

◆특집◆ 정밀부품의 표면가공 및 디버링 기술

자기연마에 의한 효율적인 미세 버제거

박정일*, 고성림#, Yuri M. baron**

Effective Deburring of Micro Burr using Magnetic Abrasive Finishing

Jung Il Park*, Sung Lim Ko# and Yuri M. baron**

Key Words : magnetic-abrasive finishing (MAF자기 연마), burr(버), deburring(디버링), magnetic inductor (자기 유도자), abrasive(지립), electric gun(전자총)

1. 서론

버(burr)의 생성은 제품 생산에 있어서 정밀도, 제품의 성능과 생산성을 떨어뜨리며, 원치 않는 버의 제거를 위한 방법으로 자기연마법이 개발되어왔다. 자기연마법은 오랫동안 정밀 표면 마무리 작업과 모서리작업에 사용되어왔다.^{1,2,3}

자기연마법(magnetic-abrasive finishing)은 철의 자기화 성질과 연마제의 연마특성을 이용한다.(Fig.1) 자기유도자(magnetic inductor)에 의해 생성된 자력선을 따라 지립이 정렬을 하고 정렬된 지립은 브러시의 역할을 하여 버를 제거하게 된다. 강자성체 (Ferromagnetic powder)의 파우더의 자력 성질과 연마제의 연마특성을 결합시킨 파우더를 이용하여 가공물의 버를 제거하게되며, 자기유도자에 공급되는 전류량을 조절하여 버에 전달되는 힘의 크기를 조절할 수 있다.

본 연구에서 시편으로 사용된 전자총 부품은 평균 2~3 μ m 의 미세 버를 갖고 있으며, 표면조도는 평균 0.30~0.40 μ m 의 정밀 부품이다.

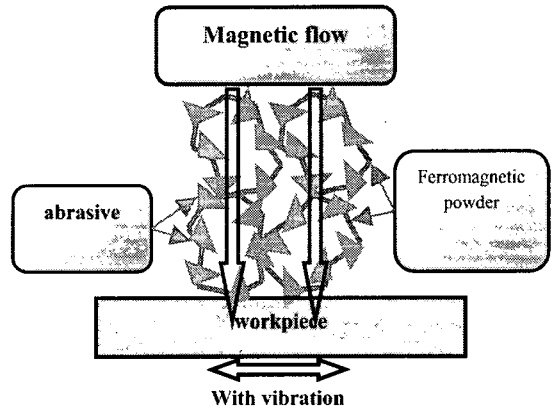


Fig. 1 introduction of magnetic abrasive finishing method

본연구실에서 기존에 수행되었던 실험을 통해 적합한 파우더특성과 조건을 선정하여 실험에 적용하였으며, 새로 제작된 EMI-2 자기 유도자를 이용하여 적합한 가공조건을 선정하였다.⁴ 기존 실험에서 디버링 성능향상에 적합함이 확인된 Fig.1에 나타난 진동테이블(vibration table)을 적용하였으며, 버제거와 표면조도의 향상을 관찰하였다.⁵

* 건국대학교 기계항공우주공학부 대학원

건국대학교 기계항공우주공학부

Center for Aerospace System Integration Technology (CASIT)

