀공학회지, 제14권, 제5호, pp. 53~59, 1997
11. 김창호, "방전가공", 기전연구사, 1994
12. 井上梁, "放電加工の實際와 應用", 枝多利, 1987
13. 최재용, 김희중, 전언찬, 정재현, "전극의 재료와 크기가 방전가공면에 미치는 영향", 한국박용기관학회지, 제22권, 제6호, pp. 81~87, 1998

저 자 소 개



최재용(崔在鏞)

1963년 4월생. 1985년 충남대학교 기계공학교육과졸업. 1992년 동아대학교 대학원졸업(석사). 현재 한국해양대학교대학원(박사과정) 현재 부산공업고등학교교사.



전언찬(全彦燦)

1955년 12월생. 1979년 동아대학교기계공학과졸업. 1982년 동아대학교 대학원 졸업(석사). 1987년 충남대학교 대학원졸업(박사). 현재 동아대학교 기계공학과 교수



정재현(鄭在鉉)

1954년 7월생. 1997년 한국해양대학교기 관공학과졸업. 1980년 한국해양대학교 대학원졸업(석사). 1987년 일본북해도대학 대학원졸업(박사). 현재 한국해양대학교 교수