

버형성 최소화를 위한 스텝드릴 개발

장재은*, 고성림**

Development of Step Drill Geometry for Burr Minimization

Jae-Eun Chang*, Sung-Lim Ko**

ABSTRACT

Drilling tests were carried out using drills with various drill shapes for burr minimization. Final objective of this study is to develop compatible drill shape for minimization of burr formation. For experiments, general carbide drills, round drills, chamfered drills and step drills are designed and manufactured. Burrs are formed by various cutting conditions and in 4 different work materials. Laser sensor is used to measure burr geometries. Cutting forces in drilling are also measured and compared in every drill. As a result of the experiments, step drills with specific step angle and step diameter are suggested for burr minimization.

Key Words : Burr(버), Deburring(디버링), HSS Drill(고속도강 드릴), Carbide Drill(초경드릴), Chamfered Drill(첼 퍼드릴), Round drill(라운드드릴), Step Drill(스텝드릴), Burr Minimization(버최소화)

1. 서론

구멍가공은 적은 비용과 짧은 공정시간으로 양질의 구멍을 생산하는 방법으로서 산업전반에 걸쳐 절삭가공 중에 중요한 비중을 차지하고 있다. 이러한 구멍가공에서 발생하는 치수오차 중의 하나로서 소성변형에 의한 원치 않는 형상의 돌출부로 정의 될 수 있는 버가 있는데 이는 입구버와 출구버로 분류할 수 있다. 입구버는 드릴의 진입 시에 드릴의 모서리 부에 의해서 피삭재 상면에 작은 썸모양으로 형성이 되며 출구버는 드릴의 관통 직전에 드릴이 남아 있는 피삭재를 밀어냄으로써 피삭재의 하면에 형성 되어지는 버를 일컫는다. 이 중에서 버형성이 부품의 품질과 조립에 큰 영향을 미치는 것은 출구버이다. 이는 추가적인

디버링 공정을 요구하게 되고 이런 추가적인 단계 들은 자동화가 어려우며 대부분이 수작업으로 이뤄진다. 또한 정밀 부품에 있어서도 모서리 마무리는 제품원가에 많은 영향을 미치게 된다.^(1, 2) 이러한 버의 형성을 줄이기 위한 노력으로 버의 근본적인 발생 기구에 대해 많은 실험적인 논문들이 있다. Gillespie 는 버형성과정을 3 단계로 분류하여 그 과정을 설명 하였고⁽³⁾ Pande 와 Relekar 는 구멍가공 시에 이송과 절삭속도의 변화에 따른 버 높이와 두께의 변화로서 버 발생 경향을 관찰하였으며⁽⁴⁾, Takazawa, K 는 구멍가공 시 여러 인자들이 버의 형성에 미치는 영향에 대해서 연구 하였다.⁽⁵⁾ 또한 Stein 은 교차된 구멍 내부에서의 경사에 따른 버형성과 마모에 따른 영향, 그리고 미소드 릴에서의 버형성에 대하여 관찰 하였다.⁽⁶⁾

□ 2002년 4월 15일 접수
* 건국대학교 대학원 기계설계학과
** 건국대학교 기계설계학과

구멍가공 시 일반적으로 구멍 주변의 소성변형과 이송에 의한 떠밀림에 의해 버가 발생하게 되는데 이는 드릴의 가공 조건에서 회전속도와 이송량에 많은 영향을 받게 되며, 드릴의 형상, 즉 선단각, 비틀림 각, 치늘부의 길이 등도 절삭력과 정밀도 그리고 버의 형성에도 영향을 미치게 된다.⁽⁷⁾

본 연구에서는 구멍가공 시 버형성 최소화를 위해 최종 절삭에서의 선단각의 변화와 미절삭량을 조절 할 수 있는 방법으로서 드릴 인선의 코너부에 chamfer, round, step 을 주어 버형상의 변화에 따른 관찰과 각기 다른 물성치를 가지고 있는 각 재료에서의 버형성 결과를 관찰하고, 또한 절삭력 실험을 통해 가장 안정화된 형태의 버형성 최소화를 위한 최적의 드릴을 개발하고자 실험을 수행하였다.

2. 드릴 형상에 따른 버형성 최소화 원리

2.1 버형성 최소화를 위한 이전 연구

앞서 언급 하였듯이 생산성에 중요한 영향을 미치는 이러한 버의 근본적인 발생을 줄이기 위한 노력으로 많은 연구가 이루어졌다. 먼저 Sofronas 는 드릴의 인선부에 rounding 을 주는 방법과 비틀림 각의 증가, 출구면을 경화시키는 방법을 제시하였는데, 여기서 출구면의 경화는 버의 생성을 줄이지만 제거는 더 어려운 버를 생성시킨다는 문제점이 있다.⁽⁸⁾ 그 밖에 절삭 방법의 변화로서 초음파와 저주파 가진에 의해 구멍가공을 함으로써 버발생을 감소시킨 연구가 있다.^{(9),(10)} 그리고 Lee 는 절삭 조건 중에 구멍가공 시에 버형성의 큰 인자로 작용하는 이송량을 변화 시키는 것에 의하여 추력을 억제 시킴으로써 버를 최소화 하고자 하였다.⁽¹¹⁾

