

구멍가공시 스텝드릴을 이용한 버형성 최소화를 위한 연구

고성림*, 김진호**

Minimization of Burr Formation in Drilling with Step Drill

Sung Lim Ko*, Jin Ho Kim**

ABSTRACT

In conventional drilling, burr geometry can be changed according to the variation of drill geometry like point angle, rake angle. Step drilling is proposed to minimize the burr formation in drilling operation. The burr formed in first cutting can be removed in second cutting by the edge in step. The burr formed in second cutting by the edge in step can be minimized according to the change of geometry like, step angle and depth. The mechanism in step drilling is analyzed. Some step drills are applied to drilling the input shaft which is used for vehicle steering. To measure the burr formed in drilling, laser and height gage are used.

Key Words : Drilling(구멍가공), Conventional drill(일반드릴), Step drill(스텝드릴), Burr minimization(버형성 최소화), Point angle(드릴선단각), Step angle(스텝부 선단각), Laser burr measurement(레이저를 이용한 버측정)

1. 서론

제품에 대한 품질 보증과 가격 경쟁력을 갖추어야 세계에서 살아남을 수 있는 시대를 맞이하여 국제 경쟁력을 갖기 위해서는 고객을 만족시킬 수 있는 우수한 제품의 생산이 필연적임은 물론, 제품의 초기품질이 제품의 수명이 다할 때까지 유지되어 고객을 만족시키는 것이 중요하다. 그런데 대부분의 제품이 초기 품질은 만족하더라도 시간이 경과함에 따라 많은 품질문제를 일으킨다. 제품 품질의 연속성에 상당한 영향을 미치는 것이 표면과 모서리(edge)의 처리상태이다. 가공이 이루어지면 모서리에 발생할 수밖에 없는 버(burr)는 표면손상, 조기

마모등 심각한 품질 문제를 발생시킨다. 따라서 생산 기술자는 버를 제거하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

독일에서는 1975년부터 모서리의 상태에 대한 중요성을 인식하여 표준으로 설정하여 설계단계에서 관리하고 있으나 국내의 상황을 보면, 제품 생산 기술자는 물론 제품 설계자도 버에 대한 기본적인 이해가 정확히 안되어 있기 때문에 버를 예방할 수 있는 형상을 갖는 제품을 설계하지 못하고 있는 실정이다^[1]. 따라서 생산 기술자는 쉽게 제거 가능한 곳에서만 버를 제거하고 있는 실정이며, 제품에 치명적인 품질문제를 발생시키지 않는다면, 제거하기 어려운 곳에서는 가공순서를 조정하여 버를 최

* 건국대학교 기계공학과
** 만도기계(주)

소화시킴으로서, 버에 관련된 문제를 해결하고 있다.

교차하는 구멍의 드릴가공에서도 역시 버의 문제가 심각하다. 그러나 서로 교차되는 부분의 형상을 변경하여 버를 최소화하기도 어렵고 또한 가공순서를 변경하여 버의 발생을 최소화하기도 어렵다. 기존에 연구된 몇 가지의 버 발생의 최소화를 위한 드릴의 경우, 실제 적용시 공구 수명을 상당히 단축시킴에 따라 실제 적용되지 못하고 있다^[2]. 따라서 대부분의 드릴 구멍이 관통하는 제품에는 버를 제거하는 디버링 공정이 추가된다. 그런데 디버링은 이미 발생한 버를 제거하는 것으로 작업방법에 따라, 고가의 신규 기계의 증설이 필요하거나, 새로운 작업공구가 필요하게 되어 새로운 투자가 요구된다. 또한 디버링 공정을 수행하는데 소요되는 시간은 버의 높이와 두께의 크기에 비례한다. 이것은 가공시 버의 높이와 두께를 감소시키면 후공정인 디버링을 수행하기가 쉬워진다는 것을 의미한다^[3]. 따라서, 드릴 가공에서도 버의 높이와 두께를 최소화할 수 있는 방법이 필요하게 되었다^{[4],[5]}.

본 연구는 구멍가공시 발생하는 버 형성의 크기를 최소화시키기 위한 방법의 하나로서 새로운 형상의 드릴을 개발하였다. 동일한 규격의 구멍가공을 위하여 스텝이 부착되어 있는 형상의 스텝드릴을 개발하여 버 형성 실험을 수행하였다. 스텝드릴과 일반드릴에 의한 구멍가공시 버 발생 결과를 비교하였으며 또한 스텝드릴의 형상변화에 따른 버 형성 변화도 관찰하여 최적화를 위한 시도를 하였다. 적용 예로서 단조 가공한 S43C강의 실린더 가공에 적용함으로써 버 형성의 최소화를 시도하였다.

