

자기연마장치를 이용한 폴리싱

류한선(영남대 대학원 기계공학과), 고태조*(영남대 기계공학과),
김희술(영남대 기계공학과), 이상욱(일진테크원(주))

A Study on Surface Magnetic Abrasive Polishing

H. S. Ryu(Mech. Eng. Dept., YNU), T. J. Ko*(Mech. Eng. Dept., YNU),
H. S. Kim(Mech. Eng. Dept., YNU), S. W. Lee(Iljin Thchwin Co., Ltd.)

ABSTRACT

This paper describes the surface polishing characteristics of a flat and free surface ferromagnetic substance(SM45C) that magnetic abrasive polishing processed. The effects of the various working factors on the surface roughness are clarified by experiments respectively, such as magnetic flux density, rotation speed of magnetic head, working gap, feed rate of workpiece, diameter of magnetic abrasives, and shape of workpiece. On the basis of these experiments, the polishing mechanism is discussed and the characteristics of the polishing process are described. In addition, it is found experimentally that die & mold surfaces are also polished precisely by this process.

Key Words : Magnetic abrasive polishing (자기연마), Polishing(폴리싱), Surface roughness(표면 거칠기), Magnetic avrasive(자성입자)

1. 서론

금형 가공 공정에서는 약 30~50%가 다듬질 공정임에도 불구하고 형상의 복잡성으로 인하여 자동화가 이루어 지지 못하고 있다.⁽¹⁾ 이를 극복하기 위하여 자기연마법을⁽²⁾ 사용할 수 있는데, 이는 자화시킨 전자석 근처에 자성입자를 투입하여 자석 기둥을 만들고 이 기둥으로 연삭을 하는 기법이다.

이 전자석 시스템을 공작기계의 주축에 장착하여 사용을 하면 절삭가공이 완료된 후 공구의 교체에 의해 바로 연삭가공을 할 수 있는 장점이 있는데 이를 통하여 연삭공정의 자동화를 이루고 동시에 연삭의 생산성을 도모할 수 있게 된다. 본 연구에서는 이러한 시스템을 실제 적용하는데 있어서 고려되어야 할 몇 가지 설계 및 가공파라미터에 대한 영향을 조사하였다.

2. 자기연마장치의 구조 및 실험방법

2.1 자기연마장치의 구조

자기연마장치는 Fig. 1과 같이 각 부분이 자력을 집중 할 수 있도록 구성 하였다. 외형은 자력에 영향이 없

는 상자성체(Paramagnetic substance)로 제작하였으며 축 및 헤드는 자력을 집중시킬 수 있는 강자성체(Ferromagnetic substance)(b)를 이용 하였다. 하중과 회전을 저지하기 위해 2개의 앵글러 콘택트 베어링(a)을 사용하였으며, 헤드부분에는 이물질 침입을 방지하기 위해 라비린스형상(c)을 적용하였다.

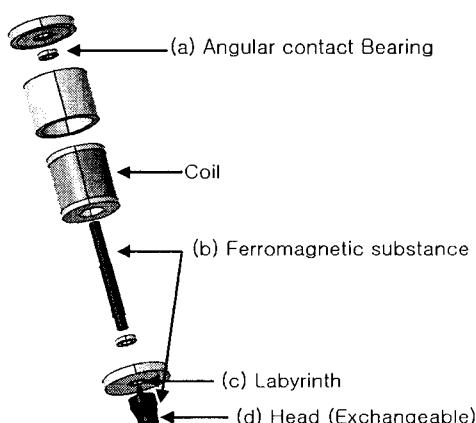
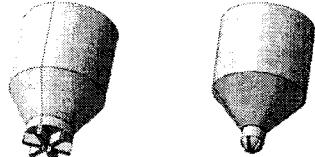


Fig. 1 Assembly drawings of magnetic abrasive polishing device

헤드부분(d)은 가공 효율을 좋게 하기 위해 Fig.2와 같이 끝단에 홈을 가공하였으며⁽³⁾ Flat-end slit type(a)은 평면연마를, Ball-end slit type(b)은 곡면형상을 연마하기 위해 제작하였다.



(a) Flat-end slit type $\Phi 20$ (b) Ball-end slit type $\Phi 10$

Fig. 2 Shape of polishing head

2.2 실험 장치 구성 및 방법

실험 장치는 밀링머신, 자기연마장치, 자성입자, 전원공급기로 구성된다. 실험 순서는 자기연마장치를 Fig.3과 같이 밀링머신의 툴 홀더에 장착하고 직류전원을 공급한 뒤 자성입자를 헤드에 공급하면 자성입자가 헤드에 붙게 되고 이를 회전시키면서 형상을 따라 표면을 연마한다. 이때 일정한 Gap만큼 표면에서 offset한 NC코드를 이용한다.

