

자기연마공구의 연마운동방식과 절삭특성에 관한연구

정성용*, 양순철**, 정윤교#

A Study on the Polishing Moving Type and the Cutting Characteristics of Magnetic Polished Tool

Sung-Yong Jung*, Sun-Cheul Yang** and Yoon-Gyo Jung#

ABSTRACT

Recently, with the development of high speed machining technology for difficult-cutting materials, to improve the cutting performance of cutting tool, fine surface finish of complex shape tools using magnetic polishing technology is in high demand. This study is, therefore, discussed and compared the cutting characteristics of polished tools by the adopted various magnetic polishing moving types a point of view the cutting forces and the tool life. Moreover, the practicality of magnetic polished tools in the wide range cutting conditions is investigated. From obtained results, It is confirmed that the CW(clockwise) revolution and oscillation type as the polishing moving type is proper and magnetic polished tool shows the excellence in high cutting speed range.

Key Words : Magnetic polishing (자기연마), Cutting force (절삭력), Surface roughness (표면거칠기), Flank wear (프랭크 마모)

1. 서론

최근 금형산업의 발달과 함께 난삭재에 대한 고정밀, 고능률 가공에 대한 요구에 급증하고 있다. 이에 부응하기 위하여 난삭재의 고속가공에 대한 연구가 활발히 진행되어 지고 있고, 고속가공에 대한 실용화연구도 그 결실을 맺고 있다. 그러나 고속가공에서는 공구와 공작물간에 마찰로 공구의 수명을 극단적으로 단축시키는 문제가 있어, 새로운 공구의 개발이 시급한 실정이다.¹ 이러한 문제점을 극복하기 위하여, 이전의 연구에서는 절삭공구의

표면을 자기연마에 의하여 경면화 함으로서 절삭성능을 대폭 향상시킬 수 있다는 보고가 있었다.³ 자기연마기술은 자력선을 따라 선형으로 배열된 자성 연마재가 자력에 의해 공작물을 압착하면서 연마하는 가공방법으로 엔드밀과 같이 요철이 심하고 복잡한 형상의 공작물도 연마할 수 있는 장점을 가지고 있다.⁴⁻⁸

그러나 이전 연구의 결과에 의하면, 절삭공구표면의 경면화가 절삭성능을 향상시킨다는 사실은 확인이 되었으나, 형상이 복잡한 절삭공구의 자기연마를 수행할 시 다양한 자기연마운동방식의 차이

* 접수일: 2007년 7월 13일; 게재승인일: 2007년 11월 30일

창원대학교 기계공학과 대학원

** (주) 윈 트

교신저자: 국립창원대학교 기계공학과

E-mail: ygjung@changwon.ac.kr Tel. (055) 279-7505

에 따른 공구인선부위별 표면조도의 변화가 절삭특성에 미치는 영향과 절삭 가공수행 시 다양한 절삭 조건에 따라서 공구표면의 경면화가 절삭특성에 미치는 영향도에 대한 연구는 전무한 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 채택되어진 다양한 자기연마운동방식에 의해 연마되어진 절삭공구의 절삭특성을 절삭저항과 공구수명의 관점에서 비교, 검토하고, 또한 넓은 절삭범위에서 자기연마공구의 실용성을 파악하는 것을 연구목적으로 하였다.

2. 자기연마의 원리

자성유체와 연마입자가 혼합되어진 자성연마재에 자력을 가하면, 자력선을 따라 선형으로 배열한 반고체상태의 자성연마재가 복잡한 형상의 공작물 균일하게 압착하면서 연마하는 가공법을 자기연마법이라고 부르고 있다. 이 연마법은 자성연마재가 공작물의 요철을 압착하면서 가공하기 때문에 3차원 자유곡면을 이루고 있는 엔드밀공구나 원통공작물, 파이프 내관 등의 복잡한 형상의 공작물도 연마할 수 있다.

