

<논 문> SAE NO. 96370011

와이어컷 방전에 의한 합금공구강과 초경합금의 가공특성

A Study on the Characteristics of Wire-Cut Electric Discharge Machining of Alloyed Tool Steel and Tungsten Carbide

이 재 명,* 허 성 중,** 김 원 일***
J. M. Lee, S. J. Heo, W. I. Kim

ABSTRACT

From the experimental study of wire-cut Electric Discharge Machining of alloyed tool steel and tungsten carbide, the characteristics such as cutting speed, surface roughness has been observed and evaluated for various conditions.

Cutting speed is improved as peak discharge current and wire tension become increased, and gap voltage and spark cycle decreased. Surface roughness can be better when peak discharge current and gap voltage become smaller, or spark cycle and wire tension become larger. Secondary cut is recommended to obtain high precision and good quality.

주요기술용어 : wire-cut electric discharge machining(와이어 컷 방전가공), peak discharge current (최대방전전류), gap voltage(방전극간전압), spark cycle(방전주기), wire tension(와이어장력)

1. 서 론

최근에 이르러 금형 및 기계부품에 사용이 증가하고 있는 초경합금, 합금공구강 등은 대부분이 경도가 높고, 취약하며, 열적 성질이 특이한 점 등, 일반 강재의 재료 한계응 초월한 난삭재료이다^{1),2)}. 따라서 종래의 절·연삭과 같은 기계

적인 가공방법으로는 고정밀도 가공에 어려움이 많으므로 재료 제거의 원리가 기계가공과 전혀 다른 방전가공과 같은 특수가공법을 사용하기에 이르렀으며 적용 가공재료의 유효범위나 가공능률, 고정밀도의 면에서도 급속도로 발전하여 무인화, 자동화에 적응하려 하고 있다^{3),4)}.

특히 와이어 컷 방전가공(Wire-Cut Electric Discharge Machining : WEDM, 이하 WEDM)은 공작물과 전극 사이에서 방전현상(Arc방전)을 일으키며, 이때 발생하는 열 및 압력을 이용하여 공작물을 녹여서 자르게 된다⁵⁾.

* 경남대학교 대학원 기계공학과

** 두원공업전문대학 기계과

*** 정희원, 경남대학교 공과대학 기계공학과

와이어 전극과 공작물 사이에는 매초당 수만 내지 수십만회의 방전현상이 발생하며, 방전부위에 발생하는 열은 수 천 도에 이른다. 이 열에 의하여 공작물과 와이어 전극은 국소적으로 용융되어 표면에 방전흔이 생기며, 이때 발생하는 칩(Chip)은 노즐에서 분사되는 가공액에 의하여 제거된다^{6),7)}.

여기서, 와이어 전극의 소모는 고려하지 않아도 되기 때문에 가공특성으로서는 가공속도 및 다듬질면 거칠기가 중요해진다. WEDM에서는 트랜지스터 제어불입 콘덴서 방전 방식이 사용되지만 콘덴서의 용량을 크게 하면 가공속도가 빨라진다. 그러나 동시에 다듬질면이 거칠어진다. 이러한 것은 형조각 방전가공과 마찬가지로이다. 또 가공속도가 극간극에 흘리는 가공전류에 비례하는(즉 전류의 피크 값이 클수록, 방전정지 시간이 짧을 수록 가공속도는 커진다) 것도 형조 방전가공의 경우와 같지만, WEDM에서는 이 밖에 가공속도에 영향을 미치는 여러 가지 요인이 있다.

WEDM에서는 와이어 전극의 장력도 가공속도에 영향을 미친다. 즉 와이어 장력이 크면 진동폭이 작아져서 가공 흠폭이 좁아지고, 그만큼 전진방향의 가공이 많아지기 때문에 가공속도가 커진다. 그러나 장력이 너무 크면 와이어의 단선이 일어나기 쉬워진다⁸⁾.

따라서, 본 연구에서는 현재 단조 금형의 케이스와 팁, IC 리이드 프레임용 재료로서 주로 사용되고 있는 합금공구강 STD-11종과 초경합금 P-20을 대상으로 방전극간전압을 일정하게 유지하여 안정된 가공을 하는 자동제어방식을 이용하여 최대방전전류, 방전극간전압, 방전주기, 와이어장력, 가공물두께등의 인자들이 가공속도, 가공면거칠기 등의 가공특성에 미치는 영향을 고찰함으로써 고능률, 고정밀도, 고품위의 가공을 할 수 있는 적절한 가공조건을 찾는데 목적을 두었다.

2. 관련이론

2.1 방전에너지와 가공속도

방전가공의 메카니즘⁹⁾이란 실제 방전가공에서

가공의 제 특성인 가공속도, 가공면거칠기 등의 제 요소를 정량적으로 파악함으로써, 목적으로 하는 가공조건을 선정하여 가공에 이용하는 것을 말한다.

일반적으로 방전간극에서의 방전전류와 방전전압의 파형을 도시한 것이 Fig.1과 같다.

