가변 공기압력 초경면 연마기의 성능 특성에 관한 연구

배 명 환^{*1)} · 정 화²⁾

경상대학교 기계설계학과¹⁾ · 한국폴리텍대학 진주캠퍼스 컴퓨터응용기계과²⁾

A Study on Performance Characteristics of Super-mirror Face Grinding Machine Using Variable Air Pressure

Myung-whan Bae^{*1)} · Hwa Jung²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering for Production, Gyeongsang National University, Gyeongnam 660-701, Korea

²⁾Computer Applied Mechanical Department, Jinju Campus of Korea Polytechnic, Gyeongnam 660-996, Korea

(Received 8 November 2011 / Revised 22 September 2012 / Accepted 28 September 2012)

Abstract : The comparisons of performance characteristics between the super-mirror face grinding machine using variable air pressure developed in this laboratory to grind precisely the sliding face of a surface hardened workpiece with thermal spray and the conventional one are investigated by measuring the surface roughness and hardness for a SCM440. To process variously workpiece according to shape, size and materials, the rotating and contacting forces of the developed grinding machine can be changed by air pressure. The surface roughness of processed workpiece can be also attained to state of mirror face by grinding precisely the sliding face with changing the rotating speed of diamond wheel. It is possible to be attached to the various machine tools because the super-mirror face grinding machine using variable air pressure is a small size. The grinding efficiency is elevated because it can be worked by two or more grinding machines attached to concurrently a machine tool for the large workpiece. In this study, results show that the cusp height of the super-mirror face grinding machine for the particle size of 100 and 1500 No./mm² is lower than that of the conventional one because the vibration is reduced by rotating very fast the diamond wheel with a pressed air and it can be processed by rotating the diamond wheel with a constantly varied air pressure perpendicular to workpiece surface, and that the workpiece in the super-mirror face grinding machine for the particle size of 3000 No./mm² can be processed to state of mirror face that is rarely seen by the cusp height. It is also found that the surface hardness of both the conventional and the super-mirror face grinding machines are increased as the particle size of diamond wheel is reduced, and the surface hardness of the super-mirror face grinding machine is HRC 1.1 ~ 1.8 higher than that of the conventional one.

Key words : Super-mirror face grinding unit(초경면 연마기), Variable air pressure(가변 공기압력), Surface roughness(표면 거칠기), Surface hardness(표면 경도), Diamond wheel(다이아몬드 지석)

1. 서 론

최근 기계장치가 초정밀, 고성능화 등으로 바뀌어 감에 따라 제품가공의 최종 공정에 많이 사용되고 있는 연마가공은 고경도, 초정밀 및 초경면이 요

구되고 있다.

연마가공은 고경질 재료에서 연질 재료까지 수많은 연마입자로 가공할 수 있기 때문에 통상적인 절삭가공에 비해 적은 절입 깊이로 가공되어 가공 정도가 높고, 가공품위와 표면 거칠기가 우수한 가공 방법이다.¹⁻³⁾ 따라서 연마가공은 제품가공의 최종

*Corresponding author, E-mail: mwbae@gnu.ac.kr

공정으로 자주 사용되고 있으며, 높은 정밀도와 낮은 표면 거칠기를 얻기 위해서는 연마숫돌, 드레싱 조건, 연마조건 등의 가공 파라미터를 최적화할 수 있는 방안이 필요하다.^{4,7)}

본 연구실에서는 초경합금으로 표면 경화된 가공물인 롤러, 펌프 실린더, 피스톤, 플런저, 슬리브 등의 접동면을 초정밀 연마할 수 있는 가변 공기압력 초경면 연마기를 개발했다. 공기압력에 의해 회전력과 접촉력을 변화시킬 수 있도록 설계하여 제작된 초경면 연마기는 가공물의 형상, 크기 및 재질에 따라 다양하게 가공할 수 있고, 다이아몬드 지석의 회전속도를 변화시켜 접동면을 초정밀 연마 가공함으로써 가공물의 표면 거칠기를 경면의 상태까지 가공할 수 있다.⁸⁾

개발된 초경면 연마기는 소형이므로 각 종 공작기계에 부착이 가능하고, 대형 가공물의 경우에는 가공물과의 접촉위치를 바꾸어 2개 이상의 연마장치를 공작기계에 동시 부착시켜 작업을 할 수 있기 때문에 연마효율을 높일 수가 있다. 또한, 연마지석의 형상과 종류를 변경하여 평면, 내경 및 외경의 연마도 가능할 뿐만 아니라, 장축을 연마할 시에는 가공압력을 조절하여 장축의 휨이 발생하지 않도록 할 수 있고, 가공물의 접동면에 가공 및 이송 흔적을 최소화시키기 위해 낮은 압력으로 초정밀 연마를 할 수 있다.

