

자기연마법을 이용한 Deburring

여우석*, 이충석*, 채승수*, 최 환#, 이종찬**

Deburring using Magnetic Abrasive Machining

Woo-Seok Yeo*, Choong-Seok Lee*, Seung-Su Chae*, Hwan Choi#, Jong-Chan Lee**

ABSTRACT

The magnetic abrasive machining has been developed as a new finishing technology to obtain a fine surface of workpiece. In this paper, a static magnetic field method and a magnetic abrasive brush which has many technical advantages, are applied for the magnetic abrasive machining. In the experiment, some items such as finishing time, ratio of the magnetic abrasives to Fe-powder, motor revolutions per minute, and motor ratio revolutions per minute are tested. The results of this study have shown the fact that the burr height is mostly affected by the finishing time and the abrasive ratio. Also, it has been found that the magnetic abrasive machining is a possible new technology for the deburring.

Key Words : Magnetic Abrasive Machining(자기연마), Deburring(디버링), Magnetic Abrasive Brush(자기입자 브러쉬), Deburring Characteristics(디버링 특성)

1. 서 론

공작물에는 여러 가지 형태의 홀(Hole)이 존재하는데 이러한 구멍을 가공하는데 있어 가장 널리 사용되는 가공법이 드릴링(Drilling)이다. 그러나 드릴링을 하게 되면 드릴의 입·출구 쪽에 버(Burr)가 발생하게 된다.

일반적으로 버는 절삭가공시 가공물의 모서리부분에 발생하는 것으로, 절삭공구에 의해 가공의 끝부분에서 피삭재의 소성변형에 의해 돌출하는 현상을 말한다. 구멍가공에 있어서도 드릴의 입구 쪽에

는 미소한 버가 발생하지만, 드릴의 출구 쪽에는 매우 큰 버가 생성된다. 이렇게 발생한 버는 제품의 가공정밀도와 치수정밀도에 영향을 미치게 되어, 정밀한 부품의 성능을 저하시킨다. 따라서 소형·정밀화되어 가는 현대 산업사회에서는 버의 제거가 중요시되고 있고, 이를 위한 많은 연구가 이루어지고 있다^[1].

디버링(Deburring) 방법에는 기계적 방법과 화학적 반응법이 있다. 기계적인 방법에는 연마가공법(Grinding), 바렐가공법(Barrelling) 그리고 브러쉬가공법(Brushing)등을 이용하고, 화학적 방법은 에칭(Etching), 전해연마(Electro-polishing)등이 있다. 그러나 기계적 방법은 공구가 직접 닿기 어려운 틈새나 공작물을 설치하기 힘든 위치의 디버링이 곤란하며, 화학적인 반응법은 공작물의 전체 면에 디버링 흔적이 남을 수 있다는 단점이 있다^[2].

* 금오공과대학교 대학원 기계설계공학과
교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부
E-mail : hchoi@kumoh.ac.kr
** 금오공과대학교 기계공학부

본 연구에서는 공작물의 형상에 대응하여 자연스럽게 공구형상의 변화가 가능한 자성연마공구 특성에 착안하여 자기연마법을 이용한 디버링 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 디버링 메커니즘

Fig. 1은 자극을 정지시키고 평판의 가공물을 전후 좌우로 운동시키면서 행하는 정자장 이용법에 관한 자기연마 개념도이다. 디버링 원리는 두 개의 서로 다른 자극사이에 집중되어지는 자력선에 자성입자를 투입하여 형성된 자기입자 브리쉬에 평판을 삽입하여 상대운동이 일어나게 하는 것이다⁶⁻⁸⁾. 즉, 자극 사이의 불균일 자장분포로 자성입자가 브리쉬 형태로 정렬되고 자극사이에 공작물을 삽입시키면 공작물과 자성입자사이에 연마압력이 발생되며 이때 공작물을 전후 좌우로 운동시키면 공작물에 근접한 자성입자와 마찰이 발생하여 공작물의 표면연마가 이루어지는 것이다. 그리고 버가 형성된 부분은 연마압력이 더 크게 작용하여 버의 제거가 이루어지게 된다.

