

자기연마법을 이용한 금형면의 다듬질 가공자동화 연구
A Study on Automatic Finishing for Die & Mold
Surface Using Magnetic Abrasive Polishing

李 龍 哲
蓮庵工專

安齊正博
(日)理化學研究所

中川威雄
東京大學

A b s t r a c t

This paper describes a new surface finishing process which uses magnetic abrasive polishing. This is applied to automatic finishing of die & mold surface. Nowadays, most of die & mold manufacturing procedures have been automated by the introduction of NC machine tool and CAD/CAM system. But the surface finishing of die & mold must be done by hand work of well-skilled workers. Though many attempts were tried in the past 15 years to eliminate this hand work, the automatic finishing of die & mold surface with 3D curvature has not been achieved yet. New magnetic abrasive finishing process is thought as one of the possible methods for the automation of 3D surface finishing. In order to improve the grindability of the method, ultra-high speed and 5-axis machining was introduced. The magnetic abrasive polishing which has adopted these methods was confirmed to improve the efficiency of die & mold surface finishing.

1 서 론

오늘날 고도기술시대의 도래와 다양화되고 개성화되는 사회구조의 급속한 변화에 공업제품도 이에 적응하기 위하여 발빠른 신제품 개발이 절실히 요구되고 있다. 이러한 다종다양화되는 공업제품의 제작방법은 여러가지가 있으나, 그 중에서 금형에 의한 제작이 광범위하게 이용되고 있다. 이 금형제작과정에서 1차 형상가공은 모방가공, 방전가공, CNC 공작기계 및 CAM 등으로 매우 복잡한 형상까지도 가능하나, 금형가공 공정의 약 30~50%를 차지하는 다듬질 가공⁽¹⁾은 아직도 기계화·자동화되지 못하고 재래식 숙련공의 경험과 수작업에 의존하고 있는 실정⁽²⁾이다. 또한 다듬질가공은 전형적인 3D업종의 하나이며, 숙련공의 인력수급과 인건비 상승 등으로 대부분이 중소기업형태의 국내 금형업체에 큰 부담을 안겨주고 있다.

이제는 금형산업도 재래식 공작기계와 수작업에 의한 기능생산방식에서 CNC공작기계와 CAD/CAM을 이용한 고도장치생산방식으로 변해가고 있다. 그러나 이 다듬질 가공공정만은 아직도 자동화가 이루어지지 않고 있어 전체 생산공정의 자동화에 큰 걸림돌이 되고 있다.

이에 본 연구에서는 금형의 최종 다듬질가공의 자동화를 위해서 CNC 밀링이나 머시닝센터에서 간단한 장치와

가공법으로 다듬질가공이 가능한 자기연마법⁽³⁾을 도입, 적용하였다. 이 가공법은 자기흡인력에 의해 연마되므로 고정숫돌에 비해 연마효율이 떨어지며, 경사진 면이나 곡면연마 시에도 자력작용의 불균일로 인해 연마효율과 정밀도가 저하되는 문제점이 있어, 초고속밀링과 자기연마법, 5축제어 머시닝센터와 자기연마법을 병용한 일련의 절삭과 연마가공에 있어 고효율화를 위한 연구 실험을 하였다.

2 자기연마법의 원리

자기연마법은 소련, 불가리아에서 연구, 개발되었고, 일본은 1981년에 도입된 기술⁽⁴⁾이다. 기본적인 장치는 자석과 자성연마입자⁽⁵⁾ 그리고 이것을 회전시킬 수 있는 공작기계로 구성되어 있으며, Fig. 1에 연구에 사용된 연마장치의 개념도를 표시하였다. 공구인 전자석의 철심은 SM45C로 평면, 구면 등 여러가지 형상으로 제작하여, NC공작기계의 주축에 장착하고, 회전과 이동운동을 주어 복잡형상의 연마도 가능하게끔 하였다. 그림에서 철심과 공작물사이에는 수mm의 간극을 주고 이 간극에 자성연마입자를 채우고 직류전류를 통하면 자화된 입자는 철심 선단으로부터 공작물까지 부러쉬상으로 정렬되며, 이것이 유연성을 가진 연마숫돌이 된다. 아울러 공작물이 철 등