2.2 스텝드릴에 의한 버형성 최소화

구멍가공시의 절삭 과정 가운데 선단각의 각도와 재료의 물성치, 절삭조건에 따라서 최종 절삭에서 남게 되는 Fig. 1 의 빗금 친 부분에 작용하는 절삭저항에 따른 굽힘 응력에 의해서 소성영역이 발생되면서 버형성이 절삭과 함께 이루어진다. 이는 드릴의 진행과 함께 굽힘 변형이 커지면서 출구버가 형성된다. 이러한 원리에 의해 발생하게 되는 버의 형상을 최소화 하기 위해서 미절

삭부의 영역을 줄이고 절삭이 최종까지 이루어질 수 있도록 본 논문에서는 스텝드릴을 도입하였다.

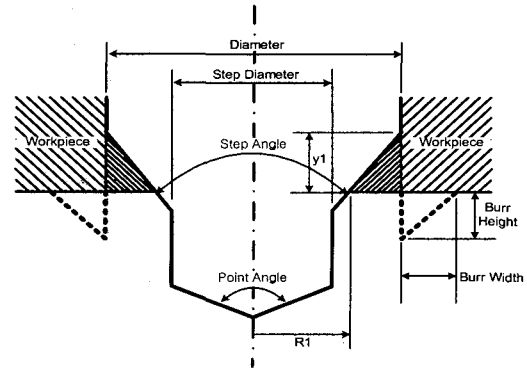


Fig. 1 Process of step drilling burr formation

Fig. 1 은 스텝드릴에서의 관통직전의 절삭과정 에 대하여 나타내었다. 일반드릴에서와는 달리 1 차 선단부가 완전히 관통을 한 이후에 2 차 스텝 부에 의해서 가공이 이루어지는데, 여기서 스텝 각도의 조정에 의해서는 미절삭부의 굽힘에 대한 강성을 크게 하여 스텝부가 피삭재를 이탈하기 전 까지 절삭을 연장 시킬 수가 있으며 스텝 직경의 변화에 의해서는 미절삭부의 크기 자체를 조절할 수가 있게 된다. 즉, 그림에서와 같이 y_1 , R_1 은 절삭이 중지되고 굽힘이 일어나서 남아 있는 부분이 버로 변화 되기 시작하는 임계 지점을 나타낸다. 이 임계지점은 남아 있는 부분의 형상에 의해서 결정이 되는데, 드릴 선단부에서 가해지는 힘에 의한 굽힘 변형에 대한 강성이 클수록 드릴이 완전히 관통할 때까지 절삭이 계속되고 버형성이 지연되어 결과적으로 작은 버가 형성된다. 따라서 스텝드릴에서는 그 형상을 여러 가지로 변화를 주어 실험을 실시하고 피삭재의 특성과 이에 따른 절삭력 실험을 실시 하여 버형성을 최소화 하고자 하였다.

3. 드릴형상변경에 의한 버형성 실험 및 관찰

3.1 드릴의 형상 및 특징

실험에 사용된 드릴은 Fig. 2 와 같이 드릴 코너부 인선에 주어진 길이와 각도의 chamfer 를 지닌 chamfer 드릴과 반경 R 의 코너부 형상을 갖는 round 드릴 그리고 직경이 작은 step 이 주어져 스

탭각과 스텝 직경의 변화가 있는 스텝드릴을 제작 실험 하였다. 실험에 사용된 드릴의 형상은 Table 1 과 같다.