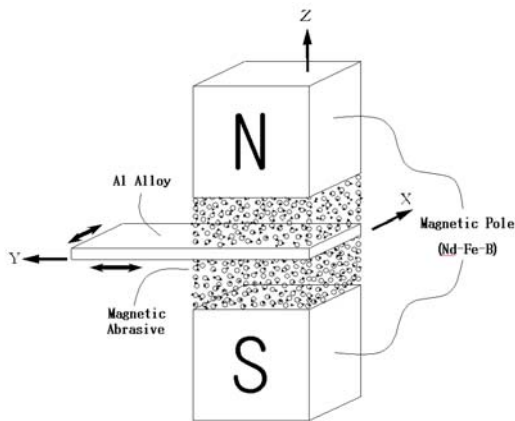


Fig. 1 Schematic of Magnetic Abrasive Finishing

연마압력은 자성 연마입자가 자극에 흡인되는 자력으로 자기연마시 연마입자 하나가 받는 연마압력을 Fig. 2처럼 간략히 나타낼 수 있다. Fig. 2에서 연마입자 한 개가 받는 연마압력을 식으로 나타내면, 불균일 자장분포에 있어서 자성 연마입자에 작용하

는 자력은 식 (1)과 같이 자력선방향 성분 F_x 와 등자위선방향 성분 F_y 로 나타낼 수 있다³⁾. 그리고 그 합성자력 F 는 식 (2)로 표시할 수 있다.

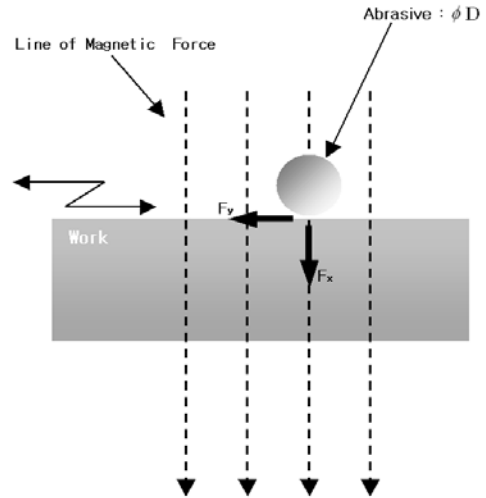


Fig. 2 Schematic of Impressed Force on Surface of Work

$$F_x = kD^3 \chi H \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$F_y = kD^3 \chi H \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)$$

$$F = \sqrt{(F_x^2 + F_y^2)} \quad (2)$$

여기에서 k 는 상수, D 는 구로 가정한 자성입자의 직경, χ 은 자성입자의 자화율, H 는 자장강도, x 는 자력선방향, y 는 등자위선방향, $(\partial H/\partial x)$ 와 $(\partial H/\partial y)$ 는 자장의 변화율이다.

이 자력은 자립 입자 직경 D 의 3제곱과 자화율 χ 의 곱에 비례해서 증가하며 자성 연마입자의 작용압력은 자장강도 H 와 그 변화율 $(\partial H/\partial x)$, $(\partial H/\partial y)$ 의 곱(이 곱을 자장분포의 값이라 부른다)에 영향을 받는다.

그러므로 작용압력을 높이려면 자성 입자직경을 크게 하고 입자 직경이 일정하다면 자장분포의 값을 높여야만 하는데, 본 연구에서는 자극 간격을 최소화하고 영구자석을 이용함으로써 자장분포 값을 크게 하였다.

3. 실험장치 및 조건

3.1 디버링 장치

본 연구에서 이용한 디버링 장치의 개념도와 실험 장치를 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다. 실험장치는 본 연구를 위해 설계·제작한 것으로, 두 개의 서보모터를 장착하여 공작물이 X-Y평면상으로 직선·왕복 운동이 가능하도록 하였다. 공작물의 직선·왕복운동을 가능케하기 위하여 양쪽 모터의 회전축에 캠을 설치하였고, 모터의 회전방향이 직각이 되게 배치하여 두 모터의 회전수를 각각 변경시킴으로써 여러 가지 궤적의 평면운동을 할 수 있도록 하였다.

