

Powder Blasting 시 분사재에 따른 가공특성

김광현*, 최영현(인천대 대학원 기계공학과), 박동삼(인천대 기계공학과)

Effect of Abrasive on the Machinability in Powder Blasting

K. H. Kim, Y. H. Choi(Mecha. Eng. Dept., UI), D. S. Park(Mechanical Eng. Dept., UI)

ABSTRACT

The old technique of sandblasting which has been used for paint or scale removing, deburring, and glass decorating has recently been developed into a powder blasting technique for brittle materials, capable of producing micro structures larger than 100 μ m. In this study, we investigated the effect of the size of abrasive and the stand-off distance on the machinability of SUS 304. The varying parameters were the impact angle 90°, scanning times of nozzle 10 and the different nozzle height between 70mm and 140mm. The diameter of dot pattern were 0.2mm. The powder were alumina sharp particles, WA #600, #800 and #2000. The blasting pressure of powder at 0.3 Mpa.

Key Words : Powder blasting(파우더 블라스팅), Abrasive (분사재), Machinability(가공성), Micromachining (미세가공)

1. 서론

파우더 블라스팅은 고압의 가스에 의하여 가속된 100 μ m 이하의 미소 분사재들을 노즐로부터 고속으로 분사하여 분사재의 충격력에 의하여 재료를 가공하는 가공방법이다.

최근 평판 display의 급격한 발전에 따라 수십 혹은 수백 마이크로미터 단위의 구조물 성형을 위한 고정밀도의 기계적 에칭(etching) 기법이 연구되고 있는데 파우더 블라스팅 기법이 아주 효율적 방법으로 인식되기 시작했으며 연구 또한 활발히 진행되고 있다.[1-6] 이 외에도 최근에는 각종 센서나 의료용 기구와 같은 고정밀도장치에 사용되는 미세 구조물의 제작과, 가속도계의 핵심부품이 되는 외팔보와 같은 초소형 마이크로시스템의 3차원적 microfabrication을 위하여 파우더 블라스팅 방법은 매우 많이 사용되고 있다.

파우더 블라스팅을 위한 가공조건으로는 분사재의 분사압력, 분사속도, 분사재의 재질과 크기, 분사재의 밀도, 노즐의 주사속도나 주사횟수 및 노즐과 피삭재 사이의 거리 등이 있으며 가공의 정밀도와 가공능률 향상을 위해서 적절한 조건을 선택하지 않으면 안된다.

본 연구에서는 많은 가공조건들 중에서 분사재 입자의 크기가 가공특성에 미치는 영향을 규명하는 것을 주목적으로 하였으며 사용된 시편의 재질은

SUS304이다. 가공하고자 하는 형상은 마스크공정을 통하여 얻은 200 μ m의 지름을 갖는 미세 도트패턴을 대상으로 하였다.

2. 파우더 블라스팅

2.1 파우더 블라스팅의 기본원리

파우더 블라스팅의 기본원리를 Fig. 1에 나타내었다. 분사재는 입자의 크기가 3-30 μ m인 알루미나를 주로 사용하는데 입자들은 노즐에서 1-5기압의 공기로 가속되어 약 80-200m/sec의 속도로 공작물에 충돌되면서 표면 부식을 일으키게 된다. 부식을 원하지 않는 부분은 설계된 패턴형상을 갖는 마스크(mask)로 보호를 한 상태에서 가공하게 되는데, 노즐을 좌우 혹은 전후로 주사(scanning) 하면 아주 미소하거나 복잡한 형상뿐만 아니라 높은 세장비(aspect ratio)의 부식도 가능하게 된다.

부식의 깊이는 주사 횟수를 조절함으로써 제어가능하다.

2.2 파우더 블라스팅의 가공기구

미립분사재를 이용한 취성재료의 기계적인 부식에 의한 가공기구는 고속으로 가속된 분사재가 가공하고자 하는 기판을 타격하여 기판에 부분적인 크랙을 발생시키고, 이렇게 발생된 크랙이 성장과 함께 제거되면서 가공이 진행되게 된다.

