

자기연마기술을 이용한 고속절삭공구의 성능향상에 관한 연구

조종래*, 양순철⁺, 정윤교⁺⁺

(논문접수일 2005. 11. 29, 심사완료일 2006. 1. 12)

A Study on the Improvement of Performance for High Speed Cutting Tool using Magnetic Fluid Polishing Technique

Jong Rae Cho*, Sun Cheul Yang⁺, Yoon Gyo Jung⁺⁺

Abstract

The magnetic fluid polishing technique can polish the tool of complex shape, because the polishing method which polishes as compress the workpiece by the magnetism abrasives to arrange to the linear according to the line of magnetic force. Therefore, we produced the magnetic fluid polishing device in order that mirror like finishing processes the tool surface. In order to a polishing condition selection, polishing characteristic was estimated by polishing conditions which are magnetic flux density, polishing speed, grain size, magnetic fluid. The tool was polished to the selected polishing condition. The result to evaluate the polished tool's performance with the cutting force and tool wear, the polished tool's performance was improved compared with the tool not to polish.

Key Words : High speed cutting process(고속절삭), Magnetic fluid polishing technique(자기연마기술), Tool life(공구수명), Mirror like finishing(경면연마), High speed cutting tool(고속절삭공구)

1. 서론

금형산업이 발달함에 따라 난삭재의 활용이 높아지고, 산업계의 고정밀 및 고능률 가공에 대한 요구가 급증함에 따라 고속가공에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 그러나 고속가공시 공구와 공작물간의 마찰로 인하여 접촉부의 온도상

승이 심각하며, 절삭속도를 증가시키면 시킬수록 온도가 더욱 상승하여 공구마멸을 촉진시킨다. 이러한 가혹한 절삭조건에 견딜 수 있는 고속절삭공구의 개발이 요구되며, 공구형상의 최적화, 공구재료의 초미립화 및 고경도화, 공구의 다층 피복화 등에 대한 연구^(1,2)가 수행중이다. 한편, 공구표면을 경면가공하면 공작물간의 마찰이 적어 과도한 인선환경

* 창원대학교 대학원

+ 원트(주)

++ 교신저자, 창원대학교 기계공학과 (ygjung@changwon.ac.kr)

주소: 641-773 경남 창원시 사림동 9번지

에 유리하고, 공구수명도 증대한다는 보고⁽³⁾가 있어 절삭공구 표면의 경면화로 공구성능 향상이 기대되어진다. 그러나 엔드밀과 같이 형상이 복잡한 절삭공구는 일반적인 연마방법으로는 경면가공하기 어려우므로, 형상이 복잡한 절삭공구도 연마할 수 있는 새로운 연마방법이 요구된다. 자기연마 기술은 자력선에 따라 선형으로 배열한 자성연마재가 자력에 의해 공작물을 압착하면서 연마하는 가공법⁽⁴⁾으로 요철이 심하고 복잡한 형상의 공작물도 연마할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 자기연마기술을 이용하여 고속절삭공구의 표면을 연마하여 절삭공구의 성능을 향상시키고자 한다.

2. 자기연마 장치 및 실험방법

2.1 자기연마 기구

자기연마란 자성재료와 연마입자를 구성요소로 하는 자성연마재를 사용하여, 자력선에 따라 선형으로 배열한 자성연마재가 자력에 의해 공작물을 압착하면서 연마하는 가공법이다⁽⁴⁾. 이와 같이 자기연마법은 종래의 연마공구를 사용하는 가공법과는 상이하게 자성연마재가 공작물의 요철을 압착하면서 가공하므로 3차원 자유곡면이나 원통공작물, 파이프내관 등의 연마에 효과적이다⁽⁴⁻⁶⁾.

