

미소 드릴링시의 Burr 형성에 관한 연구 A Study on the Burr Formation of Miniature Drilling process

박 동 삼, 정 종 철
인천대학교 기계공학과

Abstract

In most machining operations, undesirable burrs are formed on the edge of the workpiece adjacent to the machined surface. Such burrs are often the cause of various problems during automatic machining process. Therefore, it is very important to know characteristics of burr formation in machining process. This paper describes characteristic of exit burrs generated during miniature drilling process. In particular, the effect of spindle speed, feedrate and drill diameter on burr formation is investigated. The result showed that exit burr height increased significantly with increasing feedrate.

1. 서 론

드릴가공은 절삭가공 중에서 약 1/3을 차지하는 중요한 기계가공으로서 1960년대 후반부터 컴퓨터 공학의 급격한 발전과 더불어 미소가공 기술의 발전은 더욱 가속화 되었다. 특히, 최근 제품의 복잡·경량·소형화 경향은 그것을 구성하는 부품의 소형화, 정밀화를 더욱 강하게 요구하게 되어 미소가공의 중요성은 날로 더해가고 있다. 그 중에서도 미소가공이 많이 요구되는 분야는 자동차용 연료분사노즐, 에어베어링이나 시계, 카메라 등의 정밀기계부품, IC기판의 구멍가공, 광파이버 케이블의 커넥터 부분의 가공, 로켓엔진 부품의 가공 등으로 그 수요는 점차 증가하는 추세에 있다.

그런데, 이러한 기계가공의 미세화, 정밀화 및 자동화에 크나큰 장애요소가 바로 버(burr)이다. 버는 기계가공 도중 공작물의 모서리부에 생기는 불필요한 잔재로서 완성부품의 조립시 끼워맞춤의 장애, 치수정밀도나 표면거칠기의 악화, 디버링(deburring)비용으로 인한 원가상승, 작업자의 안전성 문제 등 여러가지 문제점을 발생시키게 된다. 특히, 정밀부품의 가공시 디버링에 소요되는 비용이 그 완성부품 가격의 30%를 차지한다는 보고도 있다.[1]

버에 관한 연구동향을 살펴보면 1974년 이 분야의 선구자라 할 수 있는 미국의 Gillespie를

중심으로 SME의 Burr Technology Division이 창설됨으로서 버에 관한 연구가 시작하였다.[2] 이후의 연구들은 크게 절삭조건이 버의 형상(type)과 크기(size)에 미치는 영향에 관한 연구[3-5], 버 발생기구(mechanism)에 관한 연구[4,6,7], 버의 검출 및 측정에 관한 연구[3,8,9], 디버링에 관한 연구[8-10]등의 4분야로 나눌 수 있다. 또한, 현재 미국에서 버 기술에 관한 연구 분야에서 가장 큰 활약을 하고있는 Dornfeld는 최근 버에 관한 데이터 베이스와 버 형성 모델 등을 종합하여 data-driven CAD-based expert system을 구축함으로써 부품설계 단계에서부터 버의 발생을 최소화할 수 있는 종합적 전략을 마련하고 있다.[3] 그러나, 이러한 연구들은 아직도 초기단계로서의 생산현장에서의 적용을 위해서는 많은 실험적 연구와 버발생에 대한 FEM 모델 등을 이용한 기구해석 및 산업체의 실험 데이터베이스가 종합되어야만 할 것이다. 그런데, 지금까지의 연구들은 대부분 범용 가공시의 버발생에 관한 것으로 미소 드릴링에서의 버에 관한 연구는 거의 전무한 실정으로 최근 기계가공에서 미소드릴 가공의 중요도와 이용이 날로 확대되고 있음을 볼 때 미소드릴 가공시 버에 관한 연구가 시급히 요청되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 직경이 1mm, 0.8mm, 0.6mm인 드릴과 버발생 현상을 비교적 쉽게 관찰할 수 있는 알루미늄합금 AL1050을 사용하여

절삭속도, 이송속도(feedrate) 및 드릴직경 등의 절삭조건이 버의 형상과 크기에 미치는 영향을 실험적으로 규명하여 미소드릴 가공시의 정밀도 향상과 생산자동화에 기여하고자 한다.

