

버형성 최소화를 위한 스텝드릴 형상 개발

장재은(건국대 대학원 기계설계학과), 고성림(건국대 기계설계학과)

Development of Step Drill Geometry for Burr Minimization

J. E. Chang (M.D.P.E., Graduate School, KGU), S. L. Ko (M.D.P.E., KGU)

ABSTRACT

In this paper, drill tests were carried out by modifying drill geometry for burr minimization. Final objective of this study is to develop compatible drill shape for minimization of burr formation. These experimented results with modified drill are measured with laser sensor after performing drilling with variable material. Simultaneously, the cutting force and the torque of various drill geometry have been observed with same cutting condition to judge drill stability. As a result, burr was minimized in step drill with 75 ° step angle at every material.

Key Words : Burr(버), HSS Drill(고속도강 드릴), Carbide Drill(초경드릴), Chamfer Drill, Round drill, Step Drill(스텝드릴), Burr Minimization(버 최소화), Cutting force(절삭력)

1. 서론

구멍가공은 적은 비용과 짧은 공정시간에 양질의 구멍을 생산하는 방법으로서 산업전반에 걸쳐 중요한 비중을 차지하고 있다. 이러한 구멍가공에서 발생하는 치수오차 중 하나로서 소성변형에 의한 원치 않는 형상의 돌출부로 정의 되는 버가 있는데 이것은 입구버와 출구버로 분류 할 수 있으며, 이 중에 부품의 품질과 조립에 큰 영향을 미치는 것은 출구버이다. 이는 추가적인 제조공정과 디버링을 요구하게 되고 이러한 추가적인 공정은 자동화가 어려우며 대부분 수작업으로 이뤄진다. 또한 정밀 부품에 있어서는 모서리 마무리가 제품원가에도 많은 영향을 미친다.^(1,2) 이에 버의 근본적인 발생을 줄이기 위한 노력으로 많은 연구가 이루어졌다. Sofronas 는 드릴의 인선부에 rounding 을 주는 방법과 비틀림 각의 증가, 출구면을 경화시키는 방법을 제시하였다. 여기서 출구면의 경화는 버의 크기는 감소하지만 제거하기는 더 어려워진다는 문제점이 있다.⁽³⁾ 그 밖에 구멍가공 시 초음파나 저주파 가진을 통하여 버 발생을 감소 시킨 연구가 있다.^(4,5) 그리고, Lee 는 구멍가공 중 버형성의 큰 인자로 작용하는 이송량을 변화 시킴으로써 추력을 억제하여 버를 최소화하고자 하였다.⁽⁶⁾

따라서 본 연구에서는 이러한 버 생성을 근본적으로 최소화하기 위해 공구날부의 선단각을 변화시켜 버형성을 최소화하기 위한 연구를 수행 하였다.

2. 드릴형상변경에 의한 버형성 실험 및 관찰

2.1 드릴의 형상 및 특징

Fig.1 은 스텝드릴에서의 관통직전의 절삭과정에 대하여 나타내었다. 일반드릴에서와는 달리 1 차 선단부가 완전히 관통을 한 이후에 2 차 스텝부에 의해서 가공이 이루어지는데 여기서 스텝 직경과 스텝 각도의 조절에 의해서 미절삭부의 영역을 조절할 수가 있게 된다. 즉, 그림에서와 같이 y_1 , R_1 의 크기를 조절하여 절삭의 진행을 더 연장 시킬 수가 있게 된다. 따라서 스텝드릴의 형상을 여러 가지로 변화를 주어 실험을 실시하고 피삭재의 특성과 이에 따른 절삭력 실험을 실시 하여 버형성을 최소화하고자 하였다. 실험에 사용된 드릴은 Fig. 2 와 같은 형상은 Table 1 과 같다.