Fig.2 는 파우더 블라스팅의 기본원리를 간단하게 그림으로 나타낸 것이다.

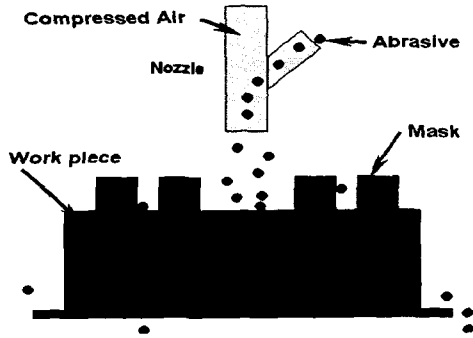


Fig. 1 A schematic principle of powder blasting

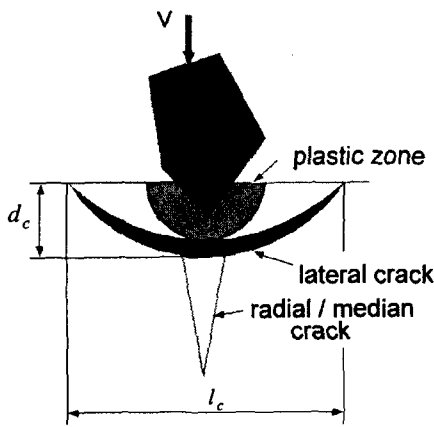


Fig.2 The micro cracks in indentation process.

위 그림에서 보듯이 분사재가 기관을 타격하면 측면크랙(lateral crack)과 반경/중앙(radial/median crack) 두 종류의 크랙이 발생하게 된다. 이 두 종류의 크랙 중 측면크랙의 영향으로 인하여 재료의 실제적인 제거가 일어나게 되며, 반경/중앙 크랙은 소재의 제거에는 거의 영향을 미치지 않으나 표면의 결합 발생과 소재의 강도저하와 연관성을 갖는 것으로 알려져 있는데 가공깊이가 깊어질 경우 가공을 촉진하는 역할도 어느 정도 하게 된다.

소재의 제거 즉 부식과 관련된 측면 크랙의 길이 l_c 와 깊이 d_c 를 구하면 미립분사재의 단위 무게당 제거되는 소재 무게의 비로서 정의되는 부식률(erosion rate) Q 는 다음식으로 표현된다.[5]

$$Q \propto \pi l_c^2 d_c \propto \frac{\rho_t E^{5/4}}{H^{17/12} K_c} \rho_p^{1/6} r_p^{1/2} v_p^{7/3} \quad (1)$$

단, E : 소재의 탄성계수

- H : 경도
- K_c : 소재의 파괴인성(fracture toughness)
- ρ_t : 소재의 비질량(specific mass)
- ρ_p : 분사재 입자의 비질량(specific mass)
- r_p : 분사재 입자의 평균직경
- v_p : 분사재 입자의 속도

식 (1)로부터 가공률은 두 개의 파라미터 군으로 구성된다는 것을 알 수 있는데 앞부분은 가공하고자 하는 소재의 물성치에 관련된 항이고, 뒷부분은 분사가공시 공정 변수들에 영향을 받는 항이 된다.

2.3 파우더 블라스팅에 사용되는 분사재

블라스팅 가공에 이용되는 분사재로는 인조 및 천연 광물질 입자, 식물성 입자, 합성수지 입자 금속입자가 있다. 그 중 인조 및 천연 광물질 입자가 가장 많이 사용된다.

분사재의 경도에 따라 경질 입자와 연질입자로 나누어지며 분사재의 모양에 따라 세각 다각상입자, 둔각·각상입자, 구상입자로 분류된다. 경질 분사재가 가장 넓게 이용되어지고 탄화규소, 용융알루미나, 일본산 규석 등은 세각상 입자이며, 미국의 알칸사스의 노바큐라이트는 둔각다각상 입자이다.