Fig. 1은 자기연마 장치의 연마기구를 나타낸 그림으로, 자석에서 발생한 자기장에 의해 자성입자가 자성입자 체인을 형성하면서 반고체상태로 배열하게 된다. 이때 자성입자 체인 사이에 게재되어 있던 연마입자도 자성입자 체인에 의해 고정된다. 이렇게 반고체 상태의 자성연마재사이에 공작물을 넣어 회전하거나 상하로 움직이면 공작물 표면이 연마되어진다. Fig. 2는 자기장의 유무에 따라 자성연마재의 상태를 보여주는 그림으로, 자기장이 없으면 그림 (a)와 같이 자성연마재가 자유롭게 분산되어 있지만 자기장이 작용하면 그림 (b)

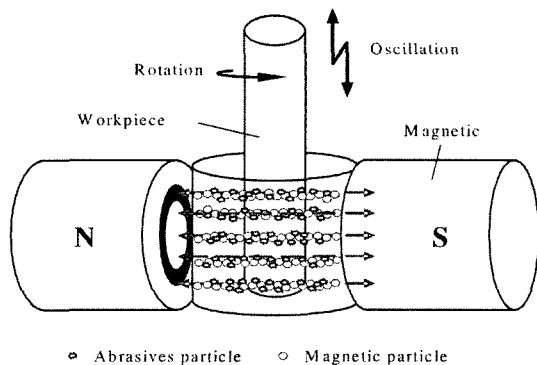


Fig. 1 Schematic diagram of polishing

와 같이 자기장 방향으로 자성연마재가 배열하게 된다.

2.2 자기연마 장치

Fig. 3은 절삭공구를 연마하기 위해 고안된 자기연마 장치이다. 자기연마 장치는 자기장을 발생하는 자석부와 공작물을 회전하고 상하로 움직이게 하는 주축부 그리고 자성연마재를 담아두는 수조부 등 세 부분으로 구성되어 있다. 자기장의 가변을 위해 전자석과 영구자석을 사용하였고, 최대표면자속밀도는 0.6테슬라이다. 공작물의 최대회전속도는 1800rpm이고, 공작물은 주축의 스크류모터에 의해 상하로 움직이고, 상하 진폭은 리미트 스위치로 조절할 수 있다. 실험장치의 사양은 Table 1과 같다.

2.3 실험방법

절삭공구의 표면을 연마하기 위해 자기연마 장치를 제작하였고, 연마조건에 따른 연마면 거칠기의 변화를 측정하여 자기연마 장치의 연마특성을 평가하여 절삭공구의 자기연마에 적합한 연마조건을 선정하였다.

자기연마 특성평가에 사용된 공작물은 길이 120mm, 직경 Φ 10mm인 K30재종 초경합금으로 경도는 HRC74이다.

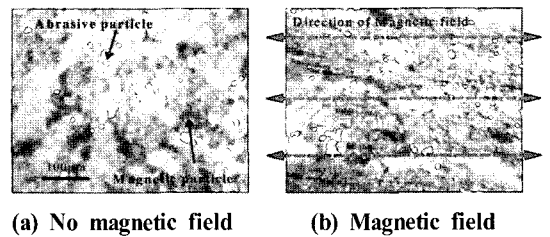


Fig. 2 Simply mixed oil bonded magnetic abrasives

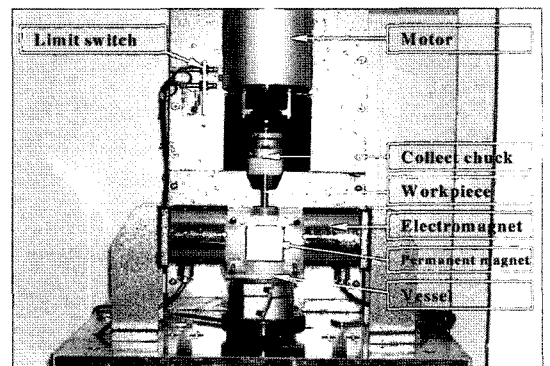


Fig. 3 Photograph of experimental equipment

Table 1 Specification of experimental equipments

Items	Specification
Motor	AC Servo 1800rpm
Magnet	Electromagnet(0~0.2Tesla) Permanent magnet(Nd-Fe-B, 0.6Tesla)
Roughness tester	SV-624(Mitutoyo)
Tesla meter	TM-601(Kanetec)
Power meter	WT130(Yokogawa)
Microscope	MF1030TH(Mitutoyo)

Table 2 Experimental conditions

Items	Conditions
Workpiece	Cemented carbide(K30, HRC74)
Ferromagnetic	241ES,132AD,122-2ED,336AG
Magnetic flux density	0, 0.1, 0.2, 0.6Tesla(gap 35mm)
Abrasive grain	GC, Diamond
Grain size	GC : #60, 100, 180, 320 Diamond : #800, 1500, 3000, 8000
Composition ratio of abrasive grain	25, 40, 50, 57wt%
Rotational speed	450, 750, 1050, 1350rpm
Oscillation frequency	0.15Hz
Oscillation amplitude	10mm