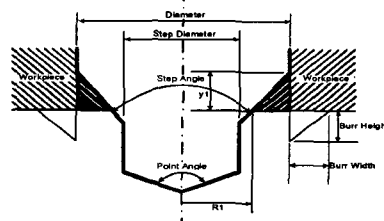


Fig. 1 Process of step drilling burr formation

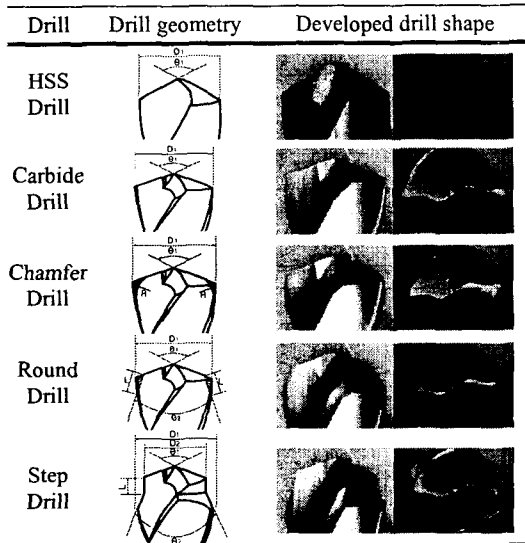


Fig. 2 Configuration Drills

Table 1 Specifications of Drill Geometry ($D_1=10mm$, $\Theta_1=118^\circ$ for HSS tool, 140° for Carbide tool, $L=2mm$)

Type	HSS Drill	Carbide Drill													
		Chamfer				Round		Step							
Geom.	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	
Θ_2 (Chamfer/Step Ang.)			60°	40°			130°	100°	75°	60°	40°	75°	60°	40°	
D_2 (mm)							8	8	8	8	8	9	9	9	
R (mm)					1.5	2.5									

Table 2 Cutting Conditions for Burr Formations in Drilling

Drill	Material (Hardness)	Speed (m/min)	Feed (mm/min)	Coolant
HSS, Carbide, Chamfer, Round, Step drill	SM45C	35	50, 100, 150, 200, 250	Dry

2.2 SM45C에서의 드릴 형상에 따른 버형성

피삭재 및 절삭 조건은 Table 2와 같다. 절삭 깊이는 일정한 비율을 적용하여 동일한 조건을 유지하였다. 그리고 구멍가공 후 형성된 버는 측정을 위해 레이저를 이용하는 비접촉식 레이저 측정 장치를 이용하여 버의 높이와 두께에 대한 데이터를 구하였다.⁽⁷⁾ 그 결과는 Fig.3과 같다.

2.3 드릴의 형상에 따른 버 형성 특성

Chamfer 드릴에서는 가공은 1 차적으로 선단각 140°에 의해 가공이 진행되다가 chamfer 부에 도달해서는 60°와 40°의 선단각을 갖는 드릴 가공과 유사한 가공을 한다. 여기서 60°에서보다는 40°에서 미절삭부의 양이 작고 드릴의 진행방향으로의 굽힘 변형에 대한 강성이 크기 때문에 드릴 이탈 시 저항에 의한 굽힘 변형이 적어 실험결과에서와 같이

작은 버가 형성 되었다.

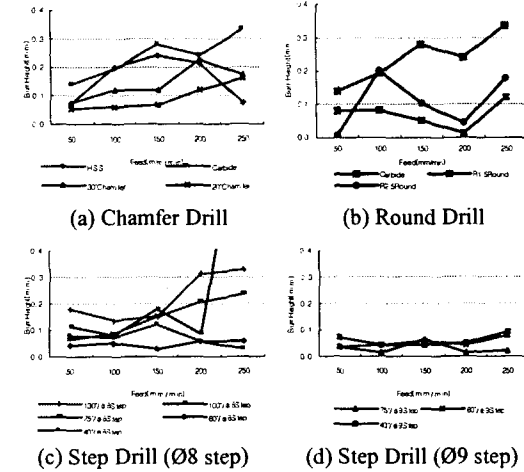


Fig.3 Burr Height by modified Drill in SM45C

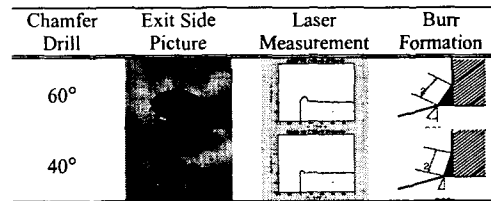


Fig.4 Experimental results with chamfered drill.

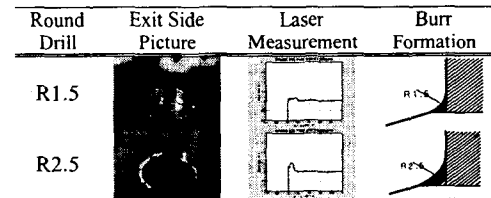


Fig.5 Experimental results with rounded drill.