방전간극에 있어서 단일펄스방전의 전압, 전류의 시간변화 특성은 다음 식으로 표시된다¹⁰⁾.

$$\epsilon_0 = \int_0^{T_{on}} V(t) I(t) dt \quad (1)$$

여기서 ϵ_0 : 방전에너지(J), T_{on} : 방전시간(μ s), $V(t)$: 방전극전압(V), $I(t)$: 방전전류(A)이다.

방전에너지 ϵ_0 는 다시 다음과 같이 표시된다.

$$\epsilon_0 \approx V_g \cdot T_{on} \cdot I_p \quad (2)$$

여기서 V_g : 최대방전전류시의 방전극간전압(V), I_p : 최대방전전류(A)이며, 방전전압이 일정하다고 할 때 위 식은 다음과 같다.

$$\epsilon_0 \propto T_{on} \cdot I_p \quad (3)$$

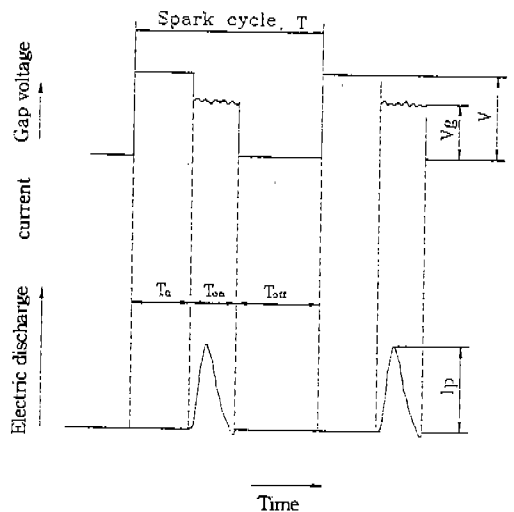


Fig.1 Wave forms of discharge current and gap voltage

가공 속도에 대해서는 우선 가공량이 전제가 된다. 단발의 방전에너지에 의해 생기는 방전흔의 체적이 단일펄스방전에 의한 가공량이다. 따라서, 이론적으로 방전에너지와 단일펄스방전에 의한 가공량 ω_0 와는 비례하므로 다음과 같이 표시된다¹¹⁾.

$$\omega_0 \propto \epsilon_0 \quad (4)$$

식 (3)을 식 (4)에 대입하면 가공량 ω_0 (g/pluse)는

$$\omega_0 = K\omega_0 \cdot T_{on} \cdot I_p \quad (5)$$

여기서 $K\omega_0$: 상수이다.

윗 식은 방전전류와 가공량이 비례관계에 있으므로 방전극간전압 V_g 가 일정하다고 보면 상수로 추정할 수 있다. 같은 방법으로 단위시간당 추정에 의한 평균가공속도를 ω_{oc} 로 하면

$$\omega_{oc} = K\omega_0 \cdot T_{on} \cdot I_p \cdot f \quad (6)$$

이 식에서 방전주파수 f 는

$$f = \frac{1}{T_{on} + T_{off} + T_n} \quad (7)$$

이며 여기서, T_{off} : 방전휴지시간(μs), T_{on} : 전압이 인가되어서 부터 방전 개시까지의 시간(μs)이다.

2.2 가공면거칠기와 충격계수

연속반복방전에 의해 가공할 때의 여러가지 특성 즉 가공속도, 가공면거칠기 등을 각각 식 (3)에 의하여 방전에너지의 함수로 표시할 수 있다. 방전흔은 주로 재질적인 차이 및 물리적 성질의 차이에 따라 영향을 받게된다. 그 영향을 없애기 위해 동일한 재질을 사용했을 경우 방전에너지와 방전흔의 관계를 살펴본다. 방전흔은 방전에너지에 의해 용융된 금속이 방전시에 생기는 기계적 압력에 의해 비산되어 형성되는 것이므로 방전흔

의 형상은 방전시에 발생하는 압력에 관계되며 다음과 같이 표시할 수 있다¹²⁾.

$$P_s = \rho \cdot c_s \cdot V_p \quad (10)$$

여기서 P_s : 방전시의 발생압력(dyne/cm²), ρ : 밀도(g/cm³), c_s : 압력파의 속도(cm/s), v_p : 입자속도(cm/s)이다.

따라서 압력의 단위면적당 에너지는

$$\epsilon_0 = K \int_0^{T_{on}} \frac{P_s^2}{\rho c_s} dt \quad (11)$$

이며, 여기서 K : 상수이다.

이것에 의해 공급에너지와 발생압력은

$$P_s \propto \epsilon_0^{0.5} \quad (12)$$

그리고 방전흔의 직경 D_0 (cm)와 방전에너지와의 관계는

$$D_0 \propto \epsilon_0^{0.5} \propto (T_{on} \cdot I_p)^{0.5} \quad (13)$$

가공면거칠기와 방전에너지의 관계

$$R_{a0} = K_{\delta_0} \cdot T_{on}^{0.5} \cdot I_p^{0.5} \quad (14)$$

가 되면 여기서, R_{a0} : 이론적으로 측정된 가공면 거칠기($\mu m R_{max}$), K_{δ_0} : 상수이다.

