

Abrasive Jet Machining 을 이용한 유리의 미세 홈 가공

최종순, 박경호* (인천대 대학원 기계공학과), 박동삼(인천대 기계공학과)

Micro Groove Cutting of Glass Using Abrasive Jet Machining

J. S. Choi, K. H. Park*, D. S. Park (Mechanical Eng., University of Incheon)

ABSTRACT

Abrasive jet machining(AJM) process is similar to the sand blasting, and effectively removes hard and brittle materials. AJM has applied to rough working such as deburring and rough finishing. As the needs for machining of ceramics, semiconductor, electronic devices and LCD are increasing, micro AJM was developed, and became the inevitable technique to micromachining. This paper describes the performance of the micro AJM in micro groove cutting of glass. Diameter of hole and width of line in this groove cutting is 80 μ m. Experimental results showed good performance in micro groove cutting in glass, but the size of machined groove was increased about 2~4 μ m. Therefore, this micro AJM could be effectively applied to the micro machining of semiconductor, electronic devices and LCD parts

Key Words : Abrasive Jet Machining (AJM), Micro Abrasive (미세저립), Dry Film (건식 필름), Masking Process (마스킹 공정)

1. 서론

최근 반도체용 부품, 마이크로머신용 부품 및 각종 센서 등의 개발이 활발히 진행되고 있는데 이를 위하여 세라믹이나 유리 등의 경취재료의 미세가공 기술이 절실히 요구되고 있다. 그러나, 종래의 가공 기술로는 가공능력, 가공정밀도나 가공변질층 등에 많은 문제점이 있었다. 즉, 이들 경취재료는 고경도, 고취성 및 고용점의 것이 많기 때문에 이전부터 사용되어 오던 이들 재료에 대한 가공법의 일종인 에칭(etching), 레이저 가공, 전자빔 가공, 방전가공 및 전해가공 등의 열적, 화학적 미세가공은 부적당한 것으로 판명되고 있으며, 초음파 가공, 연삭, 연마 등의 기계가공에서도 가공능력과 정밀도 면에서 문제점이 발생하고 있다.

이러한 관점에서부터 가공능률을 높이면서도 가공열에 의한 가공 변질층을 거의 발생시키지 않는 입자 분사 가공(Abrasive Jet Machining:AJM)이 경취재료의 가공에 적용되어 왔다. 지금까지의 분사가공은 주조나 단조품 등의 스케일 제거, 버(burr)제거, 세정이나 표면다듬질 등 비교적 거친 1 차 가공에 사용되어 왔기 때문에 정밀도 향상에 대한 개념은

거의 없었다. 그러나, 미세가공을 목적으로 하는 분사가공에 있어서는 가공량의 시간적 변화가 직접적으로 가공품질이나 가공능률에 영향을 미치게 되므로 분사가공에 있어서 안정된 가공특성을 유지하기 위한 적절한 분사조건 선정과 장치의 개발이 요구된다 하겠다.

한편, 분사가공 중에서도 건식가공은 생산성이 높다는 이유 때문에 반도체, 전자 부품 및 액정(LCD) 등에 사용되는 부재의 미세가공기술로서 관심을 끌고 있는데, 최근 기존의 가공기술에 정밀도의 개념을 도입하여 미세저립(micro abrasive)과 미세저립의 정량공급기술을 이용한 미립분사가공(micro abrasive jet machining:MAJM)의 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾.

본 연구는 경취재료인 유리를 대상으로 약 80 μ m의 폭을 갖는 원형과 선형의 미세 홈을 형성시키는 것을 목적으로 하여 마스킹 조건 변화에 따른 가공형태를 분석함으로써 고정밀의 미세 홈을 가공하는 기술을 개발하였다.

2. AJM 의 기본원리

AJM의 기본원리를 Fig. 1에 나타내었다. 이 가공법은 초음속 가스 분사에 의하여 가속된 수 μm ~ 수십 μm 의 미세저립을 미소경의 노즐로부터 분출시켜 경취재료에 고속 고밀도로 충돌시킴으로써 미세가공을 행하는 것이다.

이와 같은 가공법은 열발생이 적은 미세한 취성 모드 가공의 집적으로 가공이 진행되기 때문에 치핑이나 크랙 등이 거의 발생하지 않아 경취재료의 가공에 아주 적합하다.

공작물로부터 충돌되어 튀어나오는 저립과 공작물의 칩(chip)은 분급기(distributor)를 통하여 재생가능한 저립은 따로 분리되어지며 칩은 집진기로 배출되게 된다.