자성입자는 Lord사의 제품을 사용하였고, 연마입자는 GC #60, #100, #180 및 #320과 다이아몬드 #800, #1500, #3000 및 #8000을 사용하였다. 자성입자와 연마입자의 배합률은 질량비로 25%, 40%, 50% 및 57% 배합률이며, 주축의 회전수는 450rpm, 750rpm, 1050rpm 및 1350rpm이고, 표면자속밀도는 0Tesla, 0.1Tesla, 0.2Tesla 및 0.6Tesla로 실험하였다. 실험조건은 Table 2와 같다.

3. 연마조건에 따른 연마력의 변화

3.1 연마력의 측정

연마입자와 공작물 사이에 작용하는 연마력은 연마성능에 직결되는 중요한 요소이나 자기연마에 있어서 연마력은 자

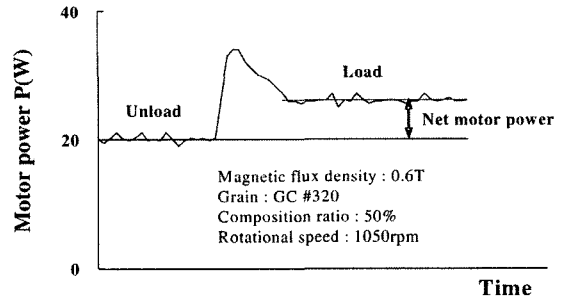
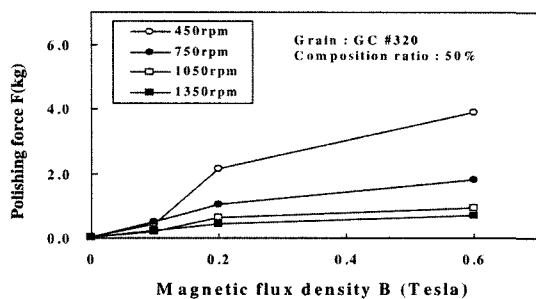


Fig. 4 Measurement method of polishing force

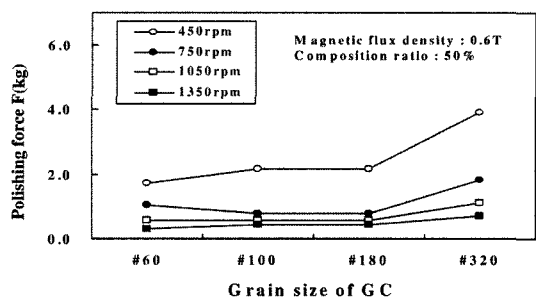
성연마재의 점도변화에 의해 작용하는 것으로 연마조건에 따라 그 크기가 다르므로 연마실험에 앞서 연마력의 크기를 고찰할 필요가 있다. Fig. 4는 파워미터를 이용하여 주축모터의 소비동력 변화를 나타낸 그림으로, 그림과 같이 주축모터의 순소비동력을 측정하여 연마력을 계산하였다.

