

# 폴리머와 산화알루미나 연마재를 이용한 마이크로 버 제거 특성에 관한 연구

## A Study of Micro De-burring Characteristics using Polymer and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Abrasive

손종인<sup>1</sup>, 이정원<sup>1</sup>, 김준기<sup>2</sup>, 윤길상<sup>1,✉</sup>  
Jong-In Sohn<sup>1</sup>, Jeong-Won Lee<sup>1</sup>, Jun-Ki Kim<sup>2</sup> and Gil-Sang Yoon<sup>1,✉</sup>

1 한국생산기술연구원 부리산업기술연구부문 금형·성형연구그룹(Molding & Forming Technology R&D Group, KITECH)

2 한국생산기술연구원 실용화기술부문 용접·접합기술센터(Advanced Welding & Joining Technology Center, KITECH)

✉ Corresponding author: seviaygs@kitech.re.kr, Tel: 032-850-0335

Manuscript received: 2010.8.2 / Revised: 2010.12.24 / Accepted: 2011.2.10

*In mechanical cutting process, burr was generated at workpiece by cutting tool generally. It is working disturbance during manufacturing process. Besides burr was taken shape relatively large size more micro scale machining than macro scale machining. Many researches have been studied to remove micro burr(de-burring), because it was negative effect for accuracy of machining shape. However, micro de-burring was constrained by burr height, micro feature and so on. In this paper, experimental research was carried out to compare de-burring characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasive and polymer.*

Key Words: De-burring (다버링), Micro Blaster (마이크로 블라스터), Abrasive (연마재), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (산화 알루미나), Melamin (멜라민), Micro Feature (미세형상)

### 1. 서론

절삭가공은 날카로운 공구가 모재(basic material)의 불필요한 부분을 절삭하여 원하는 형상을 만드는 기계가공으로, 이때 필연적으로 모재의 절삭면에 불필요한 잔재물인 버(burr)가 발생하며 가공정밀도에 악영향을 미치게 되는 요인으로 작용한다. 특히, 미세형상 가공에서 발생한 마이크로 버는 가공형상에 비해 상대적으로 크기가 크게 발생하여 가공정밀도에 많은 영향을 미칠 수 있다.

절삭가공에서 정밀도를 향상하기 위해서는 버 생성을 최소화 하는 것이 가장 효율적인데 이를 위해 Lee<sup>1</sup>는 절삭가공 조건 변화에 따른 버 저감에 관한 연구를 진행하였다. 절삭가공에서 버의 생성을 저감하였다 하더라도 버의 생성 자체를 방

지하기는 어렵다. 이에 따라 범용 절삭에서는 버를 직접 제거하는 여러 방법이 개발되었고, 버를 제거하기 위한 전용 공구까지 연구되고 있다.<sup>2,3</sup> 그러나 미세 형상가공에서 발생한 마이크로 버는 크기가 매우 작기 때문에 범용 절삭에서 연구된 버 제거 방법으로는 쉽게 버를 제거하기 어려울 뿐더러, 가공형상에 대한 영향도 매우 크게 나타난다. 이에 따라서 전기화학적 방법을 이용한 마이크로 버 제거에 대한 연구가 진행된 사례가 있다.<sup>4,6</sup> 전기화학적 방법의 경우 전극과 버 사이의 간극 조절을 위한 초정밀 이송장치가 필요하며, 피삭재의 소재 마다 다른 종류의 전해액을 사용하기 때문에 시간적, 비용적인 요소들이 추가적으로 발생하는 단점을 가지고 있다. 이와 다른 물리적인 방법으로, Park<sup>7</sup>은 마이크로 형상 가공에서 발생한

