

## 자기연마기술을 이용한 고속절삭공구 성능향상에 관한 연구

박성률\*, 조종래(창원대 대학원 기계공학과), 박명균(창원대 기계공학과),  
양순철((주)윈트), 정윤교(창원대 기계공학과)

### A Study on the Improvement of Performance of High Speed Cutting Tool using Magnetic Fluid Grinding Technique

S. R. Park, J. R. Cho(Mech. Eng. Dept., Graduat Shool, CWU), M. G. Park(Mech. Eng. Dept., CWU),  
S. C. Yang(WINTT Co., Ltd), Y. G. Jung(Mech. Eng. Dept., CWU)

#### ABSTRACT

We will improve tools performance without the change of a tools' physical shape, if we process mirror like finishing on the surface of cutting tools. Because cutting tools' shapes are very complex, the general method of polishing can't be polished. So we will apply new method of polishing which is magnetic fluid grinding technique. Magnetic fluid grinding technique can polish complex shape's workpiece by pressing the surface of workpiece with magnetic and abrasive grains in magnetic field. Therefore we developed the polishing equipment to improve the performance of cutting tools and experimented on various polishing conditions to determine the polishing conditions of cutting tools.

**Key Words :** Magnetic fluid grinding technique (자기연마기술), Mirror like finishing(경면연마), Cutting tools(절삭공구), Polishing equipment(연마장치), Polishing conditions(연마조건)

#### 1. 서론

고속절삭시 공구와 공작물간의 마찰로 인하여 접촉부의 온도상승이 심각하며, 절삭속도를 증가시키면 시킬수록 온도가 더욱 상승하여 공구마멸을 촉진시킨다. 이러한 가혹한 절삭조건에 견딜 수 있는 절삭공구의 개발이 요구되며, 공구형상의 최적화, 공구재종의 초미립화 및 고경도화, 공구의 다층 피복화 등에 대한 연구가 수행중이다.<sup>1)</sup> 한편, 공구표면을 경면가공하면 공작물간의 마찰이 적어 과도한 인선 환경에 유리하고, 공구수명도 증대한다는 보고되고 있어,<sup>2)</sup> 절삭공구 표면의 경면화로 공구성능 향상이 기대되어진다. 엔드밀과 같이 형상이 복잡한 절삭공구는 일반적인 연마방법으로는 경면가공하기 어려우므로, 형상이 복잡한 절삭공구도 경면가공할 수 있는 새로운 연마방법이 요구된다.

자기연마기술은 자력선에 따라 선형으로 배열한 자성연마재가 자력에 의해 공작물을 압착하면서 연

마하는 가공법으로 요철이 심하고 복잡한 형상의 공작물도 연마할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 자기연마기술을 이용하여 고속절삭공구를 경면연마할 수 있는 자기연마장치를 개발하였고, 개발된 연마장치를 이용하여 고속절삭공구의 경면연마에 앞서, 고속절삭공구 소재로 사용되는 초경합금을 대상으로 자력의 세기, 연마속도, 자성재료와 연마입자의 배합율, 연마입자의 크기 등 연마조건에 따른 연마면 거칠기를 관찰하여 연마특성을 평가하고, 고속절삭공구를 경면연마할 수 있는 기초자료를 축적하고자 한다.

#### 2. 자기연마장치 및 실험방법

##### 2.1 자기연마 장치

자기연마란 자성재료와 연마입자를 구성요소로 하는 자성연마재를 사용하여, 자력선에 따라 선형으로 배열한 자성연마재가 자력에 의해 공작물을 압착

하면서 연마하는 가공법이다.<sup>1)</sup> 이와 같이 자기연마법은 종래의 연마공구를 사용하는 가공법과는 상이하게 자성연마재가 공작물의 요철을 압착하면서 가공하므로 3차원 자유곡면이나 원통공작물, 파이프내관 등의 연마에 효과적이다.<sup>4,5,6)</sup>

자성연마재는 자성재료와 연마입자를 금속학적으로 일체화한 형태와 단순히 혼합한 형태가 있는데, 일체형은 제조의 어려움, 사용상의 제약 등의 단점이 있는 반면, 단순혼합형은 명칭에서 알 수 있듯이 자성재료와 연마입자를 단순히 혼합한 형태이다.

