論 文 12-4-2

와이어 방전가공에 의한 북현상에 관한 연구

A Study on the Hand drum form of Wire-Cut Electric Discharge Machining

김 원 일* · 이 재 명* · 강 종 표**
Won-il Kim · Jaye-Myeong Lee · Jong-Pyo Kang
(1996년 10월 31일 접수, 1997년 12월 12일 채택)

ABSTRACT

From the experimental study of wire-cut Electric Discharge Machining for alloyed steel and tungsten carbide, the characteristics such as hand drum form has been observed and evaluated for various conditions. Hand drum form can be improved when gap voltage and spark cycle become smaller, their thickness become thinner, wire tension become larger and number of cutting is done so many times. When wire-cut 60mm thickness tungsten carbide in normal condition, Hand drum form becomes larger due to the low conductivity inducing cobalt composite rising by electrolysis.

1. 서 론

방전 가공(Electric discharge machining : E.D.M)은 1943년 소련의 Lazarenko 부부에 의해 금속에 구멍을 뚫는 것이 개발된 이래 산업의 발달과 함께 수요가 급증하는 금형 가공의 필수적인 가공법으로 급속히 발전하고 있다[1~3]. 최근에 이르러 New ceramics를 비롯한 신소재의 개발이 진전됨에 따라 이러한 신소재의 대부분은 경도가 높고, 취약하며, 열적 성질이 특이한 점 등 지금까지의 재료 한계를 초월한 초난삭재료이다[4,5]. 이러한 재료는 종래의 절삭, 연삭과 같은 기계적인 가공 방법으로써는 금형 및 기계부품의 고정밀도 가공이 곤란하다[6]. 따라서 이러한 재료를 가공하기 위해서는 재료 제거의 원리가 기계 가공과 전혀 다른 방전 가공과 같은 특수 가공법을 사용하기에 이르렀으며 적용 가공 재료의 유효 범위나 가공 능률, 고정밀도의

* 경남대학교 기계공학과
** 진주교육대학교 실과교육과

면에서도 급속도로 발전하여 무인화, 자동화에 적응하려 하고 있다[7~9]. 특히 와이어컷(Wire cut) 방전 가공은 공작물과 전극 사이에서 방전 현상(Arc방전)을 일으키며, 이때 발생하는 열 및 압력을 이용하여 공작물을 녹여서 자르게 된다[10]. 와이어 전극과 공작물 사이에는 매초당 수만 내지 수십 만회의 방전현상이 발생하며, 방전부위에 발생하는 열은 수 천도에 이른다. 이 열에 의하여 공작물과 와이어 전극은 국소적으로 용융되어 표면에 방전 흔적이 생기며, 이때 발생되는 칩(Chip)은 노즐에서 분사되는 가공액에 의하여 제거된다[11,12] 본 연구에서는 현재 금형 재료로서 가장 많이 사용되고 있는 합금 공구강 STD-11종과 난삭재료인 초경합금 P-20을 대상으로 방전 극간 전압을 일정하게 유지하여 안정된 가공을 하는 자동 제어 방식을 이용하였으며 최대 방전 전류, 방전 극간 전압, 방전 주기, 와이어 장력, 가공물 두께 등의 인자들이 북현상에 미치는 영향을 고찰함으로써 고정밀도, 고품위의 가공을 할 수 있는 적절한 가공 조건을 찾는 데 목적을 두었다.

2. 관련이론

북현상은 와이어 방전 가공 특유의 현상으로서 가공된 펀치(punch)제품의 중앙부 치수가 작게 되는 것으로 다음과 같은 요인에 의한 것이다.

1) 와이어는 가공중에 상하 가이드에 의해 지지되어 방전에 의한 반발력 때문에 진동함으로 공작물의 중심부의 진폭이 최대로 된다.
2) 가공액은 공작물의 상하에서부터 주어지지만 공작물의 상하부와 중앙부에서는 비저항이 다르다. 공작물의 상하부에 있어서 비저항치는 중앙부의 비저항치보다 높기 때문에 중앙부 쪽이 방전하기가 쉽게 되어 중앙이 오목하게 된다.
3) 공작물의 중앙부에서 배출되는 가공칩에 의하여 2차 방전이 발생되어 북현상이 일어난다.