2. 스텝드릴에 의한 버 형성 해석

2.1 드릴의 형상 및 특징

드릴형상에 따라서 버 형성 원리가 달라진다. 앞에서의 연구에 의하면 Fig. 1에 나타나 있는 바와 같이 드릴 가공시 버 형성을 크게 3가지로 구분하였다^[6]. 3종류 버 형태의 분류는 드릴 관통시 발생하는 변형으로 인한 크랙의 발생 위치에 따라서 type A는 피삭재의 취성으로 인하여 허용 소성 변형량이 작아서 매우 작은 버가 발생하는 경우이고, type B와 C의 경우는 버 형성 중 크랙의 발생 위치에 의해서 캡(cap)이 발생하는 형태와 파열형으로

구분된다^[6]. 이와 같은 분류는 일반적인 드릴의 형태로서 Fig. 2(a)와 같이 단(step)이 없는 형태의 드릴에서 적용되며 버 형성의 최소화를 위하여 우선적으로는 type C의 매우 크고 불규칙한 버의 형태를 비교적 균일하고 작은 type B의 형태로 유도하여야 한다. 이를 위하여 드릴의 선단각을 크게하여 드릴 바깥날부에서 노치현상을 발생시킴으로서 드릴 선단부보다는 드릴 외곽에서 크랙을 유발시킴으로서 캡이 발생하는 균일한 버가 type B와 같이 발생됨을 관찰하였다. 달리 말하면 드릴의 선단각이 작아질수록 드릴의 선단부에서의 크랙발생과 드릴 바깥날부에서의 소성변형량이 커짐으로 버의 형태가 불규칙적이고 커지는 경향을 발견하였다. 이와 같은 드릴의 형상적인 특성 이외에도 연성이나 파단변위량과 같은 피삭재의 특성에 따라서 크랙의 발생위치와 소성변형량이 달라지고 버의 크기가 달라진다. 실험에 사용된 드릴의 형상적인 특징은 Table 1과 같다.

2.2 버형성 실험 및 관찰

드릴의 형상변화와 피삭재의 변화에 따른 각 드릴에서의 버 형성을 관찰하고 구멍가공시 발생하는 절삭저항을 측정하기 위하여 다음과 같은 버 형성 실험을 실시하였다.

- 드릴 : conventional drill(#1), step drill(#2)
- 피삭재 : S45C (5mm 두께)
- 가공조건 : 주축회전수 1000rpm,
이송속도 50, 100mm/min
건식가공

Fig. 2에 나타난 바와 같이 (a)의 경우에는 선단각이 150°로서 강가공용 강력드릴이다. 이 때에는 칩의 절단이 원활하여 Fig. 3에 나타난 칩의 형상이 이송속도 50mm/min에서 하단부에 있는 짧은 칩이 주를 이루고 있다. 이송속도 100mm/min에서는 대부분 짧은 형태의 칩이 발생하고 있다. 그리고 진입 및 관통시점에는 불안정한 긴 형상의 칩이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 앞의 연구에서 이미 관찰한 연구결과로서 전통적인 고속도강 드릴의 선단각이 118°인 경우에 비하여 가공성능이 우수한 근본적인 차이점이다^[6]. Fig.2(b)는 단을 포함하는 경우로서 Table 1에 나타난 대로 1차 구멍가공이 직경이 2.0mm이고 선단각이 115°의 드릴로서 이루어지고 2차 가공이 단의 각도가 77°이고 최종적인 구멍의 직경은 드릴 #1과 같은 3.5mm의

Table 1 Specification of Drill Geometry

Drill	θ_1 (point angle)	D_1 (diameter)	θ_2 (step angle)	D_2 (diameter)	helix angle
# 1 conventional drill	150°	0 mm	0°	3.5 mm	30°
# 2 step drill	115°	2.0 mm	77°	3.5 mm	30°

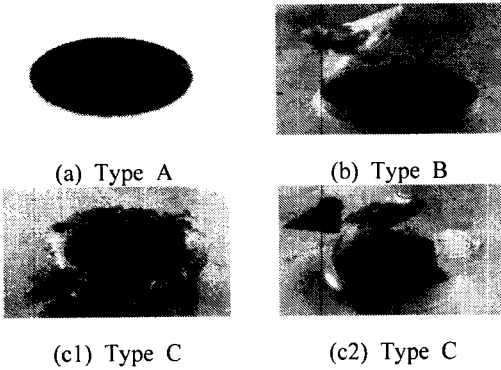
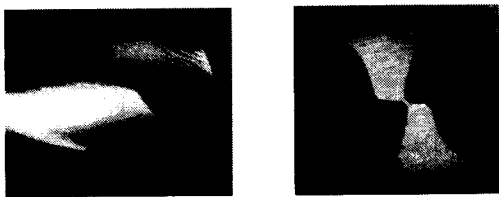
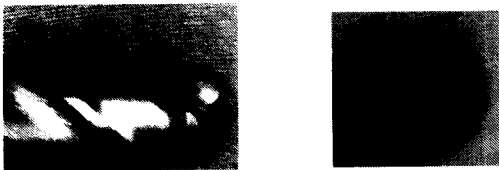