Fig. 1은 단순혼합형 자성연마재의 사진으로 그림 (a)자장이 흐르지 않은 상태이고, 그림 (b)는 자장이 흐를때의 자성입자와 연마입자의 배열모습을 보여주고 있다. 이렇게 자장의 유무에 따라 자성입자와 연마입자의 배열 상태가 달라짐에 따라 연마압력이 발생하게 된다.

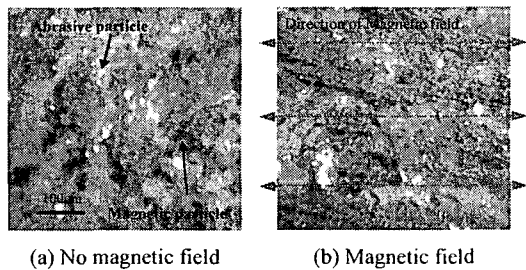


Fig. 1 Simply mixed oil bonded magnetic abrasives

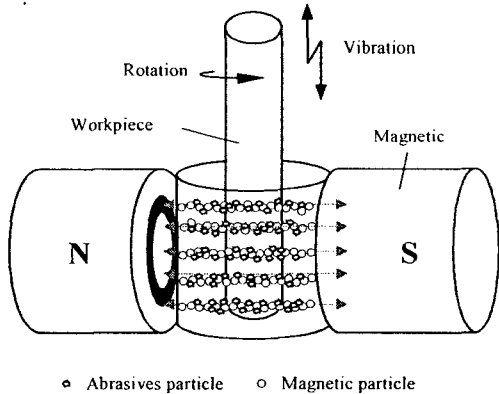


Fig. 2 Schematic diagram of polishing

Fig. 2는 단순혼합형 연마재를 이용하여 연마작업을 하는 개략도이다. 그림에서 보는바와 같이, 자성입자가 자기장방향으로 배열하게 되면 자성입자 사이에 계재되어 있던 연마입자도 자기장방향으로 나열하게 되면서 자성입자에 의해 고정하게 된다. 이렇게 자성입자와 연마입자가 자기장방향으로 배열하려고 하는 힘이 연마압력으로 작용하게 된다. 공작물이 회전하면서 상하로 움직이게 되면 복잡한 연마

궤적을 가지게 된다.

Fig. 3은 실험에 사용된 연마장치로 모터에 의해 공작물이 회전하게 되고, 공작물 양측에 자석을 설치하여 자기장이 흐르도록 하였다. 컬럼부분에 Gap sensor를 설치하여 주축이 상하로 움직이게 하였다. 연마장치에 대한 사양은 Table 1과 같다.

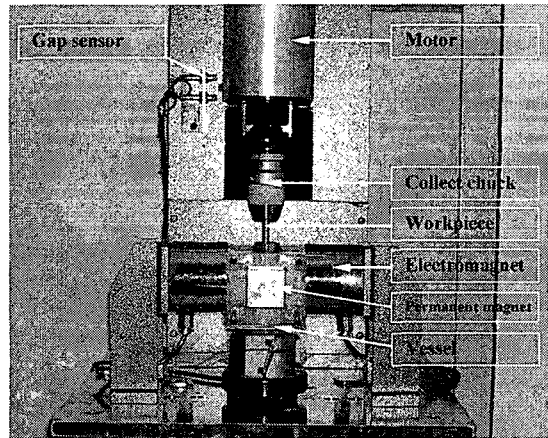


Fig. 3 Photograph of experimental equipment

Table 1 Specification of experimental equipments

Items	Specification
Motor	AC Servo 1800rpm
Magnet	Electromagnet(0~0.2Tesla) Permanent magnet(Nd-Fe-B, 0.6T)
Roughness tester	SV-624(Mitutoyo)
Tesla meter	TM-601(Kanetec)
Power meter	WT130(Yokogawa)
Microscope	MF1030TH(Mitutoyo)

## 2.2 실험방법

연마조건에 따른 연마특성을 평가하기 위해, 자속밀도의 세기, 연마입자의 크기, 자성입자와 연마입자의 배합율, 연마속도에 따른 공작물의 표면조도를 측정하였다.