2. 버의 발생기구 및 형태

드릴링 가공시 버에 영향을 미치는 요소로 크게 세가지를 들 수 있다. 시편 재질의 성질과 드릴의 기하학적 형상, 마지막으로 절삭 조건에 의해 버의 형상과 크기가 결정된다. 드릴의 기하 형상에 따라 버의 형상이 다양하게 나타나기는 하나 미소드릴의 경우 드릴의 선단각 등의 형상 변경은 실험적으로는 거의 불가능한 실정이다. 따라서, 미소 드릴링에서는 절삭조건을 변경시킴으로서 그에 따른 버 크기를 관측, 이를 최소화 하는 절삭조건을 연구하는 것이 가장 타당하다.

2.1 드릴링 가공시 버 발생 위치

미소드릴 가공시 버 발생은 Fig. 2-1에서 나타낸 바와같이 입구측 버(entrance burr)와 출구측 버(exit burr)로 분류될 수 있다. 드릴가공에서 주로 문제가 되는 것은 출구측 버로서 이는 출구측 버가 입구측 버보다 크기가 훨씬 크기 때문이다. 또한 출구측 버를 최소화하는 절삭조건이 입구측 버도 최소화시킴은 여러 문헌을 통해 알려진 바 있다. 따라서, 본 연구에서도 입구측 버보다는 출구측 버를 대상으로 실험을 수행하였다.

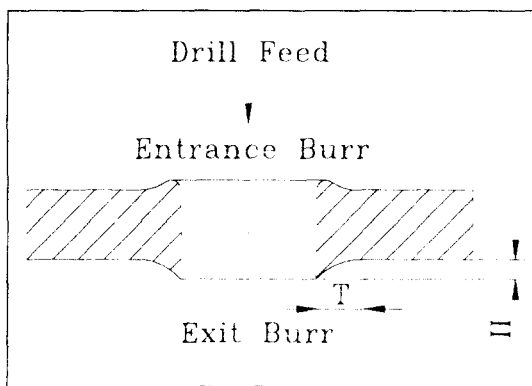


Fig. 2-1 Burr form in drilling process

2.2 드릴링 가공시 버 발생기구

Fig. 2-2는 드릴링 가공시 버가 발생하는 단계를 나타내고 있다. 버의 발생단계는 3단계로 나누어 설명할 수 있는데 첫 단계로 드릴 포인트가 시편 재질의 가공 마무리 단계인 재질의 밑부분 근처에 왔을 때 버가 발생하기 시작하는 단계이다. 드릴링이 진행됨에 따라 이 돌출부가 시편 재질의 밑표면으로 점점 튀어 나오면서 돌출부가 점점 커지게 된다. 두번째 단계로 시편 재질 밑 표면에서 발생된 돌출부가 증가하여 재질이 최대한 인장될 때 까지 돌출부가 최대한으로 확대된다. 버 형성의 마지막 단계로 드릴 선단각이 시편 재질의 밑 표면을 뚫으면서 돌출부가 파괴될 때 버가 최종적으로 형성된다. 이때 드릴의 기하형상, 공작물 재질 및 절삭조건 등의 여러 요인으로 인하여 버의 형상과 크기가 다양하게 나타나게 된다.