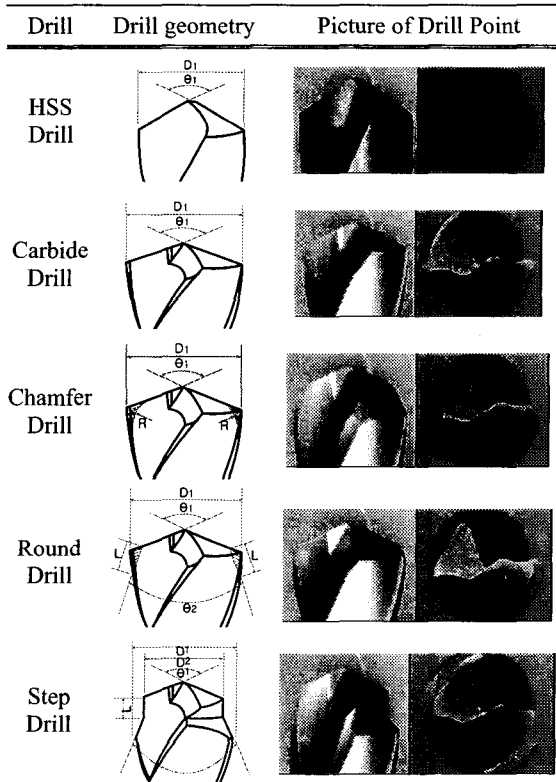


Fig. 2 Configuration of Drills

Table 1 Specifications of Drill Geometry

Drill	HSS Drill	Carbide Drill													
		Chamfer				Round		Step							
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14
Geom.															
θ_1 (Pt.Ang.)	118°	140°	140°	140°	140°	140°	140°	140°	140°	140°	140°	140°	140°	140°	140°
θ_2 (Chamfer/Step Ang.)			60°	40°			130°	100°	75°	60°	40°	75°	60°	40°	
D_1 (mm)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
D_2 (mm)							8	8	8	8	8	9	9	9	
R (mm)					1.5	2.5									
L (mm)			2	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2

3.2 SM45C에서 드릴 형상 변경에 따른 버형성 실험

3.2.1 실험조건

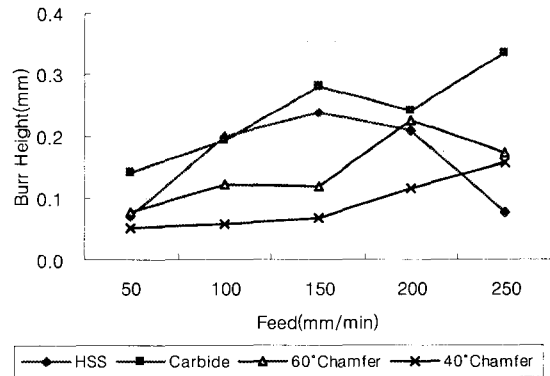
가공은 CNC 머시닝 센터 (Hyundai SPT18S)에서 실시하였으며 피삭재는 산업 현장에서 널리 사용되어 지는 SM45C 를 사용 하였으며 절삭 조건은 Table 2 와 같으며 추천 절삭 조건 내에서 절삭 속도는 일정하게 하고 버형성에 영향이 큰 인자인 이송속도를 5 단계로 증가 시키면서 실험을 실시 하였다. 또한 절삭 칩과 버형성 시에 발생하는 갭의 관찰을 위해서 절삭유를 사용하지 않은 건식 절삭을 실시 하였고 절삭 깊이는 일정한 두께 비율을 적용하여 동일한 조건을 유지하였다.

Table 2 Cutting Conditions for Burr Formations in Drilling

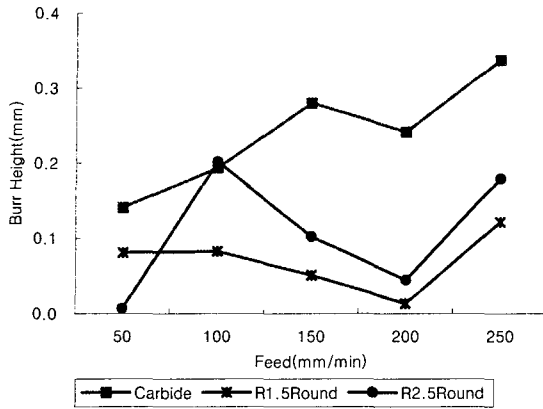
Drill	Material (Hardness)	Speed (m/min)	Feed (mm/min)	Coolant
HSS Drill			50	
Carbide Drill	SM45C (HRC14)	35	100	Dry
Chamfer Drill			150	
Round Drill			200	
Step Drill			250	

3.2.2 실험결과

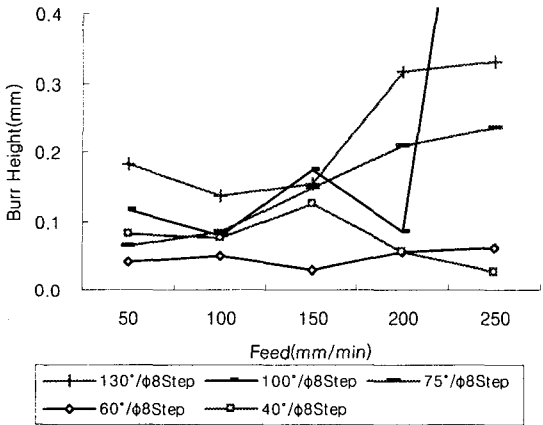
Fig. 3 은 구멍가공 후 형성된 버를 비접촉식 레이저 측정 장치⁽¹²⁾ 를 이용하여 버의 높이와 두께에 대한 데이터를 구한 후에 각 드릴 별로 버의 높이에 대해 그래프로 나타낸 것이다.