분사재에 일반적으로 요구되는 성질은 첫째, 기계적 강도가 큰 충격에 대해 쉽게 파쇄되지 않을 정도로 충분할 것, 연삭력을 주체로 하는 입자는 날카로운 각을 가지고 있을 것, 고온 다습질 면을 목적으로 하는 경우 분사재는 둥근 형상일 것, 물이나 수용성 약품 및 기체에 대해서 안정성이 있을 것, 균일한 가공면을 얻기 위해 입도가 고를 것 및 가격이 저렴할 것 등이 요구된다.

블라스팅 가공에 사용되고 있는 경질 입자의 분사재는 카보런덤, 에머리, 어런덤, 화이트 어런덤, 그린 카보런덤, 규석, 규사 등이 있으며 연질 입자로는 합성수지류 등이 있다.

3. 실험방법

3.1 실험 장치 및 가공조건

모든 실험은 일본의 Sintoblator에서 제작된 MICROBLASTER (type MB1)을 사용하여 수행되었다. 노즐은 알루미늄 재질로 내경이 8mm인 원통형상이다.

시편의 원형패턴을 제작하기 위한 마스크 공정은 국내의 마스크 전문회사의 도움을 받아 수행되었으며 마스크 공정에서 사용된 라미네이터는 한국의 Young Hwa에서 제작한 YH-6300TCL이며 노광기는 동사의 YH-70908K이다.

파우더 블라스팅시 노즐의 분사각도는 90°로 분사압력은 0.3MPa로 일정하게 유지하였다. 또한, 노즐의 중심과 가공시편 표면까지의 거리(stand-off distance)는 7-14cm의 범위에서 분사재의 종류에 따라 적절히 선정하였다. 실험에 사용된 가공조건을 Table 1에 개략적으로 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Powder material	WA #600, #800, #2000
Impact angle (°)	90
Nozzle diameter (mm)	8
Scanning speed(mm/s)	50
Scanning path interval(mm)	5
Blasting pressure(MPa)	0.3
Stand-off distance(mm)	70 - 140

3.2 분사재

본 실험에 사용된 분사재는 화이트 어런덤계인 WA이며 입자의 크기는 각각 #600, #800 및 #2000이다. Fig. 3은 #600 입자들의 SEM사진을 나타낸 것으로 입자들의 평균크기는 #600는 26~31 μ m, #800은 18~22 μ m, #2000은 7.1~8.9 μ m 으로 관찰되었다.

3.3 시편제작

사용된 시편의 재질은 스텐레스강의 일종인 국산 SUS304를 사용하였다.

시편에 도트패턴을 만들기 위한 감광 필름은 일본의 ORDYL에서 제작된 BF 시리즈 중 접착력이 뛰어나고 분사가공에 대한 저항력이 큰 BF410 을 사용하였으며 필름의 두께는 100 μ m이다.

라미네이팅, 노광 및 현상으로 구성되는 마스크작업 후 실험에서 사용된 시편의 최종 도트패턴 형상은 Fig. 4와 같은 원형 패턴이며 도트의 지름은 200 μ m로 일정하게 하였다.

3.4 측정

시편의 마스크 상태 및 가공 후의 전체적인 형상 분석과 가공된 시편의 개략적 형상은 정밀 현미경인 KH-100 HI-SCOPE 을 사용하여 관찰하였으며 이의 처리 소프트웨어는 image-plus pro V4 이다. 또한, 가공된 시편 형상의 3 차원적 미세 정밀 측정을 위하여 광학식 3 차원 형상측정기인 WYKO NT-1000 을 사용하였다. 이때 사용된 형상분석 프로그램은 WYKO Vision 32 이다.

