

자기연마법을 응용한 미세금형부품의 초정밀 연마

안병운* (서울산업대 대학원 기계공학과), 김욱배 (연세대 대학원 기계공학과),
박성준 (연세대 NT 연구단), 이상조 (연세대 기계공학부)

Ultra Precision Polishing of Micro Die and Mold Parts using Magnetic-assisted Machining

B. W. Ahn (Mech. Eng. Dept., Seoul National Univ. of Tech.), W. B. Kim (Mech. Eng. Dept., Yonsei Univ.),
S. J. Park (Center for Nano Technology, Yonsei Univ.), S. J. Lee (School of Mech. Eng., Yonsei Univ.)

ABSTRACT

This paper suggests the selective ultra precision polishing techniques for micro die and mold parts using magnetic-assisted machining. Fabrication of magnetic abrasive particle and their polishing performance are key technology at ultra precision polishing process of micro parts. Conventional magnetic abrasives have disadvantages, which are missing of abrasive particle and inequality between magnetic particle and abrasive particle. So, bonded magnetic abrasive particles are fabricated by several method. For example, plasma melting and direct bonding. Ferrite and carbonyl iron powder are used as magnetic particle where silicon carbide and Al_2O_3 are abrasive particle. Developed particles are analyzed using measurement device such as SEM. Possibility of magnetic abrasive and polishing performance of this magnetic abrasive particles also have been investigated. After polishing, surface roughness of workpiece is reduced from $2.927 \mu m$ Rmax to $0.453 \mu m$ Rmax.

Key Words : Magnetic-assisted Machining (자기연마), Micro die and mold parts (미세금형부품), Magnetic flux strength (자기밀도), Abrasive particle (연마입자)

1. 서론

최근들어 각종의 생산제품 및 부품들이 점차 미세화되어가고 있으며, 이를 바탕으로 마이크로/나노 기술의 일부로서 각종의 미세부품제작기술에 대한 연구가 활발하다. MEMS 기술은 대표적인 미세부품 제작기술로서 제작 가능한 제품의 수는 헤아리기 어렵고 또한 화학적, 기계적 방법을 응용한 각종의 특수미세가공법도 나날이 그 성능의 발전을 더하고 있다. 이러한 미세 제품생산기술의 미개척 분야로는 표면연마기술이라 할수 있으나, 기술적으로 3차원 미세부품의 표면연마를 행할수 있는 방법이 별로 많지가 않다. 몇가지 가능한 공정으로는 미세 연삭 스톨을 이용한 표면연마, 그리고 미세 전해 가공(micro ECM) 혹은 이로부터 약간 변형된 방법 등이 3차원 미세부품 표면연마에 적용될수 있으나 미세스톨을 이용한 방법은 스톨의 제작이 어렵고 스톨에 비치된 지립의 수가 부족하여 비효율적이며,

미세 전해가공은 공정에 따라 조건이 까다롭고 환경에 유해한 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 마땅한 대응책이 없는 3차원 미세부품의 표면연마 기술로서 기존의 자기연마법을 응용한 미세자기연마법을 개발하였다.

2. 미세부품 표면연마기술

2.1 자기연마 가공의 개요

기존의 자기연마법의 가공메카니즘은 전자석의 코어를 연마공구(Quill)로 하여 공구와 공작물 사이에 간극을 주고 그 공간에 자성입자와 연삭입자를 채우게되면 전류를 통해 자화된 자성입자는 공작물 까지 사슬구조로 정렬되며 이것이 유연성을 가진 연마스톨이 된다. 이때 가공압력은 자극과 공작물 사이의 끊어 당기는 힘. 연마공구(Quill)의 회전력 그리고 간극에서의 자속밀도 크기 및 분포상태, 자성입자의 자화특성등에 의해 발생하고 결정된다.

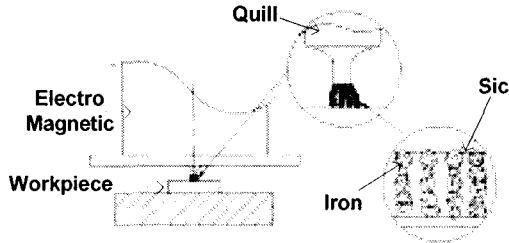


Fig. 1 Structure of polishing process

본 연구에서 적용하는 미세자기연마법의 가공메카니즘은 기존의 자기연마법에서 크게 벗어나지 않지만 이를 미세부품의 표면연마공정에 적용하여 미세화하는데에는 수 마이크로에서 수 나노크기의 기능성입자가 요구되며 미세 연마공구(Quill)의 끝단의 자기장 집중이 요구된다.

