

초경합금의 와이어방전가공 가공성 및 표면특성

김창호*, J. P. Kruth**

Machinability and Surface Characteristics of Sintered Carbides in W-EDM

Chang HO Kim*, J. P. Kruth**

ABSTRACT

This work analyses the effects of electrical conductivities of dielectric and cobalt amount on output parameters such as metal removal rate and the surface roughness value of cemented carbides cut by wire electrical discharge machining (W-EDM). Especially, the cracking behaviour of W-EDM machined surface and optimal machining condition of three kinds of cemented carbides, which have different chemical composition of tungsten carbide and cobalt are also tested. Experimental result shows that increases in cobalt content and electrical conductivity of the dielectric affect the metal removal rate and substantially worsen the final surface quality as a greater quantity of solidified metal deposits on the eroded surface.

Key Words : Cemented carbide(초경합금), Cobalt(코발트), Dielectric(방전액), Electrical conductivity(전기전도율), Metal removal rate(방전가공속도), Wire electrical discharge machining(와이어 방전가공)

1. 서론

초경합금은 분말형태의 텅스텐 카바이드(tungsten carbide: WC 혹은 탄화 텅스텐)와 소량의 결합제를 첨가하여 고온에서 소결시킨 합금으로서 WC는 텅스텐 분말과 카본블랙을 혼합하여 수소분위기에서 침탄처리하여 만든다. WC입자들은 주로 6-20%의 코발트에 의해 고정, 결합되며 니켈이나 철을 결합제로 쓰기도 한다. 코발트함량에 따라 초경합금의 경도나 인성 등 물리적 성질이 좌우되는데, 코발트함량이 많을수록 경도가 낮고 인성은 높게 된다. 초경합금은 경도와 내마모성 등 기계적 성질이 다른 금속에 비해 뛰어나므로 내마모 및 내열

성재료인 절삭공구용 소재로 주로 사용된다. 또 내충격 및 높은 강성이 요구되는 압출, 단조 등의 소성가공용 금형과 IC 리드프레임, 모터코어 등의 프레스금형 등을 중심으로 보급되고 있으며 또 1미크론 이하의 초미립자 소재의 개발로 물리적성질이 개선되었다. 그러나 기계적 가공방법으로는 가공이 불가능한 난삭성 재료이므로 연삭이나 전기적 에너지를 이용한 새로운 가공법의 하나인 방전가공이 폭넓게 사용되고 있다.⁽¹⁾

방전가공은 전극과 공작물 사이에 수십~수백볼트의 전압을 인가한 후 그 간격이 수십 미크론 이하로 작아지면 이 극간에 형성된 전기장에 의해 방전현상이 발생하고, 방전전류가 흐르면 순간적으로 발생한 3,000~10,000℃ 정도의 높은 열로 금속의 일

* 삼성전기(주) 금형팀

** Catholic Univ. of Leuven, Belgium

부는 용융된다. 고열에 의해 금속 주변의 가공액은 급격한 기화 팽창하여 폭발하면 용해된 금속은 미세한 구슬모양으로 비산하여 방전액은 급격한 기화 팽창하여 폭발하면 용해된 금속은 미세한 구슬모양으로 비산하여 방전액 안으로 확산되고 주변의 방전액에 의해 고온의 금속표면은 급냉되면서 소둔된다. 그리고 초당 수십회 이상의 연속적 방전작업에 의해 한 부위에 방전이 겹치게 되면서 표면은 급열 급냉에 의해 잔류응력, 공동현상(void) 및 균열(crack)이 발생하는 등 금속조직학적 변화가 일어나 모재(base metal)와는 달리 매우 복잡한 성상을 갖고 있다.⁽²⁾

초경합금의 방전가공에 대해, Kruth등⁽³⁾은 방전 펄스폭을 변화시켰을 때 전극의 마모율, 방전속도 및 공작물의 표면에 존재하는 미세크랙을, Lenz등⁽⁴⁾은 단발방전시 표면에 형성된 분화구를 통하여 분화구의 반경의 크기에 대한 온도 및 열응력분포간의 관계를 연구하였다. Houvelman⁽⁵⁾은 무부하전압, 방전전류 등의 전기조건의 변화가 방전가공된 표면에 발생하는 크랙의 형태, 방향 등 균열특성에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 초경합금 중의 코발트함량이 많고 인성이 높은 소재일수록 크랙의 깊이가 얇고 가공속도가 떨어지지만 전극소모는 증가하였다.⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾

2. 초경합금의 와이어방전가공

와이어방전가공은 전극인 와이어(ϕ 0.03~0.3 mm)에 장력을 준 상태에서 와이어를 공급하면 공작물과 전극사이에 발생하는 방전에너지로 2차원의 윤곽형상을 가공하는 것이다.