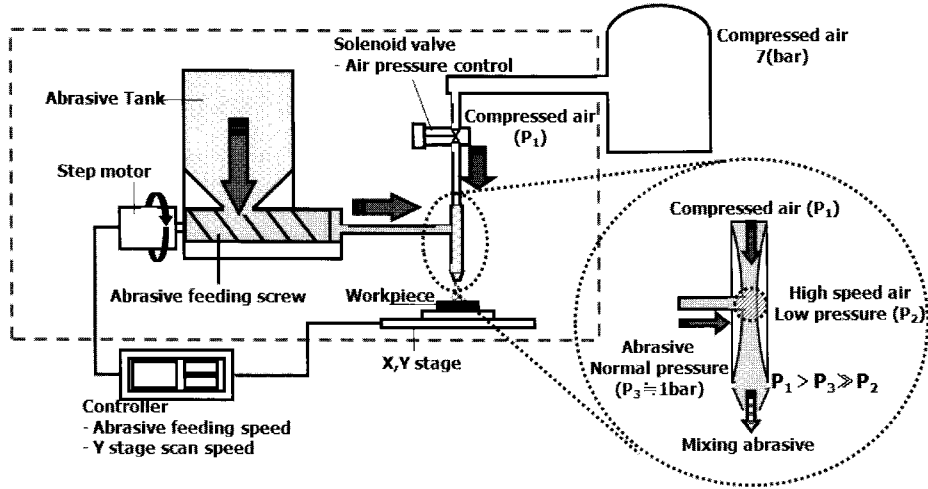


Fig. 1 Schematic diagram of De-burring machine using Abrasive

버에 대하여 연마재를 분사하여 마이크로 버를 제거하는 실험을 실시하였으며, Balasubramaniam<sup>8</sup>는 블라스팅 공정변수에 따른 버의 제거 특성을 연구하였다. 블라스팅 공정을 이용한 디버링은 전기화학 적 방법에 비하여 비교적 간단한 구조의 장비 구축 및 용이한 공정 제어 등의 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 마이크로 버의 제거를 위하여 블라스팅을 적용한 디버링 공정에 관한 실험을 수행하였다. 이때, 경도가 다른 산화 알루미늄과 폴리머 연마재를 이용하였을 경우 버의 제거량과 가공형상에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

## 2. 마이크로 블라스팅 시스템 구축

마이크로 블라스터는 Fig. 1 에서 보는 것과 같이 연마재(abrasive)를 보관할 수 있는 탱크, 정량적으로 이송하는 스크류(feeding screw), 연마재 분사하는 압축공기(compressed air) 라인과 노즐(nozzle)부로 구성되어 있다. 노즐부의 압력은 솔레노이드 밸브를 거치게 되는 압축공기의 압력(P<sub>1</sub>), 스크류 축의 압력(P<sub>3</sub>), 두 라인이 교차부의 압력(P<sub>2</sub>)로 구분될 수 있으며, 압력 크기는 P<sub>1</sub>>P<sub>3</sub>>P<sub>2</sub> 순이다. 압축공기의 속도에 의하여 형성된 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>의 압력차이로 연마재는 노즐을 통하여 분사된다. X, Y, Z 스테이지(stage)는 각각 독립적으로 이송할 수 있도록 제작하였으며, 특히 X 스테이지는 변수에 따른 스캔속도로 자동 왕복 이송하여 디버링 공정을 수행하도록 제작하였다. Fig. 2 는 연마재가

피삭재를 제거하는 역학구조를 나타낸 것이다.

R 은 분사면적의 반지름, r 은 분사면적의 어떠한 점의 반지름, V<sub>(r=0)</sub>, V<sub>R</sub> 는 r=0, R 일 때의 속도, m<sub>(r=0)</sub>, m<sub>R</sub> 는 r=0, R 일 때의 질량, Q<sub>(r=0)</sub>, Q<sub>R</sub> 는 r=0, R 일 때의 밀도이다. 재료제거율(material removal rate, MRR)에 직접적인 영향을 줄 수 있는 에너지 함수는 f(m, V)로 표현할 수 있다.<sup>9</sup>

$$\begin{aligned}
 E_{mrr} &= C \times \left( \frac{1}{2} \times Mass \times Velocity^2 \right) \\
 &= 0.5 \times C \times (m_r \times Q_r \times V_r) \times V_r^2 \quad (1) \\
 &= 0.5 \times C \times m_r \times Q_r \times V_r^3
 \end{aligned}$$

C: 상수

$$m_r = m_R \times e^{-\frac{r}{\sigma_1}} \quad (2)$$

$$Q_r = Q_{r=0} \times e^{-\frac{(m_{r=0} - m_r)}{\sigma_2}} \quad (3)$$

$$V_r = (V_1 - V_0) \times \frac{r}{R} + V_0 \quad (4)$$

σ<sub>1</sub><sup>2</sup>: 질량 변화 함수(m<sub>r=0</sub> ~ m<sub>R</sub>)