Tel. 02-2201-3718, Fax. 02-450-3465

Email; slko@konkuk.ac.kr

** St.Petersburg State Polytech University

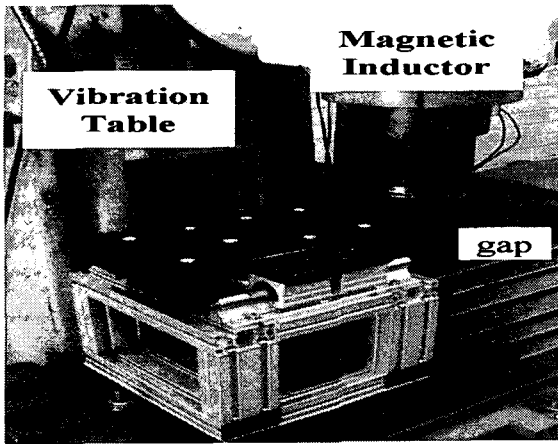


Fig. 2 Vibration table and magnetic inductor

2. Inductor 소개

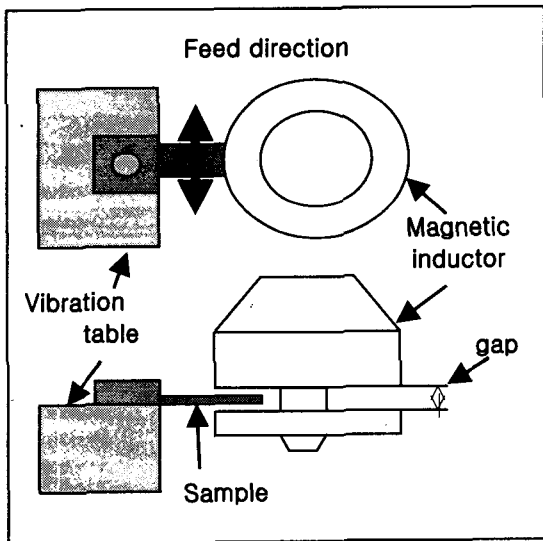


Fig. 3 Arrangement of magnetic inductor, vibration table and sample in MAF experiment

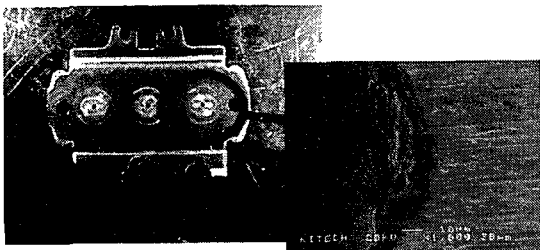


Fig. 4 Electric gun, Fe(60%)+Ni(40%)

자기유도자는 수직 밀링 머신에 장착되어 전류가 공급됨에 따라 자기유도자와 가공물 사이의 간극 안에 정렬되어 있는 전자석이 자기 흐름을 생성하여 자기 분말이 간극 안에 정렬하도록 설계되었다(Fig.3).

Fig.4 나타난 전자총 부품의 미소버 제거를 위하여 정렬된 자기분말은 브러쉬와 같은 역할을 수행하여 가공물의 양면의 버를 한번에 제거할 수 있다.

3. 미세버 제거를 위한 실험

3.1 EMI-2 의 가공조건 선정을 위한 실험

Table 1 Experimental conditions of MAF experiment

Inductor	EMI-2	Working gap	4mm
Holder	Vibration table	Amplitude	2.5mm
Coil current	1.5A	Frequency	500Hz
Table feed	127mm/min	Powder	Fe-Tic

Table 2 Variation of experimental conditions

	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4	Exp5	Exp6
Volume of powder(cm ³)	19	25	19	19	19	19
Rotational Speed(rpm)	95	95	130	180	95	95
Use of Coolant	no	no	no	no	a little	much

이번 실험에서는 새로 제작된 EMI-2 자기 유도자의 적합한 가공 조건의 선정을 위해서 실험을 수행되었다. 기존의 실험을 통해서 수립한 Table1의 조건을 바탕으로 Table 2 번과 같이 자기 분말의 양과 rpm 의 변화를 주고 실험을 하였으며, 그 결과를 관찰 하였다(Fig.5). 모든 실험은 공통적으로 Table 1 의 조건을 사용하였으며, 각 실험은 Table 2 의 변경 조건이 적용되었다. Exp.2 는 자기분말의 사용량만 25 cm³ 로 적용 하였으며, exp.3 과 exp.4 실험은 rpm 을 각각 130 과 180 으로

변동하였으며, exp.5 실험은 exp.1 실험의 조건에 소량의 절삭유를 실험 시작 전 분말에 적셔주었고, exp.6 실험은 실험 진행동안 지속적으로 절삭유를 공급해 주었다.