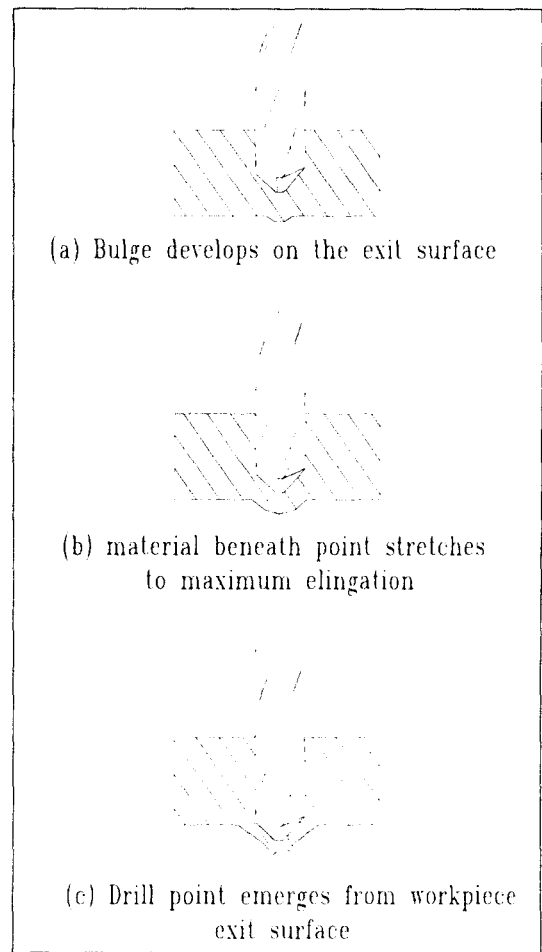


Fig. 2-2 Burr formation mechanism

3. 실험 장치 및 실험방법

3.1 실험 장치의 구성

본 연구에서 사용된 실험장치의 구성도를 Fig. 3-1에 개략적으로 나타내었다. 드릴가공은 세일중공업에서 제작한 수직형 CNC 머시닝센터 (TNV-40A)에서 이루어졌으며 드릴척은 BT40 npu8-110을 사용하였다. 드릴은 재질이 고속도강인 일본 NACH twist 드릴을 사용하였으며 드릴 직경은 1mm, 0.8mm, 0.6mm로 변화시키며 실험을 수행하였다.

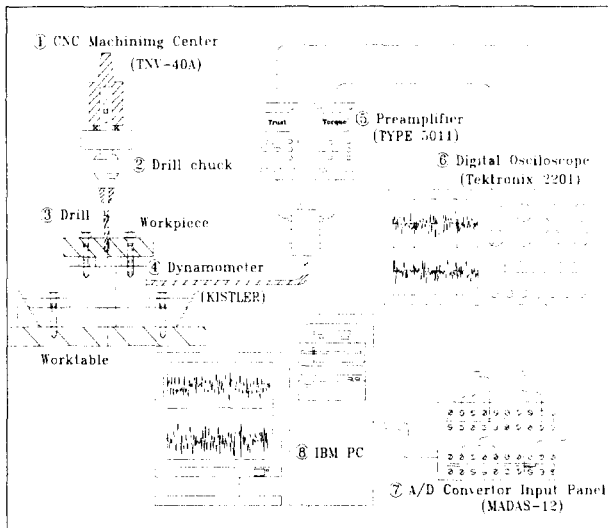


Fig. 3-1 Experimental set-up

3.2 공작물 시편과 절삭조건

본 실험에 사용된 시편의 재질은 드릴링시 버를 관측하기가 비교적 용이한 AL1050로 하였으며 시편의 형상은 80×80×1mm로 가공하여 드릴링 두께를 1mm로 하였다. 또한, 절삭조건은 드릴직경 1mm, 0.8mm, 0.6mm의 3종류 각각에 대하여 주축회전수를 3000rpm, 4000rpm, 5000rpm, 6000rpm의 4조건으로, 드릴링시 이송속도(feedrate)는 0.005mm/rev, 0.01mm/rev, 0.015mm/rev, 0.02mm/rev의 4조건으로 설정하여 총 48 가지의 절삭조건으로 실험하였다.

3.3 버 형상의 측정방법

드릴링 후 생성된 출구측 버의 형상은 OMI 장치를 사용하여 관측하였다. 출구버의 높이는

광학현미경에 디지털 다이알게이지를 부착하여 측정하였는데 그 모습을 Fig. 3-2에 나타내었다. 우선, 광학현미경의 초점을 공작물의 평면부에 맞춘 후 그 초점이 버의 끝단부에 다시 맞아질 때 까지 렌즈부를 움직이면서 렌즈의 수직방향이동거리를 광학현미경에 설치된 디지털 다이알게이지를 이용하여 측정하고 이를 버의 높이로 하였다. 각각의 시편에 대하여 3회씩 측정하고 이들의 평균값을 각 절삭조건에 대한 출구버의 높이값으로 취하였다.