본 연구의 목적은 기존 연마기와 개발된 가변 공기압력 초경면 연마기를 사용하여 일정한 연마 및 가공물 회전속도에서 단위면적당의 입자수를 변화시켜 용사로 표면 경화처리된 크롬-몰리브덴 합금강 SCM440 가공물의 표면 거칠기 및 경도를 측정하고 비교하여 가변 공기압력 초경면 연마기의 성능 특성을 조사하는 것이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 개발된 가변 공기압력 초경면 연마기의 단면도로 연마가 이루어지는 다이아몬드 지석, 회전력 및 접촉력을 형성하는 로터와 피스톤 본체, 로터 회전속도 및 접촉압력을 제어하는 공기압력 조

절기로 구성되어 있다.

가변 공기압력 초경면 연마기의 본체 중심 상부에 장착된 공기압력 조절기에 의해 압축공기가 본체 내 실린더를 밀어 접촉압력을 일정하게 유지시키고, 실린더 중심에 장착된 공기압력 조절기에 의해 압축공기로 다이아몬드 지석 축의 로터를 회전시켜 연마하게 된다.

Fig. 2는 가변 공기압력 초경면 연마기의 정면에 붙어 있는 다이아몬드 지석의 단면도인데 공정에 따라 연마지석을 간단하게 탈착 및 부착할 수 있는 조립식 구조로 되어 있다.

시험편은 자동차, 선박, 냉간 단조품 등에 널리 사용되고 있는 내열성, 내마모성 및 고온강도가 우수한 크롬-몰리브덴 합금강 SCM440($\Phi 50 \text{ mm} \times L 30 \text{ mm}$)으로 제작하였다. 또한, 시험편의 표면 경도를 높이기 위해 Photo. 1과 같이 텅스텐 카바이드 (Tungsten carbide)의 재료로 용사(Thermal spray :

Fig. 1 Sectional view of super-mirror face grinding machine

Fig. 2 Sectional view of diamond wheel

Photo. 1 Thermal spraying of specimen

JP-5000)하여 표면 경화처리를 하였다.

Tables 1 및 2는 직경 50 mm와 길이 200 mm인 시험편 SCM440의 화학적 성분과 기계적 물성치를, Tables 3 및 4는 용사재료의 화학적 성분과 기계적 물성치를 나타내고 있다.

Table 1 Chemical compositions of SCM440 (wt%)

Cr	Mn	C	Si	Mo	Cu	S	P
0.107	0.778	0.408	0.234	0.176	0.107	0.030	0.0125

Table 2 Mechanical properties of SCM440

Strength	Rockwell (HRC)	25.5 ~ 32.2
	Brinell (HB)	285 ~ 352
Reduction of area (%)		35.2
Elongation at break (%)		10.2
Tensile strength (MPa)		1272
Yield point (MPa)		1000

Table 3 Chemical compositions of tungsten carbide as a thermal spraying material(wt%)

WC	Co	Cr	Ni
86	9	4	1

Table 4 Mechanical properties of tungsten carbide as a thermal spraying material

Porosity (%)	Max. 0.25
Micro-hardness (Hv)	1200
Melting point (°C)	1260

2.2 실험방법

Photos. 2, 3 및 Fig. 3은 시험편의 연마과정을 나타낸 것으로 연마 시에 떨림이 발생하지 않도록 시험편 양끝의 중심부분을 범용선반의 심압봉에 끼워 견고하게 고정하여 회전시킨다. 이 때, 가변 공기압력 초경면 연마기는 시험편의 표면에 직각방향으로 설치되어 시험편을 연마한다.

Table 5에는 본 실험에서 사용한 연마조건을 나타내고 있다. 연마에 사용된 다이아몬드 지석 입자 크기는 100, 500, 1000, 1500 및 3000 No./mm²이고, 연마 이송속도는 20 mm/min인데, 기존 연마기와 개발한 가변 공기압력 초경면 연마기에 의해 습식 연마된 시험편의 표면 거칠기(Surface roughness)와 표면 경도(Surface hardness)를 측정한 평균데이터로서 나타내었다.