실험에 사용된 공작물은 길이 120mm, 직경  $\phi$  10mm인 중실봉으로 실제 엔드밀 제작에 사용되는 K30재종 초경합금으로 경도는 HRc74이다. 자성입자는 Lord사에서 제작한 MRF-241ES를 사용하였고, 연마입자는 GC #60, #100, #180, #320과 다이아몬드 #1500을 사용하였다. 자성입자와 연마입자의 배합비율은 무게비로 25, 40, 50, 57%로 배합하여 실험하였다. 주축의 회전수는 450, 750, 1050, 1350rpm으로 하였다. 전자석의 자속밀도는 0, 0.1, 0.2, 0.6Tesla로 설정하여 실험하였고, 자속밀도의 가변을 위해 전자석과 영구자석을 사용하였다.

Table 2 Experimental Conditions

Items	Conditions
Workpiece	Cemented carbide(K30, HRC74)
Ferromagnetic	MRF-241ES(Lord corporation)
Magnetic flux density	0, 0.1, 0.2, 0.6T(gap 35mm)
Abrasive grain	GC #60, #100, #180, #320 Diamond #1500
Compositon ratio of abrasive grain	25, 40, 50, 57wt%
Rotational speed	450, 750, 1050, 1350rpm
Vibration	0.15Hz, 10mm(amplitude)

### 3. 연마조건과 연마력의 관계

#### 3.1 연마력의 측정

연마입자와 공작물 사이에 작용하는 연마력은 연마성능에 직결되는 요소이다. 자기연마장치는 직접적으로 공작물에 연마력을 가하는 형태가 아니라, 자성연마재의 점도변화에 따라 연마력을 가하는 방식이므로, 자속밀도의 세기와 연마조건에 따른 연마력의 크기를 고찰할 필요가 있다.

자기연마장치에서 연마력은 모터의 소비동력을 측정하여 연마력을 계산하는 방식으로 측정하였다. 모터의 소비동력은 파워미터(WT130, Yokogawa)로 측정하였고, 소비동력으로부터 연마력의 계산은 아래식과 같다. 여기서, P는 순 소비동력, F는 연마력, V는 공작물 회전속도이다.

$$P(kW) = \frac{F(kg) \times V(m/min)}{60 \times 102(kg \cdot m/sec)}$$

$$\therefore F(kg) = \frac{P(kW) \times 60 \times 102(kg \cdot m/sec)}{V(m/min)}$$

#### 3.2 연마조건에 따른 연마력의 변화

자속밀도, 연마입자의 크기, 배합율, 연마속도에 따른 모터의 소비동력을 측정하여, 연마조건에 따른 연마력의 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

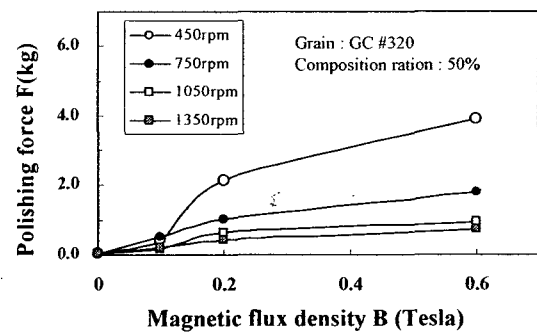
Fig. 4의 (a)는 자속밀도에 따른 연마력의 변화를 나타낸 그림으로 자속밀도가 커짐에 따라 자성입자 체인간의 결합력이 커지고, 자성연마재의 점도가 커지므로 연마력이 커지는 것은 당연한 결과이다.

Fig. 4의 (b)는 연마입자의 크기에 따른 연마력을 나타낸 그림으로 연마입자가 작을수록 공작물에 작용하는 연마입자의 수가 많아지므로 연마력이 크게 나타난다.

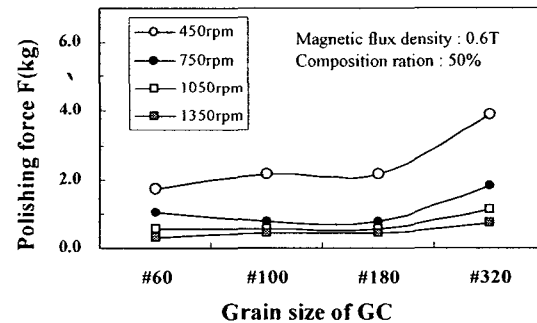
Fig. 4의 (c)는 연마입자의 배합율에 따른 연마력의 변화를 나타낸 그림으로 자성입자로만 구성된 경우가 자성입자 체인의 결합에 방해하는 요소가 없기

때문에 자성입자 체인의 결합력이 가장 크기 때문인 것으로 생각된다.

