경사진 출구면에 발생한 버의 제거를 위한 디버링 공구의 효율적 운용

김병권*(건국대 대학원 기계설계학과), 이경욱, 박진우, 홍상인, 고성림#(건국대 기계설계학과)

Deburring experiment in drilling hole on the inclined exit surface

B.K.Kim(Mecha. Eng. Dept. KKU), K .U.Lee, J.W.Park, S.I.Hong, S.L.Ko(Mecha. Eng. Dept. KKU)

ABSTRACT

An Experiment was carried out to study deburring in drilling hole on the inclined exit surface. Two different deburring tools, exit surface angles, materials and cutting conditions were selected to check their performance using CNC machining center. In deburring operation, there are not only flat exit surfaces but also inclined exit surfaces which is described as inclination angle. Inclination of exit surface causes a quite different burr formation when comparing with flat surface. Deburring characteristics are analyzed according to the deburring tools and cutting conditions. Several strategies for a effective deburring on inclined exit surface were proposed.

Key Words : Burr(버), Step drill(스텝드릴), Deburring(디버링), Deburring tool(디버링툴), Inclined exit surface(경사진 출구면), Intersecting hole(교차구멍), Burr Minimization(버최소화)

1. 서론

버(Burr)는 절삭가공 시 소성변형에 의해서 생기는 불필요한 부분으로서 제품의 수명을 단축시키고 작업자에게 상해를 입힐 수 있다. 따라서 버는 반드시 제거되어야 하며 추가적인 디버링 공정과 모서리 마무리는 제품의 원가에도 많은 영향을 미친다.1)

드릴링 공정은 산업 전 분야에 걸쳐 빈번히 사용되는 공정인데 유압 부품, 엔진 블록과 같은 부품을 제작할 때에는 교차하는 구멍의 가공이 많다. 이 곳에 생기는 버는 접근하기 힘들어 제거하기 어려울 뿐만 아니라 제품의 수명과 성능에도 좋지 않은 영향을 미친다. 게다가 디버링 공정을 수행하는데 소요되는 시간은 버의 높이와 두께의 크기에 비례하기 때문에 이것의 스케일을 작게 한다면 디버링 공정시간과 추가비용을 줄일 수 있다.2)

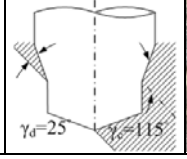
이전 실험에서 스텝드릴을 이용하여 경사진 출구면에서의 버 형성 메커니즘과 그것의 최소화 방법에 대하여 고찰해 보았다. 2) 그러나 효과적인 버 최소화 방법이 제안 되었다 하더라도 여전히 버가 존재하므로 필연적으로 디버링 작업이 필요하다.

본 실험에서는 상용화 되어있는 두가지 디버링 툴을 이용하여 경사진 출구면에서 디버링 실험을 수행한 후 각 툴의 특징과 디버링 조건을 알아보고자 하였으며 새로운 디버링 툴을 고안하는데 필요한 요소를 고찰해 보았다.

2. 경사진 출구면의 디버링 실험

2.1 출구 경사면의 버형성 최소화

경사진 출구면에 생기는 버는 두가지 메커니즘에 의해서 형성된다. 전자는 드릴의 이송에 의해 밀려서 생기는 밀림 버이고 후자는 드릴 바깥쪽의 절삭날의 의해 회전방향으로 생성되는 출구 버이다.

Drilling process		Burr formation
(a) SA=40°		

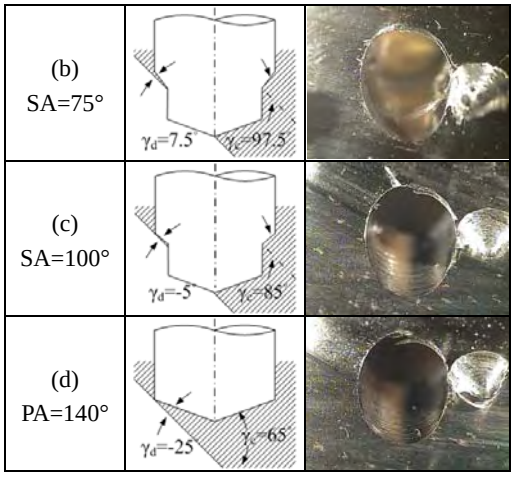


Fig. 1 Schematic illustration of drilling (Wa=45 °).