Fig.1에서 가공특성은 전기적 조건에 의해 지배되어 주로 전류의 최대치, 방전전류의 시간폭에 의해 결정 되어진다. 동일한 가공특성의 경우에는 휴지시간의 장단에 따라 가공 능률이 변화 된다.

방전시간 T_{on} , 무부하 전압인가시간 T_n , 방전 휴지시간 T_{off} 에 대한 관계는 방전과 휴지에 의한 1사이클 중에 방전전류가 흘러서 가공에 기여하고 있는 시간비율을 충격계수(Duty factor) D 라 하며 다음과 같이 나타낸다.

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off} + T_n} \quad (15)$$

3. 실험기기 및 방법

3.1 실험기기 및 장치

본 실험에서 사용한 와이어컷 방전가공기는 Fig.2와 같은 일본 BROTHER(주)의 HS-350 기종으로서 주요규격은 가공범위 160×260mm, 최대 테이블 이송속도 300mm/min, 와이어전극 이송속도 20~120mm/sec, 사용 와이어전극의 지름은 0.1~0.3mm이며, 가공전원은 트랜지스터 펄스회로 방식으로 최대방전전류 I_p 는 7.3~200A 사이의 10단계로 되어있으며 최대극간전압 목표치 V_g 는 40~80V이다.

가공면거칠기의 측정은 Fig.3와 같은 Mitutyo사의 Surftester 501을 사용하였다.

3.2 실험 재료

본 실험에 사용된 재료는 두께 20mm, 40mm, 60mm의 합금공구강(STD-11)과 초경합금(P-20)을 가로, 세로 각각 100mm의 정방향으로 가공하였으며, 이의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1, 2, 3에 각각 나타내었다.

또한, 본 실험에 사용된 와이어 전극은 지름 0.25mm의 황동선 2종으로 이의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 4에 나타내었다.

3.3 실험방법

와이어 공급속도와 장력을 각각 70mm/sec, 480g로 고정하였고, 가공액은 물을 사용하여 공작물의 상하 노즐로부터 각각 2 l/min의 유량으로 분사 하였으며 전기전도도는 45ms/cm로 고정하고 수온은 $28 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 무부하 전압 V 는 85V로 고정하였으며 최대 방전전류 I_p 는 에너지 입력 단계에 따라 42~134A, 방전 극간전압 목표치 V_g 는 55~75V 범위로 설정하여 자동제어방식으로 가공하였다.

본 실험에서는 방전극간전압 V_g , 최대방전전류 I_p , 방전시간 T_m , 와이어장력, 가공물두께등의 가공조건이 가공속도, 가공면거칠기 등의 가공특성에 미치는 영향을 연구하였다.

시험편의 가공은 20mm, 40mm, 60mm의 합금공구강과 초경합금을 Fig.4과 같이 가로, 세로 각각 5mm의 정방향으로 가공하였다. 치수 측정은 1 μm 까지 측정 가능한 버니어마이크로미터를 이용하여 상중하 3개 부분의 치수를 측정하였다.



Fig.2 Overall view of WEDM(HS-350) and experimental apparatus

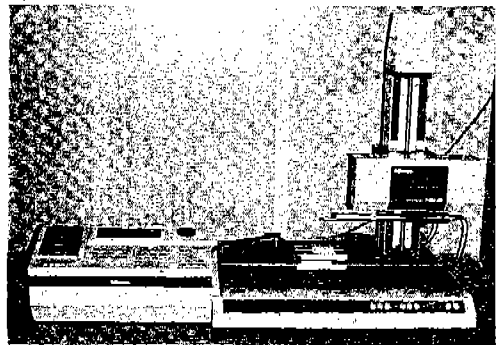


Fig.3 Overall view of surface roughness measurement equipment(Surftester 501)

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

Chemical composition (%)									Mechanical properties
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Hardness(H _B)
1.49	0.22	0.28	0.24	0.017	0.14	11.49	0.88	0.26	223

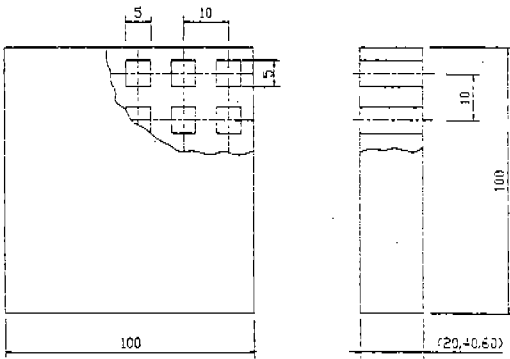


Fig.4 Dimensions of workpiece

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

(%)				
Co	TiC	TaC	TiCN	WC
9	19	9	5	58

Table 3 Mechanical properties of tungsten carbide(P-20)

Rockwel hardness(H _{RA})	92.5
Bending strength(kgf/mm ²)	240
Compressive strength(kgf/mm ²)	480
Young's modulus(kgf/mm ²)	54,000
Thermal expansion coefficient (×10 ⁻⁶ /°C)	6.0
Heat conductivity (cal/cm·°C/sec)	0.08