Photo. 2 Working scene of specimen by a conventional grinding machine

Photo. 3 Working scene of specimen by the developed super-mirror face grinding machine

Fig. 3 Sectional view of diamond wheel and workpiece by super-mirror face grinding machine

Table 5 Grinding conditions

Grinding machine	Conventional grinding machine	Super-mirror face grinding machine
Diamond wheel (mm)	Diameter : 150 Width : 10	Diameter : 30
Grain numbers per unit area (No./mm ²)	100, 500, 1000, 1500	100, 500, 1000, 1500, 3000
Rotational speed of grinding (rpm)	1500	12000
Rotational speed of workpiece (rpm)	12	
Feed rate (mm/min)	20	
Cooling method	Polishing oil	

Fig. 4에는 표면 거칠기 측정시스템을, Table 6에는 표면 거칠기 측정기의 주요제원을 나타내고 있다. 표면 거칠기의 정확한 측정을 하기 위해 수준기로 수평을 맞춘 후에 컷오프 값은 0.8 mm로, 기준길이는 컷오프 값의 5배인 4 mm로, 범위 값은 25 μ m로 설정하였으며 가공된 시험편을 알코올로 세척한 후 측정테이블 위에 올려놓고 연마방향으로 이송장치를 작동하여 측정하였다.⁹⁾

증폭기 및 기록기로부터 최대높이(Ry), 10점 평균 거칠기(Rz), 산술 평균 거칠기(Ra)를 측정한다.

Fig. 4 Measuring system of surface roughness

Table 6 Specifications of surface roughness measuring instrument

Item	Specifications
Model	Mitutoyo SURF-TEST SV-414
Limit indication (μ m, Rmax)	600
Cut-off value (mm)	0.08 ~ 8
Basic range (mm)	0.25 ~ 8
Stylus force (N)	0.00392
Driving speed (mm/s)	0.02 ~ 1.2
Tip radius (μ m)	5

다음, 그 중에서 산술 평균 거칠기 값을 3회 측정된 평균값을 데이터로 사용하였다.

Table 7에는 표면 경도측정기의 주요제원을 나타내고 있다. 정확하게 측정하기 위하여 측정기 테이블의 V 블록 상에 시험편을 올려놓고 하중 2942 N, 측정시간 15초로 설정한 다음 표면 경도를 측정하였다.

측정기로부터 표면 로크웰, 로크웰, 브리넬 경도를 측정한 다음, 그 중에서 표면 로크웰 경도값에 대한 미세경도를 10회 반복하여 측정한 후, 가장 큰 경도 값과 가장 작은 경도 값을 제외한 나머지 8회 측정된 평균값을 데이터로 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 표면 거칠기 특성

Table 7 Specifications of surface hardness measuring instrument

Item		Specifications
Model		Mitutoyo HR-521
Preliminary test force (N)		29.42, 98.07
Test force	Superficial Rockwell (N)	147.1, 294.2, 441.3
	Rockwell (N)	588.4, 980.7, 1471
	Brinell (N)	1839
Test force setting		By control unit
Test time (sec)		0 ~ 120
Stage elevation		Manual
Control unit		Touch screen type

Figs. 5, 6 및 7에서는 다이아몬드 지석 입자 크기 중에서 대표적으로 100, 1500 및 3000 No./mm²로 변화시켰을 때, 기존 연마기와 가변 공기압력 초경면 연마기에 대한 시험편 표면 거칠기의 형상을 나타내고 있다. 그런데 기존 연마기에서는 지석에 3000 No./mm²의 다이아몬드 입자를 접촉하는 접착제가 연마과정 중 발생하는 열에 녹아서 연마를 할 수 없었기 때문에 형상을 나타낼 수가 없었다.

그림에서 다이아몬드 지석 입자 크기가 100 및 1500 No./mm²에서는 기존 연마기보다 가변 공기압력 초경면 연마기의 커스 높이(Cusp height)가 낮게 나타나고 있다. 특히, 다이아몬드 지석 입자 크기 3000 No./mm²에서는 가변 공기압력 초경면 연마기의 커스 높이가 거의 0에 가까운 일직선의 경면으로 나타남을 알 수 있다.¹⁰⁾

이것은 본 연구에서 개발한 가변 공기압력 초경면 연마기는 소형이면서 압축공기를 사용하기 때문에 초고속으로 회전시켜도 진동이 적고, 가공물 표면의 수직방향에 일정한 가변 공기압력으로 회전을 변환시키면서 작업을 할 수 있어 커스 높이가 거의 나타나지 않는 일직선의 경면으로 연마되었다.

