

CNC WIRE-CUT방전가공시 탄소공구강의 가공변질층에 관한 연구

김기선*, 김종엽**

(A Study on the Transmutation Layer of CNC Wire-EDM'd Surface in Carbon Tool Steel.)

Key Sun Kim and Chong Yoob Kim

ABSTRACT

This paper describes the transmutation layer of CNC Wire electrical discharge machined surface. In order to analyze and investigate transmutation layer of the carbon tool steel, workpieces was heat-treated by quenching, tempering, normalizing. The obtained results are summarized as follows.

1. The result showed that wire electrical discharge machined surface region was transmuted into the recast layer in the range of about $10\mu\text{m}$ deep by resolidification and next zone was transmuted into the heat affected zone in the range of about $15\mu\text{m}$ deep by high temperature.
2. The hardness of the recast layer and heat affected zone was decreased on its machined surface.
3. The more wire feedrate was increased, the more electrical discharge machine gap was decreased.

* 중앙직업훈련원 Cad/Cam 과

** 오산공업전문대 기계설계과

1. 서 론

CNC Wire Cut 방전가공은 Ca1/Cam Sys Tem¹⁾의 다양한 프로그램으로 복잡한 형상가공에 이용되고 있으며, 특히 프레스 금형, 반도체금형등 정밀 분야의 필수 가공법으로 고경도의 고속도강이나 초경합금의 가공도 용이하게 되었다.²⁾

Wire Cut 방전가공에서의 가공 정밀도는 주로 방전갭, 가공면 변질층, 가공면 조도와 관계가 있으며 이것들을 변화시킬 수 있는 인자는 가공개시 전압 (no load voltage), 방전전류, 방전전류 pulse폭 (on time), 방전전류 휴지폭 (off time)과 가공속도, 가공액의 비저항치와 유량, Wire 장력, Wire 속도에 따라 결정되어진다.³⁾

특히 정밀 가공시에는 방전열에 의해 용융된 방전갭과 가공면 주변의 변질층형성을 규명하여 가공공차에 고려하는 것이 중요하다.

弥富剛他⁴⁾는 강재를 황동 전극으로 가공할 때의 용융된 방전갭에 관련되는 가공확대 영역 D에 관하여 평균전류를 이용한 실험식으로 다음과 같이 유도하였다.

$$D = \left(0.25 + \frac{9.7 \times 10^{-3}}{I - 0.23}\right) \times T^{0.96} \dots\dots\dots (1)$$

그리고 가공속도, F는 식(2)와 같이 나타내진다.

$$F = 1.43 \times (I - 0.23) / T^{1.16} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 F: 공작물이송속도(mm/min), I: 평균전류(A), T: 공작물의 두께(mm)

한편 가공면의 변질층에 있어서 형조 방전가공면은 표면이 유증방전중 침탄 현상에 의하여 변질층의 경도가 높아지지만⁵⁾, Wire Cut 방전가공은 수증 방전인 관계로 방전 현상외에 전기분해 현상과 부식 현상등으로 경도가 저하⁶⁾되는 것으로 알려졌다.

이로 인하여 소재보다 연화된 변질층은 쉽게 마모되기 때문에 설계시 가공공차에서 고려하는 것이 중요하다. 특히 와이어 컷 가공으로 제작된 금형에 대한 변질층의 초기마모 현상에

대한 규명이 연구⁷⁾되고 있으나 각 열처리 조건에 따른 변질층 형식의 변화에 대한 연구는 아직 미흡하다.

본 실험에서는 금형 사용시 초기마모 현상의 원인이 되는 가공 변질층에 대한 연구로서 금형재료로 널리 이용되어지는 STC-3종을 Quenching, Tempering, Normalizing 등 열처리 조건 조직 및 경도 변화와 방전열에 의해 용융된 방울 변화시켜 변질층의 전갭 형성을 검토하였다.

2. 실험

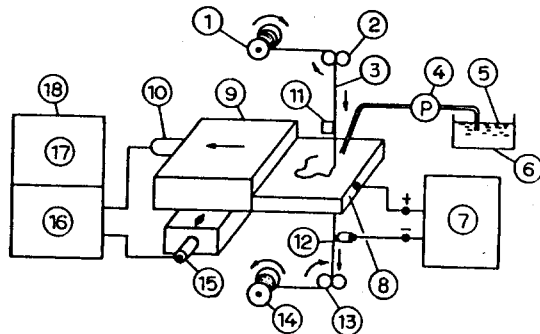
2-1 실험 장치

본 실험에서 사용된 주요 실험장비는 Table 1과 같다.