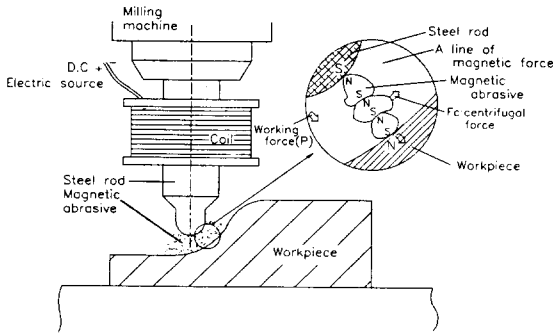


Fig.1 Principle of Magnetic Abrasive Polishing

의 강자성체의 경우 공작물 자신도 자화되어 입자를 흡인하게 된다. 이것이 연마의 가공압으로 되어 연마되게 된다.

이 자기연마법의 장점은 i) 절삭과 연마가 동일한 기계에서 공작물의 착탈없이 가공되므로 가공시간 단축과 정밀도 유지가 가능하고, ii) 절삭 시의 NC데이터를 그대로 연마가공에 이용하며, iii) 공구와 공작물이 비접촉으로 연마입자에 유연성이 있으므로 복잡형상의 금형연마가공에도 적용 가능하다는 것 등이다. 이 자기연마법은 연마가공 외에 여러 형상제품의 버제거 가공에도 많이 이용되고 있으며, 그 응용분야는 많으리라 생각된다.

3 실험장치와 방법

3-1 초고속절삭을 이용한 자기연마 실험

일반절삭에는 (주)마쯔우라 기계제작소제인 MC-600VF를, 초고속절삭에는 같은 회사의 FX-5 머시닝센터를 각각 사용하였다. 각 기계의 사양 및 가공조건은 Table 1

Table 1 Experimental Apparatus & Machining Condition

구분		일반절삭	초고속절삭
머시닝센터 (주)마쯔우라기계제작소		MC-600VF	FX-5
제어축수		3	5
주축최고회전수(rpm)		8,000	30,000
공작물		S50C	←
절삭공구		초경코팅볼렌드밀 VC-2MB-R10-27J (주)코오메제작소	초고속용 cBN볼렌드밀 FEM90020-R10-27J (주)후지다이아
절삭조건	회전 수(rpm)	2,000	30,000
	이송속도(mm/min)	650	9,750
	절삭깊이(mm)	0.2	0.1
	피크피드(mm)	0.05, 0.3, 0.8, 1.1	←
연마조건	머시닝센터 MC-600VF 연마공구 016 볼렌드슬릿 타입 연마입자 PPM(입자경: 121~300 μ m) 2.0g 주축회전수: 1,750rpm, 가공관극: 1.2mm, 자속밀도 1.36T		

과 같으며, 자기연마에서는 이들 머시닝센터에 자기연마공구를 각각 설치하여 실험하였다.

일반절삭과 초고속절삭에서 다같이 금형재로 널리 쓰이는 SM50C의 소재를 볼렌드밀(ϕ 20mm)로 표면거칠기의 변화를 주기 위해서 피크피드(이하 Pf로 표기)를 0.05, 0.3, 0.8, 1.1mm로 각각 절삭하였다.

이 절삭면에 이송속도를 바꾸어가면서 자기연마하여 연마면의 표면거칠기가 0.4 μ mRmax가 얻어지는 연마 이송속도를 구하고 이것을 기준으로 100 \times 100 mm의 일정면적을 연마하는데 걸리는 시간을 계산하였다. 여기에서 절삭시간과 연마시간의 합을 전체의 가공시간으로 하여 가공효율을 검토하였다. Photo. 1에 실험장치의 외관과 가공된 시편을 보여 주고 있다.