또한, 본 연구에서 개발한 가변 공기압력 초경면 연마기는 소구경 장축 가공물일 경우에 일정한 낮은 공기압력으로 연마할 수 있으므로 가공물이 휘거나 원주방향의 표면웨이브 현상을 개선할 수 있는 특징을 가지고 있다.

(a) Conventional grinding machine

(b) Super-mirror face grinding machine

Fig. 5 Curve of surface roughness at the grain numbers per unit area = 100 No./mm²

(a) Conventional grinding machine

(b) Super-mirror face grinding machine

Fig. 6 Curve of surface roughness at the grain numbers per unit area = 1500 No./mm²

(a) Super-mirror face grinding machine

Fig. 7 Curve of surface roughness at the grain numbers per unit area = 3000 No./mm²

Fig. 8에는 기존 연마기와 가변 공기압력 초경면

Fig. 8 Comparison of average surface roughness to grain numbers per unit area between the conventional and super-mirror face grinding machines

연마기의 다이아몬드 지식입자 크기를 100에서 3000 No./mm²로 변화시켰을 때, 측정된 표면 거칠기 값의 특성을 나타내고 있는데, 2개의 연마기에 사용된 연마 전의 시험편은 표면 거칠기 값이 거의 동일한 범위인 2 ~ 2.5 μm이었다.

그림에서 다이아몬드 지식입자 크기가 작아질수록 기존 연마기와 가변 공기압력 조정면 연마기의 표면 거칠기 값이 감소하고 있는데, 100에서 500 No./mm²으로 변화할 때 급격하게 감소하고, 500 No./mm² 이상에서는 완만하게 감소되는 것을 보여 주고 있다.

또한, 지식입자 크기 500 ~ 1500 No./mm²의 실험 범위에서는 기존 연마기의 표면 거칠기보다 가변 공기압력 조정면 연마기가 0.02 ~ 0.05 μm로 더 낮게 나타나고 있는데, 이것은 가변 공기압력 조정면 연마기의 경우에 앞에서 고찰한 것처럼 소형이면서 기존 연마기보다 8배 높은 회전속도로 연마하고, 가공물 표면의 수직방향에 일정한 가변 공기압력으로 회전시켜 작업을 할 수 있기 때문이다. 그러나 지식입자 크기가 100 No./mm²와 같이 큰 경우에는 효과가 없음을 알 수 있다.

3.2 표면경도 특성

Fig. 9에는 기존 연마기와 가변 공기압력 조정면 연마기에 의해 연마 전후 가공된 표면 거칠기 곡선

(a) Conventional grinding machine

(b) Super-mirror face grinding machine

Fig. 9 Conceptual view of grinding surface roughness curve

의 개념도를 나타내고 있다. 앞에서 고찰한 것처럼 기존 연마기에서는 가변 공기압력 조정면 연마기보다 커스 높이가 크게 나타난다.

Fig. 10에서는 기존 연마기와 가변 공기압력 조정면 연마기의 다이아몬드 지식입자 크기를 100, 500, 1000, 1500 및 3000 No./mm²로 변화시켰을 때 시험편의 표면경도 값의 특성을 나타내고 있다.

Fig. 10 Comparison of average surface hardness to grain numbers per unit area between the conventional and super-mirror face grinding machines

그림에서 다이아몬드 지식입자 크기가 작아질수록 기존 연마기와 가변 공기압력 초경면 연마기의 표면경도는 증가하였는데, 기존 연마기보다는 가변 공기압력 초경면 연마기의 표면 경도가 HRC 1.1 ~ 1.8 정도로 높게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 8에서 표면 거칠기 값이 낮아지면 Fig. 10의 표면경도 값은 증가한다. 이것은 Fig. 9의 표면 거칠기 곡선의 커스 높이가 클 경우에 표면경도 측정 중 표면 거칠기 곡선의 산과 골에 다이아몬드 원뿔 촉침(Diamond pyramid penetrator) 하중이 가해져 골과 산이 노치(Notch) 역할을 하게 되어 기존 연마기보다 가변 공기압력 초경면 연마기의 표면경도가 높게 나타났다. 그런데 지식입자 크기 100 No./mm²일 경우에 표면 거칠기 값이 큼에도 불구하고 표면경도 값이 증가되었는데, 이것은 표면 거칠기 뿐만이 아니고, 표면웨이브의 영향이 가미되어 나타났기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 용사로 표면 경화처리된 SCM440을 기존 연마기와 본 연구실에서 개발한 가변 공기압력 초경면 연마기에 의해 습식연마시켰을 경우에 대해 다이아몬드 지식입자 크기를 100, 500, 1000, 1500 및 3000 No./mm²로 변화시켜 표면 거칠기 및 표면경도 값을 측정하고 비교하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