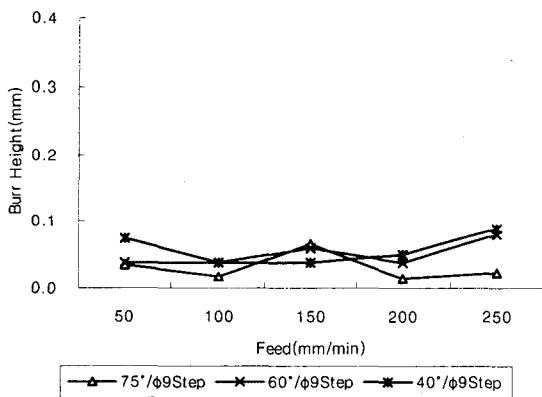
(a) Chamfer Drill



(b) Round Drill



(c) Step Drill (Ø8 step)



(d) Step Drill (Ø9 step)

Fig. 3 Burr Height by modified Drill in SM45C

3.2.3 Chamfer 드릴에서의 버형성관찰

Chamfer 드릴에서는 60°와 40°의 chamfer 각을 갖는 형상에 대해 실험하였다. 가공은 1 차적으로 선단각 140°에 의해 가공이 진행되다가 chamfer 부에 도달해서는 Fig. 4 에서와 같이 60°와 40°의 선단각을 갖는 드릴 가공과 유사한 가공을 하게 된다. 여기서 일반 드릴에 비해서 미절삭부의 양이 작고 드릴의 진행방향으로의 굽힘 변형에 대한 강성이 크기 때문에 드릴 이탈 시 저항에 의한 굽힘 변형이 적어 Fig. 3(a)의 실험 결과에서와 같이 형상이 변경 되지 않은 드릴에 비해서 더 작은 버가 형성이 되고 또한 60° chamfer 에서보다는 40° chamfer 에서 미절삭부가 작기 때문에 더 작은 버가 형성 되었다.

3.2.4 Round 드릴에서의 버형성관찰

Round 드릴에서는 코너반경이 R1.5 와 R2.5 를 사용하였다. 여기서도 chamfer 드릴에서와 마찬가지로 R2.5 에서는 관통이 되기 직전에 강성이 충분하지 않은 미절삭부에 굽힘 변형이 일어나 R1.5 보다는 큰 버가 형성이 되었다.

코너 R 부의 시작점과 끝점을 연결하는 선을 chamfer 드릴의 chamfer 부로 여긴다면, chamfer 각도와 크기에 따른 버형성 원리가 유사하다. 정확한 코너 R 이 형성된다면 chamfer 각은 동일하고 길이는 코너 R 이 작은 경우에 작게 됨을 알 수 있다. 그러나 제작상의 문제로 인해 정확한 R 을 제작하기 어렵기 때문에 단지 chamfer 의 길이의 감소로 버형성이 감소되었음을 알 수 있다.

3.2.5 Step 드릴에서의 버형성관찰

스텝드릴에서는 스텝각이 다른 5 가지의 드릴과 스텝의 직경이 다른 드릴 2 가지를 가지고 실험을 하였다. 스텝각이 100°와 130° 에서는 스텝부에 의한 2 차 가공에서는 미절삭부가 드릴의 진행방향으로의 강성이 충분치 않아 끝부분에서는 1 차 가공에서 형성된 캡이 그대로 붙어 떠밀려 나오게 되어 스텝부와 드릴부의 직경의 단차만큼의 파열형의 버가 형성되게 된다.⁽¹²⁾ 스텝각이 75° 이하에서는 절삭이 마지막까지 진행이 되어 작은 크기의 버가 형성이 되었고 Fig. 6 에서와 같이 스텝의 직경이 큰 쪽이 미절삭부의 절삭량이 작아 상대적으로 작은 버가 형성 되었다.

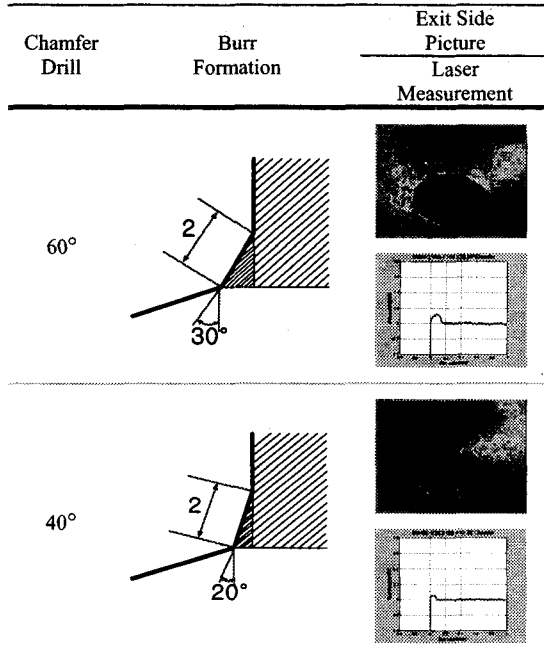


Fig. 4 Schematic Illustration of Drilling Process when drill exits with chamfered drill