σ<sub>2</sub><sup>2</sup>: 밀도 변화 함수(Q<sub>r=0</sub> ~ Q<sub>R</sub>), r ≤ R

$$E_{mrr} = 0.5 \times C \times (m_r \times e^{-(r/\sigma_1)^2}) \times (Q_{r=0} \times e^{-(m_{r=0}-m_r/\sigma_2)^2}) \times \{(V_1 - V_0) \times (r/R) + V_0\}^3 \quad (5)$$

$V_1$  : velocity at the periphery of  $V_R$

$V_0$  : velocity at the  $V_{(r=0)}$

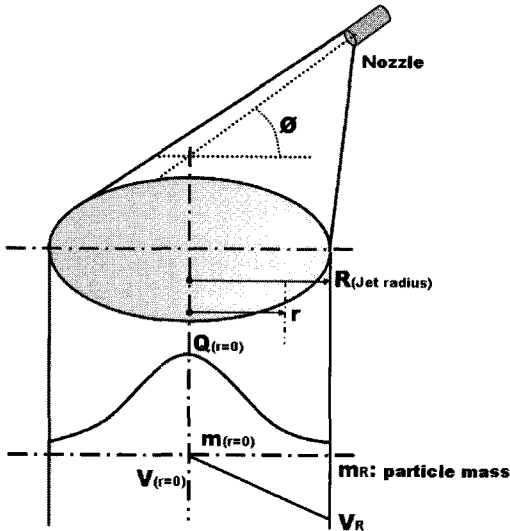


Fig. 2 Mechanism of abrasive particle in the de-burring machine

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 마이크로 리브(rib) 가공

마이크로 리브는 최근 소형 연료전지의 분리판, 바이오 칩, 디스플레이 광학 시트(sheet), 마이크로 부품에 많이 적용되는 대표적인 형상이다. 또한 일반적으로 대량 생산을 위한 미세 형상은 대부분 금형 코어에 존재하고 있다. 본 연구에서는 디버링 공정에 미세 리브 형상을 적용하기 위해 직경 400um 엔드밀(end-mill)을 사용하여 높이(h) 100um, 폭(w) 200um 의 리브를 가공하였다. 일반적으로 절삭 가공은 이송속도, 공구의 회전수, 절삭유 사용 유무 등의 가공조건에 따라서 버의 생성 및 크기가 달라진다. 이에 따라서 절삭가공을 통한 공작물은 버를 최소화 하기 위한 가공조건을 적용해야 바람직하지만, 본 실험은 연마재 종류에 따른 디버링 특성 분석을 그 목적으로 하고 있어, 일반적인 시편제작 방법으로 적용할 수 있는 공구사의 권장 가공조건을 이용하였다. 이에 관한 자세한 사항은 Table 1 과 같다.

Table 1 Cutting condition

Workpiece	Cartridge brass(Cu:70%, Zn:30%)
Tool	Ø 0.4(2 flute)
Feed(mm/min)	100
Spindle speed(RPM)	40,000
Depth of cut(µm)	100
Lubrication	Wet Cutting

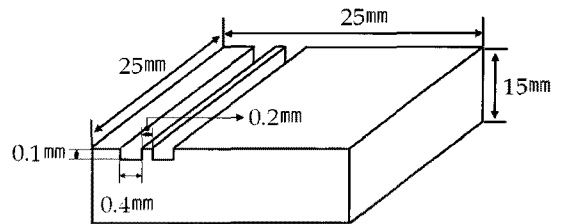


Fig. 3 Geometry of micro rib

#### 3.2 연마재의 선정

연마재의 종류에 따른 블라스팅 공정에서의 디버링 특성을 실험적으로 고찰하기 위하여 경도가 다른 산화알루미나 연마재와 폴리머 연마재를 이용하였다. 산화알루미나 연마재는 기존 블라스팅 공정을 이용한 가공에서 주로 이용되는 연마재로써 모스경도 9 수준의 금속소재 연마재이다.<sup>10,11</sup> 폴리머 연마재는 유레아, 멜라민, 나일론 등 여러 가지 종류가 있으나, 낮은 경도의 폴리머 연마재를 이용하여 디버링 공정에 적용하였을 경우 버 제거 효율성이 낮을 것을 판단되어 이중 가장 높은 경도의 멜라민 연마재를 선택하였다. 이보다 입자의 크기가 작은 연마재를 이용할 경우 버의 제거율에 대한 다른 결과를 나타낼 수 있지만 표면 조도에 대한 영향이 커질 것으로 판단되기 때문에 다음과 같은 특성을 가진 연마재를 적용하였다.(Table 2)