가공시편의 형상 측정시 측정의 정밀도 및 정확성을 높이기 위해 항온항습실에서 측정을 하였다.(온도 20 \pm 0.1 $^{\circ}$ C, 습도 36%)



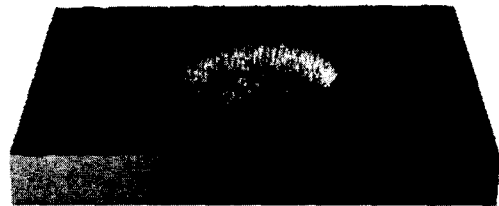
Fig. 3 SEM photographs of abrasive WA #600



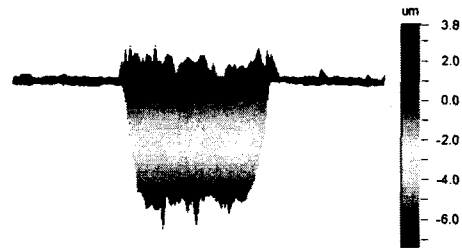
Fig. 4 Masking patterns(dia. of dot 200 μ m)

4. 실험결과 및 고찰

분사재의 분사량 160g/min, 분사압력 0.3Mpa 상태에서 노즐의 주사를 10회 했을 때의 가공형상을 WYKO NT-1000으로 관찰한 결과 Fig. 5와 같이 나타났다. 도트형상의 최종 지름은 약 230 μ m, 평균 가공깊이는 5.3 μ m였다. 현상 후의 도트지름이 200 μ m임을 감안하면 가공 후 지름이 약 30 μ m증가하였는데 이는 마스크 필름의 마멸에 기인한다.



(a) Three dimensional view of a dot



(b) Cross-section of a dot

Fig. 5 Machined dot shape by powder blasting

분사재 입자의 크기에 따른 가공 특성을 Fig. 6에서 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 6은 #600의 실험결과로 노즐의 높이가 감소할수록 가공폭과 가공깊이 모두 증가하는 경향을 보여주고 있는데 거의 직선적 반비례 관계임을 알 수 있다.

노즐과 가공물의 거리가 가까우면 노즐에서 분사되는 분사재가 가공물을 타격하는 면적이 작아지게 되는데, 이는 면적 당 분사재의 밀도가 증가하게 되어 가공에 참여하는 분사재들이 많아진다는 것을 의미하므로 가공량이 많아지게 된다. 가공깊이의 증가는 바람직한 현상이나 가공폭의 증가는 결국

가공 후 형상정밀도를 떨어뜨리는 요인이 되는데 이는 전적으로 마스크 필름의 마멸에 기인한다.

Fig. 7 은 분사량이 분당 100g 과 140g 일 때 가공 깊이의 변화를 나타낸 것으로 노즐의 높이가 작을 수록 가공깊이는 전반적으로 감소하며 분당 분사량이 많을 경우 가공깊이가 깊게 나타나고 있다.

Fig.8은 #2000를 사용하였을 때의 가공깊이와 가공 폭의 변화를 나타낸 그림이다. 분사재의 입자 크기가 작은 경우에는 가공 폭과 깊이 모두 노즐의 높이에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 분사재의 질량이 너무 작기 때문에 가속에 의한 충격에너지가 비교적 인성이 큰 SUS304의 국부적 소성변형과 이에 수반되는 크랙의 발생 및 진전에 큰 영향을 미치지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 그런데, 가공 폭이 노즐 높이가 커짐에 따라 조금 증가하는 경향을 보이는데 이는 노즐이 낮을 경우에는 시편에서 반사되어 나오는 분사재 때문에 실제 가공에 참여하는 분사재가 줄어들었기 때문인 것으로 판단된다.

한편, Fig. 6-8에서 분사재의 입자 크기가 작아질 수록 직선의 기울기가 작아진다는 것을 알 수 있는데 이는 입자의 크기가 작아짐에 따른 운동에너지의 감소와 시편에서 반사되어 나오는 분사재들의 영향이 더 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결론

파우더 블라스팅시 분사재의 입자크기에 관계없이 노즐과 공작물사이의 거리가 커질수록 전반적으로 가공의 폭과 가공 깊이 모두 작아지는 것으로 나타났다. 또한, 분사재 입자의 크기가 클수록 일정한 노즐 높이에서의 가공량은 크게 증가하는 것으로 나타났다. 특히, WA #2000을 사용한 가공시에는 가공량이 크게 줄어드는 경향을 보여 스텔레스강과 같은 인성이 큰 재질의 분사가공에는 적합하지 못하다는 것을 알 수 있었다.