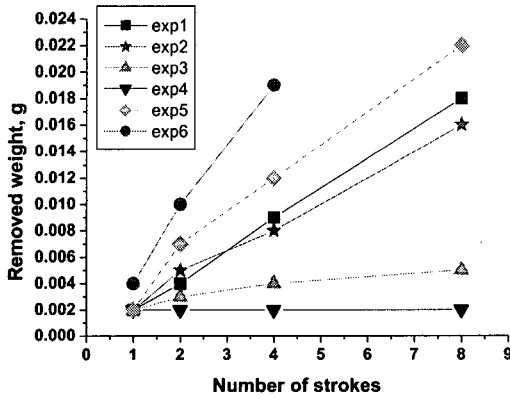


Fig. 5 Variation of Removal weight according to each experimental condition

rpm의 변동을 주었던 exp.3 과 exp.4 번의 실험 결과 시편 질량 감소량이 적다. 이유는 gap 안에 정렬된 분말이 회전속도 증가에 따른 원심력을 이기지 못하고 외부로 떨어져 나갔기 때문이다. 결과적으로 rpm의 증가는 자기 유도자의 성능을 저하시키게 된다. 분말의 사용량의 차이를 주었던 exp.1 번과 exp.2 번 실험을 통해 19 cm³의 부피가 더 효율적임을 알 수 있다. 과다한 분말의 사용은 오히려 분말의 절삭거동을 저해하는 결과를 초래하기 때문이다. exp.1 번과 exp.5 번과 exp.6 번 실험의 비교를 통해서 coolant의 사용이 질량 감소 즉 버의 제거에 더욱 효과적임을 알 수 있다. 지속적으로 coolant를 공급한 exp.6 번의 경우 현저한 질량의 감소를 확인 할 수 있다. Coolant 사용의 장점은 다음 표면 조도의 분석을 통해서 더욱 뚜렷하게 증명되고 있다(Fig.6).

표면 조도를 관찰한 결과 coolant를 사용한 exp.5 번과 exp.6 번 실험을 제외한 모든 실험의 표면 조도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 gap 안에 파우더가 디버링을 하는 과정에서 지립의 파편이나 불순물이 시편에 부착되어 표면 조도를 상

승시키는 것으로 판명되었다. 하지만 coolant를 이용한 exp.5의 경우 상대적으로 작은 증가를 보이고 있으며, 지속적으로 coolant를 공급받은 exp.6의 경우는 표면조도가 향상하는 것을 볼 수 있다. 이 관찰에 의해서 적절한 디버링 조건은 표면조도의 향상을 동시에 수반 함으로서 자기연마에 의한 가공의 특징을 잘 나타내고 있다. 그러나 일정한 표면조도 상태에 도달한 후에는 행정회수의 차이에 의해서는 표면조도의 차이를 나타내지는 않고있다. 그러나 적절한 분말의 크기와 연마재의 선택에 의해서 표면조도가 향상되는 조건을 찾을 수 있을 것이다. 이 경우에는 버제거 성능과 서로 상반되는 경향이 있기 때문에 이에 대한 분석과 최적의 분말을 선정하는 것이 필요하다.