Fig. 1 Classification of Burr Formation in Drilling



(a) Conventional drill



(b) Step drill

Fig. 2 Configuration Drills

가공을 하고자 한다. 1차 선단각과 드릴 홈의 형상으로 인하여 원활한 칩 흐름이 이루어지지 못하고 Fig. 3에 나타난 대로 전체적으로 길고 불규칙적인 칩이 형성되고 있다. 이와 같은 칩 흐름의 영향으로 인한 절삭저항의 측정결과가 Fig. 4에 각 드릴과 절삭조건에 대하여 나타나있다. 칩 흐름의 원활성에 대한 관찰에서 언급한대로 드릴 (a)의 경우의 평균 이송방향의 절삭저항의 크기가 이송속도가 50과 100mm/min의 경우에 Fig. 4(a)와 (b)에 나타난 바와 같이 230N과 380N인 반면에 스텝드릴인 경우에는 직경 2mm의 1차 가공에서 Fig. 4(c)와 (d)로부터 개략적으로 270N과 480N의 평균절삭저항 크기를 나타낸다. 스텝드릴의 경우, 단이 있는 부분이 구멍가공을 시작하기 이전에 측정된 절삭저항의 크기가 드릴 직경이 2mm로서 작음에도 불구하고 3.5mm 직경의 강력드릴의 경우보다 절삭저항이 크게 나타나는 것은 선단각과 단면형상으로 인한 칩 흐름의 원활성의 어려움으로 인한 것이다. 그러므로 1차 구멍가공의 향상을 위하여서는 선단각과 단면 형상에 대한 연구가 계속되어야 한다. 스텝드릴에서 1차 구멍을 가공한 후에 단이 있는 부위의 구멍가공시의 절삭저항이 Fig. 4(c)와 (d)에 나타나 있다. 단의 크기에 의해서 결정되는 절입 깊이와 단에서의 공구경사각의 크기에 의해서 상대적으로 작은 절삭저항을 나타내고 있음을 관찰할 수 있다. 또한 칩의 형상도 스텝드릴에서는 1차 가공에서 나타나는 규칙적인 연속 칩과 단에서의 절삭에 의한 매우 얇고 긴 형태의 2종류의 칩이 형성되고 있다. 이와 같은 두 종류의 드릴에 의한 구멍가공후

	50 mm/min	100 mm/min
Conventional Drill		
Step Drill		

Fig. 3 Chip Formation in each Drilling Operation

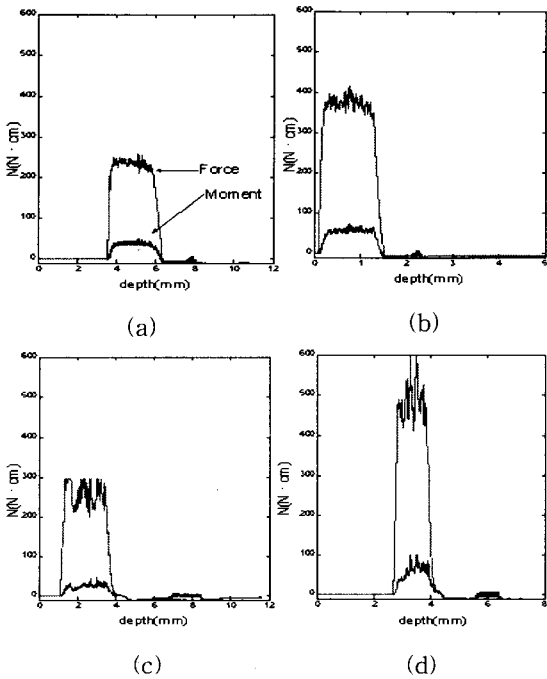


Fig. 4 Cutting Resistances in each Drilling Operation

발생하는 버의 형상이 Fig. 5에 나타나 있다. 이전 연구의 결과로서 표준 강력드릴에 의한 구멍가공시 캡이 형성되는 균일한 버(Fig. 1에서 type B)가 형성되었다[6]. 반면에 스텝드릴에서는 1차 가공의 결과로서는 매우 불안정한 파열형의 버(Fig. 1에서의 type C)가 형성되지만 단계에 의한 2차 가공시 1차 가공에서 발생한 불규칙한 버의 제거와 함께 Fig. 4에서와 같은 매우 작은 절삭저항의 2차 가공의 결과로서 매우 작은 버가 형성됨을 관찰할 수 있다. Fig. 5에서 스텝드릴에 의해서 발생하는 버의 형태는 매우 작고 미세한 버가 가볍게 부착되어 있는 형태이다. 이와 같은 버는 버 제거가 매우 용이하여서 효율적인 버 제거가 가능하다[7]. 버의 크기를 측정하기 위하여 하이트 게이지(height gage)를 이용하여 버의 평균 높이를 측정하였다. 드릴 #1에서는 버의 높이가 0.13-0.17mm를 나타내며 드릴 #2에서는 약 0.05mm의 버 높이를 Fig. 6에서 나타내고 있다.