Wire cut EDM	<ul style="list-style-type: none"> ● FANUC Tape Cut Model P (JAPAN) ● WIRE feedrate 0-10m/min ● Table Speed 900mm/min
Micro hardness Tester	<ul style="list-style-type: none"> ● Model: Tukom × 125 ● Vickers × 300 × 500
Muffle furnace	<ul style="list-style-type: none"> ● max, temp 1200°C (Wild Barfield Ltd, England)

Table 1. Specification of Experimental Equipment

와이어 컷 방전가공기는 CNC제어용 servo moter 구동에 의해 x, y축 평면상에서 운동하는 이송 Table을 semi-closed loop control 방식으로 제어했으며 그 계통도는 Fig.1과 같다.



1. Wire Feed Reel 2. Brake
3. Wire 4. Pump 5. Dielectric Fluid
6. Machining Solution Treatment Tank
7. Power Supply Unit 8. Work Piece
9. Cross Table 10. X-Axis Servo Motor
11. Upper Guide 12. Lower Guide
13. Wire Feed Roller 14. Wire Take up Reel
15. Y-Axis Servo Motor
16. Servo Circuit
17. Controll Circuit
18. C. N. C Unit

Fig 1. Schematic diagram of wire cut EDM

2-2 시험편

본 연구에 사용된 재종은 각종 절삭 공구 및 금형재료로 널리 사용하고 있는 STC-3종으로서 그 화학적 성분은 Table 2와 같다.

Material W Composition	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
STC-3	1.03	0.26	0.47	0.02	0.025	0.04	0.04	0.06

Table 2. Chemical composition(wt%)

시험편은 원소재를 50×50×10으로 가공하였으며 가열후 Quenching, Tempering, Normalizing한후 buffing하여 조도를 증가시켰다.

열처리 방법은 Fig.2같이 800°C에서 20분간 가열후 Quenching 한 A시편과 Quenching 후 각각 저온 (200°C), 고온 (600°C)에서 Tempering한 B, C 시편 및 770°C에서 40분간 Normalizing한 D시편등 4가지 조건을 선택하였다.

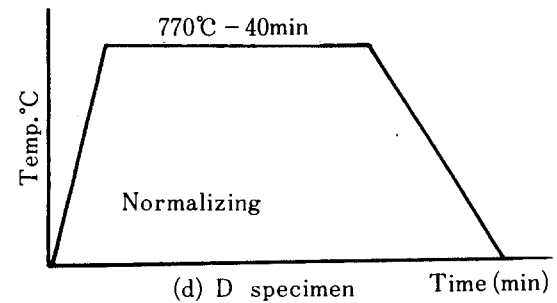
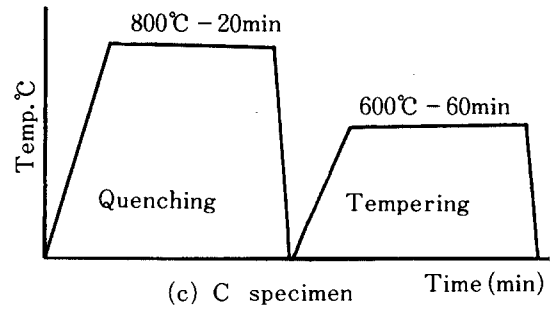
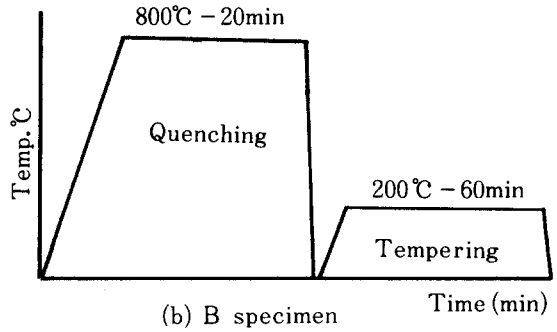
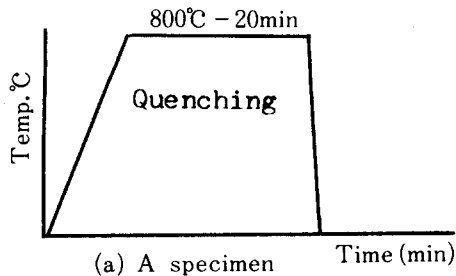
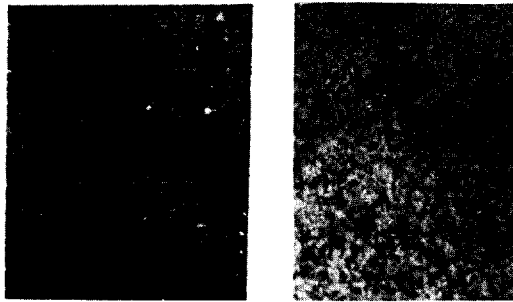