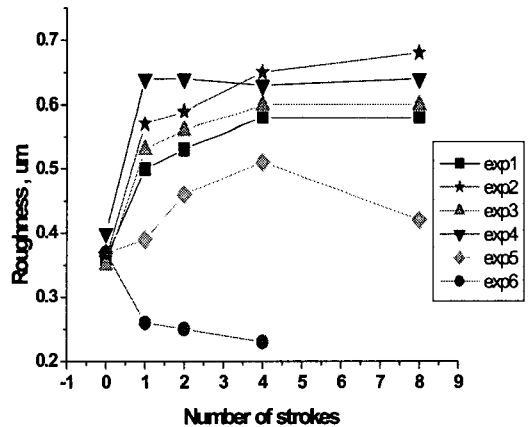


Fig. 6 Variation of Surface Roughness according to each experimental condition

Fig.5에서 exp.5의 조건에 의한 4번의 왕복가공 후의 질량 감소량이 약 0.012g에 비하여 exp.6에서는 약 0.02g 정도의 가공능력의 향상을 관찰할 수 있다. Fig.7에서 나타난 SEM 사진에서 볼 수 있듯이 질량의 감소는 버의 제거와 밀접한 관계를 맺고 있다는 것을 확인할 수 있다. 질량감소가 효율적으로 일어나는 조건에서 버제거도 활발하게 진행됨을 알 수 있다.

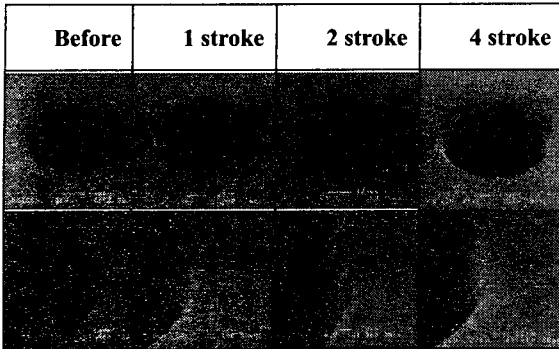


Fig.7 Development of edge shape according to the number of feed stroke

위의 사진에서 확인할 수 있듯이 모든 버는 확실히 제거되었다. 그러나 요구되는 모서리부의 형상 정밀도에 따라서 적절한 가공 회수가 파악되어야 한다. 하지만 표면조도와 디버링이 요구되는 수준에 도달한 경우에도 SEM 을 이용한 성분 분석의 결과 시편의 표면에 불순물이 첨가되었음을 확인할 수 있다.

3.2 Abrasive 의 영향 분석을 위한 실험

전자총 샘플은 Fe(60%), Ni(40%)로 구성되어있다. 하지만 디버링 후에 SEM 을 이용한 성분분석의 결과에는 Table 3 에 나타난 바와 같이 가공표면에 분말입자의 성분이 함유되어있었다. (Fig.8)

Table 3 Chemical analysis of the surface composition of materials as weight (%)

Element	Before MAF	Fe-TiC powder	Fe-Al ₂ O ₃ powder	Fe powder
C K	0	23.39	0	0
Ti K	0	19.68	0	0
Fe K	58.78	35.11	58.85	58.37
Ni K	40.62	21.82	40.59	40.67
Mn K	0.61	0	0	0.75
Al K	0	0	0.56	0.01
Total	100	100	100	100

Fe-TiC 성분의 powder 를 사용할 때, 기존 Sample 의 성분 이외에 C, Ti 가 첨가된 것을 확인할 수 있으며, 이것은 실험에 사용된 파우더 Fe-TiC 의 연마제의 TiC 의 성분인 것을 알 수 있다.(Fig.8 참고) 지립의 성분이 디버링 과정에서 시편의 표면에 침투되어 나타난 결과로 생각된다.

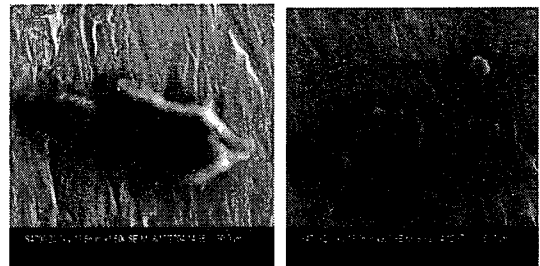


Fig.8 Impurities on the surface of sample(C, Ti)

C 와 Ti 성분으로 인한 불순물의 영향을 적게 하기 위하여 시편의 성분과 유사한 Fe+Al₂O₃ 와 Fe 두 가지 분말을 이용한 실험을 하였다.