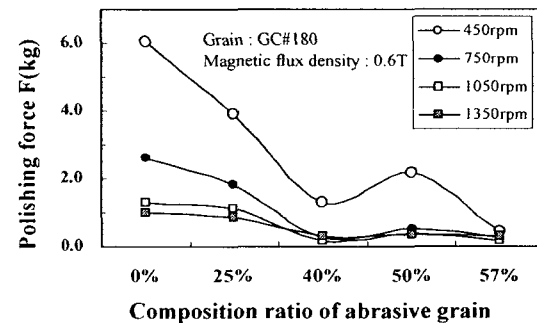
한편, 연마입자의 배합율이 커질수록 연마입자가 자성입자 체인에 불순물로 작용하여 결합력은 저하시키지만, 공작물에 작용하는 연마입자의 수가 많아짐에 따라 공작물에 압입되는 연마입자수가 증가하여 연마력은 증가하게 된다. 따라서 이러한 결과로 배합율 50%인 경우가 배합율 40%인 경우보다 연마력이 크게 나타나고, 57%인 경우에는 연마입자에 의한 연마력 증가보다 자성입자의 결합력 저하가 크기 때문에 배합율 50%인 경우보다 연마력이 작게 된다.



(a) Magnetic flux density



(b) Grain size of GC



(c) Composition ratio of abrasive grain

Fig. 4 Relationship between polishing conditions and polishing force

#### 4. 연마조건에 따른 연마면 거칠기의 변화

##### 4.1 GC입자에 의한 연마

고속절삭공구의 경면연마하기 위한 기초자료의 축적을 위해 초경합금을 대상으로 연마조건에 대한 연마면 거칠기를 측정된 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5(a)는 GC #180 연마입자로 배합율 50%, 연마속도 1350rpm, 자속밀도를 0, 0.1, 0.2, 0.6Tesla로 하여 연마시간에 따른 연마면 거칠기를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 자속밀도가 클수록 연마면 거칠기의 향상이 크게 나타나는데, 이는 자속밀도가 클수록 연마력이 크게 작용하기 때문이다.

Fig. 5(b)는 배합율 50%, 연마속도 1050rpm, 자속밀도 0.6Tesla, 연마입자의 크기 #60, #100, #180, #320에 대하여 연마시간에 따른 연마면 거칠기를 나타낸 그림이다. 연마입자가 작을수록 연마력이 크게 작용하므로, #180, #320인 경우에 연마면 거칠기의 향상이 크게 나타났다.

Fig. 5(c)는 배합율에 따른 연마면 거칠기를 나타낸 그림으로 연마입자 GC #180, 연마속도 1350rpm, 자속밀도 0.6Tesla, 배합율은 25%, 40%, 50%, 57%로 하여 실험한 결과이다. 앞에서 배합율에 따른 연마력의 결과에서 연마력은 배합율 25%일때 가장 높지만, 공작물에 작용하는 연마입자의 수가 가장 적기 때문에 연마면 거칠기의 향상은 좋지 않았다. 하지만 배합율 50%는 40%, 57%보다 연마력도 크고, 연마에 관여하는 연마입자의 수도 확보되어 있어 연마면 거칠기의 향상정도가 가장 좋았다.

Fig. 5의 (d)는 연마입자 GC#320, 배합율 50%, 자속밀도 0.6Tesla, 자속밀도가 각각 450rpm, 750rpm, 1050rpm, 1350rpm일때 연마시간에 따른 연마면 거칠기를 나타낸 그림이다. 공작물의 초기표면 거칠기가 1350rpm이 가장 거칠었으나, 최종 연마면 거칠기는 750rpm, 1050rpm, 1350rpm이 서로 비슷한 값을 나타내고 있다. 따라서 연마속도 1350rpm일때 연마면 거칠기의 향상이 크다.