Fig. 1은 엔드밀의 자기연마 시 자기연마 기구를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는바와 같이, 자기연마법은 자기장에 의해 반고체상태로 형성되어진 자성연마재에 의해, 회전하면서 상하 요동하는 운동방식으로 3차원 자유 곡면을 가진 엔드밀의 복잡한 형상의 표면을 균일하게 연마하는 방법이다.

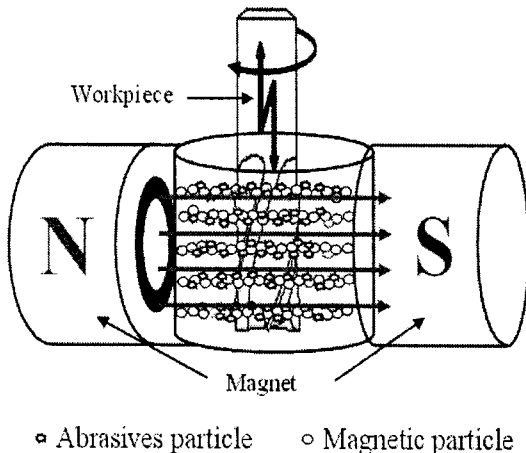


Fig. 1 Schematic diagram of magnetic polishing

Fig.2의 (a) 및 (b)는 각각 자기장의 유무에 따른 자성연마재의 배열상태를 보여주는 그림으로, 연구자석에 의하여 자기장이 형성되었을 때 자력선의 방향으로 자성연마재가 잘 배열되어 있음을 관찰할 수 있다. 이러한 자기연마법에 의해 3차원의 자유 곡면을 가지는 절삭 공구인 엔드밀의 표면을 경면으로 연마하고자 할 때는 엔드밀의 자기연마운동방식 즉, 엔드밀의 회전방향과 요동의 유무에 따라 엔드밀 인선전단의 연마 상태가 달라질 수 있음이 예상되며, 이에 대한 연구가 필요하다.

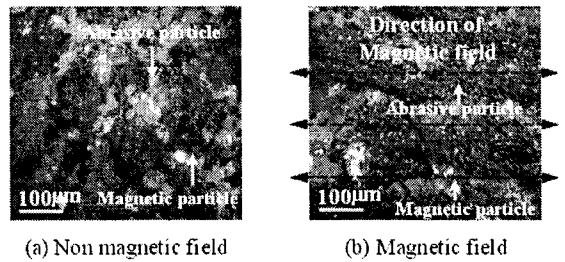


Fig. 2 Arrangement state of abrasive particle in magnetic field

3. 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 엔드밀의 자기연마를 위하여 자기연마 장치를 자체 제작하였다. 자기연마 장치는 자기장을 발생시키는 자석부, 공작물을 구동하는 주축부 및 자성연마재의 용기인 수조부로 구성되어 있다. 자석부는 자기장의 가변을 용이하게 하기 위하여 영구자석과 전자석을 동시에 장착하였으며, 주축부의 최대회전속도는 1,800rpm으로 스크류 모터에 의해 상하로 요동할 수 있으며, 진폭의 제어가 가능하도록 제작되었다. Fig. 3은 자체 제작되어진 자기연마장치의 사진을 보여주고 있다.

초경엔드밀의 자기연마 시 사용되어진 연마입자는 #8,000 다이아몬드 입자로 자성유체(241ES)와 50wt%의 비율로 혼합하여 사용하였으며, 자속밀도는 0.6Tesla, 연마속도는 1,050rpm으로 하였다.² 연마되어진 엔드밀의 표면관찰은 Mitutoyo사의 공구현미경(MF1030TH)을 사용하였고, 표면거칠기는 엔드밀표면의 복잡성을 고려하여 Kosak-a계 축침식 표면조도계를 사용하여 엔드밀의 크레이트면(Crater plane)과 프랭크면(Flank plane)에 대하여 측정하였다.