분사재의 입자 크기가 작아질수록 노즐 높이에 따른 가공성이 더 낮게 나타나는 경향을 보였다.

참고문헌

1. Arvi Krusing, Seppo Leppavuori, Abtti Uusimaki, Matti Uusimaki,, " Rapid prototyping of silicon structures by aid of laser and abrasive-jet machining" ,Part of the Symposium on Design, Test, and Microfabrication of MEMS and MOEMS, Paris, France, SPIE, Vol. 3680, pp. 870-878, 1999.
2. 최중순, 박경호, 박동삼, "Micro Abrasive Jet Machining 을 이용한 유리의 미세 홈 가공", 한국정밀공학회지 ,Vol. 18, No. 10, pp. 178-183, 2001.
3. Henk Wensink, U.W. Berenshot, Henri V. Jan seu, Miko C. Elwenspoek, "High Resolution Powder Blast Micromachining", Proceedings of the IEEE Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 2000, pp. 769-774, 2000.

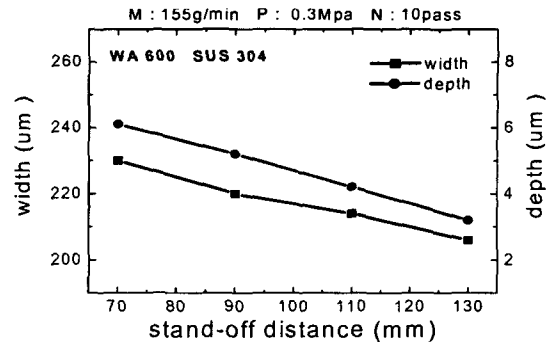


Fig. 6 Variation of width and depth of dot (WA #600)
P : 0.3Mpa N : 10pass

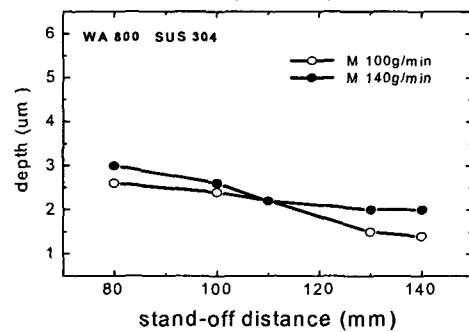


Fig. 7 Variation of depth of dot (WA #800)

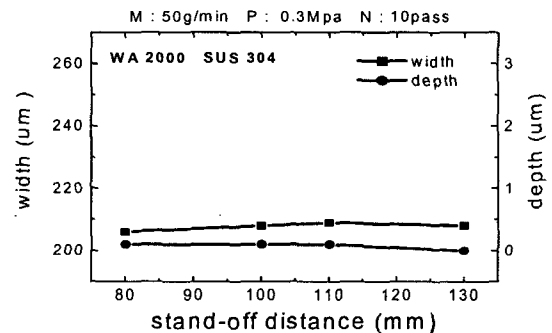


Fig. 8 Variation of width and depth of dot (WA #2000)

4. P.J. Slikkerveer, P.C.P. Bouten, F.C.M. de Haas, "High quality mechanical etching of brittle materials by powder blasting", Sensors and Actuators 85, pp. 296-303, 2000.
5. H.J. Ligthart, P.J. Slikkerveer, F.H. In't Verd, P.H.W. Swinkels, M.H. Zonneveld, "Glass and Glass Machining in Zeus Panels", Philips J. Res., Vol. 50, No. 3/4, pp. 475-499, 1996.
6. D.Solignac, A.Sayah, S.Constantin, R.Freitag, M.A.M. Gijs, "Powder blasting for the realization of microchips for bio-analytic applications", Sensor and Actuators A 3003, pp. 1-6, 2001.