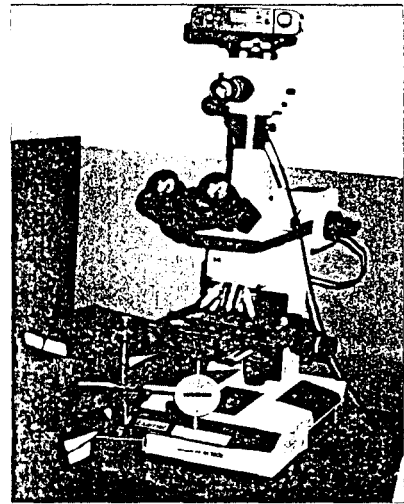


Fig. 3-2 Optical microscope with digital dialgauge for burr height measurement

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 드릴링 속도의 영향

드릴직경과 드릴링 속도(주축 rpm)의 변화에 따른 버의 높이 변화를 고찰하기 위하여 드릴의 한 회전당 절삭깊이인 이송속도를 0.005mm/rev, 0.01mm/rev, 0.015mm/rev, 0.02mm/rev로 각각 고정하고 각 이송속도에 대하여 드릴링 속도를 3000rpm, 4000rpm, 5000rpm, 6000rpm으로 드릴 가공한 결과 출구버의 높이 변화는 Fig. 4-1과 같이 나타났다. 여기서, 전체적으로 이송속도가 증가할수록 그래프의 데이터가 윗쪽으로 몰리고 있어 버 크기가 증가한다는 것을 나타내고 있다. 또한, 드릴직경의 변화에 따라서 버 높이변화가 뚜렷한 경향을 나타내고 있지는 않고 있음을 알 수 있다. 이송속도가 낮을 경우에는 직경 1mm의

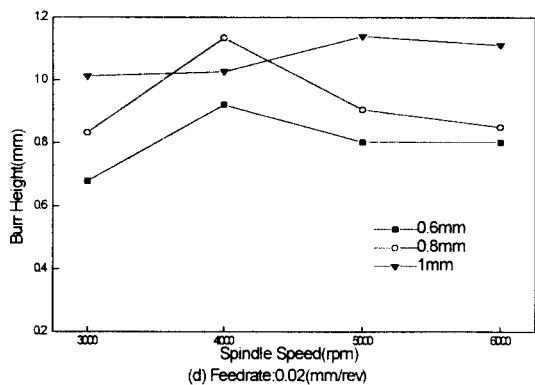
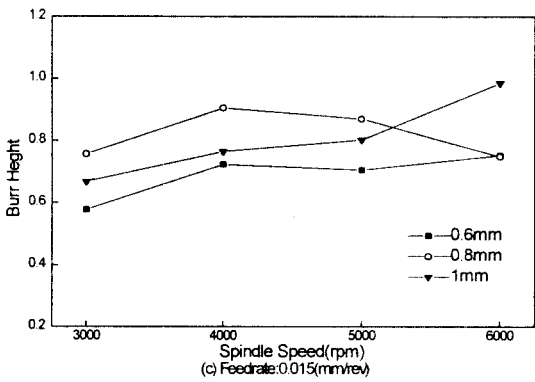
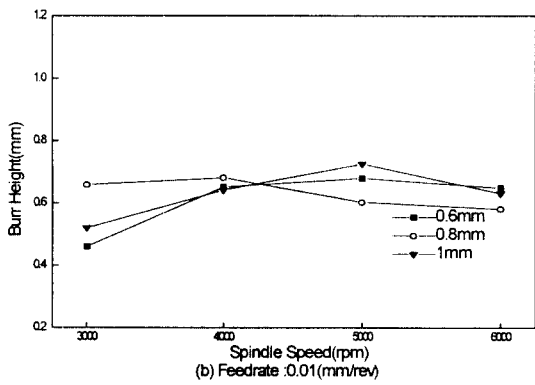
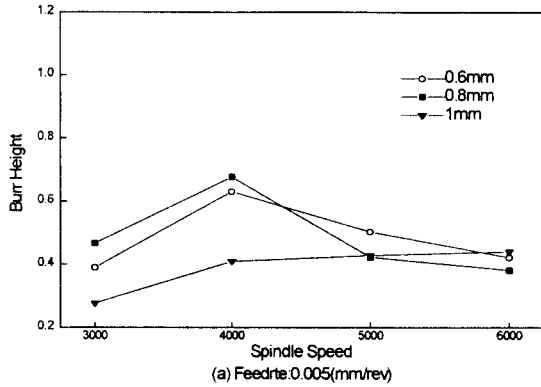