와이어방전가공은 정삭가공 여유량을 감안하여 황삭가공(rough cut)을 한 후 읍셋량을 변화시켜가면서 요구정도에 따라 2~8회의 정삭가공(finish cut)을 통하여 최종치수까지 가공하는 방식이다.

와이어방전가공의 가공액은 일반적으로 이온교환수지를 통하여 수중의 이온을 제거한 탈이온화수(deionized water) 즉 순수(純水)를 사용한다. 순수는 전기가 잘 통하지 않지만 이 순수중에 전해질이 포함되면 그것이 전류를 흐르게 하는 매체로 되고 그 양에 따라 전기전도율(傳導率) 혹은 비저항치에 변화가 나타난다.

물의 절연성을 표시하는 척도로 가공액에 흐르

는 미약한 전류치를 측정하여 비저항치(Ωcm) 혹은 전도율($\mu S/cm$, $1 \mu S/cm = 10^6 \Omega cm$)로 표시한다. 와이어방전가공에서 사용되는 전도율의 범위는 일반적으로 10~100 $\mu S/cm$ 정도이며 가공성능(가공속도,면조도 등)에 영향을 미치기 때문에 공작물의 재질과 두께에 따라 적당한 값을 선정하여 제어하여야 한다.

초경합금은 텅스텐(W), 티타늄(Ti), 탈륨(Ta), 바나듐(V), 몰리브덴(Mo) 등의 분말을 코발트, 니켈 등의 결합제로 소결시켜 제조하기 때문에 열에너지에 의해 이온화경향이 높은 코발트는 Co^{2+} ion으로서 선택적으로 수중에 용출되어 크랙 혹은 전해전류에 의한 부식이 발생하고 결합체인 코발트를 잃은 표면은 WC입자를 유지, 고정할 수 없게되어 경도가 저하되므로 내마모성이 나쁘고 이렇게 만든 금형은 그 금형수명이 짧아진다.⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾

이러한 전해작용을 방지하기 위하여 무전해전원의 전원장치가 개발되어 열영향층 및 크랙의 발생의 억제가 가능하여 정밀도와 금형수명이 향상되었고 방청효과도 뛰어나 합금강 혹은 알루미늄합금 혹은 티타늄합금 등의 W-EDM에 유효하다.⁽¹²⁾⁻⁽¹⁴⁾ 또 방전액인 순수를 대신하여 등유를 사용한 기계가 이용되고 있다.^(15,16)

본 연구는 코발트의 함유량이 다른 초경합금을 작업 매뉴얼상의 방전가공조건을 이용하여 와이어방전가공하였을 때 코발트함량 및 방전액의 전기전도율의 변화가 방전가공속도, 표면조도에 미치는 영향을 조사하였다. 또, 방전 전후의 전극표면을 비교함으로써 전극의 재사용 가능여부를 판단하였다. 방전시 발생한 가공분의 크기 및 성분을 조사하여 방전액내의 전극의 용융여부와 방전액을 여과하기 위한 필터의 메시(mesh)의 크기를 파악하였으며, 소재표면에 발생한 열영향층과 균열을 없애기 위해 적합한 방전가공조건과 방전횟수를 얻는데 그 목적이 있다.

3. 실험방법 및 장치

3.1 실험기계

본 실험에 사용된 와이어방전가공기는 스위스 Charmilles사의 Robofil 2000기종이며 와이어 이송속도는 60 mm/sec, 와이어 장력은 900 gf로 고정하

Table 1 Chemical Composition and Mechanical Properties of Sintered Carbides

Items Carbide	Chemical composition			Mechanical properties			
	Co (%)	TiC+TaC (%)	WC (%)	Compressive strength (N/mm ²)	Modulus of strength (KN/mm ²)	Thermal expansion (μm/m°C)	Vickers hardness (Applied force, 30kg)
GT 10	6	-	94	5,400	630	5.5	1,550
GT 20	12	3	85	4,500	580	5.9	1,300
GT 30	15	3	82	4,100	540	6.5	1,200

였고 와이어 전극은 직경 0.25 mm의 황동소재(Cu: 65%, Zn: 35%)로 4μm의 아연도금된 와이어(독일 Bedra사)를 사용하였다.