2.2 자기연마입자 제조

자성입자와 연마입자를 단순 혼합하여 사용하게 되면 연마공구에 부과된 자기력과 회전력에 의해 Fig. 2에 볼수 있듯이 연마입자는 공구의 회전에 의한 원심력의 영향으로 가장자리에 모이게 되며 시간이 지날수록 연마입자가 탈락되는 것을 확인할수 있다. 따라서, 연마입자와 자성입자를 물리적으로 결합하여 사용하게 되면 가공성능이 좀 더 우수할 것을 예측할 수 있다.

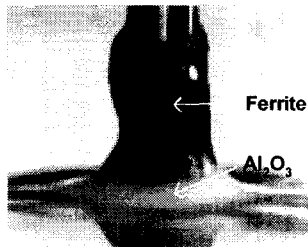


Fig. 2 Separation of magnetic particle and abrasive particle

지금까지 가장 많이 알려진 제조법으로는 PPM (Plasma Powder Melting)법과 플라즈마 용융법으로 자성입자를 용융하여 연삭입자와 결합하는 방법으로서 입자간의 결합력은 우수하나 제조 공정이 복잡하고 고가의 장비를 필요로 한다. 또한 Fe 계 자성입자의 curie point 가 400~900 ℃이므로 자성입자

의 성질이 강자성체에서 연자성체로 변화되어 자력이 낮아지며, 밀도차가 큰 두 투입자의 결합에서는 큰 편석이 발생하여 자성입자와 연마입자 각각의 밀도에 따른 제약등 여러가지 문제점들이 나타난다.

이에 본 연구에서는 위의 문제점에 대한 대안으로 접착제를 이용한 연마입자 제조방법을 선택하였다. 접착제의 성분은 시안아크릴레이트 접착제를 사용한다. 이 접착제는 높은 접착력과 습윤특성을 가지므로 자성입자와 연마입자로 이루어진 혼합체 내에 침투하여 분말 혼합체의 입자가 얇은층의 필름으로 둘러싸이도록한다. 이와 같은 공정은 1 분이내에 이루어지며 제조된 혼합체의 완전경화까지는 4 시간이 소요되므로 기존 방법에 비해 입자 제조시간이 짧고 공정이 간단하며 고가의 장비를 필요로 하지 않는다. 특히 자성입자와 연마입자간의 물리적인 결합으로 인하여 자성입자의 자성 변화가 없어 미세금형부품의 표면연마에 적합하다고 생각된다.

3. 실험장치

3.1 실험장치의 구성

미세 금형부품의 표면 연마에 적용하기위한 자기연마가공에는 전용기계가 아닌 일반 머시닝센터에 전자석과 연마공구(Quill)로 구성된 Magnetic-assisted machining head 를 부착하여 사용하며 장비의 대략적인 구조는 Fig. 3 과 같다.

간략하게 설명하면 그림과 같이 머시닝센터 주축에 지그를 이용하여 전자석을 고정시킨다. 그리고 연마공구가 전자석 코어의 기능을 하도록 전자석 공심을 통과시키며 전원공급장치를 설치하여 전자석에 전압을 부가하는 방식이다.

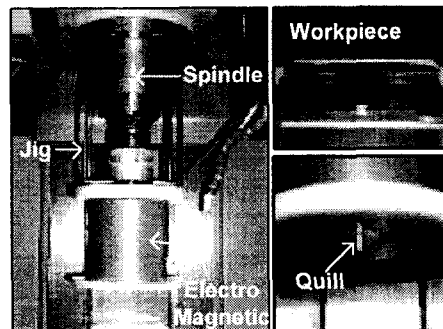


Fig. 3 Magnetic-assisted Machining

Table 1. Experimental system

Equipment	Machining center : TNV - 40A (SAEIL Co., Ltd)
Magnetic-assisted Machining head	Electro magnetic rod (Quill) [ϕ 5mm, Coil: 4800 , magnetic flux strength: 0.45T (DC 50 V, 2 A)]
Magnetic particle	Carbonyl Iron (average grit size: 7~9 μ m)
Abrasive particle	Silicon Carbide (average grit size: 1~3 μ m)
Magnetic polishing abrasive	Union by bond of Carbonyl Iron and Silicon Carbide (average grit size: 10~15 μ m)