2.3 스텝드릴에 의한 구멍가공시 버형성원리

앞 절에서 언급한 스텝드릴에 의한 가공시 버형성 과정을 Fig. 7에 도식적으로 나타내었다. 각 단계별로 실험한 후 구멍의 출구부로부터 관찰한

결과가 Fig. 8에 나타나 있다. 스텝드릴에 의한 구멍가공시 버 형성을 크게 두 단계로 나눌 수 있다.

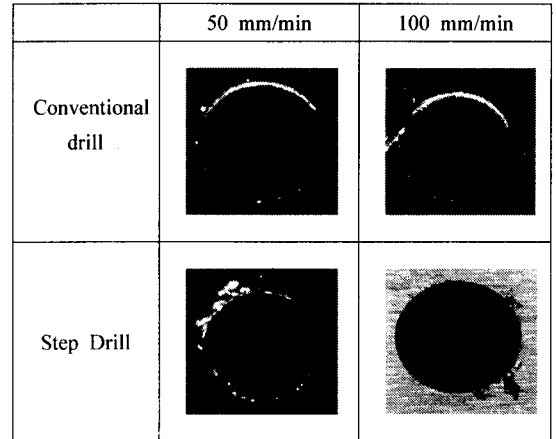


Fig. 5 Burr Formation in each Drilling Operation

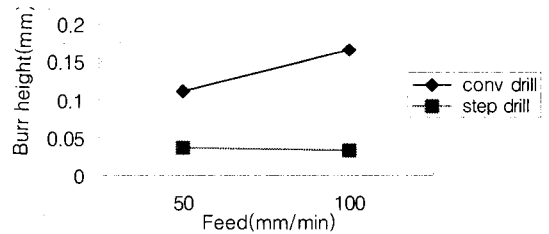


Fig. 6 Burr height in each Drilling Operations

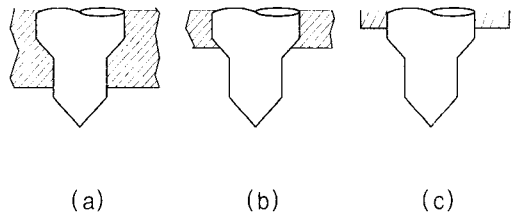


Fig. 7 Burr formation processes in step drilling

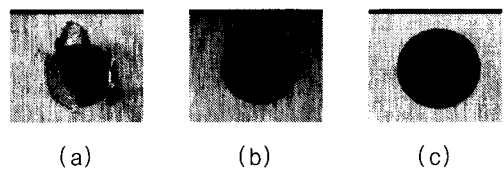


Fig. 8 Observation of burr formation in each step drilling operation

1단계는 1차 구멍가공으로서 치즐에지에 의한 센터부의 구멍가공이 이루어지고 그 결과로서 1차 버 형성이 Fig. 7(a)와 같이 이루어진다. 2단계로서 드릴의 스텝에 의한 구멍확대 가공으로서 1차 버의 제거가 스텝부의 앞부분의 날에 의해서 우선적으로 Fig. 7(b)와 같이 이루어진 후에 드릴 스텝부의 외부에 있는 절삭날이 구멍을 관통하면서 2차 버 형성이 Fig. 7(c)와 같이 이루어진다.

드릴의 선단부에 의한 1차 구멍가공에서는 Fig. 2에서의 일반 드릴에 의한 구멍가공과 동일하다. 그러므로 1차 구멍가공에 의한 버 형성은 Fig. 1에 도시되어 있는 세 종류의 버가 드릴의 형상과 피삭재에 의해서 결정된다. 스텝부의 날에 의한 2차 구멍가공은 Fig. 2(b)에 나타나 있는 스텝부의 경사각도 θ_2 와 단차의 크기 $(D_2 - D_1)/2$ 에 의해서 표현될 수 있다. 그리고 스텝날부의 공구경사각의 크기에 의해서 절삭성이 결정된다. 드릴의 선단부에서는 캡 형성 중에 파열이 발생하지 않도록 선단각이 큰 경우가 유리하여 Fig. 2에서 type B와 같은 균일한 형태의 작은 버 형성이 유도된다. 그러나 스텝 드릴에서는 구멍이 이미 형성되어 있는 상태에서 스텝 경사각이 크면 중앙으로부터의 파열과 얇은 살로 인하여 변형하기 쉬우며 또한 중앙으로부터의 파열로 인하여 얇고 큰 버가 형성될 것을 예상할 수 있다. 반면 스텝 경사각이 작으면 스텝부가 가공할 부위가 강성이 강하여 절삭이 잘 이루어져서 1차 구멍가공에서 형성된 버가 용이하게 제거되고 관통 완료시에 작은 버가 형성될 것이 예상된다. 이와 함께 스텝 단차 크기에 의해서도 2차 버 형성에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 스텝 단차가 크면 절삭량이 많아져서 이에 비례하여 큰 버가 형성되기도 하며 매우 작은 크기의 단차는 절삭이 제대로 이루어지지 않아서 1차 구멍가공에서 형성된 버가 2차 스텝 구멍가공시에 제거되지 못할 가능성이 매우 크게된다. 그러므로 스텝 단차의 크기도 버 형성의 최소화를 위하여 적정 크기가 존재함을 알 수 있다.