북현상과 가공 확대 여유에 관해서는 다음과 같다. 가공 확대 여유는 Fig. 1과 같이 방전 개시 간극과 방전시 공작물의 용융 증발이 기계적 압력에 의해 비산하여 확대되는 간극과의 총량이다.

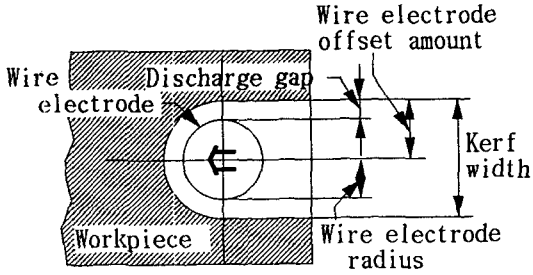

Fig. 1 Discharge gap in wire-cut EDM

그리고 주변의 가공 확대 여유 δ_0는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\delta_0 \propto Ps$$
$$\propto \varepsilon_0^{0.5}$$
$$= K_{\delta_0}(T_{on} \cdot Ip)^{0.5}$$

여기서 ε_0는 방전 에너지이고 Ps는 방전시 발생 압력, K_{δ_0}는 상수, T_{on}은 방전시간, Ip는 최대 방전 전류를 각각 나타낸다. 한편 가공 확대 여유와 가공 깊이와의 관계를 고려하면 측면 가공 확대 여유는 가공의 진행에 따라 방전 간극에서 배출되는 가공칩에 의한 2차 방전에 의해 확대된다.

측면 가공 확대 여유를 δ라고 하면 전극 전입 깊이 x와의 함수로서 다음과 같이 표시된다.

$$\delta = \delta_0(1+\exp\frac{-\alpha}{x})$$
$$= K_{\delta_0}(T_{on} \cdot Ip)^{0.3}(1+\exp\frac{-\alpha}{x})$$

여기서 α는 확대 계수이다.

3. 실험기기 및 방법

3.1 실험기기 및 장치

본 실험에서 사용한 와이어컷 방전 가공기는 일본 BROTHER(주)의 HS-350기종이며, 개략적 구조는 Fig. 2와 같다. 주요 규격은 가공 범위 160×260 mm, 최대 테이블 이송 속도 300 mm/min, 와이어 전극 이송 속도 20~120 mm/sec, 사용 와이어 전극의 지름은 0.1~0.3 mm이며,

가공 전원은 트랜지스터 펄스회로 방식으로 최대 방전 전류 Ip는 7.3~200 A 사이의 10단계로 되어 있으며 최대 극간 전압 목표치 Vg는 40~80 V이다.

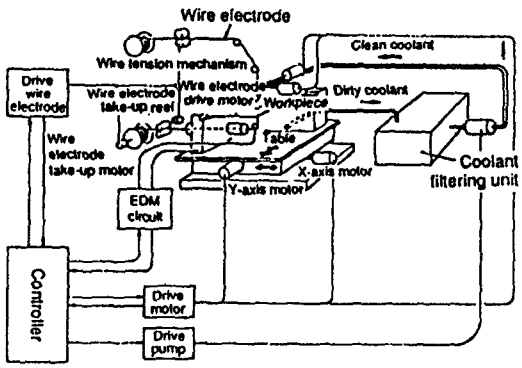

Fig. 2 Schematic structure of machine

3.2 실험 재료

본 실험에 사용된 재료는 두께 20 mm, 40 mm, 60 mm의 합금공구강(STD-11)과 초경합금(P-20)을 가로, 세로 각각 100 mm의 정방형으로 가공하였으며, 이의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

Table 1 Chemical composition and mechanical roperties of alloyed steel (STD-11)

Chemical composition(%)					
C	Si	Mn	P	S	Ni
1.49	0.22	0.28	0.24	0.017	0.14
Cr	Mo	V	Mechanical pro.		
11.49	0.88	0.26	Hardness(H_B) : 223		

또한, 본 실험에 사용된 와이어 전극은 지름 0.25㎜의 황동선 2종으로 이의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 3에 나타내었다.