Exp.6 의 조건과 동일한 조건을 사용하여 실시한 실험이며, 질량감소량과 표면조도량도 위의 실험과 유사한 경향을 보이고 있지만, 성분분석결과 불순물의 첨가가 눈에 띄게 줄었고, Fe 를 이용한 실험에서는 실험전의 샘플과 유사한 성분을 보여주고 있다. 기타 성분들은 측정오차의 범위 안에 있음을 알 수 있다.

각 경우의 디버링 성능을 점검하기 위하여 각 분말의 사용에 의한 2 번의 왕복가공 후에 구멍부의 가공상태를 Fig. 9 에서 관찰할 수 있다. 두 경우 모두 완전히 burr 가 제거되었음을 알 수 있다.

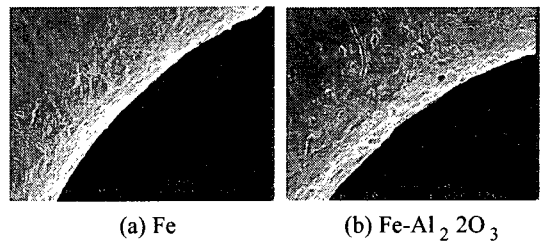


Fig. 9 The result of deburring with different powder

4. 자기유도자의 설계변경에 의한 미세버 제거를 위한 실험

4.1 EMI-2R의 가공 조건 선정을 위한 실험

실험 방법은 3 장의 내용과 동일하지만, 자력이 보완된 EMI-2R 인덕터를 설계, 제작하였고, 이를 이용하여 최적의 가공 조건의 선정을 위한 실험을 수행하였다.

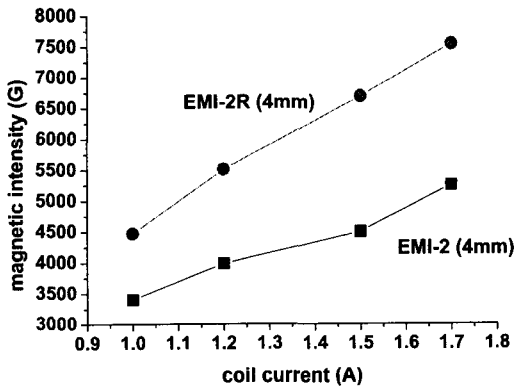


Fig. 10 Comparison of magnetic intensity according to the change of gap and current

더 큰 자력의 생성을 위해서 자기유도자(EMI-2R)가 설계변경되었으며, 간극의 크기와 전류의 크기의 변화에 따른 측정된 평균 자력의 크기가 Fig.10 에 나타나 있다. 이것은 변경이전에 4mm의 간극과 1.5A의 전류의 크기에서 측정된 자력보다 약 45% 이상의 자화강도의 상승을 가져왔음을 보여주고 있다.

Coolant의 사용이 가공 능력과 표면조도에 긍정적인 영향을 끼치는 것을 이전의 실험을 통하여 확인하였다. 따라서 정량적인 양을 확인하기 위하여 실험 장비를 구성하였으며, 유량계를 이용하여 사용된 coolant의 양을 측정하였다.(Fig.11)



Fig 11 Device for circulation and measurement of coolant

또한 rpm의 변화에 따른 가공 능력과 파우더 사용량의 변화에 따른 가공 능력 및 gap의 변화에 따른 실험을 새로 제작된 EMI-2R 인덕터를 이용하여 추가로 수행하였다.

4.2 최적의 coolant 공급량 결정

Table 4 Conditions of MAF experiment with EMI-2R inductor

Inductor	EMI-2R	Working gap	4mm
Rotational speed	95rpm	Number of strokes	2
Coil current	1.0A	Volume of powder	19 cm ³
Table feed	127mm/min	Powder	Fe

실험은 0.5 l/min부터 1.25 l/min까지 수행하였으며, 0.95l/min일 경우 최적의 가공 능력을 보여주고 있다.(Fig.12)