2.4 스텝 드릴의 형상 변화에 의한 버 형성 변화

스텝드릴의 형상 변화에 따른 버 형성의 변화를 관찰하기 위하여 Table 2에 나타나 있는 여러 종류의 드릴에 의한 버 형성 시험을 실시하였다. 절삭 조건은 1000rpm의 회전속도와 50mm/min의 이송속

도로 5mm 두께의 S45C를 구멍가공 하였다.

드릴 #1과 #2는 Fig. 2에 나타나 있는 단이 없는 2개의 일반 드릴을 사용하여 단차가공을 실시하였다. 1차 가공을 위하여 3.5mm 직경의 일반드릴로 구멍을 관통하고 2차 스텝가공을 위하여 직경이 4.5mm인 일반드릴을 이용하여 3.5mm 구멍을 재가공하였다. #1에서는 150° 선단각을 #2에서는 139°의 선단각을 지닌 드릴로 가공하였다. 이렇게 함으로써 스텝각이 150° 과 139° 인 스텝드릴을 이용하여 구멍가공할 때 발생하는 버를 동일하게 얻을 수 있을 것으로 기대하였다. 드릴 #3-8까지는 단이 있는 스텝드릴로 구멍가공을 실시하였다. 스텝 드릴의 경우에는 114° 에서 133° 에 이르는 다양한 선단각과 스텝부의 각도 θ_2 는 59° 에서부터 74° 에 이르는 다양한 형태를 나타내고 있다. 스텝가공시 또 다른 형상 특징은 단차의 크기 $(D_2 - D_1)/2$ 로서 #1-2에서는 0.5mm, #3-4에서는 약 0.65mm, #5-7에서는 약 0.48mm 그리고 #8에서는 약 0.72mm의 단차를 지니고 있다. 스텝을 이용한 구멍가공 결과 발생한 버의 크기는 Fig. 9에 나타나 있다. 버의 형상 측정은 레이저를 이용한 버 측정 시스템을 이용하였다¹⁸⁾.

먼저 스텝부의 각도의 변화에 따른 버 형성 변화를 관찰하고자 한다. Fig. 9로부터 #3-8에서 발생한 버의 크기는 약 0.05mm 정도의 크기를 나타내고 있는 반면에 #1과 #2에서는 약 0.3mm의 버를 나타내고 있다. 이것은 스텝각이 150° -139° 이고 단의 크기가 0.5mm인 경우에 발생하는 버의 크기가 스텝각이 59° 에서부터 74° 까지 이고 단의 크기가 0.48-0.72mm에 이르는 경우에 발생한 버보다 훨씬 더 크음을 알 수 있다. 또한 드릴 #1과 #2에 의한 일반 구멍가공의 결과 동일한 절삭조건에서 0.1-0.2mm의 버 높이를 나타냄을 고려할 때, 이 결과로부터 #1과 #2에서의 큰 버는 스텝각도의 영향으로 더 큰 버가 발생한 것을 알 수 있다.

앞 절에서 버 형성 기구를 예상한 바와 같이 Fig. 10에서 스텝각도가 큰 경우 ($\theta_2 > 130^\circ$)에는 스텝부 가공시 스텝부의 미절삭부가 얇게 되어서 절삭저항에 대한 강성이 작아서 굽힘이 발생하기 쉽다는 것을 예상할 수 있다. 이것은 버의 경사각이 90° 에 가까움을 레이저 측정결과를 관찰함으로써 알 수 있다. 이 경우는 절삭에 의한 버가 아니라 이송방향으로의 굽힘에 의해서 매우 큰 버가 발생한

다. 이에 반하여 스텝각이 작은 경우 ($\theta_2 < 75^\circ$)에는 스텝부의 미절삭부가 충분한 강성을 유지하고 있어서 절삭이 마지막 부분까지 이루어질 수 있음을 예측할 수 있다. 이 경우에는 비교적 큰 절삭저항으로 인한 소성변형에 의한 버 형성을 예상할 수 있다. 각 경우에 발생한 버의 레이저를 이용한 측정 결과 중에서 가장 대표적인 버 형상 측정결과를 Fig. 10에 도시하였다.