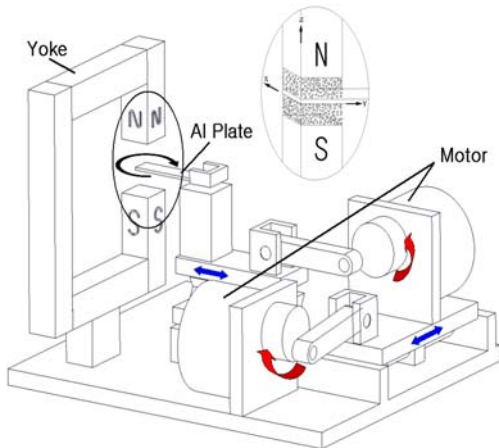


Fig. 3 Schematic Diagram of Experimental Setup

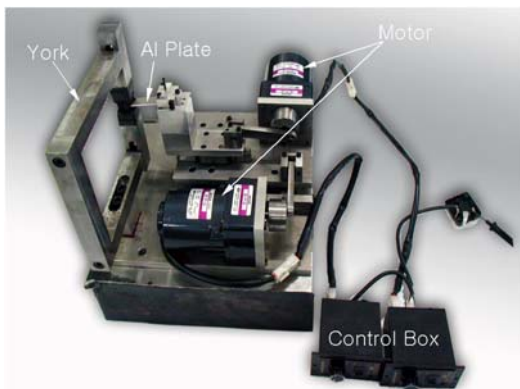


Fig. 4 Experimental Setup for Magnetic Abrasive Finishing and Deburring

자장 발생부는 요크를 만들어 자로를 형성하였고, 자극으로는 자력 누속을 최소화하고 장치의 소형 경량화 및 자극의 극성교환 등을 고려하여 Fe-Nd-B(네오디움)계의 사각 영구자석을 사용하였다. 자장에 영향이 미치지 않도록 하기 위해서 자로를 제외한 대부분을 비자성체인 알루미늄을 소재로 하여 제작하였다.

3.2 버의 형상

디버링 실험에 앞서 알루미늄 평판에 드릴링가공을 하여 버를 발생시켰는데, 생성된 버의 유형을 관찰한 결과 Fig. 5와 같았다. 본 연구에서는 관찰된 세 가지 유형의 버를 대상으로 디버링 실험을 실시하였다.

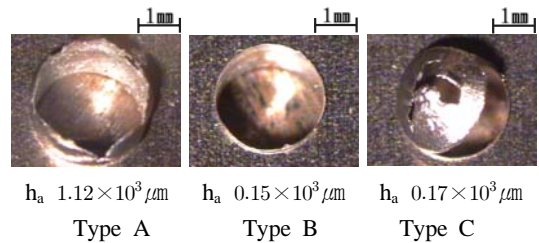


Fig. 5 Type of Burr (h_a : a mean height of burr)

3.3 실험방법 및 조건

본 실험에 사용된 공작물은 비자성체로서 선박용 구조 부품재와 연료탱크, 전자제품 등으로 널리 사용되고 있는 Al 5052 합금을 이용하였다. 자성공구는 WA입자와 전해철분의 혼합물을 사용하였으며, 드릴링가공에 의해 버가 형성된 Al 5052 평판을 자성입자 브러쉬 사이에 클램핑 한 후, 모터에 의해 상대운동을 시켜 버의 제거 실험을 실시하였다. Table 1은 실험조건을 나타낸다.

실험은 우선 12g의 연마입자를 이용하여 N-S극 사이에 입자 브러쉬를 형성시킨 후, 연마시간에 따른 디버링 특성, 연마입자비에 따른 디버링 특성, 모터의 회전수에 따른 디버링 특성을 알아보았다.

연마시간에 대한 실험 방법은 모터의 회전수를 타코미터를 이용하여 200rpm으로 설정하고, 전해철분 6g과 자성입자 6g을 혼합한 연마입자를 이용하여 N-S극 사이에 입자 브러쉬를 형성시켰다. 그리고 클

램프부에 알루미늄 평판을 부착한 후 2분 간격으로 연마하여 알루미늄 평판의 표면거칠기(R_{max} , R_a)를 측정하였다. 연마입자비에 대한 실험에서는 모터의 회전수 200rpm, 연마시간을 10분으로 하고 전해철분과 자성입자의 중량비를 2g씩 증·감시키면서 연마입자비가 디버링에 미치는 영향을 알아보았다. 모터의 회전수 변화에 따른 디버링 실험에서는 200rpm으로 하던 실험을 회전수 변화를 100rpm과 300rpm일 때 연마 정도의 변화를 알아보기 위한 것이고, 전해철분 6g과 자성입자 6g을 혼합한 연마입자를 이용하여 각각 10분 동안 실험을 실시하여 모터의 회전수에 따른 디버링 특성을 알아보았다.

Table 1 Experimental Condition for Plate Finishing

Workpiece	Al 5052 Aluminum Alloy □ 70×15×2 (mm)												
Mixed Type Magnetic Abrasives	Iron particles (mean dia. : 330 μm) WA magnetic abrasives (mean dia. : 80 μm)												
Abrasive Ratio	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>from</td> <td>to</td> <td>shift</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>10</td> <td>~ 2</td> <td>2g</td> </tr> <tr> <td>Abrasive</td> <td>2</td> <td>~ 10</td> <td>2g</td> </tr> </table>		from	to	shift	Iron	10	~ 2	2g	Abrasive	2	~ 10	2g
	from	to	shift										
Iron	10	~ 2	2g										
Abrasive	2	~ 10	2g										
Pole	Fe-Nd-B permanent magnetic 18×18×12 (mm) N-S 180°												
Pole Distance	20 mm												
Motor RPM	100, 200, 300rpm												
Amplitude	20 mm												
Finishing time	2, 4, 6, 8, 10 min.												