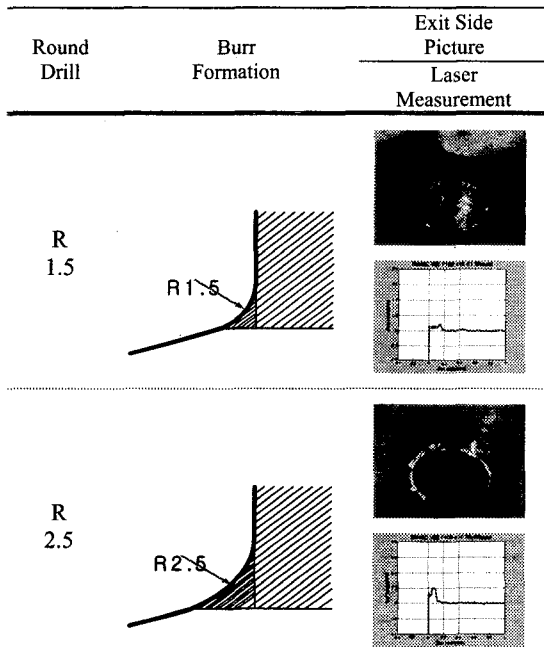


Fig. 5 Schematic Illustration of Drilling Process when drill exits with rounded drill

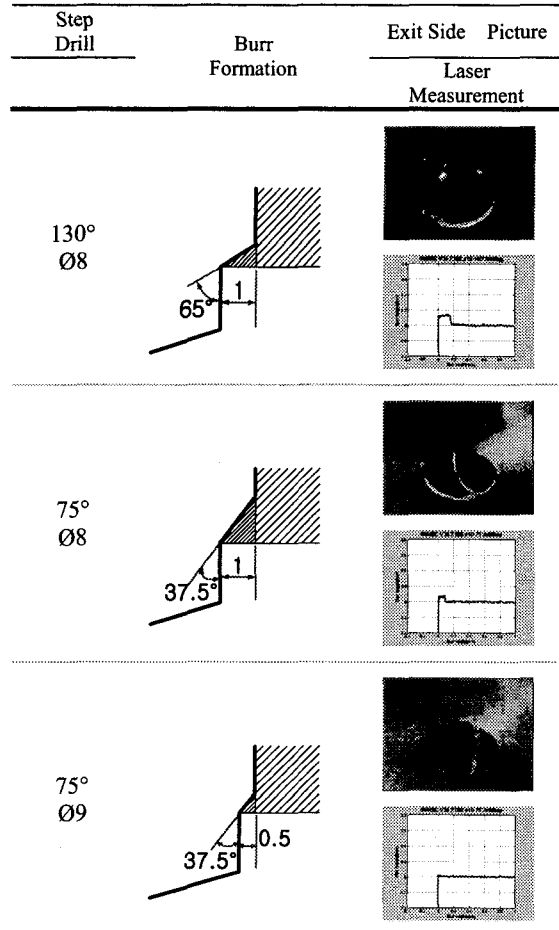


Fig. 6 Schematic Illustration of Drilling Process when drill exits with step drill

3.3 드릴 형상 변경에 따른 피삭재 별 버형성 특성

3.3.1 실험조건

각기 다른 물성치를 가진 피삭재에서 변화된 형상의 드릴을 가지고 실험을 하였다. 실험에 사용된 피삭재의 물성치는 Table 3 과 같고 절삭조건은 Table 4 와 같다.

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

Table 4 Experiment Conditions with developed Drill in each material

Drill	Material	Speed (m/min)	Feed (mm/min)	Coolant
HSS Drill	SM45C	35	150	Dry
Carbide Drill	SS400			
Chamfer Drill	A6061			
Round Drill	A2024			
Step Drill				

3.3.2 실험결과

Fig. 7 은 주어진 4 가지의 피삭재를 각각의 드릴에 대하여 구멍가공을 실시한 후에 버 크기에 대하여 나타내었다. 여기서 선단부의 포인트 부분에서 찢어져서 발생하는 파열형의 버는 형상을 수치화하기 불가능하여서 그래프상에서는 제외 시켰다.

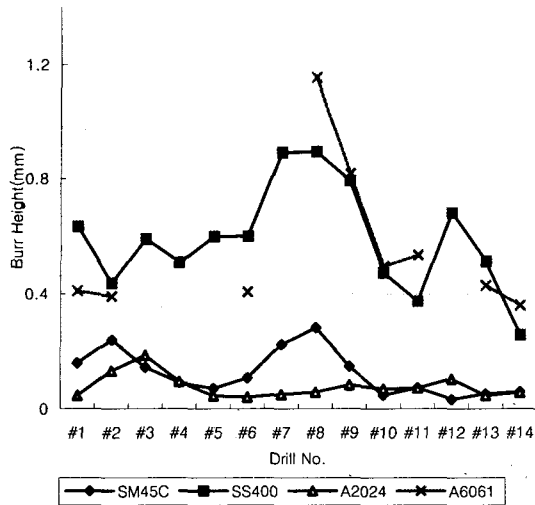


Fig. 7 Burr Height by Developed Drill in each material

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.