3.2 실험 방법

1) 실험용 시편

코발트의 함유량이 각각 6, 12, 15%인 3종류의 초경합금(Widia Co. 독일)을 사용하였으며 가공하는 폭과 두께가 5*10mm이다. Table 1은 본 실험에 사용된 각 시편의 화학적 성분 및 기계적 성질이 다.

2) 가공의 분류

Operating manual상의 황삭, 정삭조건을 선택하여 먼저 황삭가공(rough cut)한 시편을 다수 준비한 다음 정삭가공(finish cut)을 1차씩 추가하여 4차까지 차수별로 가공하였으며 매 실험마다 방전액은 전기전도율이 5, 10, 15, 20 μS/cm인 4종류의 탈이온화수를 사용하였다.

3) 방전가공분의 채취

방전가공할 때 가공분(加工粉:debris)이 비산되는 방전액을 비이커에 담아 oven에서 48시간 건조시킨 뒤 컵바닥에 잔류한 가공분을 채취하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 표면조도 및 특성

와이어 방전가공한 후 각 시편들을 공구현미경, 주사식전자현미경 (JSM-6300, JEOL사) 및 표면조

도측정기 (Tallysurf-120L)를 통하여 금속표면의 조직과 표면조도 등 표면특성을 조사하였다. 표면조도는 간격1.25μm, cutoff 길이 0.8mm 기준의 중심선 평균거칠기(Ra)로 나타내었다.

1) 방전가공 차수별 표면조도

Fig.1은 3종류의 소재를 황삭과 정삭가공을 1차씩 추가하여 가공하는 방식으로 차수별로 1-4차까지 방전가공하였을 때의 표면조도의 변화를 보여주는 것으로, 3소재 모두 황삭에서 정삭으로 진행될수록 면조도가 개선됨을 볼 수 있다. 그러나 동일한 조건하에서는 코발트량이 많을수록 표면조도가 거칠었으며 4회 이상 가공부터 코발트 량의 변화에 대한 면조도의 차이는 거의 없었다.

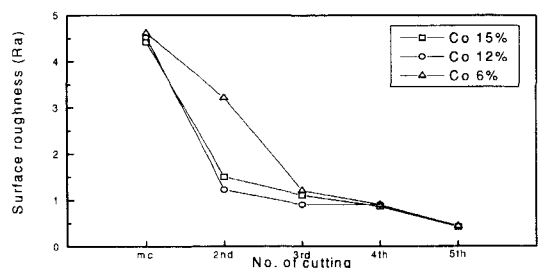
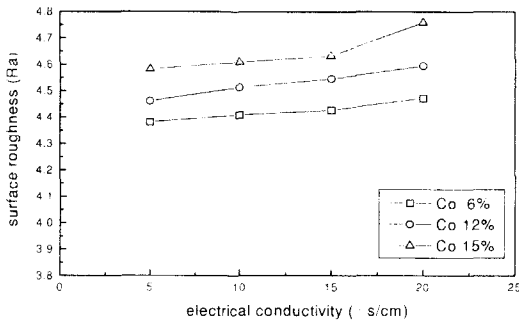


Fig.1 Surface Roughness for the Different Machining Operations

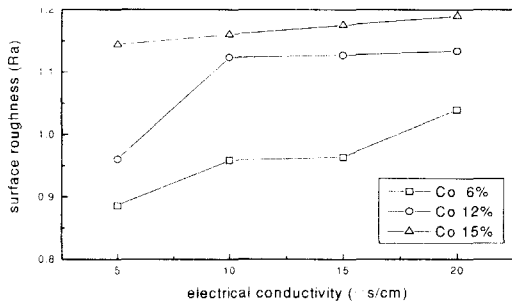
2) 코발트 함량과 표면조도

Fig. 2의 (a) 및 (b)는 Fig. 1과 동일한 조건하에서 황삭가공, 4차의 정삭가공한 뒤의 표면조도로서 (a), (b)의 두 경우 모두 코발트함량이 높을수록 표면조도는 거칠게 되었다. 이것은 코발트함량이 많은 소재일수록 순간적으로 유동적인 많은 양의 코

받트가 표면으로부터 이탈하고 WC의 입자만이 남게 되어 생긴 현상이라고 생각된다. 이와 같이 코발트의 이탈에 따라 WC입자들의 결합시키는 힘이 약화되므로 압축강도 등 기계적 성질이 떨어진다.