Table 2 Specification of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Polymer abrasive

Basic material	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (WA)	α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Polymer	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> N <sub>6</sub>
Particle size(µm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (WA)	20
	Polymer	400
Hardness(MOH)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (WA)	9
	Polymer	4.0

**3.3 블라스팅 공정을 적용한 디버링 실험**

블라스팅 공정은 분사압력, 분사거리, 분사횟수, 노즐의 크기, 분사각도 등 다양한 공정변수를 가지고 있으며, 이에 따라 가공 특성이 다르게 나타난다. 본 실험에서는 연마재 종류에 따른 디버링 특성을 분석하기 위하여 분사압력(Pressure)과 분사횟수(Number of scan)의 변화에 따른 디버링 실험을 수행하였으며, 타 공정변수에 대해서는 고정적인 값을 적용하였다.(Table 3) 이와 같은 이유는 산화알루미나를 이용한 기초 실험 결과 스캔횟수 40회 이하에서는 버의 제거가 일부 이루어지지 않는 경우가 발생하였고, 압력과 스캔 횟수가 버의 제거에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

Table 3 Experimental blasting condition

Pressure(bar)	3, 4
Scan speed(mm/sec)	50
Number of scan	40, 60, 80
Nozzle size(mm)	Ø 2
Stand-off distance(mm)	12

**3.4 버의 측정**

디버링 전후 버의 제거량에 대한 분석을 위해서는 버의 정량적인 높이 측정이 요구된다. 그러나, 버의 크기 및 형태가 불규칙적으로 발생됨에 따라 생성된 버의 크기를 정확하게 정의하기 어려운 단점이 있다.<sup>12</sup> 본 연구에서는 디버링 전후 버의 높이를 정량적으로 비교하기 위하여 Fig. 4에 나타낸 Y 축을 따라서 측정된 버의 최대 높이와 최소 높이의 평균값을 생성된 버의 높이로 정의하였다. 기준선이 되는 line 1은 광학식 측정기의 측정 범위내에서 최소 범위로 스캔된 라인에서 상측 리브의 높이 및 수µm이상의 피크가 시작되는 선을 의미하며 이를 기준으로 X 축을 따라서 스캔되는 최소 범위인 0.9512µm 간격으로 4.756µm 범위(line1~5)를 측정하였다. line 1 이전에 스캔된 line 0의 경우는 불균일하게 발생한 버와 동시에 리브의 측면에 스캔된 것으로 판단할 수 있다. 마이크로 리브에 발생한 버의 범위가 일정하지 않지만 위와 같은 범위 내에서는 마이크로 버의 발생 범위를 넘지 않는 것으로 나타났다. 마이크로 리브에 생성된 버의 높이 측정에 관한 예시는 Fig. 4에 그림으로 나타냈으며, 광학식 측정기의 자세한 사항은 table 4에 기술하였다.

Table 4 Measurement system specification

Measurement system	NT-1000(Veeco Inc.)
Vertical measurement range	0.1nm to 1mm
Vertical resolution	< 1 Å Ra
RMS repeatability	0.01nm
Scan speed	up to 7.2µm/sec
Scan range(minimum)	0.9512 µm