스텝각이 큰 경우에는 버의 형상이 굽힘에 의해서 비교적 높고 얇은 버가 형성되었음을 확인할 수 있고 스텝각이 작은 경우에는 소성변형에 의해서 매우 높이가 작고 버의 두께가 비교적 큰 형상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 버 형성 원리를 가장 선명하게 보여주는 예가 Fig. 10의 사진에 나타나있다. 스텝각이 큰 경우 버 형성 결과를 나타내는 사진에서는 1차 가공시에 발생한 칩이 2차 가공시에 발생하는 굽힘에 의해서 탈락되지 않고 그대로 부착되어 있음을 알 수 있다. 즉 2차 가공시에 1차 가공시 발생한 버 제거가 이루어지지 않고 추가로 굽힘에 의한 버 형성이 이루어졌음을 알 수 있다. 버 형성 및 버의 효율적인 제거를 위해서는 당연히 스텝각이 적절하게 작은 값을 유지해야 함을 알 수 있다. 이상의 두 가지 버 형성 원리의 경계가 되는 스텝각도가 존재하리라 예상되기 때문에 이에 대한 추후의 연구가 드릴형상 설계를 위하여 이루어져야 한다. 다음에는 스텝의 단차의 크기에 의한 버 형성에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. Table 2로부터의 관찰에 의하면 스텝각이 작은 경우인 #3-8의 경우에는 단차의 크기가 0.48mm로부터 0.72mm까지 변하고 있지만 이로 인한 버 형성 크기에 미치는 영향은 매우 작은 것으로 여겨진다.

Fig. 10으로부터 직관에 의해서 스텝각이 큰 경우에는 굽힘에 의해서 버가 형성되므로 단차가 작을수록 버 형성 크기가 작을 것이며 스텝각이 작은 경우에는 절삭가공이 최종 단계까지 가능하기 때문에 단차의 크기가 버 형성 크기에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 예상할 수 있다. 그러나 스텝각이 너무 작은 경우에는 단차가 작아짐에 따라서 절삭이 이루어지지 않고 문지름 현상이 발생할 것임을 또한 예상할 수 있다.

3. 스텝드릴을 이용한 버형성 최소화 적용

Table 2 Specification of Drills for Burr formation Experiments

drill #	θ_1	θ_2	$D_1(\text{mm})$	$D_2(\text{mm})$	$L(\text{mm})$
1	150 °	137 °	3.5	4.5	
2	139 °	136 °	3.5	4.5	
3	63 °	120 °	3.156	4.5	0.763
4	64 °	114 °	3.214	4.5	1.478
5	59 °	129 °	2.563	3.5	1.309
6	74 °	125 °	2.544	3.5	1.163
7	59 °	118 °	2.076	3.5	1.401
8	77 °	115 °	2.0	3.5	1.40

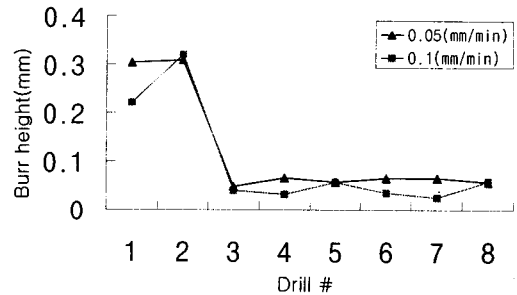


Fig. 9 Variations of Burr Height in step Drilling

step angle	situation	laser measurement	burr formation
$\theta_2 > 130$			
$\theta_2 < 75$			

Fig. 10 Detail observation of cutting in step drilling and measurement of Burr geometry

피삭재는 자동차 조향 부품 중 한가지로서, 조향 능력을 좌우하는 중요한 부품인 인풋 샤프트(input shaft)이며, 본 제품에 존재하는 버가 작동 중 탈락되면 오일 실을 손상시킴으로써 누유를 발생, 자동차의 조향능력을 상실시키는 치명적인 품질문제를 일으킨다.

형상은 Fig. 11과 같고 본 제품에는 $\varnothing 3.0$, $\varnothing 3.5$

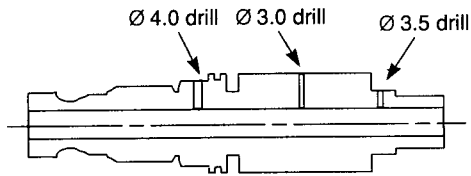


Fig. 11 Configuration of Input Shaft

및 Ø4.0 오일 패스 홀(pass hole)이 가공되어 있다. 각 지름별 드릴 가공시 내경에 발생하는 버가 품질 문제의 주 요인이다.