(a) Rough Cut



(b) Finish Cut

Fig. 2 Cobalt Content and Surface Roughness

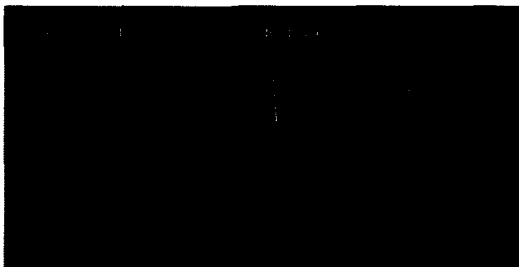
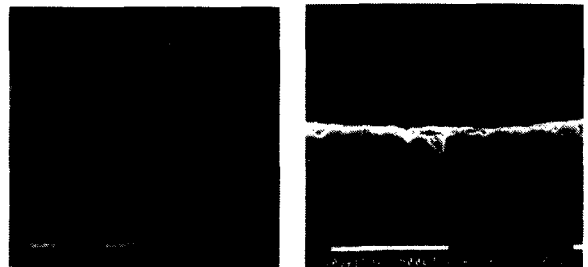


Fig. 3 Surface Characteristic by Rough Cut

3) 표면특성

Fig. 3은 코발트 12%의 소재를 황삭 방전가공하였을 때의 단면으로서 표면이 용융되거나 미세균열이 생긴 것을 볼 수 있다. 맨위층에 2~6 μ m의 WC

과 코발트가 함께 용융되어 혼합된 영역(cemented area : molten mixture of WC +Co :)이 있으며 그 아래에 결합제인 코발트가 용출되어 작은 반점 형태의 부식 (pit) 및 균열이 발생한 영역 (eroded area : cobalt depleted area, 6~15 μ m)과 열영향을 받지않은 순수한 모재 (intact area)의 3단계의 층으로 구분할 수 있다.



(a) Rough Cut

(b) finish cut

Fig. 4 Metallographic Section of Eroded Surface by Rough and Finish Cut

Fig. 4(a), (b)는 코발트 10%의 소재를 각각 황삭 가공, 황삭가공 + 4차의 정삭가공을 실시한 단면이다. Fig. 4(a)에서 알 수 있듯이 균열들은 일반적으로 가공단면에 대해 수직방향으로 진행하였으나 수직으로 시작하다가 가공단면과 평행하거나 임의의 방향으로 진행하는 균열들도 있었다. 코발트의 함량이 증가할수록 균열의 숫자가 감소하였으며 Fig. 4(b)와 같이 4차의 정삭가공 후 표면에 WC와 코발트가 용융된 혼합영역이 1~2 μ m정도 존재하나 균열은 제거되었다.

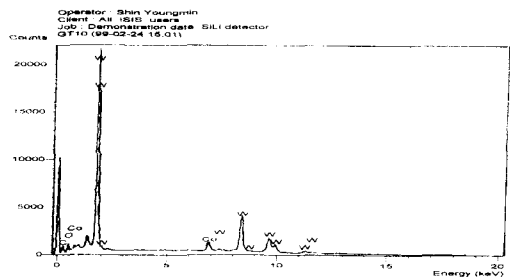


Fig. 5 X-ray Diffraction Pattern Obtained from W-EDMed Surface

Fig. 5는 GT-10(코발트 6%)의 황삭 방전가공에 의해 형성된 공작물의 표면을 EDS (Energy Dispersive Spectrometer)로 분석한 결과로서 코발트 6.69%, Cu 2.18%, W 91.13%로 나타났다. Cu가 검출된 것은 방전시 용해된 wire전극의 일부가 표면에 부착된 것이다. 표면에 잔류한 이 Cu는 표면강도를 떨어뜨릴 수 있으므로 연마, 래핑 등에 의하여 제거되어야 한다.