3.3.3 피삭재 별 버형성 특성

SM45C 에서는 Fig. 3 과 같이 형상별로 버형성 특성이 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 비교적 큰 버가 형성이 되었고 스텝각도에 상당히 큰 변화를 나타내는데 스텝각이 75° 이상(#7,8,9,12)에서는 파열형에 가까운 큰 버가 형성이 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 임계 두께의 차이 때문이다.

Drill No.	#8 (100°)	#9 (75°)	#10 (60°)	#11 (40°)
Burr Shape				

Fig. 8 Burr Formation by step drill with various step angles in SS400

Drill No.	SM45C	SS400	A2024	A6061
#2				
#14				

Fig. 9 Burr Formation of Step drill compared with general carbide drill in each material

SS400 과 A6061 그리고 SM45C 에서는 스텝각이 작아짐으로써 버의 높이가 작아짐을 알 수 있으며, Fig. 8 에서 이를 관찰할 수 있다. 또한 스텝의 크기가 1mm 로부터 0.5mm 로 감소할 때 버의 높이가 감소함을 SS400 과 A6061 에서 관찰할 수 있다.

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

Fig. 7 로부터 스텝각 40°, 스텝크기 0.5mm 인 #14 드릴의 경우에 가장 작은 버가 모든 재질에서 형성됨을 알 수 있다. 또한 Fig. 9 에서는 초경드릴 #2 와 #14 스텝드릴에 의한 각 재질에서의 버형성 결과가 잘 나타나 있다.

3.4 변경된 형상의 드릴에서의 절삭력 측정

3.4.1 실험조건

각 형상의 드릴에서의 추력과 회전력을 측정하여 변경된 형상에서의 드릴의 안정성과 절삭력의 변화가 버의 형상에 미치는 영향을 관찰하고자 실험을 하였다. 피삭재는 A6061 과 SM45C 를 사용 하였고 절삭조건은 Table 5 와 같다. 절삭력 측정은 마모의 효과를 배제하기 위하여 한번도 가공에 사용되지 않은 드릴을 사용하였고 실험 장치도는 Fig. 10 과 같다.

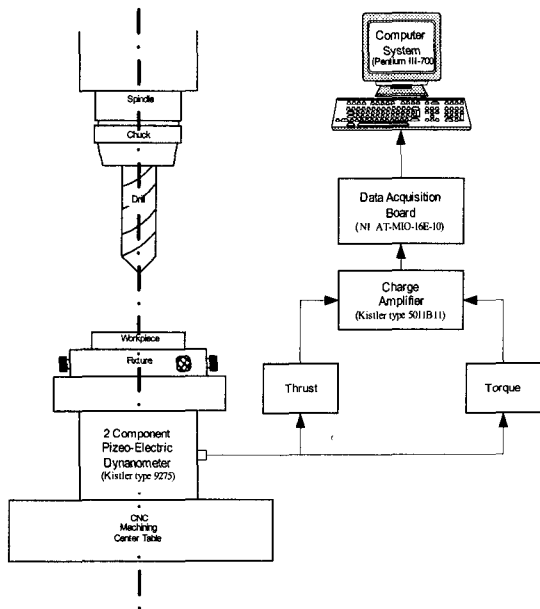


Fig. 10 Schematic Illustration of Experimental setup and Data acquisition system

Table 5 Experiment Conditions of Cutting force with developed Drill

Drill	Material	Speed (m/min)	Feed (mm/min)	Sampling rate
HSS Drill				
Carbide Drill	SM45C	35	150	Dry
Chamfer Drill	A6061			
Round Drill				
Step Drill				

3.4.2 실험결과

Fig. 11 은 절삭력 측정 결과를 각 드릴 별로 나타낸 것이다. 그림은 SM45C 와 A6061 에서의 드릴 각 형상에 대한 결과이고 절삭력의 크기는 강인 SM45C 에서 2 배정도 더 큰 값이 나왔다. 그리고 코너부의 인선에서는 chamfer, round, step 모두가 불안정한 절삭 상태를 보여주고 있다.