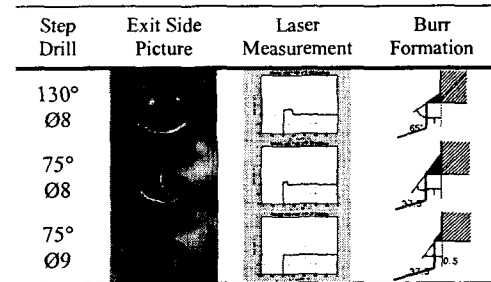


Fig.6 Experimental results with step drill.

Fig.5의 Round 드릴에서는 chamfer 드릴과 같이 R2.5에서는 관통이 직전에 강성이 충분하지 않은 미절삭부에 굽힘 변형이 일어나 R1.5보다는 큰 버가 형성이 되었다. 코너 R부의 시작점과 끝점을 연결하는 선을 chamfer 드릴의 chamfer 부로 여긴다면, chamfer 각도와 크기에 따른 버형성 원리가 유사하

다.

스텝드릴에서 스텝각이 100°이상에서는 스텝부에 의한 가공에서 미절삭부의 강성이 충분치 않아 끝부분에서 1 차 가공에서 형성된 칩이 그대로 붙어 떠밀려 나와 스텝부와 드릴부의 직경의 단차만큼의 파열형의 버가 형성되게 된다.⁽⁸⁾ 스텝각이 75°이하에서는 절삭이 마지막까지 진행이 되어 훨씬 작은 크기의 버가 형성이 되었고 Fig.6 에서와 같이 스텝의 직경이 큰 쪽이 미절삭부의 절삭량이 작아 상대적으로 작은 버가 형성 되었다.

3. 피삭재 변경에 따른 드릴 형상별 특성

각기 다른 피삭재에서 드릴 형상에 따른 버형성 변화에 대해서 실험하였다. 실험에 사용된 피삭재의 물성치는 Table 3 과 같고 절삭조건은 동일하게 적용하였다. Fig.7 은 주어진 4 가지의 피삭재를 각각의 드릴에 대하여 구멍가공을 실시한 후에 버 크기에 대하여 나타내었다. 여기서 상당히 큰 버가 형성되는 파열형의 버는 형상을 수치화하기 불가능하여 그래프상에서는 제외 시켰다.

피삭재의 특성에 따라 A6061 과 SS400 은 파열형의 버와 함께 가장 큰 버를 생성시켰고 A2024 에서는 전반적으로 매우 작은 버가 형성 되었다. 그리고 드릴 형상에 따라서는 파열형이 많이 나온 A6061 을 제외한 다른 피삭재에서는 스텝드릴의 스텝각이 75°(#9~#14)이하가 되는 곳에서 비교적 작은 버가 생성 되었다.

SM45C 에서는 Fig.3 과 같이 형상별로 버형성 특징이 가장 뚜렷하게 나타난다. 이는 다른 연성이 큰 재질에 비해서 원활한 칩 배출과 소성변형에 의한 굽힘이 작아서 작은 버가 형성되었다.

SS400 과 A6061 에서는 Fig.7 과 같이 다른 재료에 비해 큰 버가 형성이 되었고 스텝각도에 따라 큰 변화를 나타내는데 스텝각이 75°이상(#7,8,9,12)에서는 파열형에 가까운 큰 버가 형성 되었고 60°이하(#10,11,13,14)에서는 작은 버가 형성 되었다. 이는 SM45C 에 비해 더 작은 스텝각에서 연성이 크고 인장력이 작으므로 절삭의 마지막 단계에서 굽힘이 일어나기 시작하는 임계두께의 차이 때문이다.

A2024 에서는 원래 형상의 드릴에 비해서 코너 인선부를 가공한 나머지 드릴에 대해 모두 0.1mm 미만의 극히 작은 버가 생성이 된다. 이것은 취성이 강하고 파단강도가 작아 관통 직전의 미절삭부에서의 절삭이 마지막까지 이루어진 결과이다.

4. 공구형상과 피삭재에 따른 절삭력 변화

각 형상의 드릴에서의 절삭력을 측정하여 드릴의 안정성과 절삭력의 변화가 버의 형상에 미치는 영향을 관찰하고자 실험을 하였다. 피삭재는 A6061, SM45C 를 사용하였고 절삭조건은 동일하게 주었으며 절삭력 측정은 마모의 효과를 배제하기 위하여

한번도 가공에 사용되지 않은 드릴을 사용하였다.