한편, 경취재료 특히 유리, 수정, AlN, SiC, Si₃N₄, 지르코니아 등의 미립분사가공시 가공정밀도나 가공능률에 영향을 미치는 가공조건 변수로는 분사압력, 분사시간, 공기분류속도, 저립의 사양(재질, 입자크기, 분사밀도), 노즐의 사양(노즐지름, 노즐 스케닝속도, 노즐각도), 노즐과 가공면 사이의 거리 등이 있다. 사용되는 피삭재의 재질이나 가공정밀도 등을 고려하여 최적의 가공조건을 찾는 것이 미세가공에서 가장 중요한 요소가 된다.

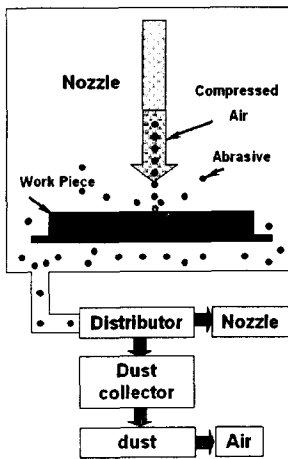


Fig. 1 Block diagram of AJM

3. 미세 홈 가공공정

미립분사가공의 전체 공정흐름을 Fig. 2에 나타내었다. 공정은 크게 3 가지로 분류되는데 마스크링(masking)공정, 미립분사가공, 박리 및 세정으로 나눌 수 있으며 마스크링 공정은 가공을 하기 전에 시편을 준비하는 단계로 볼 수 있다.

마스크링은 요구되는 정밀도, 비용 및 조작성을 고려하여 메탈, 포토레지스트(photoresist) 및 인쇄 마

스크로부터 선정할 수 있다. 반도체나 LCD 패널의 제조에는 가장 고정밀급의 패터닝(patterning)이 가능한 포토레지스트 마스크를 사용한다.

마스크링에 사용되는 필름은 드라이 필름(dry film)을 사용하며 필름의 두께에 따라 해상도가 달라지고 정밀도에도 영향을 미친다. 고정밀 가공의 예로서는 20 μm 의 선폭을 L/S=1/3 (line and space)까지 해상도가 나오며 분사가공에 의하여 홈가공도 가능하다. 필름의 재료에는 분사시의 내성을 고려하여 자외선 경화형의 우레탄 수지가 이용된다.

한편, 전체 가공공정을 설명하면 우선 시편에 마스크재인 드라이 필름을 접착(laminating)하고 자외선으로 노광시켜 약 알칼리 용액에 현상하여 건조하면 필요한 패턴이 공작물에 생기게 되는데 이를 분사 가공기에서 가공하여 마스크가 없는 부분을 선택적으로 가공하게 된다. 가공 후에는 마스크재를 박리시키고 세정하면 전체 공정이 완료되게 된다.

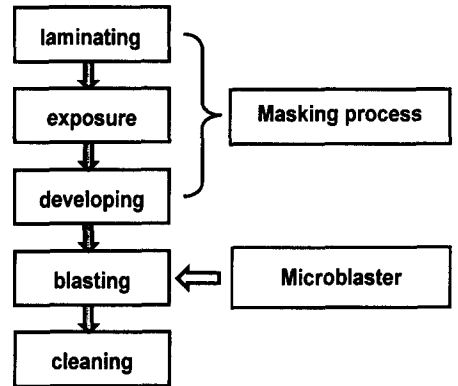


Fig. 2 Process flow of micro groove cutting

4. 실험장치 및 실험방법

4.1 시편

선폭과 원의 크기가 80 μm 인 미세홈을 가공하기 위하여 가공이전 단계인 마스크링 공정 변수를 선정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 건식필름을 유리에 부착할 때 유리의 가열온도와 노광시의 노광량을 변수로 하여 최적 마스크링 상태를 얻고자 하였다. 마스크링에 사용된 가열온도는 85 $^{\circ}\text{C}$, 90 $^{\circ}\text{C}$, 95 $^{\circ}\text{C}$, 100 $^{\circ}\text{C}$ 및 105 $^{\circ}\text{C}$ 로, 노광량은 150mJ과 160mJ로 변화시켰다.

4.2 미립분사가공조건

AJM을 이용한 미세홈 가공을 위한 가공조건 변수 중 공작물과 노즐사이의 거리, 노즐의 직경, 에어분사압력, 미세저립 분사량을 일정하게 유지

하였으며 사용된 미세저립은 WA 를 사용하였다. Table 1 에 실험에 사용된 공정 변수들을 나타내었다.

Table 1 Process parameters for AJM

Nozzle height	110 mm	Dia. of nozzle	8 mm
Air pressure	0.25Mpa	Flow rate	80 g/min
Abrasive	WA	Y Pitch	5 mm/sec

4.3 형상계측

마스킹 상태 및 홈 가공 후의 전체적인 형상분석을 위하여 공구현미경(Leica)을 사용하였다. 현미경의 형상은 CCD 카메라를 통하여 PC 에 장착된 Data translation 사의 DT3153 A/D 보드에 입력하여 최종분석을 행하였다.