3.2 연마조건에 따른 연마력의 변화

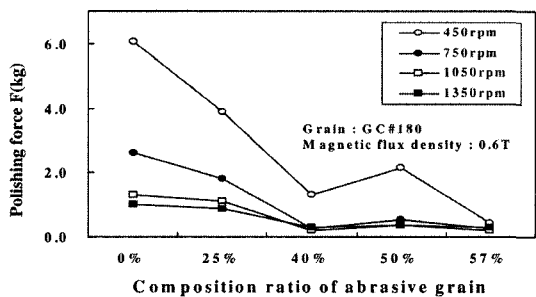
자기연마 장치에서 연마조건에 따른 연마력의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5의 (a), (b) 및 (c)는 각각 자속밀도의 세기, 연마입자의 크기, 자성입자와 연마입자의 배합률에 따른 연마력의 변화를 도시한 그림이다. Fig. 5 (a)에서 자속밀도가 클수록 연마력 또한 증가하는데, 이는 자속밀도가 클수록 자성입자 체인의 결합이 단단해지고 자성연마재의 점도가 증가하기 때문이다. Fig. 5 (b)에서 연마입자의 크기가 작을수록 연마력이 증가하는 경향을 나타내는 것은 연마입자의 크기가 작을수록 연마면에 작용하는 연마입자의 수가 증가하므로 연마력 또한 증가하게 된다. Fig. 5 (c)에서 배합률이 작은 경우가 연마력이 큰 것으로 나타났는데, 이는 자성입자 체인의 결합을 방해하는 요소 즉 연마입자가 적어서 자성입자간의 결합력이 공작물에 마찰력으로 작용하기 때문이다. 배합률이 큰 경우는 자성입자 체인의 결합을 방해하는 불순물이 증가하여 결합력이 감소하여 연마입자의 압입력 저하를 초래하여 실제적인 연마력 감소를 나타내고 있다. 한편, 배합률 50%에서의 연마력이 배합률 40%와 57%에 비해 크게 나타난 것은 연마입자의 압입력과 자성입자의 결합력이 균형이 이루는 구간이기 때문이다. 즉, 배합률이 증가하면 자성입자의 결합력이 감소하여 연마입자의 압입력 또한 감소하게 되고, 배합률이 감소하면 결합력은 증가하지만 공작물에 작용하는 연마입자 수가 감소하여 연마력의 저하를 가져온다. 이러한 연마조건과 연마력과의 관계에서 연마력이 크게 작용하는 조건을 참고하여 기초실험조건을 선정하였다.



(a) Magnetic flux density



(b) Grain size of GC

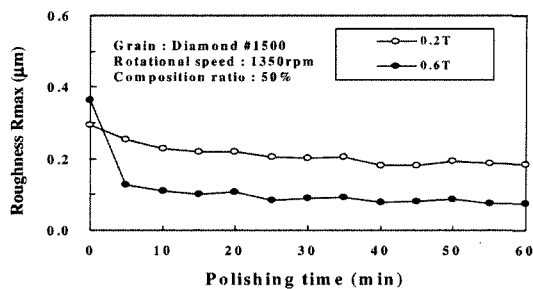


(c) Composition ratio of abrasive grain

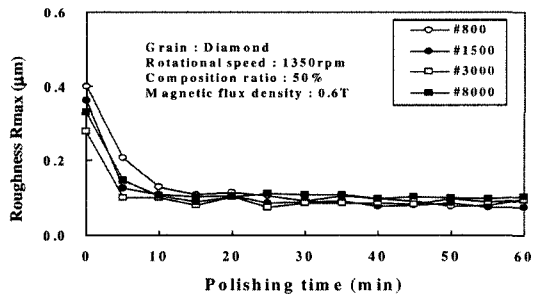
Fig. 5 Relationship between polishing conditions and polishing force

4. 자기연마의 특성평가

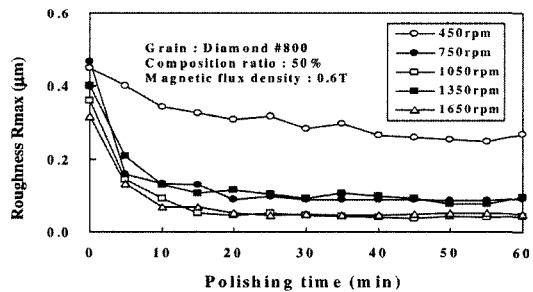
자기연마 특성은 다이아몬드 연마입자로 연마조건을 각각 배합률 50%, 자속밀도 0.2, 0.6Tesla, 연마입자 크기 #800, #1500, #3000 및 #8000, 연마속도 450, 750, 1050, 1350 rpm 및 1650rpm, 자성유체 132AD, 336AG, 122-2ED 및 241ES로 하여 평가하였으며, 특성평가 결과는 Fig. 6에 나타났다. Fig. 6의 (a), (b), (c) 및 (d)는 각각 자속밀도, 연마입자 크기, 연마속도, 자성유체의 종류에 따른 연마면 거칠기의 변화를 나타냈다. Fig. 6(a)는 자속밀도를 각각 0.2, 0.6Tesla