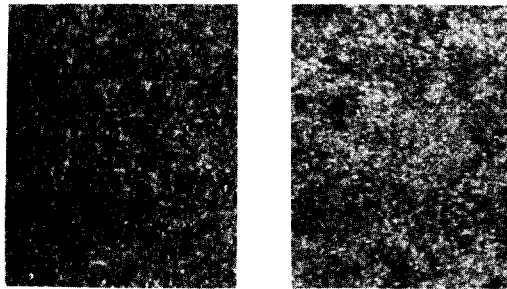
Fig 2. Conditions of thermal refining

열처리 후의 각 조건에 대한 조직을 Photo. 1에 나타냈다. A시편에서 Martensite 조직이었으나 Tempering함에 따라 sorbite, Trostite로 변했고 D시편에서 Pearlite와 한것을 볼 수 있다.⁸⁾ Table.3에 각 조건에 대한 경도롤 나타냈다.



(a) A specimen

(b) B specimen



(c) C specimen

(d) D specimen

Photo 1. Microstructures of specimen

Specimen	A	B	C	D
Hardness (HBC)	66	63	30	16

Table 3. Hardness of specimen

2-3 실험 방법.

Wire Cut 방전가공 조건은 Table. 4와 같이 설정하여 가공속도 일정제어 방식으로 가공하였다.

No load voltage	120V
On time	5 μ s
Off time	14 μ s
Servo voltage	44V
Wire tension	900g
Wire feed	15 m / min

Water flow	15 l / min
Table(work) feedrate	0.4~6 mm / min
Diameter of wire	0.25 mm
Wire electrode	Cobra, Cut
Water resistivity	$4 \times 10^{-4} \Omega \cdot cm$

Table 4. Experimental Conditions

가공시 시험편은 Fig. 3과 같이 2개를 밀착시켜 동시가공하였으며 E단면의 경도를 측정하여 가공액으로 인하여 급냉 현상때문에 생기는 오차를 줄였다. 가공 경로는 가공시 끝면의 round를 측정할 수 있도록 (b)와 같이 CNC 프로그램 하였고 공작물 이송속도를 0.4mm/min에서부터 F2.4mm/min단계로 증가시켜 실험했다.

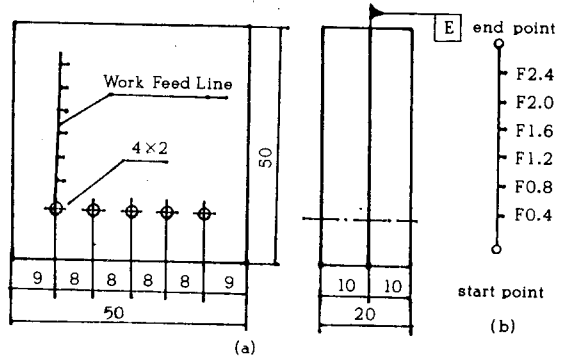


Fig 3. Dimension of specimen

경도는 최소설정 단위가 1 μ m인 TOKON사의 미소 비커스 경도계를 사용하였으며 Photo 2는 가공면에서부터 거리를 순차적으로 이동시켜 측정하였다.

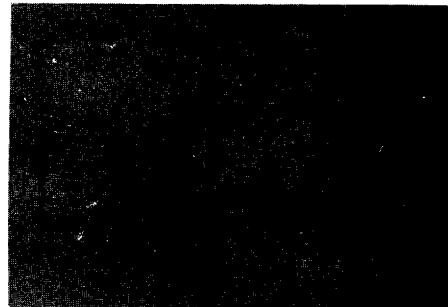


Photo 2. Micro loop vickers hardness measurement

3. 실험 결과 및 고찰

3-1 가공속도 변화에 따르는 방전갭

본 실험에서는 공작물 이송속도를 0.4mm/min에서 점차 증가시켜 전극 Wire가 절단될 때인 3.0mm/min까지 가공했으며 방전갭은 Fig. 4에 도시한바와 같이 가공확대영역 D와 와이어 직경 d로 표시했을 때 방전갭 G는 식 (3)으로 구해진다.