자기연마되어진 엔드밀의 절삭특성을 검토하기 위하여 독일 DMG사의 고속5축가공기를 이용하여 절삭실험을 수행하였다. 절삭실험 시 절삭저항의 측정은 키슬러(Kistler)사제 공구동력계를 이용하여 주분력 F_c 를 측정하였으며, 엔드밀의 프랭크마모량 V_f 는 공구현미경으로 관찰한 사진으로부터 정량화하였다. Fig. 4는 실험장치의 모식도를 나타내고 있으며, Table 1은 본 실험에서의 절삭실험조건을 보여주고 있다. 절삭조건으로서는 절삭속도 V , 이송속도 V_f , 절삭깊이 d 및 절삭폭 w 는 Fig. 5에 도시한 바와 같이 정의하였다.

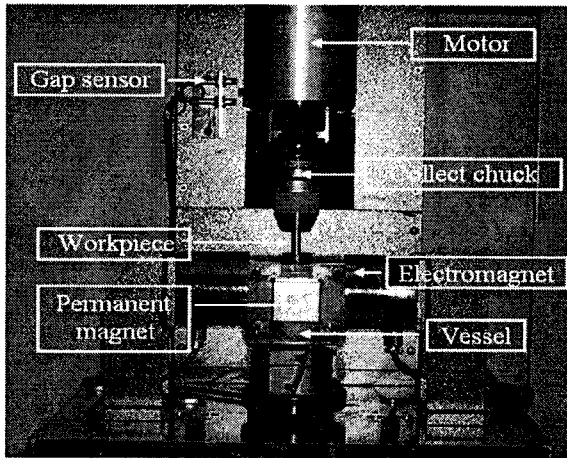


Fig. 3 Photograph of experimental equipment

Items	Conditions
MCT	DMG 5-axis MCT
Workpiece	Cemented carbides (K30, HRC74)
Tool dynamometer	9257 (kistler)
Cutting speed (V)	2,000, 6,000, 9,000, 12,000 (rpm)
Depth of cut (d)	1.5, 2.0 (mm)
Feed velocity (V_f)	300 (mm/min)
Width of cut (w)	0.2, 0.5 (mm)

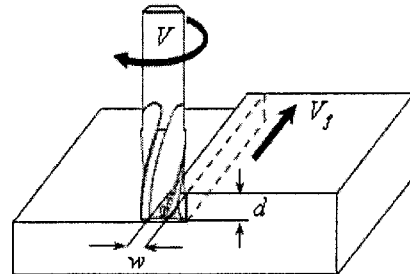


Fig. 5 Schematic diagram of end-milling process

4. 자기연마 운동방식에 따른 절삭특성

엔드밀의 자기연마 시 자기연마 운동방식은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 엔드밀을 요동 없이 반시계방향으로 회전하면서 연마하는 경우(Fig. 6(a), CCW Rev.), 요동을 주면서 반시계 방향으로 연마하는 경우(Fig. 6(b), CCW Rev. & Osc.), 요동 없이 시계방향으로 회전 하면서 연마하는 경우(Fig. 6(c), CW Rev.), 요동을 주면서 시계방향으로 연마하는 경우(Fig. 6(d), CW Rev. & Osc.)의 4가지 방식을 채택할 수 있다. 엔드밀의 회전방향은 인선날부의 표면조도에 영향을 줄 것이며, 엔드밀의 요동의 유무는 크레이트면의 조도에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다.

Fig. 7은 상기의 4가지 연마운동방식으로 30분간 자기연마를 수행한 각각의 엔드밀에 대하여 절삭실험을 수행한 결과를 보여주고 있다. 절삭속도 V 는 6,000rpm, 이송속도 V_f 는 300mm/min, 절입깊이 D 는 1.5mm, 절삭폭 w 는 0.2mm로 설정하였다.