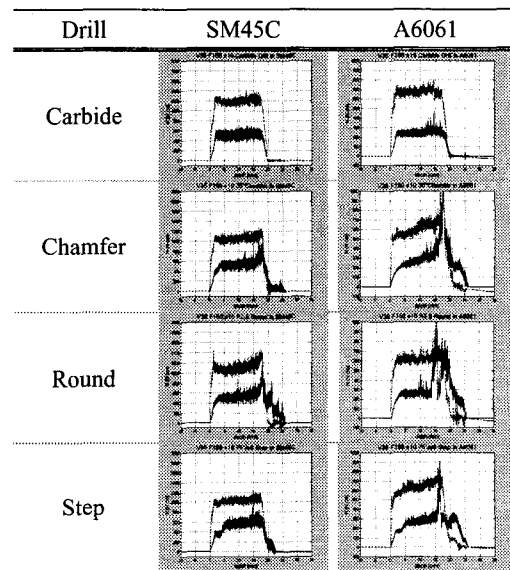
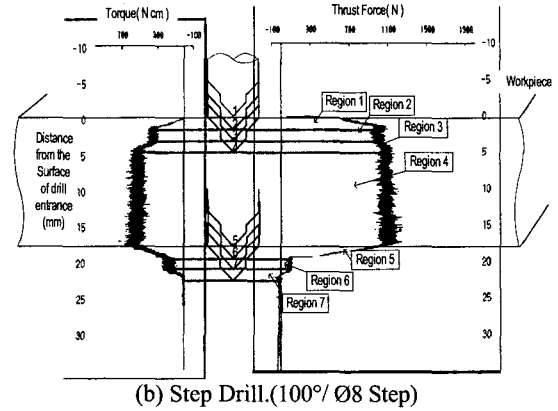


Fig. 11 Cutting force by developed drill in A6061, SM45C

3.4.3 스텝 드릴에서의 절삭력의 변화

Fig. 12 는 절삭이 진행되는 과정에 따라서 발생하는 추력과 회전력을 동시에 나타낸 그림이고 Fig. 13 은 그에 따른 각 영역별로 드릴의 진행에 따라 절삭을 단계적으로 실시하여 그 단면을 나타낸 그림이다. 그림(a)에서는 원래 형상의 드릴에서

의 절삭력을 표현한 것인데 절삭이 진행 되는 과정에서 진입하는 지점과 관통지점에서 비교적 일정한 값으로 증감을 보여주며 피삭재 내부절삭에서는 원활한 칩 배출과 안정된 절삭으로 균일한 값을 보여주고 있다. 그림(b)에서는 스텝드릴에서의 경우를 나타내었는데 최초 진입지점에서부터 그림의 region 1~2 까지는 그림(a)와 동일하고 스텝각이 있고 스텝단이 나타나는 region 3 도 일정하게 증가를 보여준다. Region 4 에서는 선단각과 스텝각에서 동시에 가공이 진행되는 부분인데 가공 깊이가 깊어질수록 추력과 회전력은 약간씩 증가하게 되는데 이것은 마모가 전혀 되지 않은 드릴을 사용 하였으므로 선단부와 스텝부 두 곳에서 생성되는 칩의 원활하지 못한 배출이 원인이다. 다음으로 region 5 에서는 선단각이 출구 면을 통과하면서 추력이 회전력에 비해서 더 빠르게 감소하고 region 6~7 에서는 회전력이 비교적 높은 값을 나타내게 된다. 이것은 진입 시 region 2 에서는 선단부의 절삭이 시작되어 진행되고 있고 region 6 은 출구부에 이미 선단부는 통과했고 스텝단 부분만이 회전력에 영향을 미치기 때문이다. 이 부분의 길이는 스텝길이 L 에 의해서 결정하며 선단부 가공과 스텝부 가공을 분리하여, 선단부에서 형성된 버를 유지하고 있는 상태이다. 이때의 저항 크기는 스텝부의 크기에 의해서 결정되며, 스텝부에 의한 새로운 2 차 버를 형성하게 된다. 물론 이때에 저항이 클수록 큰 2 차 버 형성이 기대된다. 실제 2 차는 Fig. 6 에 나타난 region 7 에서의 거동으로 결정된다. Fig. 6 에서 130°의 스텝각에서는 남은 부분의 굽힘 변형으로 급격하게 저항의 감소가 있으며 40°와 같은 작은 스텝각의 경우에는 점진적인 저항의 감소가 발생하며 절삭량이 많아짐으로써 버형성이 최소화 된다.



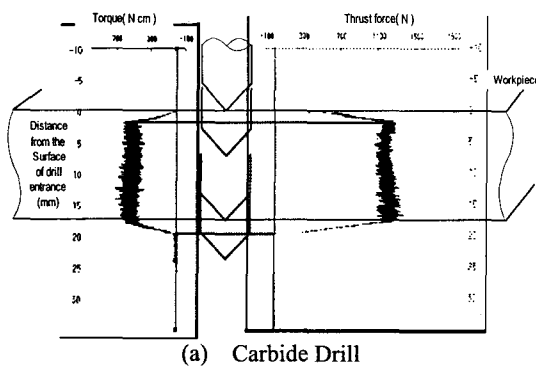
(b) Step Drill.(100°/Ø8 Step)
Fig. 12 Cutting Thrust and Torque according as distance from the surface of entrance in drilling process