$$EDM\ GAP\ (G) = \frac{D-d}{2} \dots\dots\dots (3)$$

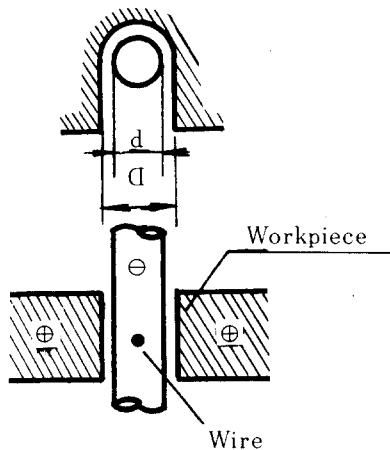
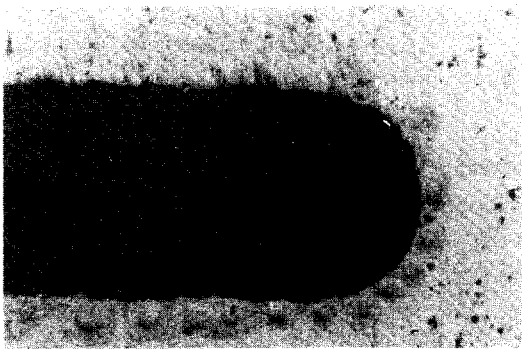


Fig 4. EDM GAP & Electricly current flow

Fig. 5에 이송속도와 방전갭과의 관계를 도시화하였다. 열처리 조건변화에 따른 방전갭 폭

을 고찰하면 그림에서 Quenching 및 저온 Tempering하여 경도를 증가시킨 A,B조건은 Normalizing 및 고온 Tempering 한 D,C에 비하여 방전갭이 넓어졌다. 이는 Martensite 조직이 Pearlite 조직에 비해 방전현상이 증가하였으며 그 원인은 일정한 방전 조건하에서 Martensite 조직이 Pearlite에 비하여 단위 시간당 가공면적(mm²/min)이 많아졌다.

본 실험이 공작물이송 속도 일정제어 방식하에서 행하였으므로 이 증가량으로 인하여 방전갭이 넓어 졌다고 사려된다.

한편 이송속도가 증가함에 따라 4가지 열처리 조건 모두 방전갭이 점점 감소되는 현상을 보였다. 그 원인은 가공물과의 동일한 열처리 조건하에서 일정한 방전에너지를 갖게 되며 단위 면적당 가공량은 일정하기 때문에 이송의 증가에 따라 방전갭은 감소현상을 보이게 된다.

또한 초기 0.4mm/min에서의 방전갭과 2.4mm/min까지의 열처리 조건에 따른 방전갭 차이를 고찰하면 A와 B조건에서는 각각 18.6μm, 16.7μm, 의 차이를 보여 비슷한 경향을 나타냈으

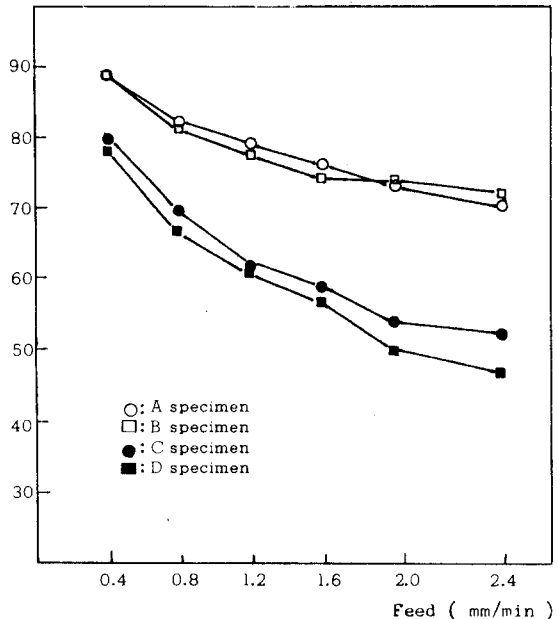


Fig 5. Variation of EDM Gap according to work feed

나, 상대적으로 경도가 낮은 C, D조건은 24.3 μ m, 31.95 μ m로 이송 증가에 따른 방전궤의 차가 넓어지는 것을 알 수 있었다.