4. 실험결과 및 고찰

4.1 연마시간에 따른 디버링 특성

연마시간이 경과함에 따른 디버링 정도를 알아보기 위하여 전해철분과 자성입자를 질량비 1 : 1로 단순 혼합한 12g의 연마입자를 사용하였으며, 모터의 회전수는 200rpm, 1 : 1로 원형운동으로 행하였다. 그리고 연마시간은 2분 간격으로 10분까지 실험하였다.

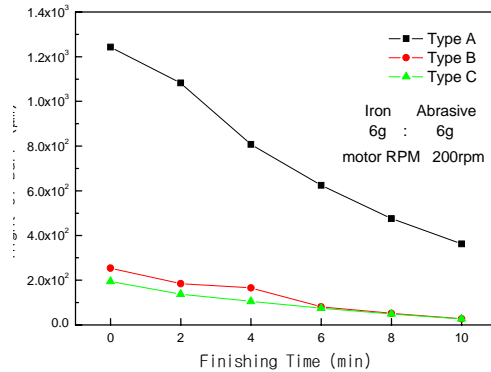


Fig. 6 Hight of Burr versus Finishing Time

Fig. 6은 연마시간에 따른 버의 높이 변화를 나타낸 결과이다. 연마시간이 증가함에 따라 디버링의 효과는 점점 좋아짐을 알 수 있다. 10분간 디버링을 했을 때, 완전한 버의 제거는 할 수 없었지만, 각각의 Type에서 상당한 양의 버가 제거가 되었음을 알 수 있다. 10분간 연마했을 때, Type A는 최초 h_a $1.24 \times 10^3 \mu m$ 에서 $315.24 \mu m$ 로 약 75%가 디버링이 되었고, Type B의 경우는 h_a $196.45 \mu m$ 에서 $26.45 \mu m$ 로 약 86%가 디버링이 되었다. Type C의 경우는 버에 붙어 있는 캡을 제거하면, Type B와 버의 크기 및 형상이 비슷하여 Type B와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

4.2 연마입자비에 따른 디버링 특성

본 실험에서는 전해철분과 자성입자비가 변화했을 때 실험 결과를 확인하여 입자비가 디버링에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 실험에서 사용되어진 실험조건은 전해철분과 자성입자비를 2g씩 단순 중량비 증·감소로써 비를 변화하였고, 모터의 회전수는 200rpm, 모터의 속도비는 1:1로 하여 원형운동이 되도록 하였다.

Fig. 7은 세 가지 유형의 버를 각각의 연마 입자비로 10분간 디버링을 한 결과를 나타낸 것이다. Type A의 경우 다른 두 Type과 달리 버의 크기가 10배 이상이 되어 오른쪽 Y축에 Scale을 달리하여 나타내었다.

Type A의 경우 10분간 디버링을 실시한 결과 전해철분 10g 자성입자 2g일 때가 디버링 정도가 가장 좋음을 알 수 있었다. 이는 입자의 평균직경이 큰 전해철분이 높은 버에 작용하여 디버링에 좋은 효과를 가

저오는 것으로 보인다. Type B와 Type C의 경우 10분간 디버링한 결과는 연마 입자비에 크게 영향을 받지 않고 비슷한 값을 가진다. 이는 Type A에 비해 상대적으로 낮은 버를 디버링하는 경우는 연마입자의 평균직경이 크게 작용하지 않음을 나타낸다.

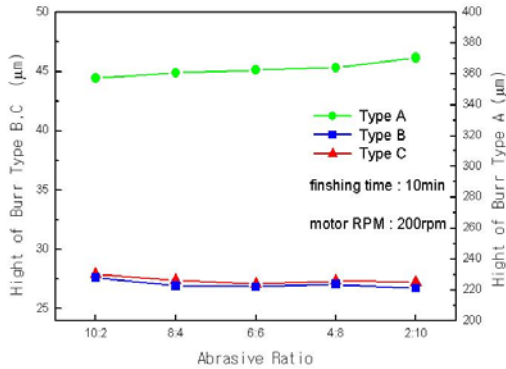


Fig. 7 Hight of Burr versus Magnetic Abrasive Ratio

4.3 모터 회전수에 따른 디버링 특성

모터의 회전수가 디버링에 미치는 영향을 알아보기 위해 모터의 회전수를 100rpm, 200rpm, 300rpm으로 하고, 전해철분 6g과 자성입자 6g을 혼합한 연마입자를 사용하여 2분 간격으로 10분까지 연마한 후 디버링 정도를 알아보았다. Fig. 8에 모터회전수의 변화에 따른 디버링 정도를 나타내었다. Fig. 8을 통해 살펴보면 모터의 회전수가 증가할수록 디버링 정도는 우수해진다는 것을 알 수 있다.