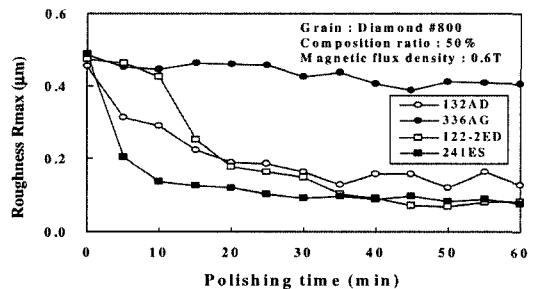
(a) Magnetic flux density



(b) Grain size



(c) Rotational speed



(d) Magnetic fluid

Fig. 6 Relationship between polishing conditions and surface roughness

일 때, 연마면 거칠기의 변화를 나타낸 그림으로 자속밀도가 0.6Tesla일 때 연마력이 크게 작용하므로 연마면 거칠기의 향

상도 현저하였다. Fig. 6 (b)는 연마입자 크기가 각각 #800, #1500, #3000 및 #8000일 때, 연마시간에 따른 연마면 거칠기의 변화는 나타낸 그림으로, 입자크기는 연마면 거칠기의 변화에 영향이 적은 것으로 나타났다. Fig. 6 (c)는 연마속도를 450, 750, 1050, 1350rpm 및 1650rpm으로 연마시간에 따른 연마면 거칠기의 변화를 나타낸 그림으로, 그림에서 연마속도 1050rpm, 1650rpm일 때 연마면 거칠기가 양호하였는데, 이는 연마속도의 증가에 따른 연마력 감소와 연마률 증가의 상관관계에 의해 이러한 결과가 나타난 것으로 생각된다. Fig. 6 (d)는 자성입자의 기본유체에 따른 연마면 거칠기의 변화를 나타낸 그림으로, 자성유체 132AD와 122-2ED는 하이드로카본을 336AG는 실리콘을 241ES는 물을 기본유체로 하는 자성유체이다. 그림에서 기본유체의 점성이 가장 큰 336AG의 경우, 실리콘이 공작물을 둘러싸 연마입자의 공작물 접촉을 방해하여 연마면 거칠기의 향상이 저조하였고, 하이드로카본을 기본유체로 하는 132AD와 122-2ED에서도 연마입자의 공작물 접촉을 방해하는 현상이 일부 발생하였다. 반면 기본유체가 물인 241ES는 이러한 현상이 발생하지 않아 연마면 거칠기의 향상이 양호하였다.

5. 자기연마공구의 특성평가

5.1 자기연마공구의 연마조건

자기연마의 특성평가에서 연마면 거칠기의 향상이 양호한 조건을 절삭공구의 연마조건으로 선정하였다. 연마입자는 다이아몬드입자이며, 입자크기는 연마면 거칠기의 변화에 영향이 적으므로 공구인선의 손상을 고려하여 입자크기가 작은 #8000으로 하였고, 자성유체는 241ES, 배합률은 50%, 자속 밀도는 0.6Tesla로 선정하였다. 회전속도는 공작물의 복잡한 형상을 고려하여 공구의 전 표면에 연마력이 작용할 수 있도록 1050rpm으로 선정하였다. 절삭공구의 연마조건은 Table 3과 같다. 선정된 연마조건으로 절삭공구를 연마할 때, 연마 시간과 공구의 회전방향 및 상하운동 유무에 따라 60-polish

Table 3 Polishing conditions of cutting tools

Items	Conditions
Grain	Diamond #8000
Ferromagnetic	241ES
Composition ratio	50%
Magnetic flux density	0.6Tesla
Rotational speed	1050rpm
Endmill	Cemented carbide ϕ 10mm 4-plate

와 30-polish로 구분하여 연마하였는데, 60-polish는 상하운동 없이 60분간 연마한 공구이고, 30-polish는 상하운동하면서 30분간 연마한 공구이다. 각각의 조건으로 자기연마한 공구의 사진은 Fig. 7에 나타내었다.

5.2 자기연마공구의 성능평가

자기연마공구의 성능평가는 Fig. 8과 같이 절삭력의 변화와 공구마모를 측정하여 평가하였고, 실험에 사용된 공작기계는 3축 MCT이며, 공작물은 열처리하지 않은 STD11을 사용하였다. 절삭력은 공구동력계로 공구마모는 공구현미경으로 측정하였다. 실험조건은 Table 4에 나타내었다.