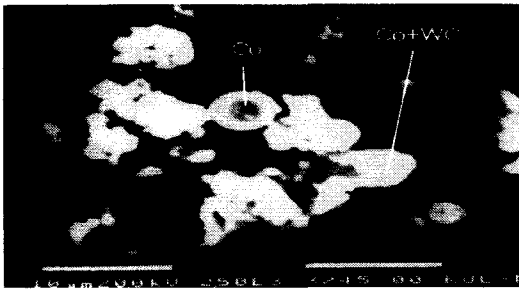
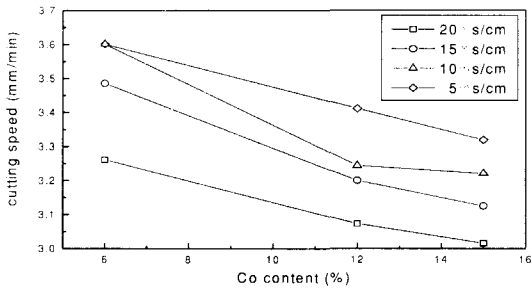
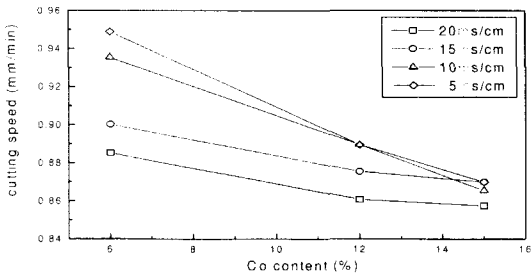


Fig. 6 SEM Photograph for Debris in W-EDM



(a) Rough Cut



(b) Finish Cut

Fig. 7 Electrical Conductivity and Cutting Speed

4.2 가공분 (debris)

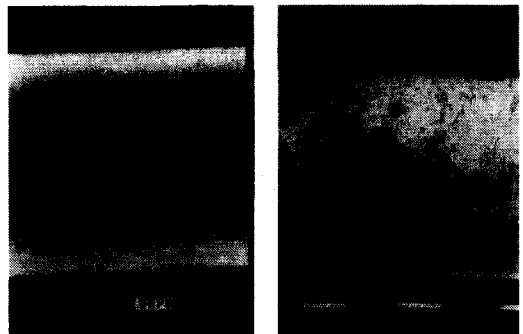
Fig. 6은 코발트 12%인 초경합금 소재의 방전가공분(debris)으로서 EDS 분석결과 WC, 코발트가 주로 검출되었으며 그 외에 Cu, Zn 등이 검출되었는데 이것은 방전할 때 용융된 와이어 전극의 일부가 방전액 속으로 비산되었기 때문이라 생각된다.

가공분의 크기는 1~10 μ m의 다양한 분포를 이루고 있으므로 방전가공기 filter의 적절한 mesh 선정은 효과적인 여과에 중요한 영향을 미칠 것이다.

4.3 방전 가공속도

Fig. 7은 전기전도율의 변화에 따라 공작물을 황삭가공(a)과 황삭+정삭4차가공(b)으로 각각 방전가공할 때의 방전가공속도(mm/min)를 측정된 결과이다. 코발트함량이 높을수록 가공속도가 감소하였는데 이것은 코발트 조성비의 증가에 따라 금속의 표면에 일률적인 방전전류의 흐름이 어려우므로 방전하기가 어렵게되기 때문이다. 또 가공이 진행되면서 방전에 의해 발생하는 가공분말의 양이 증가하여 방전액의 전도율을 증가시킨다. 따라서 전극과 공작물간의 단위면적당 전해질의 양이 많아지게 되므로 방전간격이 좁아지고 방전에 직접 제공되는 전류가 많기 때문에 방전가공속도가 감소하였다.

Fig. 8의 (a), (b)는 방전 전후의 와이어 전극으로서 (b)에서는 표면의 일부가 용융된 것을 볼 수 있다. 이와 같이공작물과 마주 대하는 부분은 방전시 발생한 높은 열에 의해 용융되어 방전액 속으로 흘러들어 가거나 일부는 표면에서 재응고된다.



(a) New

(b) Used (X 230)

Fig. 8 Wire Electrodes in W-EDM

5. 결 론

(1) 코발트의 함량이 높을수록 방전속도가 떨어진다. 이것은 용융된 코발트의 일부가 공작물의 표면에 부착하여 와이어의 진행을 저해하기 때문이라고 생각한다.