Table 4 Chemical composition and mechanical properties of wire electrode

Chemical composition (%)					Mechanical properties	
Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Tensile strength (kgf/cm ²)	Elongation (%)
63.04	36.86	0.03	0.02	0.03	100	2

가공면거칠기는 임의의 3개 부분의 Rmax값을 측정하여 평균치를 나타내었다. 방전주기의 측정은 Storage Oscilloscope를 이용하여 10 μ s, 20 μ s, 30 μ s의 단계를 각각 10회씩 plotting하여 평균치를 계산함으로써 충격계수와 주파수를 나타내었다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 방전 인자가 가공속도에 미치는 영향

와이어컷 방전가공에서의 가공속도는 요구하는 정도를 만족시키면 가공속도가 빠를 수록 좋은 것으로서 가공능률을 결정하는 가장 중요한 특성이다. 최근에는 방전가공기의 최대 난점인 가공능률을 향상시킨 고능률의 방전가공기가 등장하고 있다. 식 (6)에서 가공속도는 최대방전 전류, 방전시간 및 방전주파수에는 비례하며 방전주기와는 반비례함을 알 수 있다. 그러므로 방전에너지를 크게 함으로써 가공속도 향상에 크게 영향을 미칠 수 있다. 그러나 방전에너지가 크게 되면 와이어의 단선의 원인이 되므로 적절한 전기적 조건을 선택할 필요가 있다.

가공속도는 일반적으로 단위시간당 가공량으로 표시하는 방법과 단위 시간당 가공길이를 표시하는 방법이 있으나 본 실험에서는 일정한 두께의 판재를 소재로 사용하였기 때문에 후자의 단위시간당 길이로 표시하였다⁷⁾.

Fig.5는 합금공구강과 초경합금의 두께별 최대방전전류의 변화에 따른 가공속도를 나타낸 것이다. 최대방전전류가 커짐에 따라, 또한 피가공물의 두께가 두꺼울수록 진행방향 폭의 가공면적이 크게 되고 면적효과가 유효하게 작용하여 면적 가공속도가 향상됨을 알 수 있다.

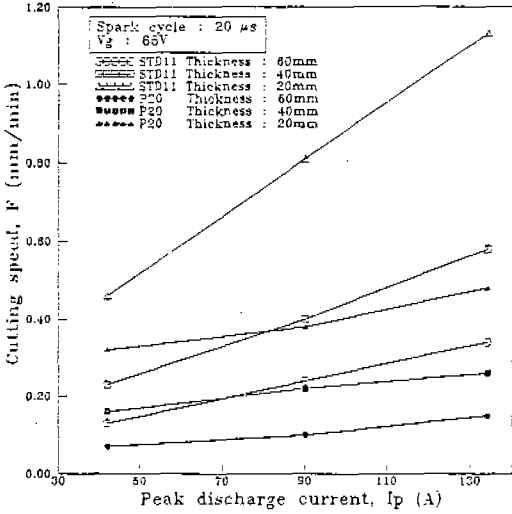


Fig.5 Relationships between cutting speed and peak discharge current under various workpiece thicknesses

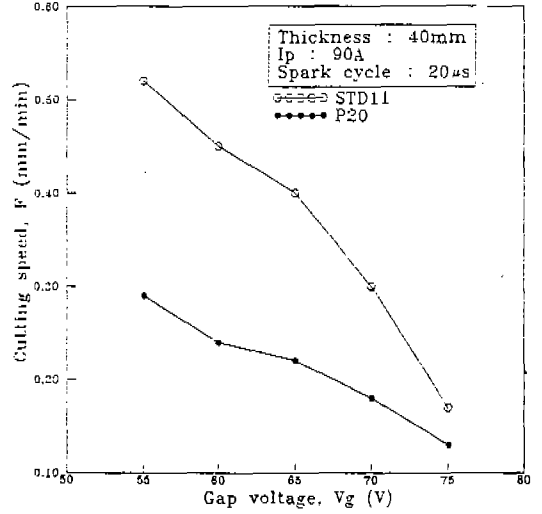


Fig.6 Relationships between cutting speed and gap voltage

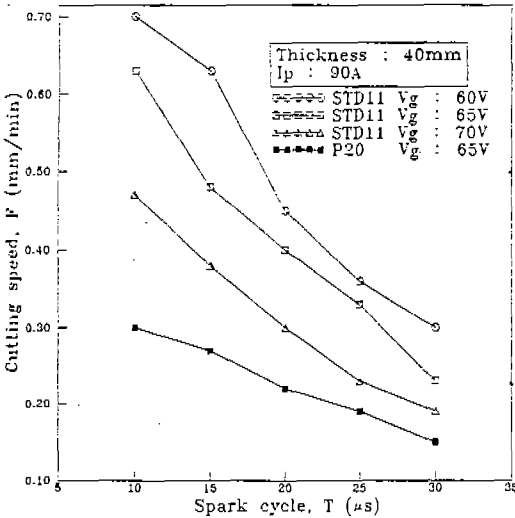


Fig.7 Relationships between cutting speed and spark cycle under various gap voltages