1) 압축공기에 의해 초고속으로 회전시켜 진동을 줄이고, 가공물 표면의 수직방향에 일정한 가변 공기압력으로 회전시켜 작업할 수 있기 때문에, 다이아몬드 지식입자 크기 100 및 1500 No./mm²에서는 기존 연마기보다 가변 공기압력 초경면 연마기의 커스 높이가 낮게 나타났다.

2) 기존 연마기에서는 접착제 문제로 다이아몬드 지식입자 크기 3000 No./mm²를 사용할 수 없었지만, 가변 공기압력 초경면 연마기의 경우에는 커스 높이가 거의 나타나지 않는 일직선의 경면으로 연마할 수 있었다.

3) 다이아몬드 지식 입자 크기 500, 1000 및 1500 No./mm²에서 가변 공기압력 초경면 연마기는 기존

연마기보다 표면 거칠기가 0.02 ~ 0.05 μm 정도 우수하였다.

4) 다이아몬드 지식입자 크기가 작아질수록 기존 연마기와 가변 공기압력 초경면 연마기 모두 표면경도가 증가하였는데, 기존 연마기보다 가변 공기압력 초경면 연마기의 경우에 HRC 1.1 ~ 1.8 정도 높게 나타났다.

5) 다이아몬드 지식입자 크기 500 No./mm²보다 작은 경우에는 기존 연마기의 표면 거칠기 값이 더 작기 때문에 가변 공기압력 초경면 연마기보다 더 유리하지만, 500 No./mm² 이상에서는 개발한 연마기가 우수함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 2단계 BK21 사업단 및 경상대학교 공학연구원의 지원을 받아 수행되었기에 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) N. J. Brown, "Lapping: Polishing and Shear Mode Grinding," JSPE-56-05, pp.24-29, 1990.
- 2) P. A. Mikeen, K. Carlisle, P. Shore and R. F. J. Read, "Ultra-precision, High Stiffness CNC Grinding Machines for Ductile Mode Grinding of Brittle Materials," JSPE-56-05, pp.30-37, 1990.
- 3) H. Ohmori and T. Nakagawa, "Mirror Surface Grinding of Silicon Wafers with Electrolytic Inprocess Dressing," Annals of the CIRP, Vol. 39, pp.329-332, 1990.
- 4) M. I. Bae and H. B. Kim, "Ultra-precision Finishing Characteristics of Coated Chrome Steel," Korea Society Manufacturing Technology Engineers, Vol.7, No.6, pp.97-101, 1998.
- 5) Y. M. Lee, W. S. Choi, S. I. Chang, D. W. Bae, J. W. Son and H. G. Lee, "Analysis of Specific Grinding Energy Using Average Grain Model," Korea Society Manufacturing Technology Engineers, Vol.14, No.4, pp.61-68, 2005.
- 6) K. Tani, "Thermal Spraying Surface Modifi-

- cation and Its Interaction with Environment,” Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, Vol.46, No.5, pp.20-25, 2011.
- 7) K. Murakami, “Corrosion Protection and Anti-fouling Properties of Thermal Sprayed Metal Coatings,” Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, Vol.46, No.5, pp.40-45, 2011.
- 8) B. H. Park, Super-mirror Face Grinding Machine, Patent No.10-0564387(2006. 3. 20).
- 9) M. W. Bae, B. H. Park and H. Jung, “Study on Improvement of Durability for Run-out Table Roller with Hot Rolling by Porous Self-fluxing Alloy Coating,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.36, No.2, pp.276-285, 2012.
- 10) M. W. Bae, B. H. Park and H. Jung, “Performance Characteristics of Super-mirror Face Grinding Machine Using Variable Air Pressure,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.1835-1840, 2011.