Table 3 Mechanical properties of workpiece

Property	Yield Strength (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Fracture Strain
SM45C	40.1	68.1	23.4	0.62
SS400	31.5	45.6	35.9	1.05
Al6061-T6	28.1	25.7	17.6	0.65
Al2024-T4	40.2	55	10.3	0.14

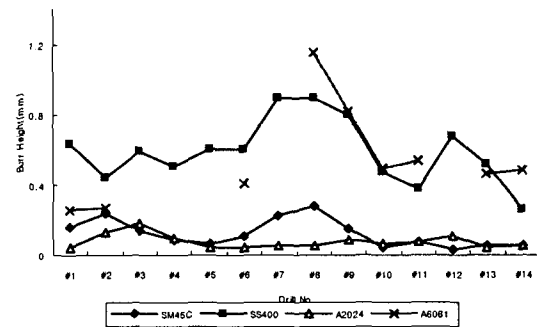


Fig.7 Burr Height by Developed Drill in each material

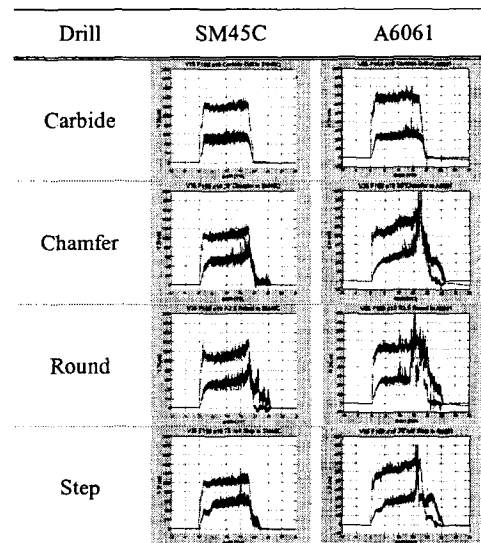


Fig.8 Cutting force by developed drill in A6061, SM45C

Fig.8 은 측정 결과를 각 형상 별로 나타낸 것이다. 절삭력의 크기는 강인 SM45C 에서 2 배정도 더 큰 값이 나왔다. 그리고 코너부의 인선에서는 chamfer, round, step 모두가 불안정한 절삭 상태를 보여주고 있다.

스텝드릴과 chamfer, round 드릴의 절삭력을 비교 해보면 관통 직전의 스텝부는 비교적 안정된 절삭이 이루어지나 chamfer, round 에서는 절삭력의 변화가 큰 불안정한 절삭이 이루어진다. 이것은 구멍 정밀도와 공구의 수명에 큰 영향을 미치게 되며 또한 절삭 깊이의 변화에 따라서도 많은 차이를 보이

게 될 것이다.

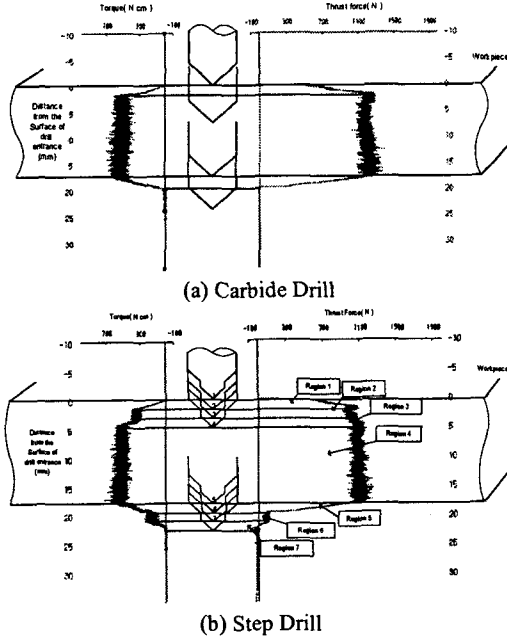


Fig.10 Cutting Thrust and Torque according as distance from the surface of entrance in drilling process.