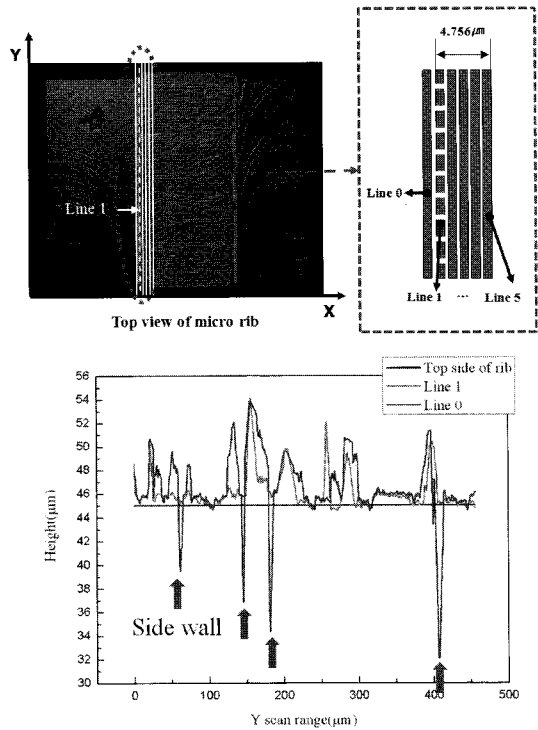
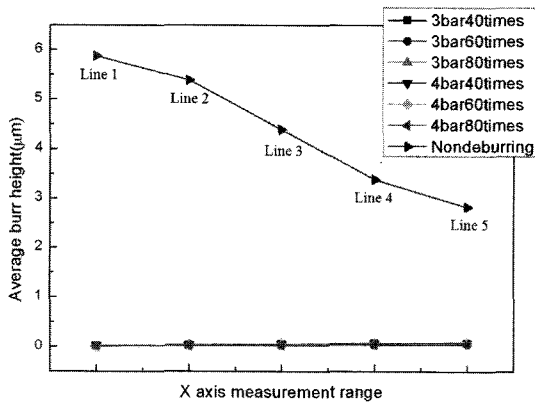


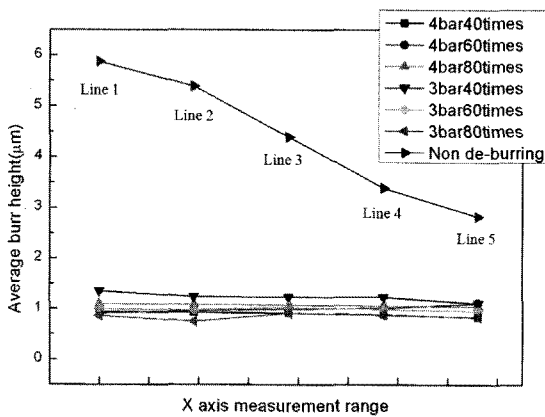
Fig. 4 Example of burr height measurement

**4. 실험결과**

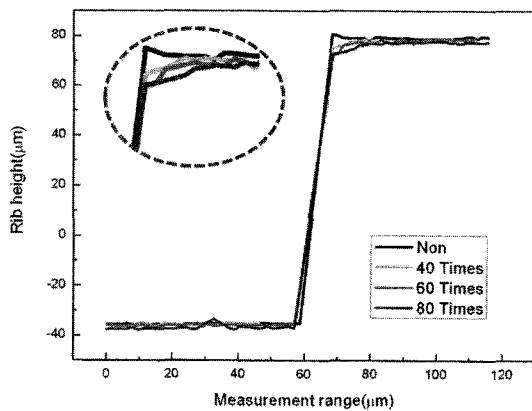
최대 10µm에서 최소 3µm 수준이며 line 1에서 line 5까지 구간별 버의 평균 높이는 6~3µm 수준으로 나타났다. 그 크기는 기준선으로부터 점차 작아진다. 이와 같은 결과는 각 조건에 따른 디버링 전후의 에지부의 측정 데이터를 통하여 그래프로 도식화 하였다. 조건별 버 제거량을 상대적으로 비교하여 보았으며, 이에 따라서 제거되는 에지부의 형상도 비교하여 보았다. 이의 결과는 그래프로 나타내었다. 이와 같은 측정 결과를 확인하여 보기 위하여 한 조건에서의 디버링 전후 리브를 SEM image를 통하여 관찰하여 보았다.



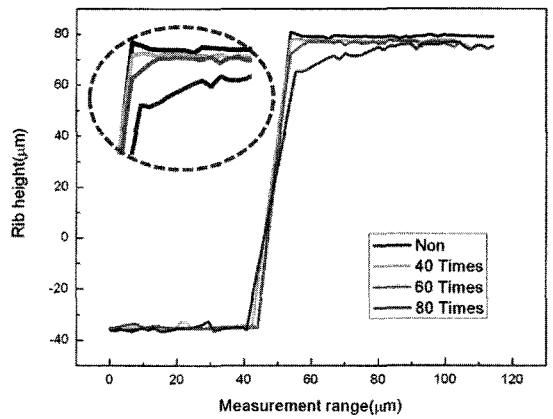
(a) Average burr height after de-burring process using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasive