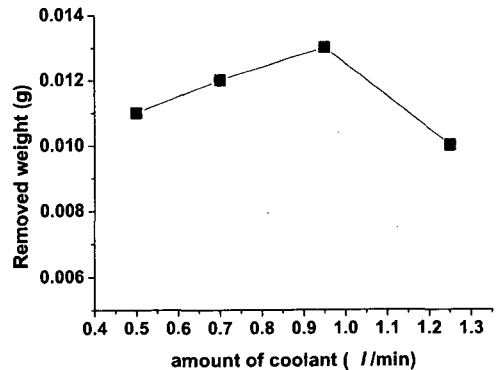


Fig. 12 Removed weight according to the amount of coolant

4.3 rpm의 증가에 의한 디버링 효율 향상

주축회전수의 변동에 따른 디버링 성능에 관한 실험은 3 장에서도 수행되었지만, 이전의 실험의 경우 EMI-2 인덕터에서는 rpm이 증가할 때 분말이 원심력을 이기지 못하고 파우더가 밖으로 떨어져 나가는 현상이 발생했지만, 이번 실험에서는 그러한 현상은 나타나지 않았다. rpm은 각각 95, 130, 180, 230에서 실험을 하였고, rpm이 상승함에

따라서 가공 능력도 향상되는 경향을 보이고 있다 (Fig.13). 그것은 EMI-2R 의 자기력의 증가로 인하여 230rpm 까지 분말이 이탈되지 않음을 알 수 있다.

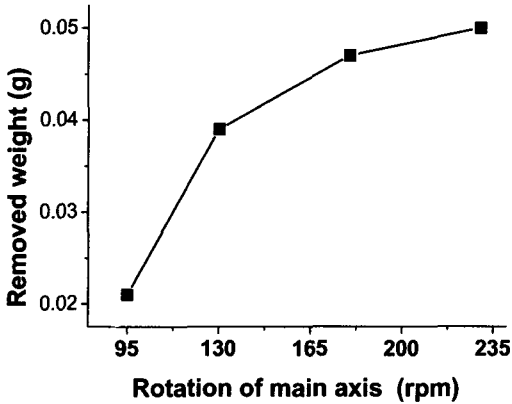


Fig. 13 Removed weight according to the change of the rotational speed

하지만, 실험 후에 모서리 부의 형상을 확인한 결과 버가 존재하는 모서리 주변에 Fig.7 에서와 같은 모서리 형상의 무너짐 현상이 발생하였고, 이러한 현상은 rpm 이 130 이상 증가 할 경우에 발생하였다. 따라서 지나친 가공 능력은 시편의 모서리 형상에 좋지 않은 영향을 끼치게 된다. 그러므로 현재 가공 회수인 2 회보다 작은 회수로도 원하는 형상의 디버링이 가능해 짐으로서 설계 변경된 자기유도자를 사용하여 디버링 공정의 효율을 높일 수 있게 되었다.

4.4 파우더 사용량의 변화에 따른 가공 능력 비교실험

분말 사용량에 관한 일반적인 공식은 실험에 의해서 아래와 같이 제안되었다.⁶ 새로 제작된 자기 유도자에 대하여 이에 대한 실험을 실시하였다.

$$V_p = 1.3 V_\delta \quad (1)$$

V_δ 은 자기력이 형성되는 gap 전체의 부피를 나타내며, V_p 는 이때 사용 되어지는 분말의 양을 나타낸다. 따라서 이번 실험에서는 분말 사용의

양을 gap 의 부피에 비교하여, 60%에서 140%까지 변화시키며 실험을 하였다. 분말 사용량을 제외한 나머지 조건은 Table 4 와 동일하다. Coolant 는 0.95 (ℓ/min)로 제공되었다.