Entry Process		Exit Process	
Region	Region	Region	Region
1	2	5	6
2	3	7	8
3	4		
4			

Fig. 13 Drilling Process in each region (100°/Ø8Step drill)

3.4.4 형상별 절삭력의 변화

Fig. 12 에서와 같이 형상이 변경된 드릴에서는 절삭과정의 중간 지점까지는 더 작은 추력을 보여주며 일정하게 증가하게 되는데 연성이 큰 재질인 A6061 에서는 단이 진 부분에서 절삭력이 크게 증가하게 되고 이로 인해 대부분이 파열형의 버를 형성하게 됨을 볼 수 있다. 그리고 SM45C 에서는



(a) Carbide Drill

스텝드릴과 chamfer, round 드릴의 절삭력을 비교해 보면 일반드릴에 비해 A6061 과 마찬가지로 일정하게 증가하게 되나 그 값은 매우 작은 값을 보여주며, 관통 직전의 스텝부에서는 비교적 안정된 절삭 신호를 보여 주지만 chamfer, round 에서는 절삭력의 변화가 큰 불안정한 절삭 상태를 보여준다. 이는 절삭 깊이가 더욱 더 깊어지거나 드릴의 마모가 진행 될 때에는 드릴의 수명에 많은 영향을 미치게 된다.

4. 결론

버형성 최소화를 위한 방안으로서 드릴 형상의 변경에 의한 방법을 적용하였다. 원래의 형상과 날부에 chamfer 를 주어 가공한 형상의 chamfer 드릴, 날부에 R 을 준 형상의 round 드릴 그리고 스텝각 과 스텝직경이 주어진 스텝드릴을 사용하였다.

1. 제시된 3 가지 형상의 드릴은 형상을 변경하지 않은 드릴에서 형성된 버에 비해 작은 버가 형성 되었으며 그 중에서 스텝드릴에서 스텝각이 75°이하와 스텝직경이 $\phi 9$ 인 드릴에서 버가 거의 없는 구멍가공이 이루어졌다.

2. 재질 별 버형성 특성을 보기 위하여 물성치가 다른 4 가지 재료에 대하여 실험을 실시 하였다. 여기서 비교적 연성이 큰 A6061 과 SS400 에서는 원활하지 않은 칩 배출과 절삭에 의해 파열형의 버가 나타나기도 하였으나 전반적으로는 모든 재질에서 스텝각이 75°이하와 비교적 큰 스텝직경을 갖는 드릴에서 비교적 작은 버가 형성 되었다. 그리고 취성이 큰 A2024 에서는 모든 드릴에서 매우 작은 버가 형성 되었다.

3. 절삭력 실험에서는 형상이 변경된 드릴의 코너부 인선에서 불 균일한 신호가 나왔으며 이는 드릴의 안정성과 수명에 영향을 주는 요소가 된다. 그러나 특수 용도의 버 최소화를 목적으로 하는 가공에서 사용 할 수 있고, 또한 생성된 버를 제거하는 비용을 따져 본다면 스텝 드릴의 사용이 비용 절감에 있어서 더 유용한 방법으로 제시 될 수 있다.

후 기

본 연구는 국가 지정 연구실 사업의 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Gillespie, L.K., "Deburring Precision Miniature Parts," Precision Engineering, Vol. 1, No. 4, pp. 189-198, 1979.
2. Gillespie, L.K., "Deburring Technology for Improved Manufacturing," SME, Dearborn, MI, 1981.
3. Gillespie, L.K., "Burr Produced by Drilling," Bendix Corporation, Unclassified Topical Report BDX-613-1248, December 1975.
4. Pande. S. S., Relekar, H. P., "Investigations on Reducing Burr Formation in Drilling," Int. J. Machine Tool Design Research, Vol. 26, No. 3, pp. 339-348, 1986.
5. Takazawa, K., "The Challenge of Burr Technology and Its Worldwide Trends," Buu. of Japan Society of Precision Eng., Vol. 22/3, pp. 165-170, Sept. 1988.
6. Stein, J. M., "Burr Formation in precision Drilling of Stainless Steel," Ph. D. Dissertation, University of California at Berkeley, 1995.
7. Sung-Lim Ko, Jing-Koo Lee, "Analysis on Burr Formation in Drilling with New Concept Drill," J. of Materials Processing Technology, Vol. 113, pp. 392-398, 2001.
8. Sofronas, A., "The Formation and Control of Drilling Burrs," Ph. D. Dissertation, University of Detroit, 1975.
9. 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.
10. 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.
11. Lee, G.B., "Digital Control for Burr Minimization in Drilling," Ph. D. Dissertation, University of California at Berkeley, 1989.
12. 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, Inchon, pp. 66-76, 1999.
13. 고성립, 김진호, "구멍가공 시 스텝드릴을 이용한 버형성 최소화를 위한 연구," 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 10 호, pp. 132-140, 2000.