(b) Average burr height after de-burring process using polymer abrasive  
Fig. 5 Average burr height after de-burring process

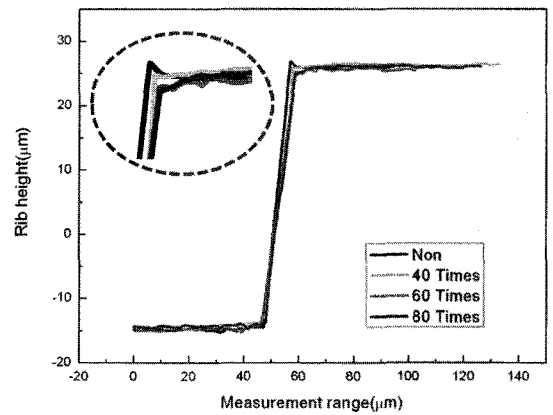


(a) Pressure 3bar

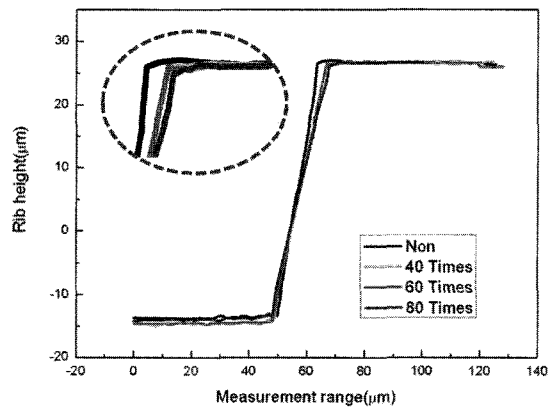


(b) Pressure 4bar

Fig. 6 De-burring edge of micro rib using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasive

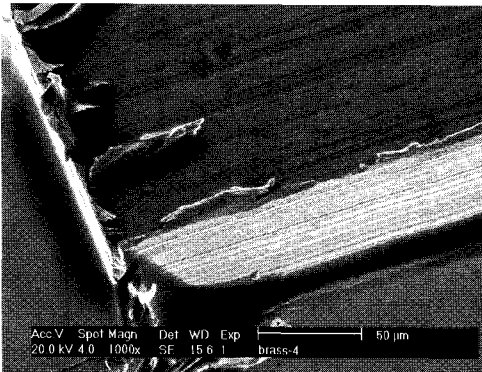


(a) Pressure 3bar

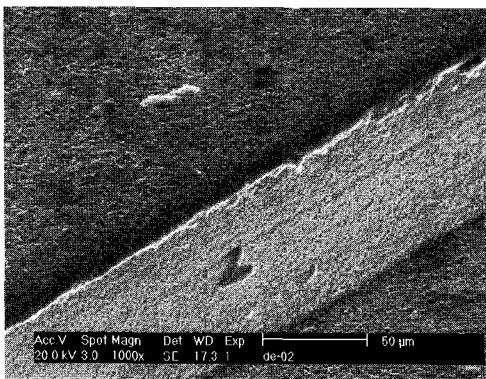


(b) Pressure 4bar

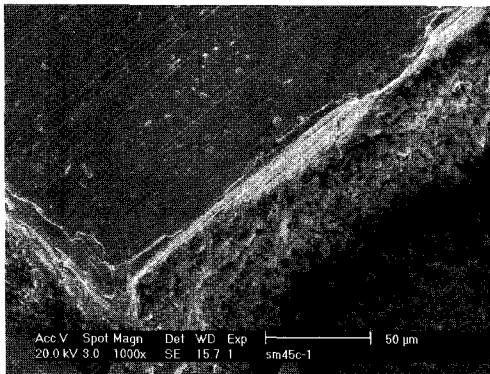
Fig. 7 De-burring edge of micro rib using polymer abrasive



(a) SEM image of non de-burring rib(×1000)



(b) SEM image after de-burring process using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasive(×1000)



(c) SEM image after de-burring process using polymer abrasive(×1000)

Fig. 8 De-burring SEM image using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Polymer abrasive for 3bar, 60times