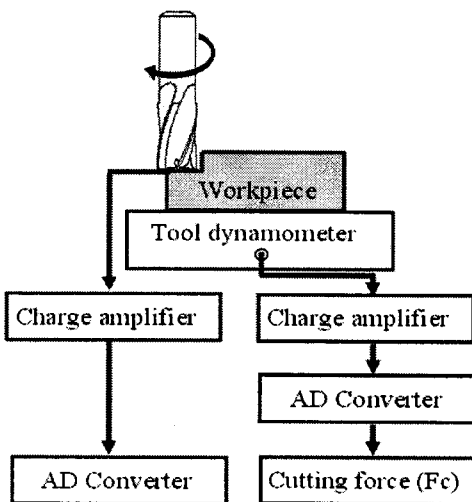
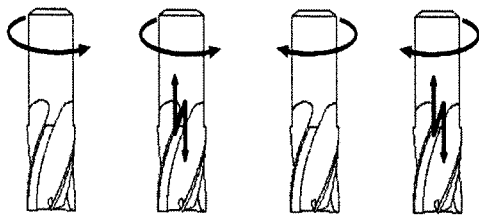


Fig. 4 Experimental setup

절삭시간 T_c 의 증가에 따라 각각의 엔드밀에 의한 절삭가공시의 절삭저항과 프랭크면(Flank plane) 마모는 점진적인 증가의 추세를 보이고 있으며, 4가지 연마운동방식 중에서는 CW Rev. & Osc. 경우의 증가추세가 가장 완만한 것으로 보아, CW Rev. & Osc. 연마운동방식이 엔드밀의 성능을 가장 우수하게 함을 알 수 있다. 또한, 프랭크 마모가 0.1mm에 도달했을 때의 절삭시간(그림에서 ↓표시부분)을 4가지 연마 운동방식에 따라 비교하여 보아도 CW Rev. & Osc.의 경우가 17분정도 가장 길게 나타남을 알 수 있다.



(a) CCW Rev. (b) CCW Rev. & Osc. (c) CW Rev. (d) CW Rev. & Osc.

Fig. 6 Magnetic polishing moving types

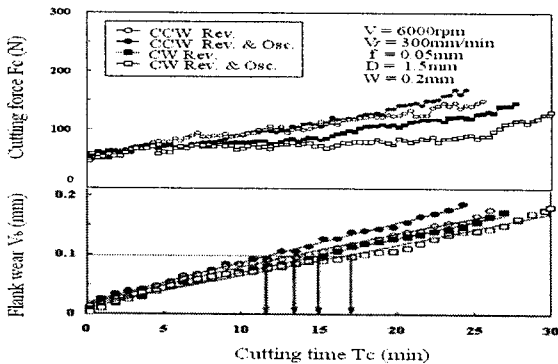


Fig. 7 Behavior of cutting force and flank wear with cutting time in various polishing moving types

Table 2는 이러한 결과에 대한 신뢰성을 뒷받침하는 표이다. 표는 자기연마하지 않은 엔드밀과 4가지운동방식에 의해 자기연마 되어진 엔드밀의 크레이트면과 프랭크면의 중심선 평균 거칠기Ra와 최대 거칠기Rmax를 측정 한 결과를 비교하고 있다. 예상한 바와 같이, CW Rev. & Osc. 연마운동방식에 의해 연마되어진 엔드밀의 프랭크면과 크레이트면의 표면 거칠기가 가장 작게 나타나고 있으며,

이 결과로부터 엔드밀의 표면조도의 양부는 공구의 성능에 직접적으로 영향을 주는 것을 확인 할 수 있었다.

엔드밀의 표면조도가 공구성능에 직접적으로 영향을 미친다는 상기의 결과로부터, 엔드밀 크레이트면과 프랭크면의 표면거칠기(Rmax)와 공구 수명 T_L 과의 관계를 나타낸 것이 Fig. 8이다. 크레이트면의 표면조도는 연마시간을 조절하여 다양한 표면조도를 얻을 수 있다. 또한 여기서 공구수명이라 함은 절삭가공 시 프랭크마모 폭이 0.1mm에 도달 하였을 때의 절삭시간으로 정의하였다. 그림에서 보는바와 같이, 엔드밀의 표면조도가 나빠지면 공구수명은 감소함이 확인되었다.