즉, 연화처리한 시험편이 경화 처리한것에 비해 공작물 이송속도의 영향을 많이 받는다는 것을 알았으며 일정한 방전조건하에서 방전궤를 최소로 줄일 수 있는 조건은 Normalizing한후 이송속도를 증가 시켜야 함을 알았다.

3-2. 기공면의 변질층의 현상

본 실험에서 STC-3종 강에 대하여 비교적 경도가 높고 조직이 균질한 B시편을 택하여 관찰한 변질층의 현상은 Photo. 3와 같다.

가공단면에 약 10 μ m정도의 백색층이 형성된 것이 관찰되었으며 이는 방전시 고열에 의해 용융된 후 재응고된 층이다. 그후 흑색으로 검출 되는 층부터 약15 μ m정도 부분은 용융 온도까지는 상승되지 않았으나 변태점 이상으로 가열된후 가공액에 의해 냉각하기 때문에 열영향층(Heat affected zone)으로 존재하고 있다.

특히 재응고층과 열영향층은 심한 부식 현상을 보였다.

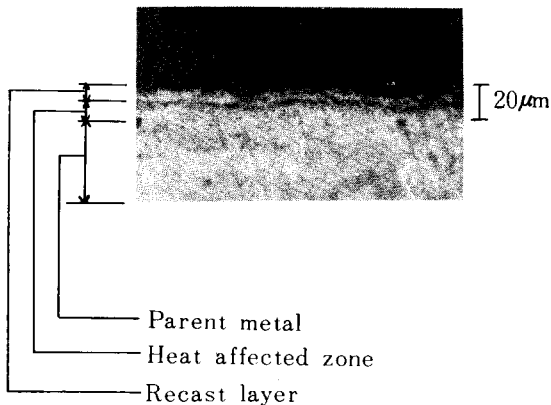


Photo 3. Microstructure of the machined surface in cross section.

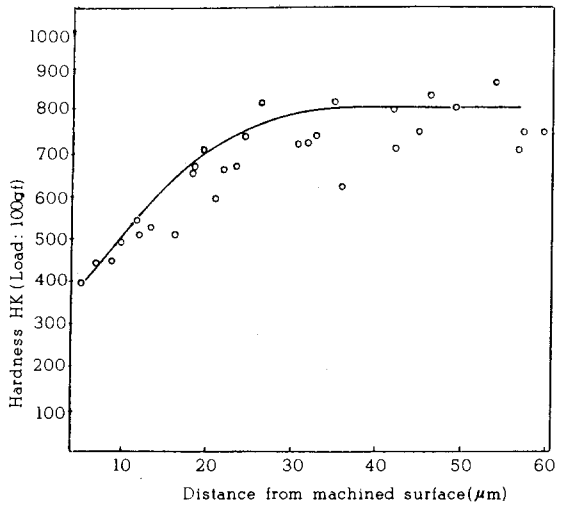


Fig 6. Hardness distribution of the machined surface for A specimen

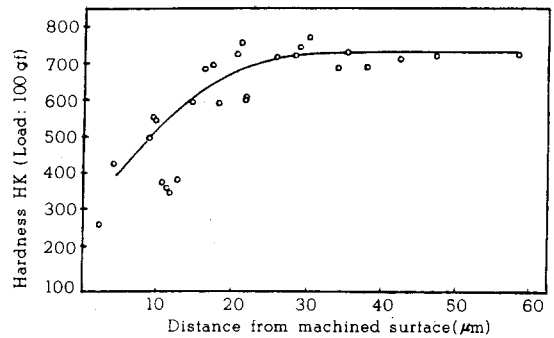


Fig 7. Hardness distribution of the machined surface for B specimen

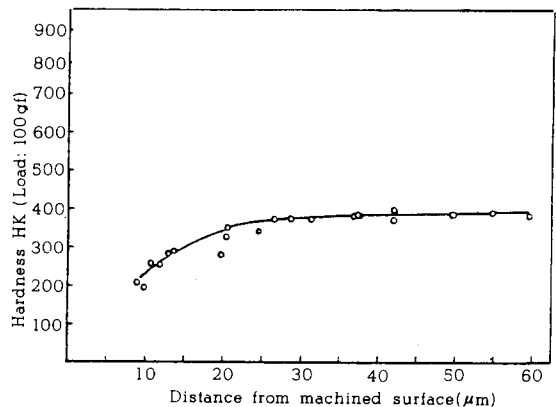


Fig 8. Hardness distribution cross section of the machined surface for C specimen