5. 스텝 드릴에서의 절삭력의 변화

Fig. 10 은 절삭이 진행되는 과정에서 발생하는 추력과 회전력을 드릴의 진입 과정에 따라 동시에 표현한 그림이다. 그림(a)에서는 원래 형태의 드릴에서의 절삭력을 표현한 것인데 절삭이 진행되는 과정에서 진입지점과 관통지점에서 비교적 일정한 값으로 증감을 보여주며 피삭재 내부절삭에서는 원활한 칩 배출과 안정된 절삭으로 균일한 값을 보여 주고 있다. 그림(b)에서는 스텝드릴에서의 경우를 나타내었는데 최초 진입지점에서부터 그림의 region1~2 까지는 그림(a)의 절삭과정과 동일하고, 스텝각과 스텝단이 나타나는 region3 도 일정하게 증가를 보여준다. 그러나 Region 4 에서는 선단각과 스텝각에서 동시에 가공이 진행되는 부분인데 가공 깊이가 깊어질수록 추력과 회전력은 일정하게 증가함을 보여주고 있는데 이는 선단부와 스텝부 두 곳에서 생성되는 칩의 배출 방향이 상이해서, 그것이 간섭을 일으키게 되고 그에 따라 원활하지 못한 칩 배출이 일어나게 되어 그런 현상을 보여 주고 있다. 다음으로 region 5 에서는 선단각이 출구 면을 통과 하면서 추력이 회전력에 비해서 더 빠르게 감소하고 region 6~7 에서는 오히려 회전력이 더 높은 값을 나타내게 된다. 이것을 최초 진입시의 경우와 비교해보면, region2 에서는 선단부의 절삭이 시작되어 진행되고 있고 region 6 은 출구부에 이미 선단부는 통과했고 스텝단 부분, 즉 전체 직경의 5분의 1 만

이 회전력에 영향을 미치기 때문이다.

6. 결론

버형성 최소화를 위해 드릴 형상 변경에 의한 방법을 적용하였다. 원래 형상과 날부에 주어진 길이와 Chamfer 를 준 Chamfer 드릴, 날부에 Round 를 준 Round 드릴 그리고 스텝각 과 스텝직경이 주어진 스텝드릴을 사용 하였다.

1. 형상 변경 드릴은 원래 드릴에서 형성된 버에 비해 작은 버가 형성 되었으며 그 중에서 스텝 드릴에서 스텝각이 75°이하와 스텝직경이 $\phi 9$ 인 드릴에서 버가 거의 없는 구멍가공이 이루어졌다.

2. 재질별 버형성 특성에 대해 실험을 실시하였다. 비교적 연성이 큰 A6061 과 SS400 에서는 원활하지 않은 칩 배출과 절삭에 비해 소성변형이 크게 작용하는 것에 의해 파열형의 버가 나타나기도 하였으나 전반적으로는 모든 재질에서 스텝각이 75° 이하에서는 비교적 작은 버가 형성 되었다. 그리고 취성이 큰 A2024 에서는 코너부 인선이 가공된 모든 형상 변경된 드릴에서 버가 발생하지 않았다.

3. 절삭력 실험에서는 형상 변경된 chamfer, round 드릴의 코너부 인선에서 불균일한 신호가 나왔으며 이는 드릴의 안정성과 수명에 영향을 주는 요소가 된다. 그러나 스텝드릴에서는 비교적 안정된 절삭이 이루어짐을 볼 수 있고 이는 특수 용도의 버 최소화를 목적으로 하는 가공에서 사용할 수 있으며, 또한 생성된 버를 제거하는 비용을 따져 본다면 스텝 드릴의 사용이 비용 절감에 있어서 더 유용한 방법으로 제시 될 수 있다.

참고문헌

- Gillespie, L.K., "Deburring Precision Miniature Parts," Precision Engineering, Vol.1, No.4, pp.189-198, 1979
- Gillespie, L.K., "Deburring Technology for Improved Manufacturing," SME, Dearborn, MI, 1981.
- Sofronas, A., "The Formation and Control of Drilling Burrs," Ph. D. Dissertation, University of California at Berkeley, 1975
- Adachi, K., "A Study on Burr in Low Frequency Vibratory Drilling," bull. Japan Soc. Of Prec.Eng., Vol.21, No.4, pp.258-264, 1987
- Takeyama, K., "Study on Oscillatory Drilling Aiming at Prevention of Burr," Journal of Japan Soc. Of Prec. Eng., Vol.59, No.10, pp.1719-1724, 1993
- Lee, G.B., "Digital Control for Burr Minimization in Drilling," Ph. D. Dissertation, University of California at Berkeley, 1989
- Sung-Lim Ko, Kun-Bae Jun and Jing-gu Lee, "Development of the Burr Measurement System using Laser," 4th Japan-Korea Joint Technical Conference on Surface Finishing Burr Technology, Incheon, 1999: 66-76.
- 고성림, 김진호, "구멍가공 시 스텝드릴을 이용한 버형성 최소화를 위한 연구," 한국정밀공학