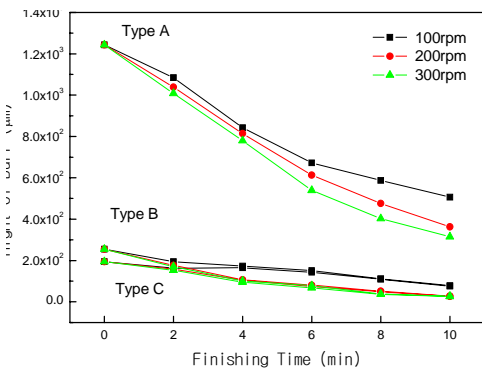


Fig. 8 Effect of Deburring according to Change of Motor RPM

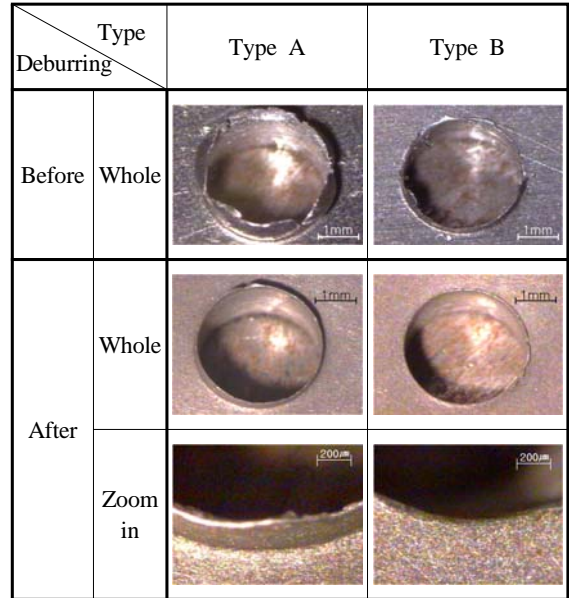


Fig. 9 Measurement of Burr (Iron 6g, Abrasive 6g, Finishing time 10min, Motor 200rpm)

Fig. 9는 디버링하기 전의 Type A와 Type B와 자기연마법을 이용하여 디버링 한 후의 버의 형상을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 자기연마법을 이용하면 비자성체의 드릴링가공시 발생하는 버의 제거에 상당한 효과가 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 비자성체의 드릴링 가공시 발생하는 버의 제거에 자기연마법을 이용하는 연구를 하였다. 이 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실험을 통해서 자기입자 브러시를 이용한 새로운 방법의 디버링 기술개발의 가능성을 확인하였다.
2. 가공시간이 증가할수록, 모터의 회전수가 빠를수록 디버링 정도가 좋아짐을 알 수 있었다.
3. 연마입자비의 영향에서는 Type A는 전해철분의 비율이 상대적으로 많을 때 디버링량이 우수하게 나오지만 차이는 크지 않았고, 그 외 Type은 연마입자비에 영향을 받지 않았다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비를 지원받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. コ.コム.バロン, “製品および切削工具の磁氣.砥立加工と磁氣處理,” 日ソ通信社, 1988.
2. 朴源圭, 進村 武男, “자기 연마법에 의한 질화 규소계 세라믹 파이프 내면의 경면 연마 특성에 관한 연구,” 대한기계학회논문집 A권, 제25권 제1호, pp. 47-53, 2001.
3. Shinmura, T. “Magnetic Abrasive Finishing Process and it's application,” Tool engineer, Vol. 42, No. 5, pp. 13-17, 1998.
4. 進村武南, 渡辺將人, 朴源圭, “超を超えた超の世界,” 機械技術, Vol. 4, pp. 72-75, 1998.
5. 進村武男, 渡辺將人, “磁氣研磨による内面の平滑加工に關する研究,” 情密工學會 春季大會 論文集, pp. 201-202, 1997.
6. 박원규 외5, “자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성(I),” 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 779-782, 2000.
7. 박원규, 최 환, “슬러리 순환방식을 이용한 파이프 내면의 자기연마특성,” 한국기계가공학회지, 제3권 제1호, pp. 38-44, 2004.
8. 박원규 외2, “자기연마법에서 자극 진동 효과,” 한국기계가공학회지, 제4권 제1호, pp. 7-12, 2005.