Table 2. Experimental conditions

No.	Magnetic polishing abrasive	Gap (mm)	Feed (mm/min)	Quill rpm	Workpiece (Heat Treated)
1	Carbonyl Iron + Silicon Carbide	0.5	5	500	SM45C
2	Carbonyl Iron + Silicon Carbide	1	5	500	SM45C
3	Carbonyl Iron + Silicon Carbide	1.5	5	500	SM45C

4. 입자제조 및 제조결과

4.1 입자 제조방법

본 연구에서 사용하는 자성입자와 연마입자의 종류와 입자의 크기는 Table 1 에 나타내었다. 2.2 절에서 나타낸 바와 마찬가지로 접착제에 의한 입자결합방법으로 제조하며 자기연마입자 제조는 3 단계의 공정을 거친다.

1 단계는 자성입자(55wt%)와 연마입자(45wt%)를 Ball mill (혹은 Attrition mill)을 사용하여 약 30 분동안 혼합한다.

2 단계는 자성입자와 연마입자의 혼합분말체를 균일하게 분포시킨후 접착제를 침투시킨다. 이때 사용되는 접착제는 ALTECO 사의 Cyanoacrylate Adhesive EE 이며 속경화용이므로 경화시간은 20~40 분, 완전경화까지는 4 시간이 소요되며 접착제 성분은 100%의 혼합분말체에 대하여 3~5%로 한다.

3 단계는 분쇄과정으로서 Ball mill (혹은 Attrition mill)을 사용하며 얻고자하는 입자의 크기에 따라서 공정 시간을 결정한다.

4.2 입자 제조 결과

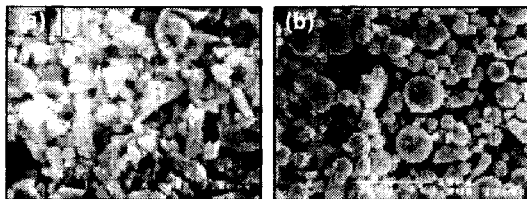


Fig. 4 SEM Photograph (a) Silicon Carbide. (b) Carbonyl Iron

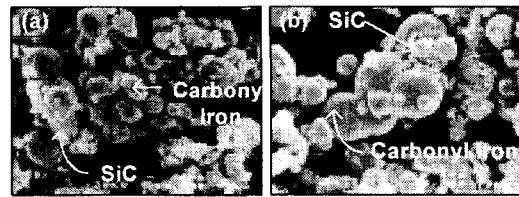


Fig. 5 SEM Photograph

(Union by bond of Carbonyl Iron and Silicon Carbide)

자기연마용 입자제조에 사용된 자성입자와 연마입자를 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였으며 그 결과를 Fig. 4 에 나타내었다. 두 입자를 접착제에 의해 결합한 후 파쇄하여 제조한 결과를 Fig. 5 에 나타내었다.

연마입자인 Silicon Carbide 는 Fig. 4(a)에서 보듯이 입자모양이 예리한 모서리를 가지고 있으며 연마입자의 특성으로서 중요한 경도는 약 2480Mpa 정도의 값을 갖는다. 비록 Diamond 와 Boron Carbide 보다 경도와 연마능력은 낮지만 비철재료의 연마와 거친 경질재료의 마무리용으로 널리 사용되고 있다.

자성입자인 Carbonyl Iron 은 Fig. 4(b)에 나타내었으며 입자모양이 구형이고 순도 99.5% 이상의 분말로서 자성의 성질이 매우 우수하다고 할수 있다.

Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)는 제조된 입자를 서로 다른 위치에서 관찰한 결과이다. 그림에서 볼수 있듯이 구형의 Carbonyl Iron 입자에 예리한 모서리를 가지고 있는 Silicon Carbide 가 접착제에 의하여 결합되어져 있는 현상을 관찰할 수 있다. 이와 같이 자성입자와 연마입자를 같이 결합하여 자기연마 입자로 사용함으로써 연마입자의 탈락을 방지하고 균일한 혼합비율을 일정하게 유지함으로써 가공성능을 향상시킬 수 있다.

5. 실험 및 실험결과

5.1 실험

본 실험에서는 결합된 입자에 의한 자기연마법을 연마 가공의 가장 기본적인 목적인 시편의 표면 거칠기 향상 정도를 기준으로 평가하였다.