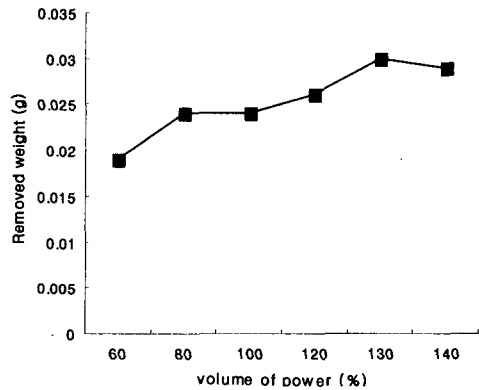


Fig. 14 Removed weight according to the volume of powder

결과적으로 130%의 volume 을 사용 할 때에 최고의 가공 능력을 보여주고 있다. 130%의 비율은 (1)번 공식과 일치하는 결과임을 알 수 있다.

4.5 Gap 의 높이 변화에 따른 비교

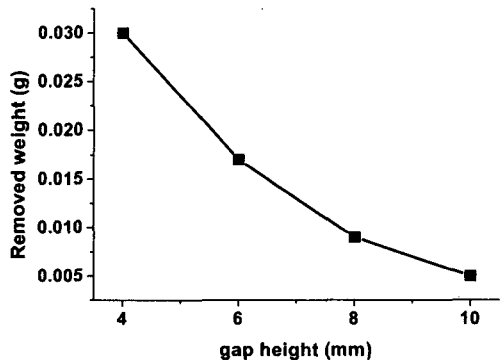


Fig. 15 Removed weight according to the gap height

마지막으로, gap 크기의 변화를 주고 변화된 gap 의 크기에 따라 130%의 분말을 제공하였다. 다른 실험 조건은 Table 5 와 동일하며, gap 의 크기

만 변화되었다.

실험의 결과는 예상대로 gap 의 높이가 증가함에 따라서 가공 능력은 떨어지는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

1. 미소 버제거를 위한 자기유도자를 설계 및 제작하였으며 디버링 성능을 향상 시키기 위하여 진동 테이블을 사용하였다.
2. Coolant의 사용은 디버링의 성능의 향상과 표면 조도의 향상을 가져오며, 또한 분말과 가공물의 반응에 의한 불순물의 표면침투에 의한 영향을 막아 준다.
3. 분말의 연마재 성분에 따라서 연마재 성분의 가공물 표면에 침투가 발생함을 발견하였고 이를 방지하기 위하여 Fe + Al₂O₃ 와 Fe 두 가지 분말을 이용한 실험을 하였다.
4. 효율적인 디버링을 위하여 자기력이 강화된 EMI-2R을 설계 제작하였다. 이를 이용한 최적의 coolant 공급량과 분말 사용량을 결정하였다, 또한 rpm의 증가에 의한 가공 효율의 향상이 이루어졌다.

후 기

이 논문은 2001 년도 국가지정연구실 사업의 지원에 의한 논문임.

참고문헌

1. Baron, Yu. M, "Technology of abrasive finishing in magnetic field," Leningrad, Mashinostroenie, pp.128, 1975.
2. Baron, Yu. M, "Magnetic abrasive and magnetic finishing of products and cutting tools." Leningrad (Rus), pp.172, 1986.
3. Yamaguchi, Hitomi, Shinmura, Takeo, "Study of an internal magnetic abrasive finishing using a pole rotation system .Discussion of the characteristic abrasive behavior," Precision Engineering Journal of the International Societies, pp.237-244, 2000.
4. Ko, Sung-Lim, Baron, Yuri M., Chae, Jeong Won, Polishuk, Vladimir S., "Development of Deburring Technology for Drilling Burrs using Magnetic

Abrasive Finishing Method," LEM21, November, Niigata, Japan, 2000.

5. Baron, Yuri, Ko, Sung-Lim, Repnikova, Elena, "Experimental Verification of Deburring by Magnetic Abrasive Finishing(MAF) method," 2nd Asia Pacific Forum on Precision Surface Finishing and Deburring Technology, Seoul, Korea, 22-24, pp166-178, July, 2002.
6. Baron, Yuri, Ko, Sung-Lim, Park, jung II, "Characterization of magnetic abrasive finishing method and Its application to Deburring," ISAAT 2005, pp291-296, July, 2005.