3.3 실험방법

와이어 공급 속도와 장력을 각각 70 mm/sec, 480 gf로 고정하였고, 가공액은 물을 사용하여 공작물의 상하 노즐로부터 각각 2 l/min의 유량으로 분사하였으며, 전기 전도도는 45 ms/cm로 고정하고 수온은 28±1℃를 유지하였다. 무부하 전압 V는 85V로 고정하였으며, 최대 방전 전류

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of tungsten carbide (P-20)

Chemical composition (%)				
Co	TiC	TaC	TiCN	WC
9	19	9	5	58
Mechanical properties				
Rockwell hardness (H_{RA})				92.5
Bending Strength (kgf/mm^2)				240
Compressive strength (kgf/mm^2)				480
Young's Modulus (kgf/mm^2)				54.0
Thermal expression coefficient ($\times 10^{-6}$/℃)				6.0
Heat conductivity (cal/cm℃sec)				0.08

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of wire electrode

Chemical composition (%)				
Cu	Zn	Pn	Sn	Fe
63.04	38.86	0.03	0.02	0.03
Mechanical properties				
Tensile strength (kgf/mm^2)				100
Elongation (%)				2

Ip는 에너지 입력 단계에 따라 42~134 A, 방전 극간 전압 목표치 Vg는 55~75 V 범위로 설정하여 자동 제어 방식으로 가공하였다.

본 실험에서는 방전 극간 전압 Vg, 최대 방전 전류 Ip, 방전 시간 Ton, 와이어 장력, 가공물 두께 등의 가공조 건이 북현상의 가공 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

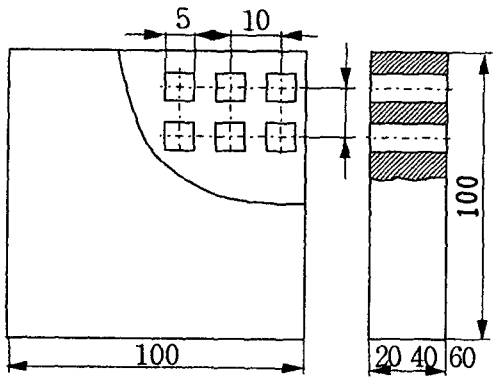

Fig. 3 Dimensions of workpiece

시험편의 가공은 20 mm, 40 mm, 60 mm의 합

금 공구강과 초경합금을 Fig. 3과 같이 가로, 세로 각각 5 mm의 정방향으로 가공하였다. 치수 측정은 1 μm까지 측정 가능한 버니어 마이크로미터를 이용하여 상중하 3개 부분의 치수를 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

방전가공에 있어서 북현상(Hand drum form)의 발생 원인은 일반적으로 와이어의 진동 모드에 의한 것이라고 생각된다. 보통의 가공에서는 피가공물 표면의 상하로 가공액을 분출하기 때문에 극간의 중간부분이 방전에 의해 이온화되므로 비저항이 적게 되어 그 결과 북모양의 현상이 발생하는 것이라고 생각한다. 북현상의 정도는 Fig. 4에 나타낸 펀치에서 X의 값을 측정함에 있어서 상부와 중간부의 치수의 차 즉 A-B의 값으로 나타내었다[13].

Fig. 4 Square column (punch)

Fig. 5는 방전 극간 전압의 변화에 따른 북현상의 치수 차이를 나타낸 것으로 방전 극간 전압이 낮을 수록 북현상이 작게 생기고, 합금 공구강 보다 초경합금이 훨씬 작게 일어남을 알 수 있다.

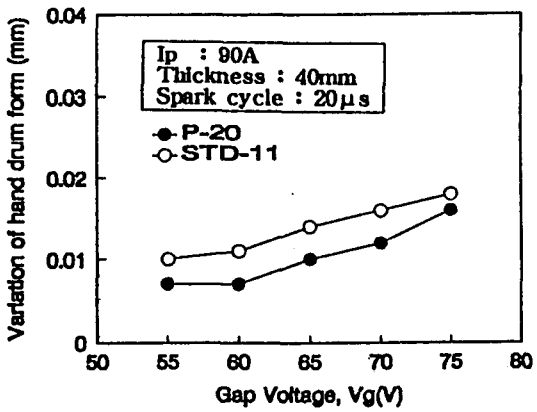

Fig. 5 Relationships between hand drum form and gap voltage

Fig. 6은 두께에 따른 북현상으로 두께가 두꺼워 질수록 span의 거리가 멀어져 와이어의 진동이 더 심해지고 가공물의 중간부분에서 2차방전이 일어나 북현상이 현저히 증가하는 것으로 생각된다. 두께 20 mm, 40 mm에서는 합금공구강의 북현상이 크게 발생하였으나 두께 60 mm에서는 역으로 초경합금의 북현상이 크게 발생하였다. 이것은 초경합금을 보통의 조건 즉, 전도도를 높게 하면 전해 작용에 의해 탄화 텅스텐의 결합재인 코발트가 용출되며 이 때문에 주성분인 탄화 텅스텐이 탈락되어 북현상이 현저하게 발생되는 것이라고 생각된다. 그러므로 이들 작용을 방지하기 위해서는 전도도를 낮게 설정해서 전해 작용의 영향을 작게 하여야 할 것이다.