공구의 성능평가 결과는 Fig. 9에 도시하였다. Fig. 9의 (a), (b) 및 (c)는 각각 절삭시간에 따른 절삭력, 공구마모 및 공구인선의 변화를 나타내고 있다. Fig. 9 (a)는 절삭시간에 따른 절삭력 변화를 나타낸 그림으로 연마하지 않은 공구 (Non-polish)는 27분을 전후하여 절삭력이 급격히 증가하였고, 60-polish 공구는 35분, 30-polish 공구는 40분경에 절삭력이 급격히 증가하였다. 이렇게 절삭력이 급격히 증가하는 것은 공구마모가 일정수준이상으로 진전하여 공구수명의 한계점에 도달했기 때문에 발생하는 현상으로, Fig. 9 (c)

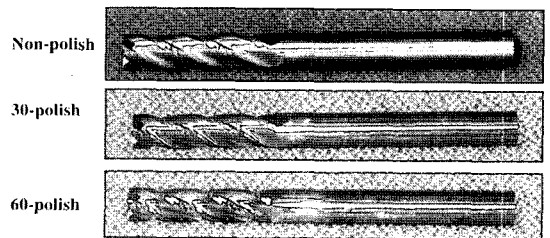


Fig. 7 Polished high speed cutting tools

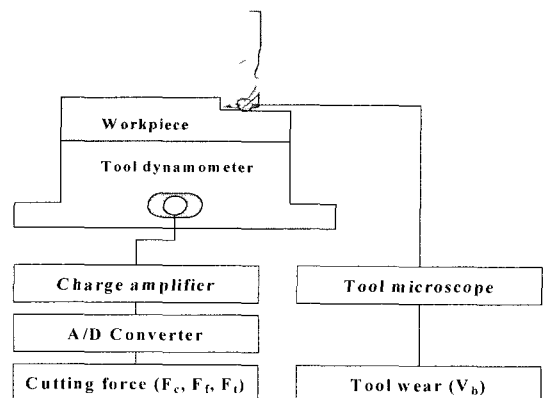


Fig. 8 Experimental setup

Table 4 Experimental equipments and conditions

Items	Specifications
MCT	Sirius-2(Hwacheon)
Workpiece	STD11(Non Heat treatment)
Tool dynamometer	9257B(Kistler)
Microscope	MF1020TH(Mitutoyo)
Cutting speed	6000 rpm
Depth of cut	1.5mm
Width of cut	0.2mm
Feed	300mm/min

의 공구인선의 변화를 나타낸 결과에서도 연마하지 않은 공구의 공구마모가 극심함을 보여주고 있다. Fig. 9 (b)는 절삭 시간에 따른 공구마모를 나타낸 그림으로, 자기연마한 공구가 연마하지 않은 공구에 비하여 공구마모가 적었으며, 공구마모 0.2mm에 도달할 때까지의 절삭시간을 비교하면, 30-polish 공구가 Non-polish 공구에 비해 공구수명이 50%이상 향상됨을 보여주고 있다.

6. 결론

고속절삭공구의 성능향상을 위해 자기연마장치를 제작하여 절삭공구를 자기연마하여 공구성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

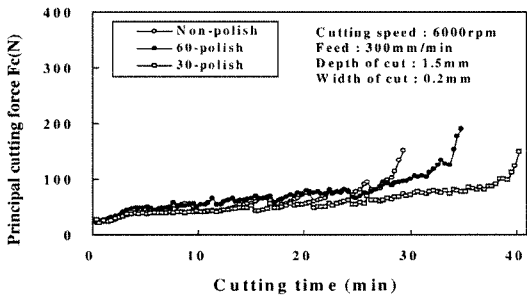
- (1) 자기연마에서 연마조건에 따른 연마력을 측정할 결과, 자속밀도는 클수록, 연마입자는 작을수록, 배합률은 50%일 때 연마력이 크게 나타났다.
- (2) 다이아몬드 입자를 연마입자로 초경합금을 자기연마한 결과, 자속밀도는 0.6Tesla, 연마속도는 1050rpm과 1650 rpm에서 양호한 연마면 거칠기를 얻을 수 있었으며, 입자크기가 연마면 거칠기에 미치는 영향은 적었다. 자성 입자의 기본유체는 되도록 점성이 적은 것을 사용하는 것이 연마면 거칠기 향상에 좋은 것으로 나타났다.
- (3) 자기연마로 복잡한 형상의 절삭공구 표면을 경면 연마할 수 있었다.
- (4) 자기연마한 절삭공구의 성능을 절삭력과 공구수명으로 평가한 결과, 30분간 상하로 움직이면서 연마한 공구가 연마하지 않은 공구에 비해 공구수명이 50%이상 향상된 것으로 나타났다.