Table 2 Roughness of polishing moving type

Moving Types	Crater plane		Flank plane	
	Ra (μm)	Rmax (μm)	Ra (μm)	Rmax (μm)
Non-polishing	0.235	1.531	0.205	1.336
CCW Rev.	0.221	1.319	0.193	1.262
CCW Rev. & Osc.	0.171	1.151	0.149	1.142
CW Rev.	0.133	0.867	0.154	0.943
CW Rev. & Osc.	0.111	0.723	0.129	0.786

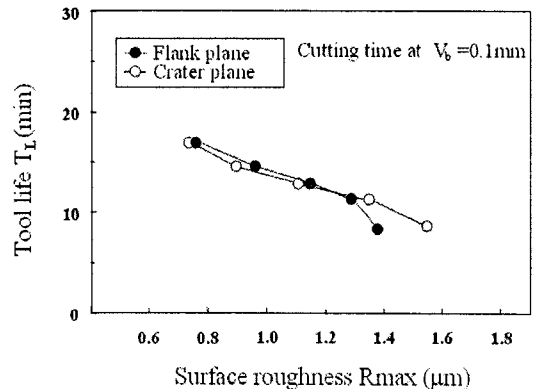


Fig. 8 Influence of crater plane and flank plane roughness on tool life

5. 절삭조건에 따른 자기연마공구의 절삭특성

본 절에서는 CW Rev. & Osc. 연마운동방식에 의하여 연마되어진 엔드밀을 사용하여 저속, 중속

및 고속에서 절삭가공을 수행 하였을 때, 자기연마의 효율성을 비교, 검토하는 것으로 하였다. 먼저, 절삭속도를 2,000rpm으로 하고 이송속도 240mm/min, 절입 깊이를 2.0mm, 절삭폭을 0.5mm 인 황삭 조건(저속)으로 절삭실험을 수행한 결과가 Fig. 9 이다. 그림에는 연마하지 않은 엔드밀과 60분간 자기 연마한 엔드밀에 대하여 절삭시간에 대한 절삭 저항과 프랭크마모의 변화를 동시에 비교하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 황삭 조건에서는 자기연마엔드밀의 효율성은 보이지 않았다

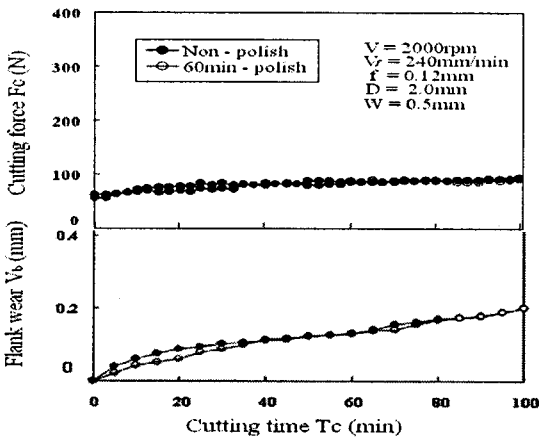


Fig. 9 Behavior of cutting force and flank wear with cutting time at V=2,000 rpm

다음으로, 절삭속도를 6,000rpm으로 하고 이송속도를 300mm/min, 절입 깊이 1.5mm, 절삭폭 0.5mm 인 중삭조건인 경우 연마하지 않은 엔드밀과 60분간 자기연마 한 엔드밀의 절삭저항 및 프랭크마모를 비교한 그림이 Fig. 10이다. 그림에서 보는 바와 같이, 자기연마엔드밀의 효율성이 두드러지며, 이는 공구표면의 조도 향상이 절삭속도의 증가에 따른 칩 배출저항의 증가를 감소시킴에 따른 결과라고 볼 수 있다. 이러한 영향은 고속가공을 수행하는 경우 더욱 현저해질 것으로 판단한다. 절삭폭을 0.2mm로 낮추고 다른 절삭조건들은 Fig. 10과 동일하게 설정한 정상조건에서 절삭실험을 수행한 결과가 Fig. 11이다. Fig. 10과 비교하면, 절삭폭의 감소에 따른 절삭저항의 감소로 인하여 엔드밀의 수명이 길어졌지만, 자기연마엔드밀의 효율성의 측면에는 변화가 없다.