실험에 필요란 전자석에 의한 연마공구(Quill)에 대한 조건과 가공 실험조건은 Table 1 과 Table 2 에 정리하였다. 또한 연마공구(Quill)의 회전속도와 이송속도는 자기연마입자 제조후 기초실험과 기존 자기연마법에 관한 연구결과를 참고하여 결정을 하였으며 시편은 지름 50mm 의 열처리된 SM45C 를 사용하였다. 표면은 전처리과정을 통해 가공실험 전의 초기 표면거칠기를 R_a 0.113 μm , R_{max} 2.927 μm 로 하였다.

5.2 실험결과

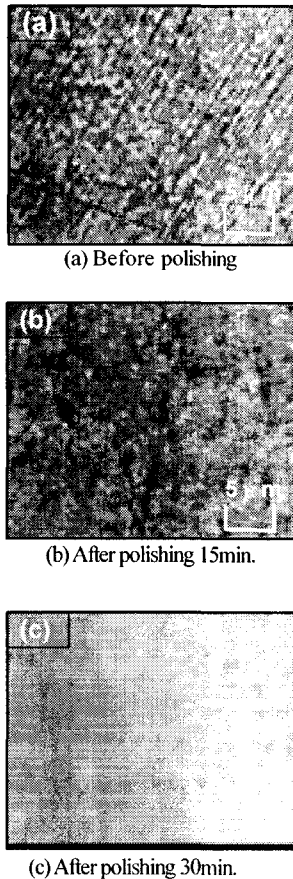


Fig. 7 Photograph of Surface ($\times 320$)

Fig. 7 은 가공시간에 따른 표면상태의 변화를 공구현미경 사진으로 나타내었다. 실험조건에 따라

실험한 결과는 초기 표면거칠기 R_a 0.113 μm , R_{max} 2.927 μm 에서 30 분 연마가공 후 표면거칠기는 R_a 0.086 μm , R_{max} 0.453 μm 로 표면 상태가 향상되었다.

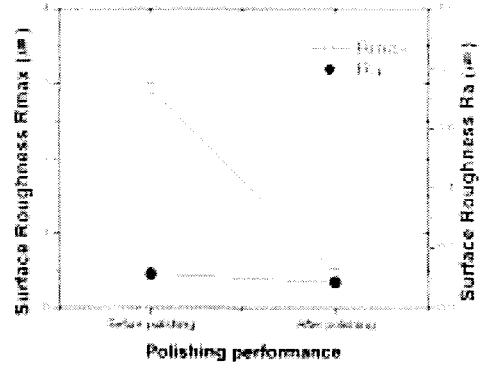


Fig. 8 Polishing result

6. 결론

본 연구에서는 자기연마방법을 응용하여 미세 금형부품의 선택적 표면연마의 적용성을 파악하는 실험을 진행하였다. 자기연마법을 미세금형부품에 적용하기 위해서는 미세구조물에 적합하도록 연마제가 결합된 자성입자(자기연마입자)의 제조와 전자석을 이용하여 균일한 자기장이 발생할수 있는 장치를 제작하였다.

자기연마입자는 접착제에 의한 제조 방법으로서 플라즈마 용융에 의한 제조법에 비하여 공정의 간소화와 제조시간,비용 등의 사항을 개선할 수 있었다. 또한 접착제에 의한 단순 결합으로 인한 특성의 영향으로 자성의 큰 변화 없이 수 마이크로 크기의 기능성입자를 제조하였다. 이러한 결합입자는 미세 구조물 및 3 차원 표면 연마가공에 적합하다고 생각된다. 연마성능은 표면거칠기 정도의 개선을 연마시간의 변화에 따라 평가하였으며 그 결과 입자의 크기 및 가공조건에 따라서 미세 금형부품의 선택적 표면 연마시 표면 거칠기를 나노 스케일로 구현할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. Weimin Lin, Hitoshi Ohmori, "Potential micro fabrication by magnetic polishing for surface quality control." RIKEN, Vol. 34, 2001.
2. Y.Q. Chen, S. Dong, "Study of the compound polishing process on SnSb alloy moulds," Annals of the CIRP, Vol. 39, pp. 517 - 521, 1990.
3. 이영란, 배승열, "자성연마용 Fe-WC 복합입자의 조직 특성" 한국 재료학회지, 제 11 권, 제 10 호, pp. 907-911, 2001