Fig. 4-1 The effect of spindle speed on burr height

드릴의 경우가 버가 작게 나타나고 있으나 이송 속도가 클수록 버가 크게 발생하고 있다. 일반적인 범용 드릴가공에서 직경이 작을 수록 버가 작게 나타난다는 주장과는 색다른 경향을 보이고 있다.

한편, 주축회전수의 증가에 따라 대체로 버가 증가하는 경향을 보이다가 그 이후 회전수가 더 증가하면 오히려 버의 크기가 감소한다는 것을 알 수 있는데 이런 경향은 고속가공시 절삭력이 오히려 작아져 절삭온도 증가나 공구마모가 억제됨에 따른 결과라고 판단된다. 따라서, 미소 드릴 가공시 적절한 절삭속도를 선정함으로써 버의 크기를 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

4.2 드릴 이송속도의 영향

드릴링 속도를 3000rpm, 4000rpm, 5000rpm, 6000rpm으로 각각 고정하고 각 속도에 대하여 이송속도를 0.005mm/rev, 0.01mm/rev, 0.015mm/rev, 0.02mm/rev으로 변화시켜 가면서 실험을 수행한 결과를 Fig. 4-2에 나타내었다. 이들 그림에서 알 수 있듯이 각 드릴링 속도에 대하여 이송속도가 증가함에 따라 버 높이가 증가하고 있는데 그 변화 경향도 거의 직선적이다. Fig. 4-1의 결과와 비교하면 드릴링 속도의 변화에 의해서 보다는 이송속도의 증가가 버의 크기에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이 나타남에 따른 결과라고 판단된다. 또한 이송속도가 클수록 추력 (thrust)의 증가로 인하여 공구마모가 촉진되고 아울러 열발생이 심하게, 이송방향의 절삭력에 의해서 다음 절삭시에 제거될 부분이 드릴 이송 속도의 증가로 미처 절삭되지 아니하고 바로 버 형태로 밀려나 공작물 뒷면에 남아있기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 드릴의 직경을 고려한 고찰

드릴의 각 직경별로 두 절삭조건과 버의 높이와의 실험결과를 Fig. 4-3에 3 차원적으로 나타내었다. 드릴의 직경이 0.6mm과 0.8mm일 경우 1mm 경우에 비하여 비슷한 경향을 보이고 있는데 그 중의 하나가 회전수증가에 따라 버가 증가하다가 그 이후는 다시 줄어든다는 것이다. 1mm의 경우는 일반적으로 이송속도가 클수록, 회전속도가 클수록 버 크기가 증가하고 있는데 이는 범용 드릴가공의 경향과 비슷한 것이다.

따라서, 미세드릴 가공시 버의 발생을 최소화할 수 있는 절삭조건은 이송속도는 가능한 작게, 절삭속도는 드릴의 직경에 따라서 최적치를 구해야 한다는 것을 알 수 있다.