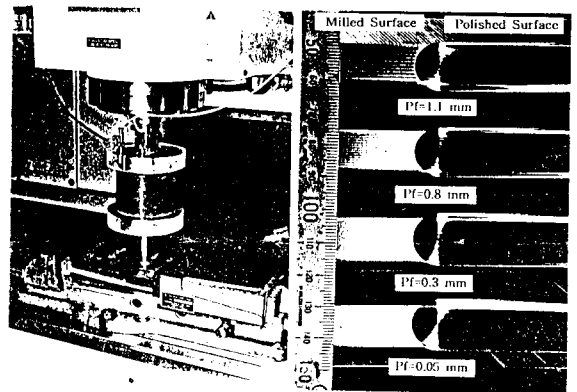


Photo.1 External Appearance of Magnetic Abrasive Polishing and Specimen

3-2 5축제어 머시닝센터를 이용한 자기연마 실험

Fig. 2는 3축제어와 5축제어 머시닝센터에 자기연마공구를 장착하여 곡면을 연마하는 개념도이다. 3축제어로 곡면을 연마할 경우 Fig. 2의 (a)에서 보는 바와 같이 공구의 회전축 중심선과 자력에 의한 연마입자의 집중방향이 일치하지 않고 자속이 가장 높은 부분에 입자가 모여 공구와 같이 원활한 회전운동이 일어나지 않아 균일한 연마가 불가능하다. 따라서 Fig. 2의 (b)와 같이 공작물의 곡률법선방향과 공구회전축 중심선 방향을 일치시켜 공작물 곡면형상에 따라 균등한 자계를 형성하여 연마할 수 있도록 5축제어 머시닝센터를 이용, 절삭과 연마가공을 하여 3축제어와의 차이를 비교 검토하였다.

사용된 머시닝센터는 초고속절삭에서와 같은 기종으로 Table 1과 같다. 공작물 재질은 SM50C이며 R60의 곡면형상을 가졌다. 절삭조건은 3축과 5축제어 다같이 주축

회전수 2000rpm, 이송속도 650mm/min, 절삭깊이 0.2mm에서 Pf량을 0.05, 0.3, 0.8mm로 변화시키면서 절삭가공하였고, 연마조건도 Table 1과 같다. Photo. 2에 3축과 5축 제어 자기연마 실험장면을 각각 나타내고 있다.

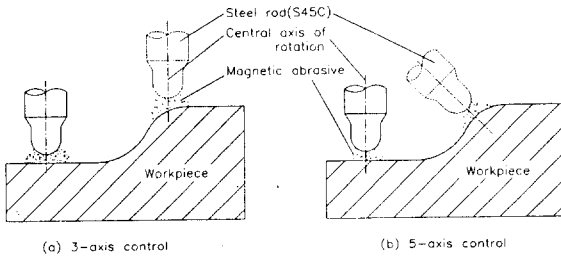


Fig.2 The Differences between 3 and 5 axis control upon Magnetic Abrasive Polishing

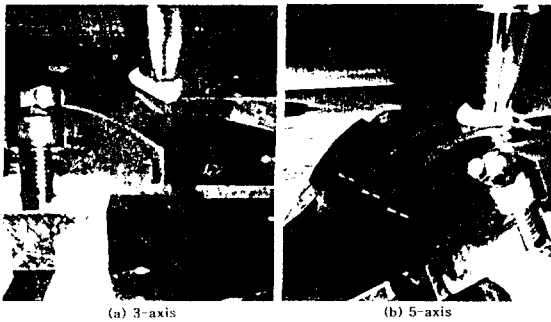


Photo.2 External Appearance of Magnetic Abrasive Polishing with 3-axis & 5-axis Control Machining Center

4 실험결과 및 고찰

4-1 초고속절삭과 자기연마

Table 1의 가공조건하에서 100×100mm의 평면면적을 일반절삭과 초고속절삭하는데 걸리는 시간과 그 때의 표면거칠기, 그리고 이것을 자기연마에 의해 0.3~0.5μm Rmax의 표면거칠기로 연마하는데 걸리는 시간을 Fig. 3, 4에 각각 표시하였다.