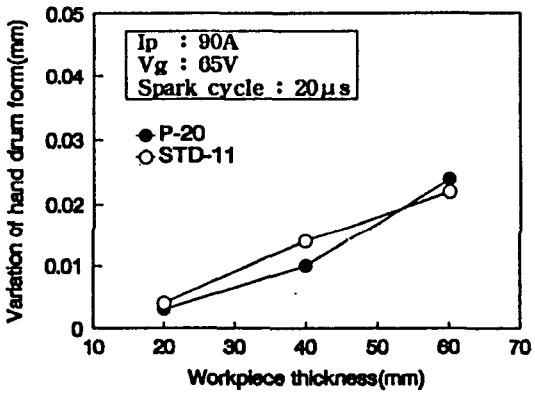

Fig. 6 Relationships between hand drum form and workpiece thickness

Fig. 7은 피가공물 두께별 방전 주기의 변화에 따른 북현상의 관계를 나타낸 것으로 방전 휴지 시간의 값이 작아질수록 즉, 방전 에너지가 커짐에 따라 북현상이 작게 발생하는 경향이나 방전주기 10 μs에서는 급격히 북현상이 커지는 것을 볼 수 있다. 이것은 방전 에너지가 커짐에 따라 집중 방전현상이 발생하기 때문이라고 생각된다. 피가공물의 두께가 작을수록 북현상은 현저하게 작아짐도 알 수 있고, 두께 20 mm의 합금 공구강이나 초경합금은 북현상의 변화가 극히 미세함을 알 수 있다.

Fig. 8은 와이어의 장력에 따른 북현상의 변화를 나타낸 것으로, 와이어 장력이 약할 수록

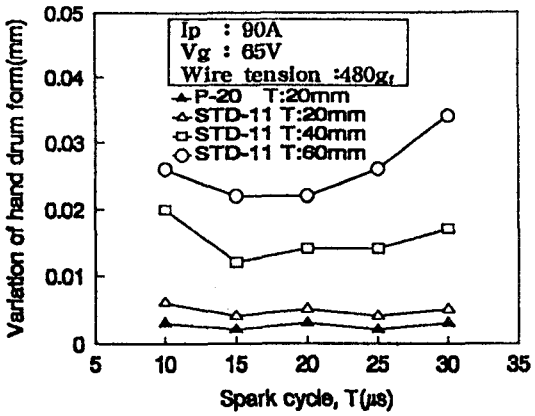

Fig. 7 Relationships between hand drum form and spark cycle

북현상이 커진다. 이것은 와이어의 떨림에 의하여 진폭이 커지기 때문이다. 장력이 증가할수록 북현상은 작아지나 와이어가 단선되기 쉬워진다. 북현상을 줄이기 위한 2차가공의 가공 조건을 나타낸 것이 Table 4이다.

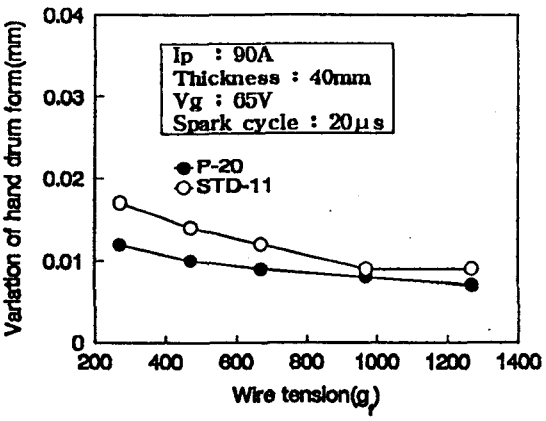

Fig. 8 Relationships between hand drum form and wire tension

Fig. 9는 가공 횟수에 따른 북현상의 상태를 나타낸 것으로 2차 가공시 북현상이 급격히 줄어들었으나 3차 가공에서는 약간 줄어들었으며 4차 가공에서는 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 와이어컷 방전가공에 있어서 가공 능률을 향상시키기 위해서는 요구하는 정밀도와 형상치수에 만족하는 범위내에서 2차가공으로 최종 마무리 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