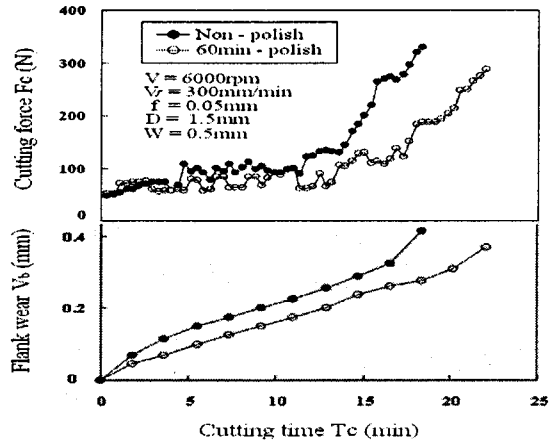


Fig. 10 Behavior of cutting force and flank wear with cutting time at V=6,000 rpm and W=0.5mm

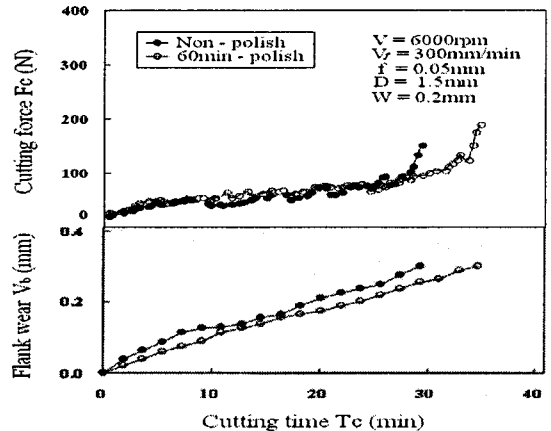


Fig. 11 Behavior of cutting force and flank wear with cutting time at V=6,000 rpm and W=0.2mm

Fig. 12과 Fig. 13은 각각 절삭속도를 9,000rpm 및 12,000rpm으로 설정한 고속절삭영역에서, 연마하지 않은 엔드밀과 30분연마한 엔드밀의 절삭특성을 절삭저항과 프랭크마모의 관점에서 비교한 그림들이다. 다른 절삭조건들은 두 그림 모두 동일하게 설정하였다. 절삭속도가 9,000rpm인 경우, 공구의 수명으로 예상되는 절삭시간 20분전 후부터 절삭저항의 급격한 증가가 보이며, 자기연마의 효율성이 보이기는 하나 그다지 크지 않은 반면, 절삭속도 12,000rpm인 경우는 높은 절삭속도에 기인하여, 절삭시간 3-4분정도에서 엔드밀의 수명에 도달해 버리지만 짧은 공구수명을 감안하면 고속에서는

연마한 엔드밀의 효율성이 더욱 커진다고 말할 수 있다.

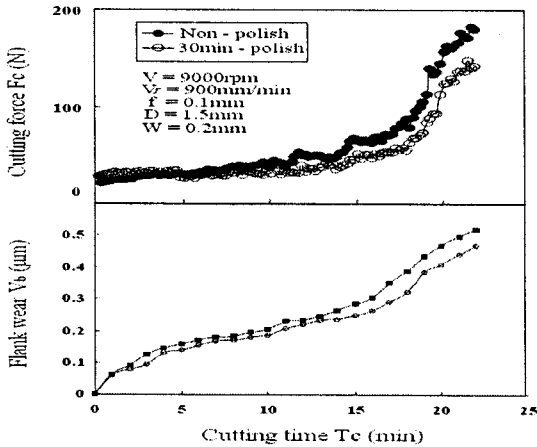


Fig. 12 Behavior of cutting force and flank wear with cutting time at V=9,000 rpm