제품의 소재는 S43C를 단조가공하여 실린더 내경을 완성시킨 다음, 응력을 제거하기 위하여 풀림 처리한 결과 제품의 내경 표면부분의 조직이 내부의 조직보다 더 치밀함을 관찰할 수 있었다. 내경부의 표면경도 HV202로부터 2mm 깊이에서 HV246를 나타내었다. 사용한 일반드릴은 Table 2에서 사용한 드릴로서 Ø3.5 드릴, Ø3.0 드릴 그리고 Ø4.0 드릴을 적용하였고 스텝드릴도 Table 2에서 적용한 #3-#8과 유사한 형상의 드릴을 사용하였다. 머시닝 센터의 테이블 위에 제품의 한 부분을 콜릿 척(collet chuck)에 고정시키고 반대편은 센터로 지지한 다음, 일반드릴과 스텝드릴을 이용하여 홀 가공을 완료한다. 절삭조건은 절삭속도 33m/min, 이송량 0.06mm/rev로 하였다.

가공 후 제품을 축 방향으로 절단하여 드릴 캡의 존재유무를 확인한 다음 버의 높이를 측정했다. 버 높이의 측정에는 약간의 오차가 존재하더라도 측정의 편리성을 위하여 다이알 게이지를 사용하였다. 여기에서 발생할 수 있는 오차는 다이알 게이지의 누르는 압력에 의해서 버에 변형이 발생하여 높이에 변화가 생길 수 있는 것이다⁹⁾. 그러나 변형이 발생할 정도의 약한 버는 압축 공기로 불어낸 후 공정에서 쉽게 제거가 될 수 있는 항목이기에 무시하였다. 롤 오버(roll over) 상태의 버 크기는 버가 말려있는 상태에서 측정하였다. 그러나 버의 말려 있는 상태가 버의 두께 측정을 방해하기 때문에, 버에 발생한 말려있는 상태를 제거해야만 했다. 따라서 브러쉬를 이용하여 버를 제거하고 남은 버의 뿌리 부분을 공구 현미경으로 측정하였다.

일반드릴과 스텝드릴을 사용하여 버 형성 실험을 한 결과 형성된 버의 형상이 Fig. 12에 나타나 있다. Fig. 12(a)는 일반드릴 사용시 발생한 버로서

캡이 형성되었다. 이것은 Fig. 1에 나타난 type B의 형태로서 버 형성이 균일한 소성변형에 의해서 진행되다가 드릴 외곽날을 따라서 균일한 파단이 발생하였다. 대부분의 재료에서 선단각이 130° 이상인 경우에 발생됨이 이미 예측되었다⁶⁾.

Fig. 12(b)는 동일한 피삭재에서 동일한 드릴에 의해서 발생한 파열형으로서 Fig. 1에서 type C에 해당한다. 이것은 드릴 선단부의 진행시에 선단부에서 파단이 미리 시작하여 중심으로부터 외곽으로 파단이 진행된 결과이다.

이것은 인풋 샤프트(input shaft) 내부의 단조된 불규칙한 면의 상태와 혹은 관통시 출구부의 이탈각(exit angle)이 90°가 아닌 경우에 조기 파단이 중심부로부터 불안정한 상태에서 시작된 것으로 사료된다. 이와 같은 파열형 버의 방지를 위하여 가능하면 대칭인 관통구멍의 가공을 통하여 type B의 버를 유도하도록 해야한다.

또한 S43C의 풀림처리한 재질로서 좀 더 질긴 특성으로 인하여 type C의 파열형이 많이 발생하였음을 알 수 있다. 이에 비하여 스텝 드릴의 경우에는 캡의 발생이 전혀 없는 균일한 형태의 버로서 type A를 주로 나타내고 있다. 물론 이 경우는 Fig. 10와 같이 스텝각이 작은 경우로서 매우 작은 버가 발생하였다. 버의 형상을 구체적으로 측정하기 위하여 cap의 발생으로 인하여 측정이 어렵기 때문에 캡이 발생된 위치를 피하여서 레이저를 이용하여 측정하였다.

Fig. 12에서 각 경우에서의 레이저에 의한 측정 결과가 나타나 있다. 균일한 형상의 캡이 발생한 (a) 경우에는 앞의 연구결과와 유사하게 작고 균일한 버의 형상을 나타내고 있으며 파단형 버가 형성된 (b)의 경우에는 매우 크고 예리한 버가 형성되었음을 알 수 있다. 버 형상의 레이저를 이용한 관찰로부터 캡이 형성된 경우는 소성변형의 진행 중에 파단이 발생하였음을 버의 성장 중에 파단의 발생을 예측케 하는 단면형상으로부터 알 수 있고 파열형의 경우는 충분한 소성변형의 발달에 의해서 노치(notch) 현상에 의한 예리한 버가 형성되었음을 관찰할 수 있다. 예측한대로 스텝드릴의 경우에는 거의 버가 발생하지 않았음을 확인할 수 있었다.