후기

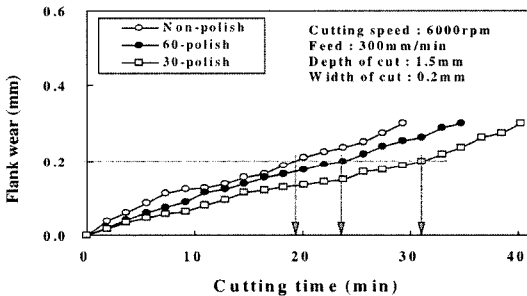
본 연구는 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원 및 2004년도 창원대학교 연구비의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

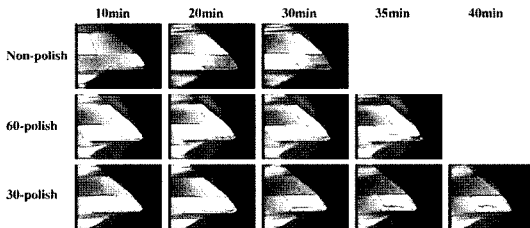
- (1) Ko, S. L., Lee, S. K. and Bae, S. M., 2001, "Study on the Design of End Mill Geometry," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 8, pp. 24~31.
- (2) Kim, H. G., S, J. T., Gweon, D. H., Kim, J. S. and



(a) Cutting force



(b) Flank wear



(c) Photograph of flank wear(x50)

Fig. 9 Performance estimation of cutting tools

- Kang, M. C., 2001, "Machinability Evaluation of Endmill Tool through Development of Ultra-fine Grain Grade Cemented Tungsten Carbide Material," *Autumn Conference on KSPE*, pp. 865~869.
- (3) Patricia, L. S., 1999, "A new finishing process significantly lengthens the life of cutting tools and other wear products," *American Machinist*, pp. 70~74, November.
- (4) Hideki, K., Kazuhiro, T., Yunhai, S., Yoshio, T., Kazutaka, M. and Takao, Y., 1999, "Study on Polishing Characteristics of Simply Mixed Oil Bonded Magnetic Abrasives," *Transactions of JSME*, Vol. 65, No. 632, pp. 386~393.
- (5) Toyohisa, Y., Noritsugu, U., Koji, K., Matsuo, A. and Kazuo, W., 1992, "Magnetic Fluid Grinding for Inner-surface of Pipe of Which Cross-sectional Shape is Hexagonal Circle," *Transactions of JSME*, Vol. 58, No. 553, pp. 173~178.
- (6) Takeo, S. and Hitomi, Y., 1993, "Study on a New Internal Finishing Process by Applying Magnetic Abrasive Machining (Internal Finishing of Stainless Steel Tubings and Clean Gas Bombs)," *Transactions of JSME*, Vol. 59, No. 560, pp. 293~299.
- (7) Hitomi, Y. and Takeo, S., 1994, "Study on a New Internal Finishing Process by Applying Magnetic Abrasive Machining (2nd Report, Effects of Magnetic Field Distribution on Magnetic Force Acting on Magnetic Abrasives)," *Transactions of JSME*, Vol. 60, No. 578, pp. 307~313.
- (8) Park, S. R., Cho, J. R., Park, M. G., Yang, S. C. and Jung, Y. G., 2005, "A Study on the Improvement of High Speed Cutting Tool using Magnetic Fluid Grinding Technique," *Spring Conference on KSPE*, pp. 1289~1293.
- (9) Cho, J. R., Yang, S. C. and Jung, Y. G., 2005, "A Study on the Improvement of High Speed Cutting Tool using Magnetic Fluid Grinding Technique (A Performance Estimation of High Speed Cutting Tool)," *Autumn Conference on KSPE*, pp. 354~361.
- (10) Kordonski, W. I. and Golini, D., 1999, "Fundamentals of Magnetorheological Fluid Utilization in High Precision Finishing," *Journal of IMSS*, Vol. 10, pp. 683~689.