따라서 연마조건에 따른 연마면 거칠기의 변화를 알아본 결과 자속밀도는 0.6Tesla, 연마입자 크기는 #180, #320, 배합율은 50%, 연마속도는 1350rpm의 조건으로 연마할 경우, 연마면 거칠기의 향상정도가 가장 크다고 하겠다.

##### 4.2 초입자(Diamond)에 의한 연마

GC 연마입자로 실험한 결과에서 연마면 거칠기의 향상이 큰 연마조건으로 다이아몬드 #1500입자와 GC #180입자로 실험한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 연마속도 1350rpm, 배합율 50%, 자속밀도 0.2, 0.6Tesla로 동일한 조건으로 연마

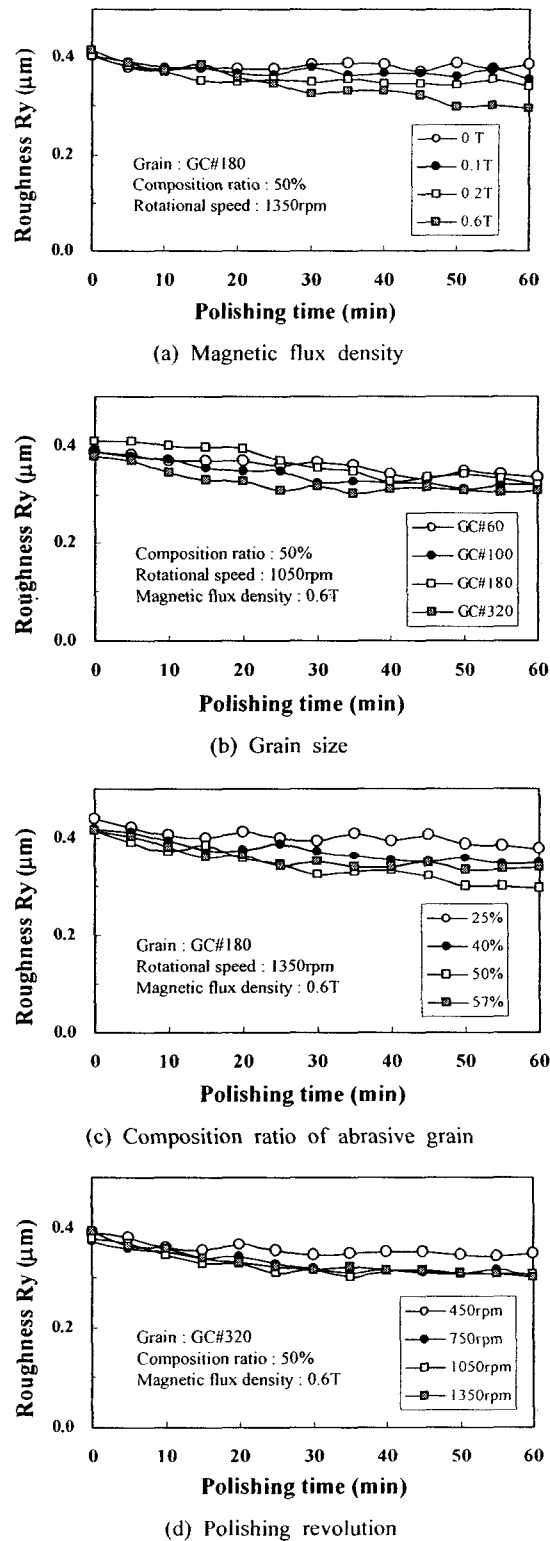
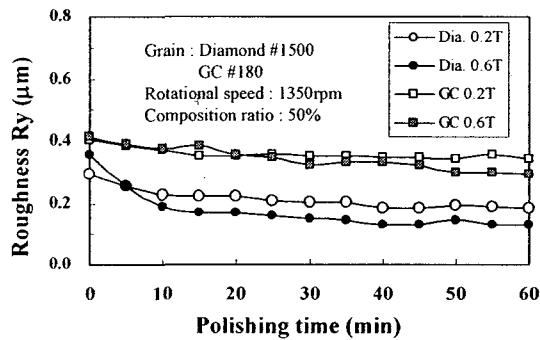