(2) 전도율이 낮을수록 전극과 공작물간의 방전간격이 좁아지기 때문에 방전가공속도가 증가하였다. 그러나 전도율을 낮게 유지하기 위해선 새 이온교환수지로 자주 교환해야 하므로 방전효율이 떨어진다. 방전이 진행될수록 전극사이에 존재하는 전해질이 많아져 전도율이 높아지게 되고 방전에 직접 제공되는 전류가 감소되므로 방전속도가 떨어진다. 방전액의 전해부식에 의한 손상을 피하기 위해서는 암모니아의 성분없이 $5 \sim 10 \mu S/cm$ 의 전도율을 유지하는 것이 좋다.

(3) 텅스텐카바이드 이외에 티타늄카바이드나 탈륨카바이드(TiC, TaC)등이 혼합된 초경합금을 방전가공하였을 때, 이러한 원소들이 방전가공속도 및 표면조도 등 방전가공 특성에 큰 영향을 미치지 않는다고 하였다.

(4) 황삭방전 가공표면의 변질층은 취성이 크고 균열이 있으므로 소재가 응력을 받으면 균열이 점차 발전하여 파손을 일으킬 위험이 크다. 따라서 방전가공한 금형의 수명을 늘리고 정밀성형을 위해선 동일한 목적으로 방전가공 옵션량을 달리한 4-5회의 정삭가공을 추가하거나 래핑(lapping), 연마제 유동성형(extrude-honing)을 통하여 변질층을 제거해야 한다. 초경합금의 W-EDM 가공 시, 표면에 발생하는 크랙을 방지하기 위해서는 낮은 코발트함량, 초미립자의 WC분말, 내부 기공을 줄이기 위한 열간균형압축(hot isostatic pressing : HIP) 등이 요구된다.

참고문헌

1. ASM, "Cemented Carbides," Metals Handbook, Vol. 2, 10th edition, pp. 950- 977.
2. 김창호, "방전가공," 기진연구소, 1992.
3. H. Cornelissen, R. Snoeys and J. P. Kruth, "Investigation on the Optimal Machining Conditions for Electro-Discharge Machining of Cemented Carbides," 5th North American Metalworking Research Conference (NAMRC-V), pp. 258-263,

- May, 1977.
4. L. Lenz, L. Katz, W. König and R. Werthem, "Cracking Behaviour of Sintered Carbides during EDM," Annals of the CIRP, Vol.24, pp. 109-114, 1975.
5. C. J. Heuvelman, "Summary Report on the CIRP Research on Spark-Erosion Machining of Cemented Carbides (Die-Sinking)," Annals of the CIRP, Vol. 29, No. 2, pp. 541- 544, 1980.
6. Houman Lief, "EDM Surfaces-Persistent Problem of Measurement," Carbide and Tool Journal, Sep.-Oct., pp. 24-35, 1982.
7. E. Mosher, L. Peterson and R. Skold, "The Chemical Control of Cobalt Leaching from Cemented Carbide Tooling," Material Performance 10, pp. 38-41, 1986.
8. 谷村, "超硬合金の放電加工," フレス技術, 第23卷, 第7號, pp. 61-61, 1985.
9. G. N. Levy and R. Werthem, "EDM Machining of Sintered Carbide Compacting Dies," Annals of the CIRP, Vol. 37, No.1, pp. 59-62, 1988.
10. 佐藤學, 籍守 勝側, "放電加工による超硬合金の劣化現象," タンガロイ(株), Vol.32, No. 43, pp. 32-37, Oct. 1992.
11. Gail P. McCleary, "Cutting Tungsten Carbide with W-EDM-from the Carbide Manufacturer's Point of View," The carbide and Tool Journal, Nov.-Dec., pp. 3-8, 1984.
12. K. Kobayashi, "The Present Future Developments of EDM and ECM," Proc. of ISEM-XI, pp.29-48, 1995.
13. T. Magara, H. Yamada, T. Yatomi and K. Kobayashi, "Improvement of Surface Quality by Anti-Electrolysis Wire EDM," Proc. of Technical Meeting for Electro-Machining by Japan Society of Electrical Machining Engineers, 1992.
14. T. Magara, K. Kobayashi, T. Yatomi and K. K. B. Hon, "Micro-Finishing by High Frequency AC Source in Wire EDM," ISEM-9, pp. 76-79, 1989.
15. Sodick(株), "ワイヤ放電加工から見た超硬合金," セルス情報, Dec., 1996.
16. F. Maggi, "Wire Cut Electro-Erosion of Hard Metals," Agie Erosion Technology, April, 1991.