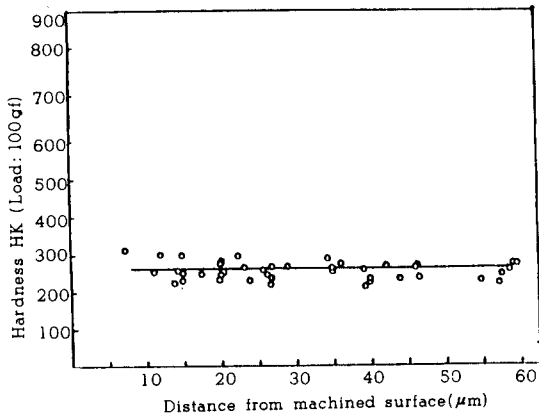


Fig 9. Hardness distribution of the machined surface for D specimen

Fig. 6에서 부터 Fig. 9는 각열처리 조건에 따른 경도 분포를 나타낸 것이다. Fig. 6과 Fig. 7은 Quenching 처리한 시편 A, 저온 Tempering한 시편 B에 대한 경도분포를 도시하였다.

여기서 A, B조건은 높은 강도를 나타내고 있으며 가공면과의 거리가 25 μ m 이하에서는 경도가 점점 감소현상을 보였으며 10 μ m이하에서는 원소재와 비슷한 경도까지 접근하였다.

Fig. 8의 고온 Tempering 한 경우에도 전반적인 경도는 낮았으나 25 μ m이하에서는 비슷한 경향을 보이고 있다. 반면에 Normalizing한 D조건은 거의 변화됨이 없이 모재의 경도 Hk 200-300정도로 일정함을 볼 수 있었다.

이와같은 경도 감소 현상은 가공시 높은 온도로 인하여 가공면에서 부터 열영향을 받아 표면이

심한 부식됨과 동시에 재료가 연화된 것으로 사료되며 또한 전극의 Cu성분이 이온화하여 모재에 침투함으로써 재응고층을 연화 시킨 것으로 추정된다.

이상의 실험을 통하여 볼때 탄소공구강인 STC-3종에서 변질층은 가공단면에 약 10 μ m정도 재응고층과 그후 15 μ m 정도의 열영향부가 형성되며 이부위는 심한 부식 현상과함께 경도 감소 현상을 나타냈다.

특히 재응고층에는 경질 처리한 시편일지라도 Normalizing시편과 비슷한 경도값을 얻었다.

4. 결 론

탄소공구강인 STC-3종을 각각 Quenching과 고온, 저온 Tempering 및 Normalizing처리하여 Wire Cut 방전 가공한후 가공면에 형성된 변질층을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 가공 단면에 약 10 μ m정도의 백색층과 15 μ m정도의 열영향부가 형성되었으며 이는 방전시 고열에 의해 재응고된 층과, 변태점 이상에서 상변태를 일으킨 층이다.
2. 와이어컷 가공시 재응고층과 열영향층은 경도가 급격히 감소하며 이 경향은 경질되게한 Quenching이나 저온 Tempering한 시편이 더욱 심화되었다.
3. 가공시 방전값을 축소시키려면 Normalizing후 공작물 이송속도를 증가시켜야 한다.

《参 考 文 献》



1. Yoram Koren, Computer Control of manufacturing systems, McGRAN-HILL, PP45~82, 1982.
2. 尾崎好雄, "最近の放電加工機とその応用", 機械の研究 第39卷4号, 1987.
3. 小林和彦, ワイヤカット放電加工技術, 日刊工業新聞社, 1983.
4. 弥富剛他, "ワイヤカット放電加工における最適制御について", 電気加工学会誌 12, 24, 1979.
5. 鈴木正彦, "放電加工による金属表面の改質", 精密工学会誌, 2, PP243-249, 1987.
6. 増井清徳, "ワイヤ放電加工面の電解腐食", 精密工学会誌, 6, PP160~165, 1988.
7. 齋藤長男, "ワイヤ放電加工による極薄板用の抜型製作の研究", 精密機械, 9, PP1235~1240, 1983.
8. Harold Wrighton, Practical microscopical metallography, Greaves & Wrighton, PP32~38, 1971.