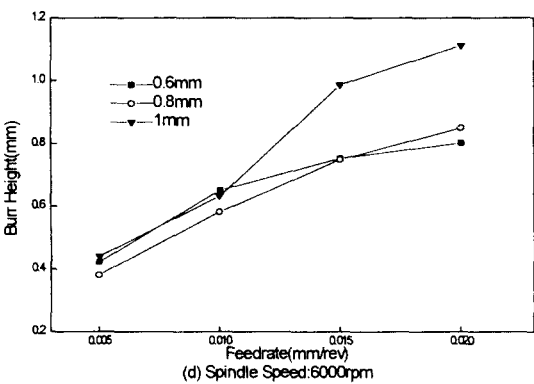
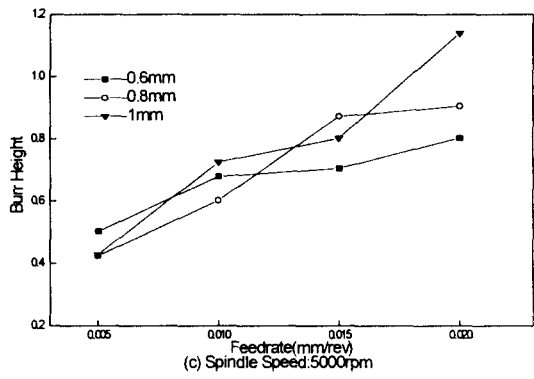
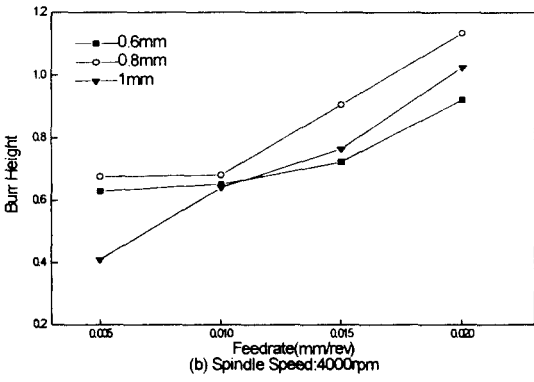
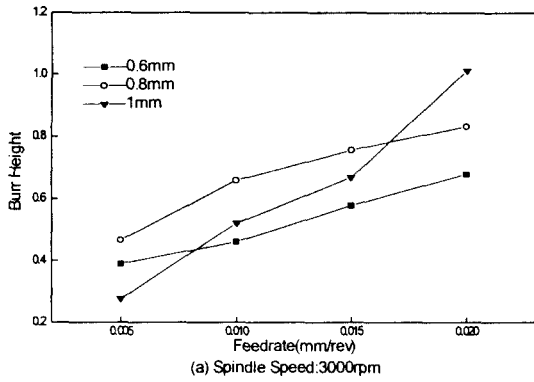


Fig. 4-2 The effect of drill feedrate on burr height

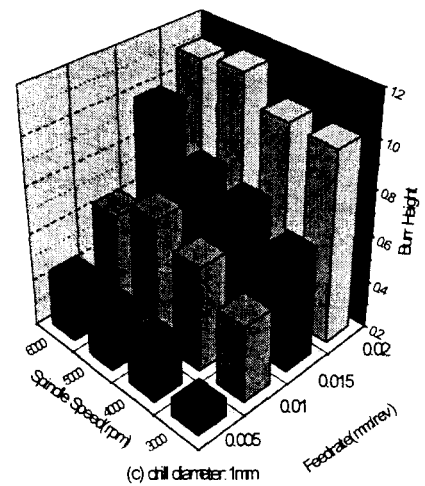
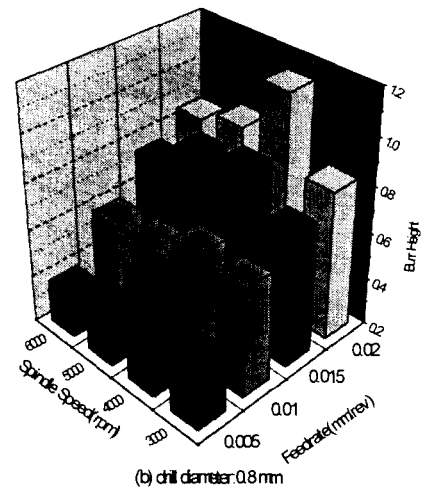
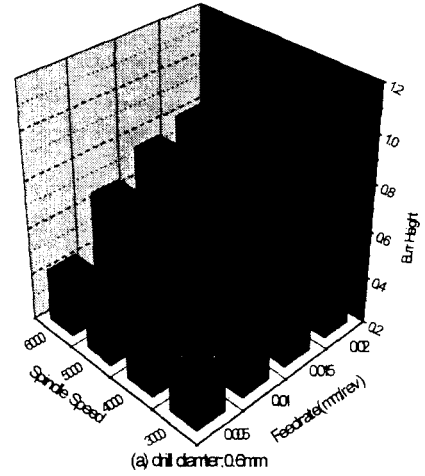