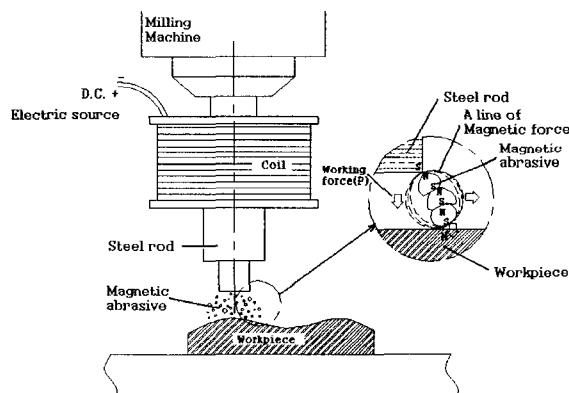
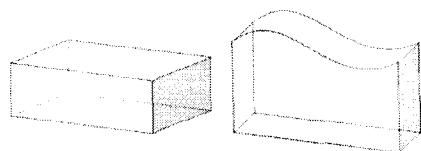


Fig.3 Magnetic abrasive polishing device attached in a milling machine

시편형상은 Fig.4와 같으며 평면형상(a)은 균일한 표면 거칠기를 얻기 위해 연삭($R_a:0.4\mu m$ $R_y:4\mu m$)한 시편을 사용하였다. 곡면형상(b)은 스플라인 곡선을 이용하여 자유 곡면으로 모델링 하였다. 재료는 탄소강 SM45C를 이용하였다.



(a) Flat surface (b) Free surface
Fig. 4 Workpiece shape

실험은 먼저 평면형상에서 자기연마장치의 연마 특성을 평가하기 위해 6가지 조건(자속밀도, 회전속도, Gap, 가공시간, 자성입자의 크기, 헤드 형상)에 대하여 기초적인 실험을 한 후 최적의 조건으로 평면과 곡면을 연마 하였다.

Table. 1 Polishing conditions

Machining	Milling	Polishing
Machining center	Daewoo ACE-V45	
Tool	Flat-end $\Phi 20$ Ball-end $\Phi 8$ (HSS)	Flat-end slit type $\Phi 20$ Ball-end slit type $\Phi 10$
Workpiece material	SM45C	
RPM	1000	1000
Feed	400mm/min	5mm/min
Pick feed	0.4mm	8mm
Machining Condition	Cutting Depth : 0.2mm Cusp : 0.005mm	Polishing Gap : 1mm Magnetic Abrasive : Al_2O_3 화복침포 Magnetic flux density : 0.2T Power supply : 1.5A

3. 연마 조건의 선정

3.1 자속 밀도에 따른 연마

Table 2와 같은 연마조건으로 폴리싱을 하였을 때, 자속밀도는 Fig. 5와 같이 그 값이 증가할수록 표면 거칠기가 향상됨을 알 수 있다. 이는 자력이 증가 할수록 자성입자 기둥의 강도가 강해져 연마가 잘됨을 보여준다.

Table 2 Polishing conditions

Magnetic flux density(T)	Gap(mm)	Diameter size(μm)	Time(min)	Rpm
0.05 ~ 2	1	100	3	1000

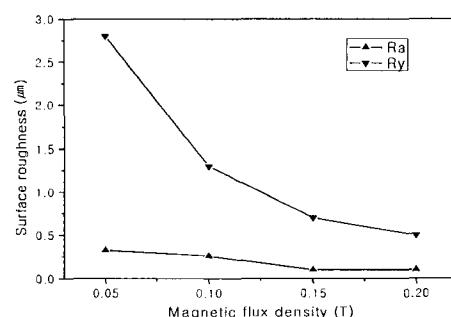


Fig. 5 Relationship between magnetic flux density and surface roughness

3.2 회전속도에 따른 연마

Table3의 연마조건으로 폴리싱을 해보면 rpm이 증가함에 따라 표면 거칠기가 향상됨을 알 수 있었다. 즉, 주축의 회전수 증가는 연삭속도의 증가를 의미하며 이는 통상의 연삭에서도 잘 알려진 사실이

다. 다만 연삭속도의 증가는 동시에 공작물의 온도 상승에 의한 표면 품위에도 영향을 미치기 때문에 반드시 고속만이 좋은 연삭조건인 것은 아니다. 또한 Fig. 6에서도 알 수 있듯이 각각의 회전수에 대해 3분간 연삭작업을 하였을 때 1,000rpm 이상에서는 더 이상 급격한 표면의 개선이 안 보이는 것을 알 수 있고, 이 지점이 거의 최적의 연삭조건인 것으로 보인다.