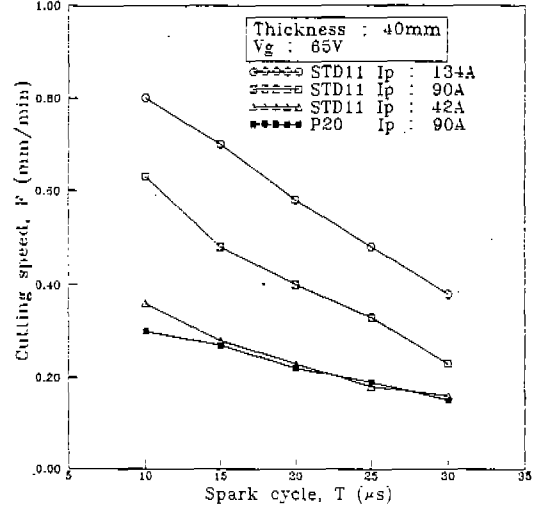


Fig.8 Relationships between cutting speed and spark cycle under various peak discharge currents

합금공구강과 초경합금에 있어서 두께가 같은 경우끼리 최대방전전류가 증가할수록 가공속도의 차이가 현저하게 커짐을 알 수 있다. 이것은 초경합금에 있어서 보통의 가공조건으로 가공할 경우 방전에너지가 커짐에 따라 전해작용이 일어

나 불안정된 조건이 되므로 초경합금의 가공속도는 완만하게 향상되는 것으로 생각된다.

Fig.6은 두께 40mm의 합금공구강과 초경합금의 방전극간전압의 변화에 따른 가공속도의 변화를 나타낸 것으로 방전극간전압의 값이 작아질수

록 가공속도가 향상되지만 본 실험에서 행한 방전극간전압 목표치 55~75V 가운데 55V 이하에서는 합금공구강, 초경합금 모두 방전이 불안정하여 변동이 심하고 단선되는 경우가 더러 있었으므로 가공능률을 극대화 하기 위해서는 60V전도에서의 가공이 가장 적당한 것을 알 수 있다.

Fig.7과 8은 방전극간전압과 최대방전전류의 변화에 따른 방전주기와 가공속도와의 관계를 나타낸 것이다. 최대방전전류의 증가와 방전극간전압의 감소가 방전에너지가 향상을 가져와 가공속도가 거의 직선적으로 향상됨을 알 수 있다.

방전주기의 변화는 방전휴지시간의 변화값으로 수치가 작아질수록 방전이 일어나는 시간이 길어지므로 방전에너지가 커짐으로써 가공속도도 비례하여 커짐을 알 수 있다. 본 실험의 조건에서는 방전주기 10 μ s이하에서 방전에너지가 커지면서 같은 장소에 방전이 여러번 반복해서 발생하는 집중방전이 생기고 와이어 단선이 발생되기 쉽게 때문에 15 μ s~20 μ s정도에서의 가공이 능률적이다.

Fig.9는 본 실험에 사용한 와이어컷 방전가공기의 방전주기의 변화를 Storage Oscilloscope (Textronix 2230, 100MHz)를 이용하여 관찰한 것으로 10 μ s, 20 μ s, 30 μ s의 상태를 나타내었으며, 그림으로 부터 충격계수와 주파수를 계산한 것이 Table 5이다.

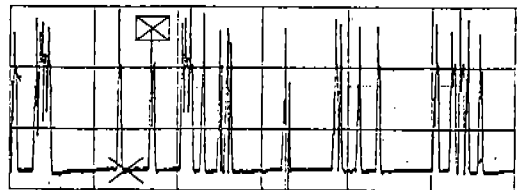
그림에서 \boxtimes , x, +는 계측기 상의 주기 신호를 나타낸다.

Table 5에서는 보는 바와 같이 방전주기 T의 증가($\Delta T=0.236$ ms)에 따라 주파수($\Delta f=8.20$ V)가 반비례 관계를 작아짐을 알 수 있으며, 일반적으로 방전시간 T_{on} 이 변화하지 않는 것으로 취급하였으나 본 실험에서 관찰한 바에 의하면 방전휴지시간 T_{off} 의 증가와 함께 방전시간 T_{on} 도 증가함을 알았다.

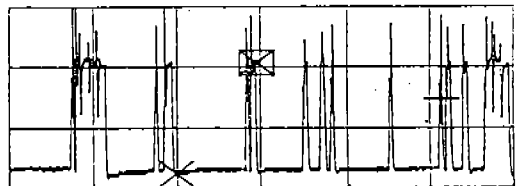
Fig.10은 와이어의 장력에 따른 가공속도의 변화를 나타낸 것으로 장력이 커질수록 가공속도가 미세하게 향상된다. 초경합금은 합금공구강보다 미치는 영향이 더욱 미세함을 알 수 있다.