### 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 경도가 다른 두 종류의 연마재를 선택하여 블라스팅 공정을 이용한 마이크로 버

의 제거에 관하여 수행하였다. 이론적으로는 노즐에서 분사되는 연마재의 범위에 따라서 버를 제거할 수 있는 재료 제거율이 다르게 되지만 실제 구축된 분사 시스템의 경우 분사 범위가 일정하지 않은 단점을 가지고 있어 분사 압력과 분사 횟수에 의한 버의 제거 및 에지부 재료제거율에 대한 영향이 가장 크게 나타났다. 디버링 공정의 목적은 버를 제거함과 동시에 형상부위에는 영향을 적게 주는 것을 목적으로 하기 때문에 실험에 이용된 조건에서는 알루미늄 분사재를 이용하여 3bar에서 40 회 이하의 가공조건을 이용할 경우 소기의 목적에 부합되는 결과를 도출할 수 있었다. 그 이상의 분사 횟수에서는 에지부 제거율이 급격히 증가하며 분사압력이 증가될 경우 더 큰 영향을 미치게 된다. 이와 같은 조건에서 에지부 형상 제거율은 폴리머 연마재에 비하여 증가하게 되나 버의 제거량을 살펴보면 폴리머 연마재의 경우 부분적으로 제거되지 않는 버가 발생하게 되며 평균 약 1.5um 수준으로 측정되었다. 이는 산화 알루미늄과 비교하여 볼 때, 약 1.5 배 이상 버 제거율이 낮은 것으로 판단된다. 연마재의 경도에 따라서 상기와 같은 결과를 고찰하여 보면 보다 경도가 큰 연마재를 적용할 경우 본 실험에 적용된 디버링 공정 조건보다 적은 분사압력과 분사횟수에서 버 제거가 수행될 것으로 판단되며 보다 효율적인 디버링 효과가 있을 것으로 판단된다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부의 재원으로 진행된 초고압력 동방압 응용 핵심부품 제조 기술 개발 과제의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Lee, K. and Dornfeld, D. A., "Micro-burr formation and minimization through process control," Precision Engineering, Vol. 29, No. 2, pp. 264-252, 2005.
2. Lee, K. U. and Ko, S. L., "Development of deburring tool for burrs at intersecting holes," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 201, No. 1-3, pp. 454-459, 2008.
3. Yoon, H. J., Choi, J. S. and Park, D. S., "The Automation of Brush Deburring Using IGES," Journal of the Korean Society of Precision

- Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 114-120, 2000.
4. Yoo, B. H., Min, B.-K. and Lee, S. J., "Thermal analysis of micro-EDM deburring process," Proceeding of KSMTE Autumn Conference, pp. 106-110, 2009.
  5. Shin, M. J., Baek, S. Y. and Lee, E. S., "A Study for Improving Surface Roughness and Micro-deburring Effect of Nitinol Shape Memory Alloy by Electropolishing," Journal of KSMTE, Vol. 16, No. 6, pp. 49-54, 2007.
  6. Chae, J. W., Ko, S. L. and Baron, Y. M., "Analysis of the Performance of Magnetic Abrasive Deburring according to Powder Characteristics," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 12, pp. 37-43, 2004.
  7. Yun, D. J., Seo, T. I. and Park, D. S., "Fabrication of Biochip with Micro Fluidic Channels by Micro End-milling and Powder Blasting," Sensors, Vol. 8, No. 2, pp. 1308-1320, 2008.
  8. Balasubramaniam, R., Krishnan, J. and Ramakrishnan, N., "Investigation of AJM for deburring," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 79, No. 1-3, pp. 52-58, 1998.
  9. Balasubramaniam, R., Krishnan, J. and Ramakrishnan, N., "A Study on the shape of the surface generated by abrasive jet machining," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 121, No. 1, pp. 102-106, 2002.
  10. Getu, H., Ghobeity, A., Spelt, J. K. and Papini, M., "Abrasive jet micromachining of acrylic and polycarbonate polymer at oblique angles of attack," Wear, Vol. 265, No. 5-6, pp. 888-901, 2008.
  11. Park, D. S., Cho, M. W., Lee, H. and Cho, W. S., "Micro-grooving of glass using micro-abrasive jet machining," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 146, No. 2, pp. 234-240, 2004.
  12. Gillespie, L. K., "Process Control for Burr and Deburring," United States Department of Energy Report, KCP-613-5526, 1994.