Table 4 Cutting conditions

No. of cutting / conditions	1	2	3	4
Cutting speed (mm/min)	0.55	0.2	0.2	0.15
Peak discharge Current (A)	90	14	14	13
Spark Cycle (μ s)	15	15	15	20
Wire speed (mm/min)	75	75	75	100
Wire tension (g_f)	480	970	970	970
Flushing top/bottom (l/min)	2./2	1./1	1./1	1./1
Offset (mm)	.2	.162	.142	.136
Water conductivity (ms/cm)	45			
Workpiece	STD-11			
Workpiece thickness (mm)	40			
Work temperature (℃)	28			

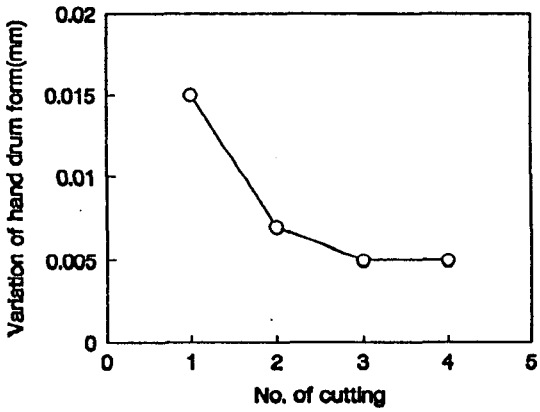

Fig. 9 Relationships between hand drum form and No. of cutting

5. 결 론

와이어컷 방전 가공에서 합금공구강과 초경합금을 대상으로 여러 가지 방전 인자가 북현상에 미치는 영향을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 북현상은 방전 극간 전압과 방전 주기가 작고, 두께가 얇고, 와이어 장력이 크며, 가공 횟수를 많이 할수록 줄어든다.
2) 두께 60 mm의 초경합금을 보통의 조건으로 가공하면 전해 작용에 의해 결합재인 코발트가 용출되어 주성분인 탄화 텅스텐이 탈락되어 북현상이 커지므로 전도도를 낮게 하여야

한다.

3) 방전 주기 10μs에서는 방전 에너지의 증가에 따라 집중 방전 현상이 생겨 북현상이 급격히 증가함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1) 柳濟九, "放電加工", 大光書林, pp. 1~129, 1989.

2) 金昌浩, "放電加工", 機電研究社, pp. 47~98, 1992.

3) ソテイツタ, 金子雄二, "放電加工の新制御技術", 機械技術, Vol. 20, No. 3, pp. 54~59, 1993.

4) 山梨大學, 向山芳世, "放電加工の最新技術と現狀", 機械技術, Vol. 20, No. 3, pp. 18~22, 1993.

5) 西部電機, 清水絃一, "放電加工機を重心したFMS構築と應用", 機械技術, Vol. 20, No. 3, pp. 48~54, 1993.

6) ワシノエンヅニアリング, 大關秀明, "ワイヤ放電加工の高精密化 技術", 機械技術 Vol. 20, No. 3, pp. 60~64, 1993.

7) 野田容德, "放電加工機の自動化・精密工學會誌, No. 6, pp. 40~44, 1991.

8) 增井淸德, 曺根 匠, "放電加工面の性狀と高品位化", 精密工學會誌, No. 6, pp. 13~16, 1991.

9) 日立精工株式會社, 菅原 敏, "ワイヤ放電加工機による高精度加工", プレス技術, 第22卷, 第7號, pp. 64~68, 1984.

10) Brother Industries, LTD, "Wire E.D.M HS-350 Instruction Manual", pp. 9~24, 1989.

11) Brother Industries, LTD, "Technical Manual for Service Engineer, HS-300", pp. 33~52, 1990.

12) Tadao Tsutsui, "Study on the Electric Discharge Grinding(2nd Report)", —on the electric Discharge Power—, 精密機械, Vol. 30, No. 3, pp. 259~265, 1964.

13) D.F. Dauw, B.M. Schumacher, "Milestones of Worldwide EDM Research Artivities", Proc. ISEM-9, 250, 1989.