실험을 행하는 가운데, 장력 1,270g에서는 더

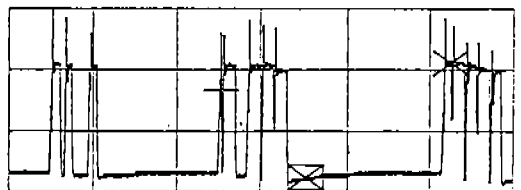
러 단선이 일어나는 등, 불안정한 상태가 되었으며 가공속도도 다소 떨어지므로 480~970g 범위에서 가공하는 것이 양호함을 알 수 있다. 이것은 강성이 거의 없는 와이어를 전극으로 사용하는 관계상 와이어 장력이 약할수록 와이어 진동의 진폭이 크게 되고 단락의 발생이 많아 가공이 일정하지 않으며, 와이어 장력을 강하게 할수록 가공속도는 향상된다는 것을 나타낸다. 왜냐하면 와이어 장력이 강하면 와이어 진동의 진폭이 작게 되므로 가공되는 홈폭이 좁게 되어 그



(a) Spark cycle T : 10 μ s



(b) Spark cycle T : 20 μ s



(c) Spark cycle T : 30 μ s

Fig.9 General wave form of spark cycle

Table 5 Calculation of duty factor and frequency

Spark cycle (μ s)	Duty factor (%)	Frequency (Hz)
10	38	15,000
20	30	7,500
30	28	5,000

만큼 전진방향으로의 가공이 증가하기 때문이다. 그러므로 실제 현장에서서의 가공에서 와이어 장력이 지나치게 강하게 되면 와이어가 끊어지기 쉽다는 것을 염두해 두어야 할 것이다.

4.2 방전 인자가 가공면거칠기에 미치는 영향

방전가공에서 공급된 전기에너지는 전극과 공작물과의 사이의 좁은 간극에서 소모되어 양극에 방전흔을 생기게 한다. 가공면 위에 발생하는 방전흔의 집적이 가공면거칠기이다. 방전가공 그 자체가 기하학적으로 정돈된 면이 아니고 매우 불규칙한 면이기 때문에 보통 가공면거칠기는 $\mu m R_{max}$ 로 표시하고 있다. 방전가공에 있어서의 가공면거칠기는 $1\mu m R_{max}$ 이하의 다듬질면 부터 초벌가공에서는 $30\mu m R_{max}$ 이상의 면도 있다. 실제에서는 $10\sim 40\mu m R_{max}$ 정도의 범위가 가공능률의 면으로 생각하여 가장 많이 사용되는 범위이다⁸⁾.

Fig.11은 최대방전전류와 가공면거칠기 R_{max} 의 관계를 나타낸 것으로 최대방전전류의 증가에 따라 합금공구강은 급격히 가공면이 거칠어졌으며 초경합금은 합금공구강에 비하여 매우 완만하게 거칠어지는 경향이였다.

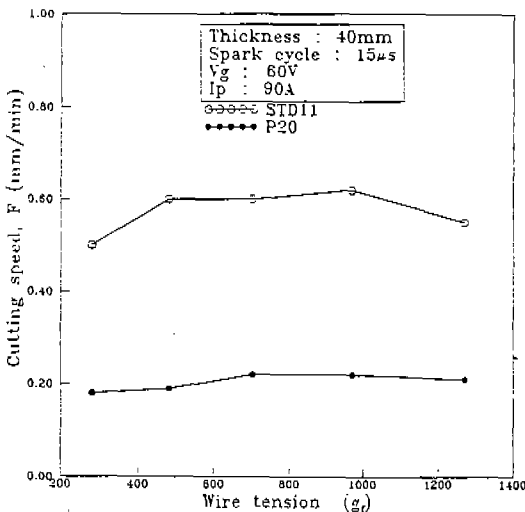


Fig.10 Relationships between cutting speed and wire tension

Fig.12는 방전극간전압과 가공면거칠기의 관계를 나타낸 것으로 합금공구강과 초경합금 모두 방전극간전압의 증가에 따라 완만하게 가공면이 거칠어 졌다.

Fig.13은 방전주기와 가공면거칠기의 관계를 나타낸 것으로 방전주기는 가공면거칠기에 미치는 영향이 미세하지만 방전주기가 길어질수록 가공면거칠기가 좋아지는 경향이였으며 이는 방전주기의 증가가 방전에너지의 감소, 즉 가공속도의 감소를 가져오기 때문으로 생각된다.

Fig.14는 와이어장력과 가공면거칠기의 관계를 나타낸 것으로 합금공구강은 와이어장력이 증가함에 따라 가공면거칠기가 미세하게 향상되고 초경합금은 합금공구강보다 다소 더 향상되고 있으나 와이어장력이 280g되는 부분에서는 급격히 거칠어 지고 있다. 이것은 보통의 가공조건으로 초경합금을 가공할 경우, 와이어장력이 너무 느슨함에 따라 진동이 심해지고, 전해작용에 의해서 불안정한 가공이 이루어지기 때문이라고 여겨진다.