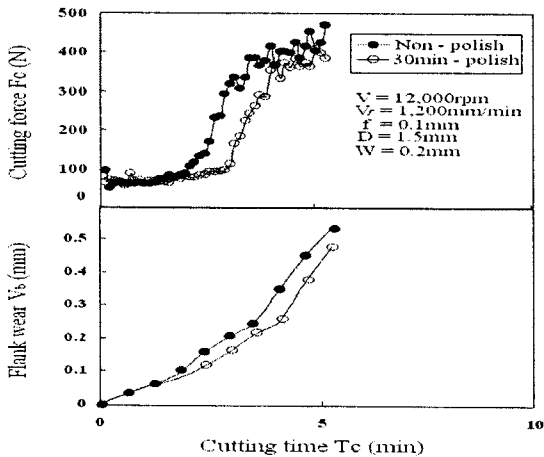


Fig. 13 Behavior of cutting force and flank wear with cutting time at V=12,000 rpm

6. 결론

본 연구에서는 자기연마 절삭공구의 절삭특성을 검토하기 위하여, 자기연마 장치를 자체 제작하여 엔드밀 공구를 자기연마한 후 절삭가공을 수행하여 절삭저항과 프랭크면마모의 관점에서 일련의 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 자기연마운동방식에 있어서는 요동을 주면서 시계방향으로 연마(CW Rev. & Osc.)한 엔드밀의 표면거칠기가 가장 좋게 나타났으며, 절삭성능도 가장 우수하였다.
- (2) 황삭 절삭 조건보다는 중삭 및 정삭조건에서 공구 경면화에 대한 효율성이 두드러지며, 특히 고속절삭일수록 연마한 엔드밀의 효율성이 더욱 커짐을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT104-01-03)지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Kim, H. N., Song, S. K., Chung, Y. J., Yun, Y. K., Kim, H. W., Cho, S. W. and Shim, J. W., "Development of The Magnetic Abrasive Using Barium Ferrite," Journal of the KIIS, Vol. 18, No. 2, pp. 46-49, 2003.
2. Cho, J. R., Yang, S. C. and Jung, Y. G., "A Study on the Improvement of Performance for High Speed Cutting Tool using Magnetic Fluid Polishing Techinque," Transaction of KSMTE, Vol. 15, No. 1, pp. 32-38, 2006.
3. Wang, D., Shinmura, T. and Yamaguchi, H., "Study of magnetic field assisted mechanochemical polishing process for inner surface of Si₃N₄ ceramic components Finishing characteristics under wet finishing using distilled water," International Journal of Machine Tool & Manufacture, Vol. 44, Issue 14, pp. 1547-1553, 2004.
4. Wang, Y. and Hu, D., "Study on the inner surface finishing of tubing by magnetic abrasive finishing," International Journal of Machine Tool & Manufacture, Vol. 45, Issue 1, pp. 43-49, 2005.
5. Jha, S. and Jain, V. K., "Modeling and simulation of surface roughness in magnetorheological abrasive flow(MRAFF)process," Wear, Vol. 261, Issues 7-8, pp. 856-866, 2006.
6. Yamaguchi, H. and Shinmura, T., "Development of an Internal Magnetic Abrasive Finishing Process for Nonferromagnetic Complex Shaped Tubes,"

- International Journal of the JSME, Vol. 44, No. 1, pp. 275-281, 2001.
7. Kim, J. D. and Choi, M. S., "Development of the Magnetic-Electrolytic-Abrasive-Polishing(MEAP)(2nd)," Journal of the KSMTE, Vol. 4, No. 3, pp. 31-38, 1995.
 8. Nam, M. H., "Performance Characteristics of Seat Damper Using MR Fluid," Journal of the KSMTE, Vol. 9, No. 5, pp. 127-134, 2000.