Fig. 5 Relationship between polishing conditions and surface roughness

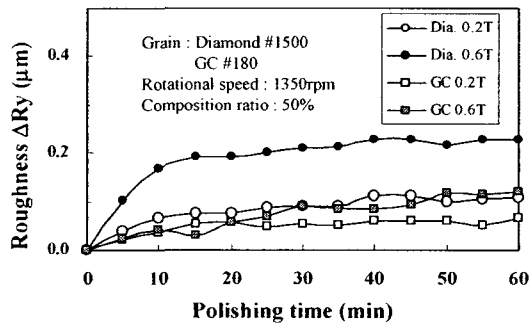
한 결과로 GC 입자에 비해 다이아몬드 입자의 연마면 거칠기 향상은 매우 크게 나타났다. 또한, 다이아몬드 입자의 경우에도 자속밀도가 클수록 연마면 거칠기의 향상정도가 크다는 것을 보여주고 있다.

Fig. 8은 연마하지 않은 공작물 표면, GC #320입자로 7.5시간 연마한 공작물 표면과 다이아몬드 #1500입자로 연마한 공작물 표면을 현미경으로 관찰한 사진이다. 그림에서 보듯이와 같이 GC입자로 연마한 경우에는 7.5시간이나 연마했음에도 아직 연삭흔적이 관찰되고 있으나 다이아몬드 입자로 1시간 연마한 경우에는 매우 평활한 면이 관찰되고 있다.

따라서 다이아몬드 입자로 고속절삭공구를 자기 연마할 경우에도 목표로 하는 연마면 거칠기를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.



(a) Roughness Ry



(b) Roughness ΔRy

Fig. 6 Variation of roughness for diamond & GC grain

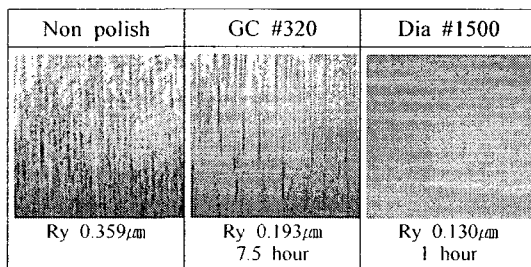


Fig. 7 Photograph of polished plane(x100)

## 5. 결론

고속절삭공구의 경면연마를 위해 개발된 자기연마장치를 이용하여 고속절삭공구로 사용되는 초경합금을 대상으로 연마실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자속밀도와 연마조건에 따른 연마력을 크기를 모터의 소비동력을 이용하여 간접 측정하였고, 자속밀도가 클수록, 연마입자크기는 작을수록 연마력은 컸으며, 배합율 50%일때 40%와 57%에 비해 연마력이 컸다.

2. GC입자로 연마한 경우, 연마조건에 따른 연마면 거칠기를 관찰한 결과, 본 실험조건에서는 자속밀도는 클수록, 연마입자가 작을수록, 배합율은 50%일때, 연마속도는 빠를수록 연마면 거칠기의 향상정도는 크게 나타났다.

3. 다이아몬드입자로 연마한 경우에는 GC입자에 비해 연마면 거칠기의 향상정도가 매우 우수하였으며, 다이아몬드 입자로 고속절삭공구를 연마한다면 좋은 연마면 거칠기를 얻을 수 있을 것이다.

## 후기

본 연구는 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

- 고성림 외 4명, 고속가공용 엔드밀의 형상설계에 관한 연구, 한국정밀공학회 2000년도 춘계학술대회논문집, 2000.
- Patricia L. Smith, "A new finishing process significantly lengthens the life of cutting tools and other wear products," American Machinist, November, 1999.
- 川久保英樹 外 5人, 單純混合型磁性研磨材の研磨性能に關する研究, 日本機械學會論文集(C編), 65卷, 632号, pp. 386-393, 1999.
- 山本豊壽 外 4人, 偏肉円管内面の磁性流体研磨の研究, 日本機械學會論文集(C編), 58卷, 553号, pp. 173-178, 1992.
- 進村武男, 山口ひとみ, 磁氣研磨法による平滑加工に關する研究, 日本機械學會論文集(C編), 59卷, 560号, pp. 293-299, 1993.
- 山口ひとみ, 進村武男, 磁氣研磨法による内面の平滑加工に關する研究(第2報), 日本機械學會論文集(C編), 60卷, 578号, pp. 307-313, 1994.