Fig. 4-3 The effect of drill diameter on burr height

5. 결 론

직경이 1mm이하인 미소드릴을 이용한 구멍 가공시 드릴의 직경, 드릴링 속도 및 드릴 이송 속도 등의 절삭조건이 출구 버의 형상에 미치는 영향을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 드릴의 직경은 버의 크기에 거의 영향을 미치지 않으나 직경이 1mm일 경우 일반적인 범용 드릴링과 비슷한 경향을 가진다.
- (2) 드릴 직경이 0.6mm와 0.8mm인 경우 절삭 속도가 증가함에 따라 대체로 버의 크기가 증가하는 경향을 보이다가 그 이후 오히려 버의 크기가 감소하였는데 이런 경향은 고속가공시 절삭력이 오히려 작아져 절삭 온도증가나 공구마모가 작아짐에 따른 결과라고 판단된다
- (3) 드릴 이송속도의 증가에 따라 버의 높이도 거의 직선적으로 비례하여 증가하며 이는 이송속도가 증가함에 따라 절삭력의 증가에 기인한 열발생과 공구마모가 그 원인이다.
- (4) 미소구멍 가공시 드릴링 속도보다는 드릴 이송속도가 버의 형성에 더욱더 결정적 영향을 미친다.
- (5) 미소구멍 가공시 출구버의 발생을 최소화 하기 위한 절삭조건 선정은 가능한한 이송 속도는 작게, 절삭속도는 버의 발생을 최소화 하는 적절한 조건을 구해야 한다..

REFERENCE

- [1] L.K.Gillespie, "Deburring Precision Miniature Parts ," Precision engineering, vol. 1, No. 4, 1979, pp. 189-198
- [2] K.Takazawa, "The Challenge of Burr Technology and Its Worldwide Trends", JSPE, Vol. 22, No. 3, 1988, pp. 165-170
- [3] L.K.Gillespie, "The Measurement of Burrs",
- [4] L.K.Gillespie, "P.T.Blottner,"The Formation and Properties of Machining Burrs." Journal .of Enginnering for Industrial, Vol. 98, No.1, 1976, pp. 66-74
- [5] W.Kishinioto,T.Mitake,K.Y.Yamanaka,K.Takano, "Study of Burr Formation in Face Milling", JSPE, Vol. 15, No. 1, 1981, pp.. 51-52
- [6] S.L.Ko, D.A.Dorfeld, "A Study on Burr Formation Mechanism", Journal of Engineering Material and Technology, Vol. 113, 1991, pp. 75-87
- [7] G.L.Chern,"Analysis of Burr Fomation and Breakout in Metal Cutting", Ph.D.dissertation, Dept. of Mechanical Enginnering, Univ. of California, Berkly, 1993
- [8] L.K.Gillespie, "Effect of Mesurement Techinque and Experiment Design in the Analysis of Burrs", SME paper, MR 75-985, 1975
- [9] S.H.Lee, D.S.Park, D.A.Dornfeld ,"Burr Size Measurement Using a Capacitance Sensor", Preceedins of S.M. Wu coference, 1996
- [10] C.Emerson, Deburring Metal Parts", American Machinist, Special Report, No. 675, April, pp. 55-62