Table 3 Polishing conditions

Magnetic flux density(T)	Gap(mm)	Powder size(μm)	Time (min)	Rpm
0.2	1	100	3	300~1800

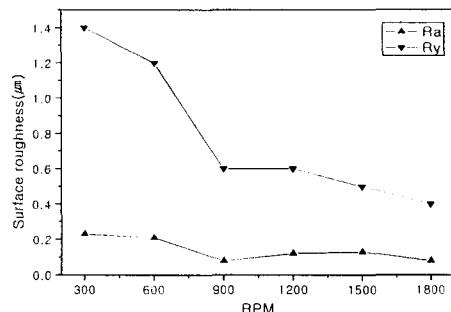


Fig. 6 Relationship between RPM and surface roughness

3.3 Gap에 따른 연마

Gap이 증가하면 자속밀도가 감소하고 자성입자 기둥도 약해지므로 Table 4와 같은 조건에서는 Fig. 7과 같이 Gap 커질수록 가공효과가 감소한다. 따라서 최대한 Gap을 줄이는 것이 좋은 가공 조건이 됨을 알 수 있다. 단 Gap이 너무 작으면 자력이 아닌 헤드와 파삭제 사이에 입자가 끼여 표면에 scratch가 생길 수 있다. 따라서 입자의 크기를 고려하여 최소의 Gap을 선택하는 것이 중요하다.

Table 4 Polishing conditions

Magnetic flux density(T)	Gap(mm)	Powder size(μm)	Time (min)	Rpm
0.2	1~2	100	3	1000

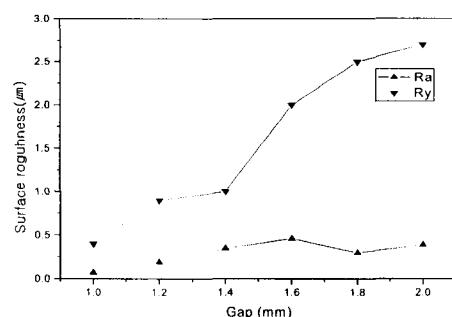


Fig. 7 Relationship between Gap and surface roughness

3.4 가공 시간에 따른 연마

Table 5의 연마조건으로 가공할 때는 가공시간이 길어질수록 Fig. 8과 같이 가공효과는 증대되나 주어진 입자크기로 가공할 수 있는 한계 표면 조도에 이르면 더 이상 연마가 되지 않는다. 자성입자 size가 100μm일 때 0.1μmRa (1μm Ry)까지 가공이 되므로 3분 이상은 연마 효과가 거의 없음을 알 수 있다.

Table 5 Polishing conditions

Magnetic flux density(T)	Gap(mm)	Powder size(μm)	Time (min)	Rpm
0.2	1	100	0.5~3	1000

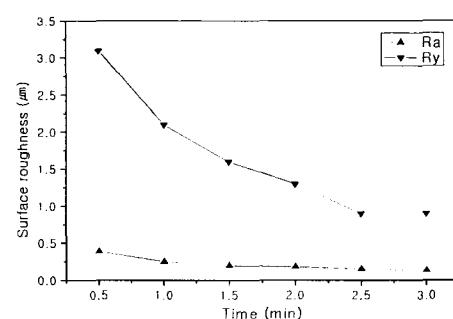


Fig. 8 Relationship between polishing time and surface roughness

4. 실험 결과

4.1 평면 연마

선행실험을 통한 결과를 이용하여 Table 6의 조건으로 연마를 하였다. 연마한 부분은 경면의 수준으로 Fig. 9의 (a)와 같이 시편 표면에 바닥의 무늬가 반사될 정도이며 표면 거칠기는 (b)처럼 연마하기 전의 표면 거칠기에 비해 4배 이상 좋아졌다. 이렇게 경면을 얻기 위해서는 적절한 연마재 및 연마조건을 사용하는 것이 중요하다.

Table 6 Polishing conditions

Polishing method	Magnetic flux density(T)	Gap (mm)	Powder size(μm)	Feed (mm/min)	Rpm
roughing	0.2	1.2	500	6	1000
finishing	0.2	1	100	6	1000