또한, 형상의 미세측정을 위하여 비접촉식 3 차원 형상측정기(WYKO NT-2000)를 사용하였으며 형상분석을 위한 프로그램은 WYKO Vision 32 를 사용하였다.

5. 실험장치 및 실험방법

5.1 마스킹 상태

마스킹 공정변수 변화에 따른 마스킹 시편의 상태는 Table 2 와 같이 나타났다. 노광량이 160mJ 일 경우는 전반적으로 상태가 양호하였으나 노광량이 150mJ 일 경우 가열온도가 100℃ 이상이 될 경우 원형의 마스킹 상태가 불량한 것으로 나타났다.

Table 2 Masking results

		85℃	90℃	95℃	100℃	105℃
150mj	Line	O	O	O	O	O
	Hole	O	O	O	×	×
160mj	Line	O	O	O	O	O
	Hole	O	O	O	O	O

O : possible × : impossible

Fig. 3 은 노광량 150mJ 에서 가열온도별 마스킹 상태를 나타낸 것으로 그림(d) 와 (e)의 경우 원형이 진하게 나타나고 있는데 이는 노광이 부족한 것을 보여준다.

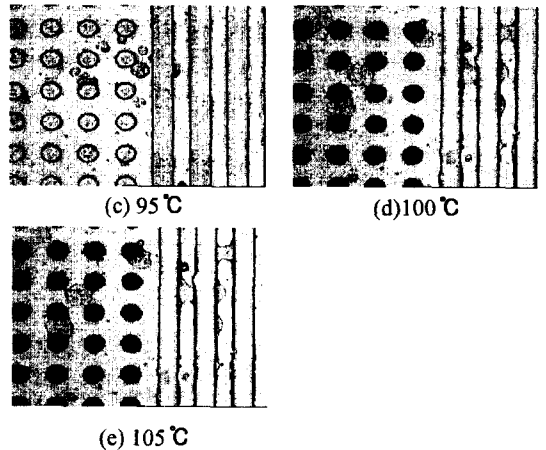
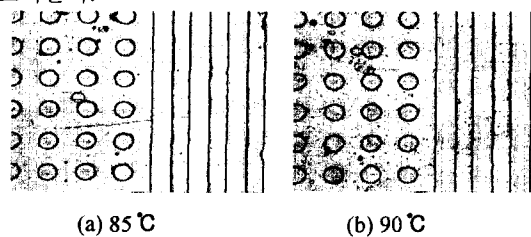


Fig. 3 Masking patterns with temperature variation(150mJ)

5.2 홈 가공 상태

노광량이 150mJ 일때 가열온도에 따른 각 시편의 홈 가공상태를 Fig. 4 에 나타내었다. 앞에서 지정한 대로 가열온도가 100℃ 이상일 경우 원형 홈의 가공이 전혀 이루어 지지 않았다는 것을 알 수 있으며 선의 경우도 형상의 정밀도가 아주 나빠지고 있다.

한편, 노광량이 160mJ 일 경우 전체적으로 가공상태가 양호하였으며 가열온도에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

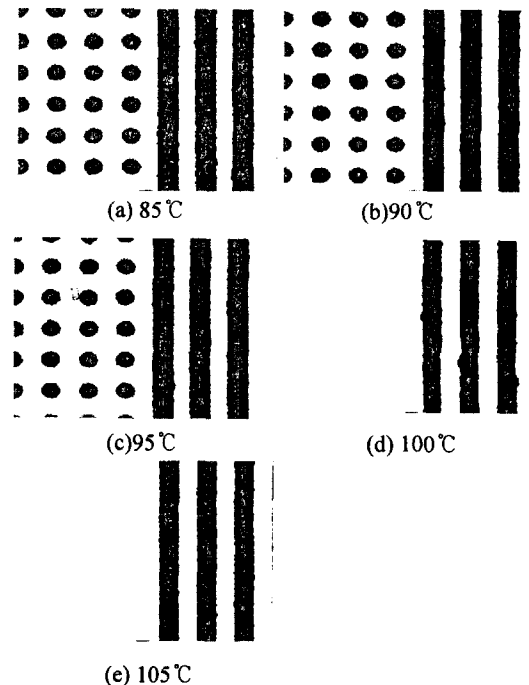


Fig. 4 Groove patterns with temperature variation(150mJ)

공구현미경을 이용하여 가공 후 형상을 대체적으로 분석한 결과 마스크된 상태에서는 원의 직경과 선의 폭이 80 μm 이었으나 가공 후에는 2~4 μm 씩 커지는 것으로 나타났다. 이는 분사가공과정에서 건식필름의 경계부 마멸로 인하여 형상이 커진 것으로 판단된다.