Fig.15는 Table 5의 가공조건으로 가공을 하여 가공횟수에 따른 가공면거칠기의 상태를 나탄 것으로 2차, 3차, 4차가공을 함으로써 현저하게

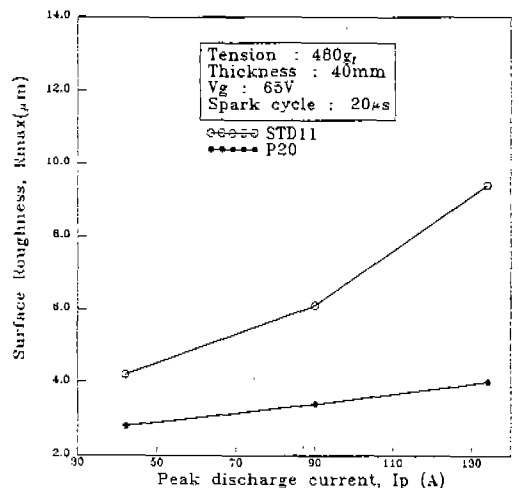


Fig.11 Relationships between surface roughness and peak discharge current

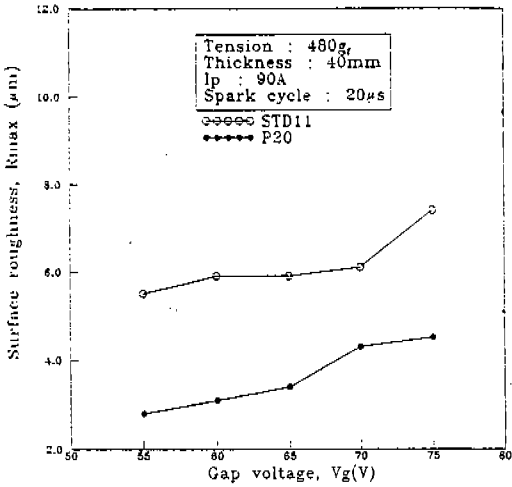


Fig. 12 Relationships between surface roughness and gap voltage

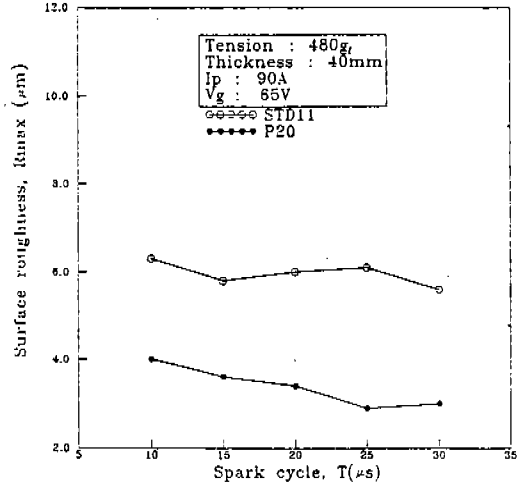


Fig. 13 Relationships between surface roughness and spark cycle

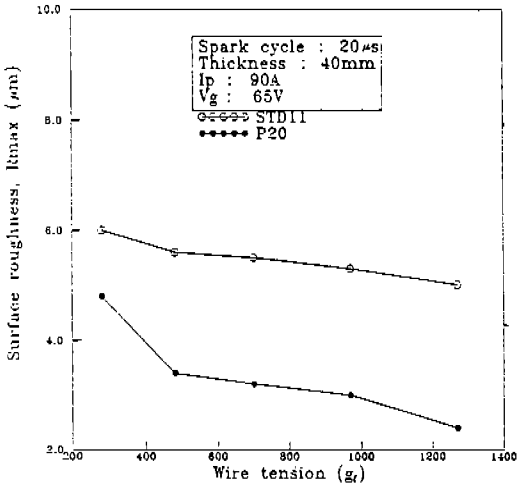


Fig. 14 Relationships between surface roughness and wire tension

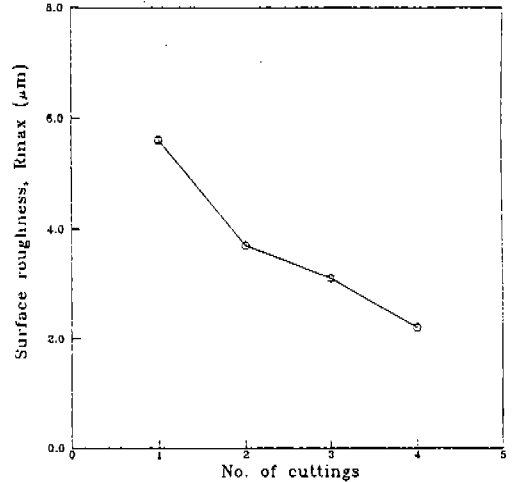


Fig. 15 Relationships between surface roughness and No. of cuttings

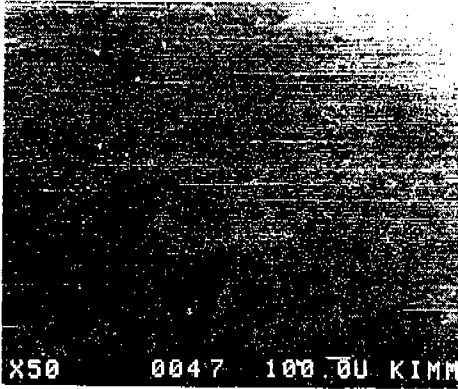
가공면거칠기가 향상됨을 알 수 있다. 양호한 가공면을 얻기 위해서는 방전에너지를 작게, 가공속도를 느리게, 와이어장력을 강하게, 가공액의 유량을 작게, 가공깊이를 미세하게 된다.