절삭날당 이송을 같게 하여 절삭하면 본 실험의 경우 초고속절삭에서는 일반절삭의 15배의 주축회전수로 절삭되므로 15배의 이송속도로 절삭이 가능하고 가공시간은 1/15로 급격히 단축된다. 따라서 똑같은 시간으로 Pf량을 작게 하여 표면거칠기가 양호한 절삭면을 얻을 수 있으며, 당연히 이러한 절삭면은 연마가공에서 빠른 이송속도로 연마할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 5에 절삭과 연마에 걸리는 가공시간의 총합을 표시하였으며, Photo. 3에 각 Pf량으로 초고속절삭한 면과

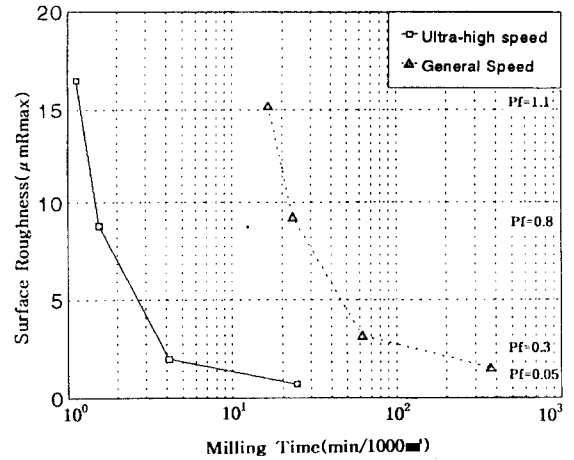


Fig.3 Relations between Milling Time & Surface Roughness

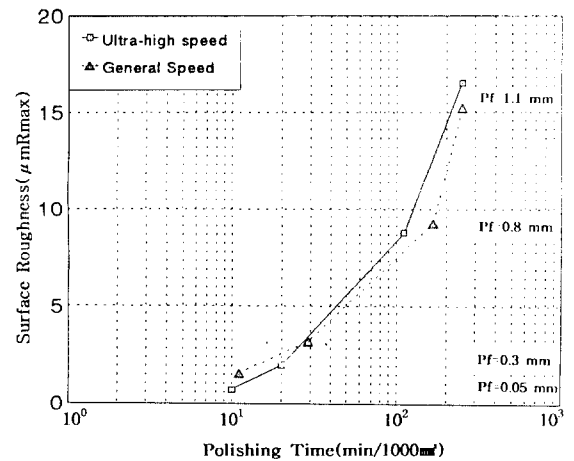


Fig.4 Relations between Polishing Time & Surface Roughness

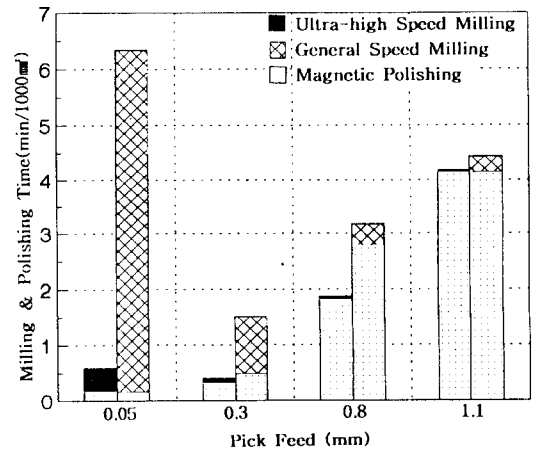


Fig.5 Total Machining Time for Milling & Polishing

연마한 면을 각각 나타내었다. 절삭과 연마의 가공시간 총합은 Pf=0.3mm에서 가장 작게 나타났고, Pf=0.8, 1.1mm의 절삭면에서는 연마하는데 장시간이 요구되고, Pf=0.3mm의 일반절삭과 Pf=0.05mm의 양 절삭에서는 절삭과 연마시간이 역전되고 있다. 따라서 Pf량을 아주 미소하게 하는 것도 절삭과 연마시간의 전체를 고려할 경우에는 바람직스럽지 못하다는 것을 알 수 있다.