한편, 미세 홈의 정밀한 분석을 위하여 비접촉식 3 차원 측정기로 형상을 촬영한 결과 원형 홈과 선형 홈의 3 차원적 형상은 Fig. 6, Fig. 7 과 같이 나타났다. 또한, 이들 각각 형상에 대한 단면 형상은 Fig. 8, Fig. 9 과 같이 나타났다.

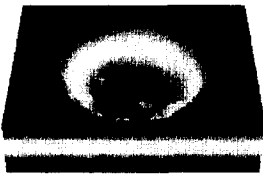


Fig. 6 Hole shape

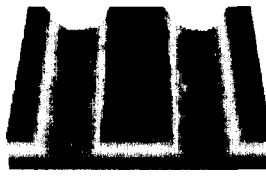


Fig. 7 Line shape

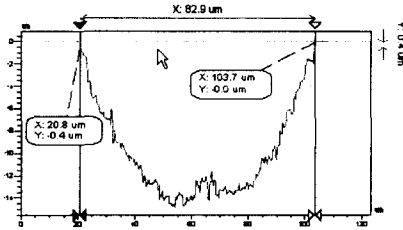


Fig. 8 Cross-section of a hole

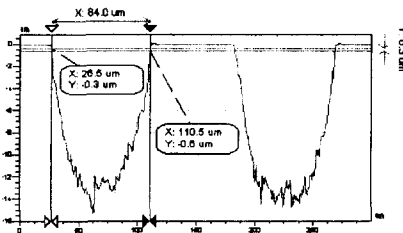


Fig. 9 Cross-section of lines

이들 단면 형상으로부터 홈의 형상은 전체적으로 U 자형이 된다는 것을 알 수 있는데 AJM 의 가공 특성상 정확한 직각 홈 가공은 어렵다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 원형 홈의 경우 공작물 표면에서의 최대직경은 약 83 μm 내외, 선형 홈의 경우 최대 선폭은 약 84 μm 내외 였으며 홈의 깊이는 모두 약 15 μm 으로 나타났다. 홈의 깊이는 분사가공의 헛수를 조절함으로써 필요한 깊이까지 가공이 가능할 것이다.

또한, 홈의 표면거칠기를 분석한 결과 약 Rq 0.8 μm , Ra 0.6 μm 로 나타나 아주 양호한 표면을 얻을 수 있음을 알았다.

이상의 실험결과로부터 경취재료인 유리에 미세형상의 홈을 가공하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있으며 이러한 가공기법은 마이크로머신이나 LCD 를 포함한 전자부품 가공에 유효하게 적용될 수 있을 것이다.

6. 결론

AJM 을 이용한 유리의 미세 홈 가공에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 마스크 공정에서 노광량 150m J 의 경우 100 $^{\circ}\text{C}$ 이상 가열시 원형의 마스크 상태가 불량하였으며 가공 또한 불가능하였다.
- (2) 노광량 160mJ 의 경우 전체적으로 가열온도와 관계없이 양호한 마스크와 가공결과를 얻었다.
- (3) 가공후 홈의 형상은 U 자형으로 나타났다.
- (4) 크기 80 μm 의 마스크 상태에서 분사가공 후 원형과 선형 모두 2~4 μm 의 과도 가공이 발생하였으며 이는 건식 필름의 마멸에 기인한다.
- (5) 약 15 μm 의 깊이까지 가공된 홈에 대한 표면상태는 약 Rq 0.8 μm , Ra 0.6 μm 로 나타났다.

참고문헌

1. Jose. K. Daniel, Krishna K. Krishnan, Tera R. Reddy, and Zia U. Muhammad, "Application of Abrasive Water -Jet Machining in manufacture of Non-Uniform rational B-spline Surfaces", Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Industrial Engineering Applications and Practic II, Vol.2, pp. 1351-1356, 1997
2. 박동삼, "Micro Abrasive Jet Machining의 기본원리와 전자제품 가공사례", 제 5 회 정밀표면가공 및 디버링 기술 워크샵, pp. 105-112, 2000
3. Hashish. M, "Steel Cutting with Abrasive Waterjets", 6th Int. Symp. on Jet Cutting Tech., pp. 465-487, 1982
4. Kinbara and Kuritagawa, "グラシツカーボンのマイクロ穴あけ加工", 低粒加工學會 學術講演會 論文集, E11, pp. 405 ~ 408, 1995
5. Kuriyagawa, "アブレイシブ・ジェット・マシニングの動向", 低粒加工學會 學術講演會 論文集, E9, pp. 401 ~ 402, 1995