Fig.16에서 (a)는 연삭가공한 면이고 (b), (c)는 와이어컷 방전가공으로 가공한 공작물의 단면을 비교한 것으로 가공면거칠기는 각각 $0.3 \mu m R_{max}$, $5.0 \mu m R_{max}$, $2.4 \mu m R_{max}$ 이며 방전가

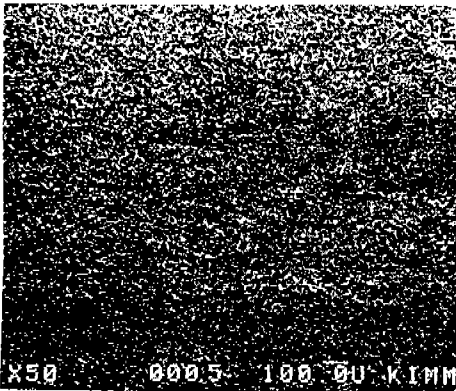
공의 단면은 방향성이 없고 용융되면서 생긴 크레이터임을 알 수 있다.

5. 결 론

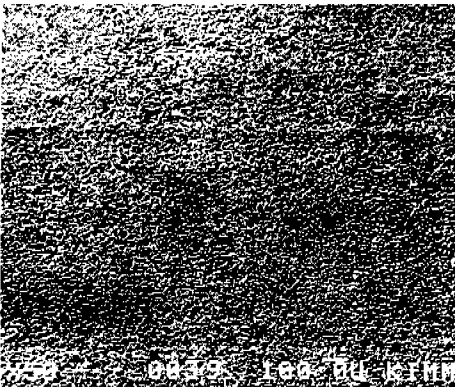
와이어컷 방전가공에서 합금공구강과 초경합금을 대상으로 여러가지 방전 인자가 가공속도, 부현상, 가공확대여유, 가공면거칠기등에 미치는



(a) Machined surface by grinding
($0.3\mu\text{m Rmax}$)



(b) Machined surface by WEDM
($2.4\mu\text{m Rmax}$)



(c) Machined surface by WEDM
($5.0\mu\text{m Rmax}$)

Fig.16 SEM photographs of machined surface by surface grinding and WEDM

영향을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 가공속도는 최대방전전류와 와이어장력이 크고, 방전극간전압과 방전주기가 작을수록 향상됨을 확인하였다.
- 2) 와이어의 장력이 커질수록 가공속도가 미세하게나마 향상되며, 합금공구강에 비해 초경합금에 미치는 영향이 더욱 작다.
- 3) 가공면거칠기는 최대방전전류와 방전극간전압이 작고, 방전주기와 와이어장력이 클수록 양호해 지며 합금공구강에 비해 초경합금 더 양호해 진다.
- 4) 고정밀도, 고품위의 가공을 위해서는 가공횟수를 늘이는 2차가공이 꼭 필요하며 가공액의 유량은 작게, 가공깊이를 미세하게 한다.

참 고 문 헌

1. 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.
2. (株)技術情報編輯部, “難削材の切削加工技術”, 1989, pp.36~39, (株)技術情報
3. シノエンジニアリング, 大關秀明, “ワイヤ放電加工の高精密度化 技術”, 機械技術 Vol.20 No.3, pp.60~64, 1993.
4. 田容徳, “放電加工機の自動化・無人化”, 精密工學會誌, 6, pp.13~16, 1991.
5. 増井清徳, 曹根 匠, “放電加工面の性狀と高品位化”, 精密工學會誌, 6, pp.13~16, 1991.
6. 立精工株式會社, 菅員 敏: 特殊加工, pp.37~39, プレス技術 第22卷 第7號, pp.64~68, 1984
7. Brother Industries, LTD, “Wire E.D.M HS-350 Instruction Manual”, 1989, pp.9~24
8. 佐藤敏一 著, 林泳顯 譯, 放電加工の實際と應用, pp.37~38, 1993, 機電研究社
9. Brother Industries, LTD, “Technical Manual for Service Engineer”, HS-300, pp.33

- ~52, 1990.
10. Nagao SAITO, "Recent Electrical Discharge Machining Techniques in Japan", Bull. Japan Soc. of Prec. Engg., Vol.18, No.2m pp.110~116, 1984.
 11. 姜相勳, 朴元祚, 裴成漢, "CAD/CAM Wire 放電加工의 加工擴大餘裕에 關한 研究", 大韓機械學會論文集, 第17卷 第2號, pp.380~384, 1993.
 12. Philip T. Eudank, "Theoretical Model of the Electrical Discharge Machining process", J. Appl. phys. 66 (9), pp.4095~4103, 1989.
 13. 圖書出版技多利編輯部: 放電加工의 實際와 應用, pp.7~103, 1990, 圖書出版技多利
 14. D. F. Dauw and B. M. Schumacher, "Milestones of Worldwide EMD Research Activities", Proc. ISEM-9, 250, 1989.