초고속절삭과 자기연마법을 결합한 다듬질가공은 Pf량이 0.3mm, 절삭가공면의 표면거칠기는 2~4 μ mRmax 전후에서 가공효율이 크게 향상됨을 알 수 있다.

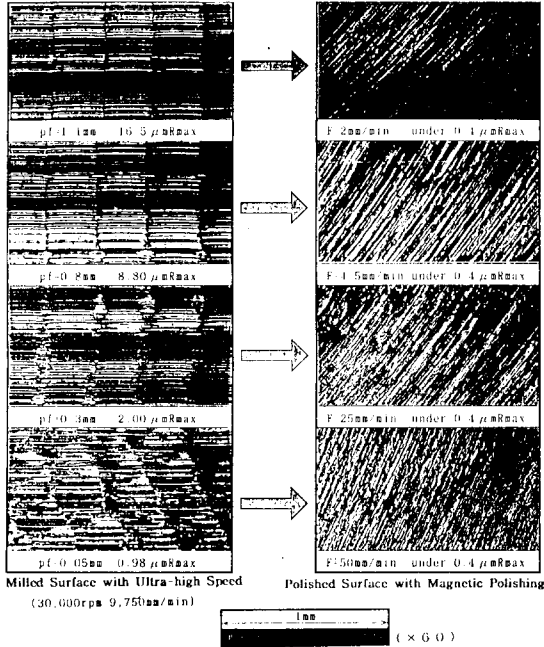


Photo.3 SEM of Milled & Polished Surfaces

4-2 5축제어 머시닝센터에서의 자기연마

Fig. 6과 Fig.7은 3-2절의 가공조건으로 SM50C, R60의 공작물을 각 Pf량으로 절삭한 면의 표면거칠기와 그 절삭면을 자기연마에 의해 표면거칠기가 0.4 μ mRmax 이하로 연마가능한 이송속도를 각각 표시하였다. 3축 및 5축 제어 가공에서 어느 방법으로 절삭하여도 얻어지는 표면거칠기는 큰 차이가 없었다.

자기연마면에서는 Pf량을 적게 하여 절삭한 면 즉 절삭면 표면거칠기가 작은 경우에는 3축과 5축제어의 연마 이송속도에 큰 차이가 없었다. 그러나 Pf량을 점점 크게 하여 절삭면 표면거칠기가 커질수록 피드마크가 잔존한 채로 연마되기 때문에 3축과 5축 제어에서의 연마이송속도