측정시편을 일반드릴의 경우 30개의 구멍에 대하여 측정한 결과, 캡이 탈락된 type B가 12개, 캡 형성된 type B의 버가 9개 그리고 파열형 버가 9개의 구멍에서 관찰되었다. 또한 18개의 스텝 드릴에

Drill	Conventional drill(a)	Conventional drill(b)	Step drill
burr shape			
Laser measurement			

Fig. 12 Examples of Burr Formation in Drilling Input Shaft

의한 가공후에 전량 칩 발생이 없는 type A형의 버가 발생하였으며 그 중에 미소한 불균일 한 버가 5개의 구멍에서 관찰되었다. 이상의 실험 결과 발생된 버의 형상을 측정된 버의 높이와 버의 두께의 크기로서 Fig. 13에 나타내었다. 스텝 드릴의 경우 대부분 버의 높이는 0.1mm 이하이고 두께는 0.03mm 이하의 크기를 나타내고 있으며 일반드릴의 경우 0.05mm에서 0.7mm까지 다양한 버의 높이를 나타내고 버의 두께도 0.15mm에서 0.05mm까지의 분포를 나타내고 있음을 관찰할 수 있다. 버의 높이가 매우 불규칙한 것은 파열형의 경우 버의 형태가 매우 불규칙하기 때문에 측정 위치에 따라서 매우 다양한 크기를 나타낸다.

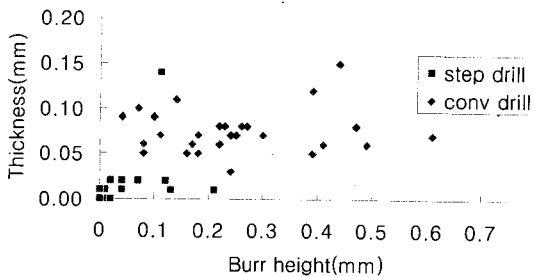


Fig. 13 Comparison of burr height and thickness comparison with conventional and drill

4. 결론

1. 선단각이 130° 이상인 일반드릴과 동일한 크

기의 구멍가공을 위하여 단이 부착된 스텝드릴을 이용하여 동일한 가공조건에서 구멍가공을 실시한 결과 스텝드릴 사용시 발생 버 크기가 크게 감소함을 관찰하였다.

2. 스텝드릴에 의한 구멍가공시 버 형성 과정을 관찰하였다. 1차 가공시 발생된 버가 2차 단에 의한 가공시 제거되면서 2차 가공에 의한 미소한 버만이 남게된다. 이것은 2차 가공시 측정된 절삭력의 크기에 의해서도 버 형성의 크기를 정성적으로 예측할 수 있다.

3. 스텝드릴의 기하학적인 형상의 변화에 따른 버 형성의 변화를 관찰하였다. 스텝의 각도가 75° 이하인 경우가 130° 이상인 경우에 비하여 현격하게 버의 크기가 작음을 알 수 있다. 이것은 각도가 작은 경우는 완전히 드릴이 관통할 때까지 절삭이 이루어지지만 각도가 큰 경우에는 이송방향으로 밀려서 큰 버가 발생하였다. 본 연구에서는 75° 이하의 스텝각도가 버 최소화를 위하여 적절함을 발견하였다.

4. 자동차 조향장치의 부품 중의 하나인 인풋샤프트(input shaft)의 구멍가공시 내부에 발생하는 버가 스텝드릴의 사용에 의해서 전량 칩이 없이 버가 아주 작게 발생함으로써 버 형성 최소화를 시도하였다.

참고문헌

- "Edge of Workpieces, Concepts, Indications on drawings," DIN 6784, pp. 1-8, 1982.
- 高澤孝哉 外10人, "精密表面仕上げとベリテクノロヅ," 機械技術 第44卷 第2號 (1996年 2月號), pp. 17-71, 1996.
- Sung-Lim Ko, David Dornfeld, "A Study on Burr Formation Mechanism," Trans. of ASME, J. of Eng. for Materials and Technology, Vol. 113, pp. 75-87, 1991.
- Julie M. Stein, "Burr Formation in Precision Drilling of Stainless Steel. Ph.D. Dissertation. University of California at Berkeley," pp. 19-22, pp. 33, 1995.
- Julie M. Stein, "Influence of Workpiece Exit Angle on Burr Formation in Drilling Intersection Holes," Transactions of NAMRI/SME, Vol. 24, pp. 39-44, 1996.

6. 고성립, 전근배, 이징구, "새로운 개념의 드릴에 의한 구멍가공시 버형성에 관한 연구," 한국정밀공학회, 춘계학술대회 논문집(II), pp. 837-840, 1999.5.
7. Gillespie, L.K., "Deburring Technology for Improved Manufacturing," SME, Dearborn, MI, 1981.
8. 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.
9. Sung-Lim Ko, Jing-Koo Lee, Gun-Bae Jun, "Measurement Technology for Micro Burr," Proceedings for 5th Int. Conf. on Deburring and Surface Finishing, SanFrancisco, pp. 314-326, 1998.