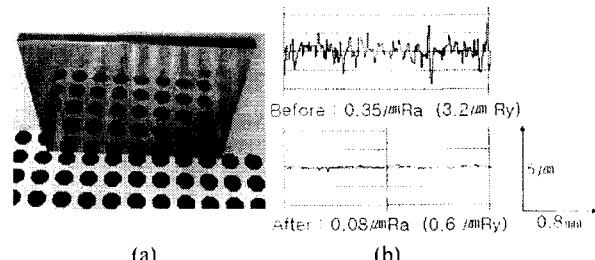


Fig. 9 (a): sample of polished surface (b): surface roughness

4.2 곡면 연마

자기연마법을 금형면에 적용하기 위하여 곡면형상을 Table 1의 조건으로 가공한 후 Table 7의 조건으로 연마하였다. 곡면형상은 연마가 가장 잘 된다는 pick feed(Pf)와 날당 이송량(Fz)의 비가 $Fz=Pf/2$ 인 조건으로 형상을 가공하였다.⁽⁴⁾

곡면을 Flat-end slit type 헤드로 연마를 하였을 때 Fig. 10의 2,4번 부분은 가공이 잘 되었으나 1,3,5번 부분은 가공의 거의 되지 않았다. 경사진 1,3,5번 부분은 헤드와 피삭제의 최소 Gap은 1mm이지만 평균 Gap은 2mm이상으로 연마효과가 현저히 감소한다. 따라서 경사부분까지 고르게 연마 할 수 있도록 Ball-type slit type Φ10을 이용하여 아래의 결과를 얻었다. 곡면연마는 Fig. 11처럼 1,3,5번 부분이 2,4번 부분에 비해 연마가 적게 되었지만 전반적으로 균일한 표면 거칠기를 얻었다. 1,3,5번 부분이 연마가 적게된 것은 자석기둥이 곡면에 수직하게 기울면서 회전력의 전달이 약해졌기 때문이다. 곡면연마를 할 때 기울기에 따라 가공변수를 조절하면 고른 표면연마 결과를 얻을 수 있을 것이다.

Table 7 Polishing conditions

Polishing method	Magnetic flux density(T)	Gap (mm)	Pad size(μm)	Feed (mm min)	Rpm
roughing	0.2	1.2	500	5	1000
finishing	0.2	1	100	5	1000

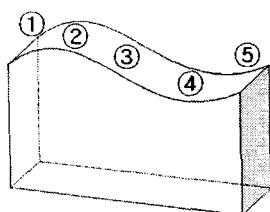


Fig. 10 Sampling position

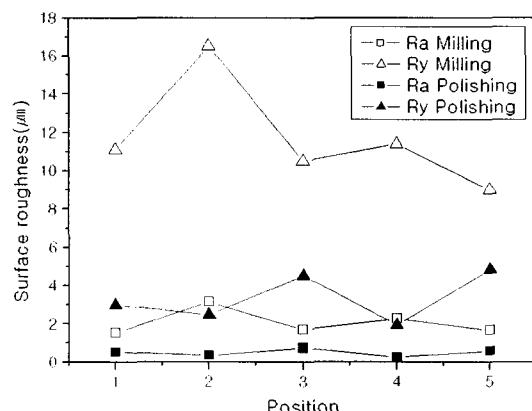


Fig. 11 Surface roughness of each position

5. 결론

자기장의 원리를 이용하여 자기연마장치를 제작하고 이를 이용하여 연마 실험을 하였다. 평면연마에서는 경면을 얻을 수 있었으며 곡면연마에서는 비교적 균일한 표면연마를 할 수 있었다. 다양한 사전실험과 연마 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 유도하였다

1. 연마장치를 공작기계의 툴 홀더에 장착함으로서 공작기계 내에서 공작물을 제거하지 않은 상태에서 연마가 가능함을 보였다.

2. 자속밀도, 회전속도는 증가할수록, Gap, Feed는 감소할수록 연마효과는 증가하나 작성입자의 크기에 따라서 연마의 한계가 있으므로 적절한 조건의 조합이 중요하다.

3. 평면은 0.08μmRa의 경면과 같은 연마표면을 얻을 수 있었으며, 곡면은 Ball-end slit type의 헤드를 이용하여 비교적 균일한 곡면 연마가 가능하였다.

4. 금형의 연마작업이 수작업에서 자동화가 될 수 있는 가능성성을 보였다.

후기

본 연구는 2002년도 『산·학·연 공동기술개발 컨소시엄』 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 三好隆志, 濱藤勝政 外, 金型みがき作業の知識獲得と自動化に関する研究, 型技術, 第6巻, 第8巻, PP.74~75, (1991)
- Takeo Shinmura, Toshio Aizawa "Developement of plane Magnetic Abrasive Finishing Apparatus and its Finishing Performance" JSPE-54-05 pp86~91 '88-05-928
- 이용철 "자기연마법을 이용한 금형면의 연마가공 자동화" 정밀표면가공 및 디버링 기술 워크샵 (BEST-K '98) pp. 100~110, 1998
- 이용철, "금형면의 자기연마가공 고효율화에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제13권 제6호, pp. 59-65, 1996.