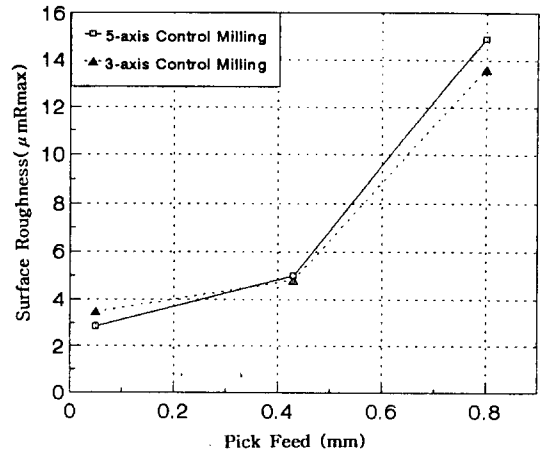


Fig.6 Surface Roughness according to Pick Feed

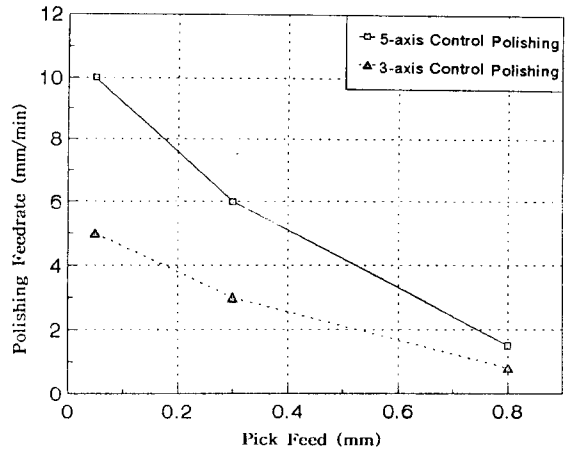


Fig.7 Polishing Feedrate according to Pick Feed

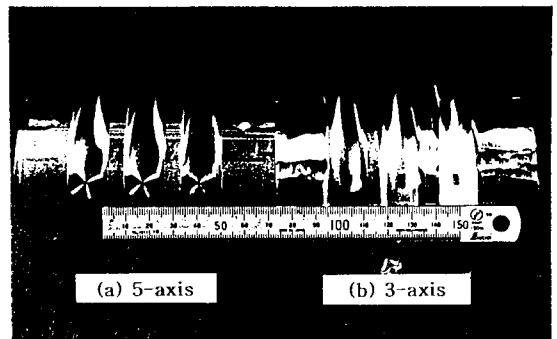


Photo.4 Polished Specimens with 5-axis & 3-axis Control Machining Center

차이는 점점 크게 나타났다. 그 이유는 Fig. 2와 3-2절에서 지적한 바와 같이 3축제어 연마에서는 곡면으로 인한

자력세기의 저하와 불균일한 자력작용때문이며, 5축제어 연마에서는 이 결점을 보완,연마할 수 있어 연마이송속도를 높일 수 있었다.

절삭면의 표면거칠기가 수 μmRmax 정도라면 5축제어 연마 방법이 3축제어보다 약2배의 이송속도로 연마할 수 있어 자기연마가공 효율의 향상을 가져 왔다. Photo. 4, 5 는 3축과 5축제어로 연마가공한 시편의 사진이다.

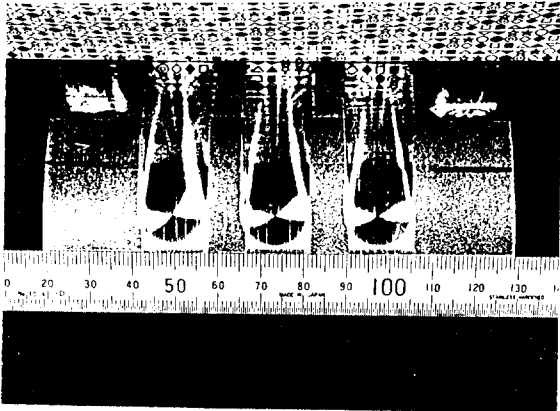


Photo.5 Polished Surface with 5-axis Control Machining Center

5 결 론

금형의 다듬질가공 자동화와 고효율화를 위해서 자기연마법에 초고속절삭과 5축제어 머시닝센터를 이용한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 피크피드량을 적게 하여 초고속절삭한 면을 자기연마하면 절삭과 자기연마에 걸리는 가공시간을 급격히 단축시킬 수 있다. 이 때의 최적 가공조건은 절삭면의 표면거칠기가 $0.4\mu\text{mRmax}$, 연마이송 속도는 25mm/min 내외로 나타났다.

2) 5축제어 머시닝센터를 이용한 곡면의 자기연마는 3축제어에 비해 균일한 연마면을 얻을 수 있었다.

3) 5축제어 연마가공효율은 절삭면의 표면거칠기가 $5\mu\text{mRmax}$ 정도일 경우 3축제어 보다 약 2배 향상되었다.

참 고 문 헌

- 1) 三好隆志, 濟藤勝政 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號, PP.74~75, (1991. 7)
- 2) 三好隆志, 金型の研磨加工(現状과 앞으로의 課題), 型技術, Vol.5, No.3, PP.2~8, (1992)

- 3) 中川威雄 外, 磁氣を利用した金型曲面表面仕上, JSPE, Vol.57, No.12, PP.2209~2212, (1991)
- 4) B.G.Makedonski, Schleifem in Magnetfeld, Fertigungstech. U.Betrieb, 24, 230, (1974)
- 5) 中川威雄 外, 磁氣研磨用 砥粒の新製造技術とその研磨特性, 生産研究, 第43巻 11號, PP.13~22, (1991)