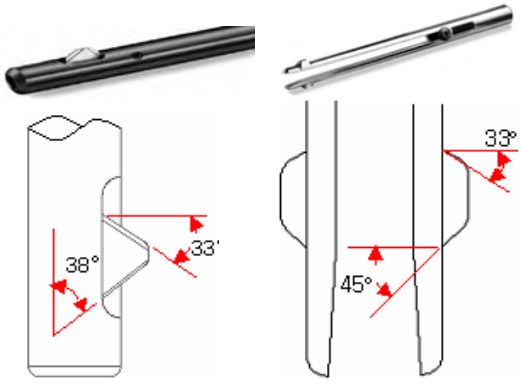
출구경사각이 45°일 경우에 드릴이 구멍을 뚫기 직전의 상황을 보면 Fig.1 과 같다. Fig.1(d) 에서 SHD 드릴은 선단각이 140°로 크기 때문에 선단부의 바깥 날이 피삭재를 절삭하는 작용과 이송방향의 밀림에 의해 피삭재 소성변형에 의한 노치현상으로 생기는 버인데 반해 스텝드릴의 경우에는 스텝각이 100°일 경우에만 SHD드릴과 같이 노치에 의해 버 형성이 되며 나머지 스텝드릴에서는 밀림에 의한 버가 형성됨을 알 수 있다. (c), (d)와 같은 방식의 절삭에 비해 직관적으로 볼 때 (b)와 같이 γ_d>0°일 때는 이송방향의 밀림과 미절삭부의 충분하지 못한 강성으로 인해서 굽힘 변형에 의한 큰 버가 생성될 것 임을 알 수 있다. 여기서 출구면 경사각과 드릴 선단부의 사이의 미절삭부에 강성의 정도를 알아보기 위하여 코너각(γ)을 도입하였고 다음 같이 정의 하였다.

$$\gamma_{d,c} = (90 - \theta/2) \mp WA$$

출구 경사면에서 작은 버를 얻기 위해서 Fig. 1(a)와 (d)에서와 같이 γ_d의 값이 큰 양의 값으로 하여 강성을 증가시키거나 Fig.1(c), (d)와 같이 음의 값이 되도록 하여 노치에 의한 작은 버가 생기게 하는 것이 바람직하다

2.2 디버링 툴 형상 및 실험 조건

실험에 사용된 디버링 툴은 Fig.2 와 같은 Burr-away tool 과 Burr-off tool 두가지 종류이며 별도의 장치없이 간단히 CNC 머시닝 센터에 장착하여 디버링을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 같은 형태의 버를 얻기 위해 동일한 드릴링 조건으로 Ø10 구멍을 가공하였다. 디버링 툴은 Ø10 구멍을 가공하도록 디자인 되었으나 절삭날까지 포함한 지름은 Ø13 이기 때문에 탄성력에 의해 과도한 디버링이 되는 경향이 있어 추가적으로 Ø 11, Ø 12 의 구멍을 가공하여 탄성력과 디버링의 관계를 확인하였다. 또한 날 당 이송속도는 같은 조건으로 유지한 채 고속 RPM 일 때과 저속 RPM 일 때 내부조도와 디버링 형태에 관한 실험도 하였다. 디버링 툴을 드릴로 가공된 구멍을 따라 회전없이 하강시킨 후 절삭날이 구멍을 완전히 관통한 후에 Fig.3 과 같이 수직상승과 시계방향으로 회전을 시켜 출구에 생성된 버를 제거하도록 하는 방법을 사용하였다.



(a) Burr-away tool (b) Burr-off tool

Fig. 2 Configuration of Deburring tools

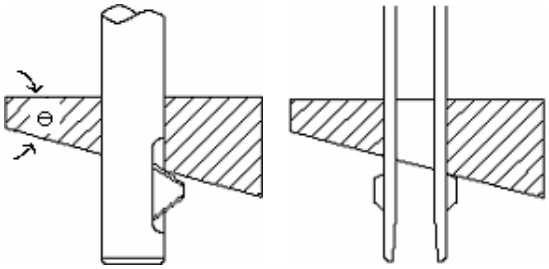


Fig. 3 Illustration of deburring process

시편은 SM45C, AL6061 을 사용으며 출구 경사면의 각도 θ는 0°, 15°, 30°, 45°로 가공하였다. 이송은 25 ~120mm/min 증가시켜 이송속도와 디버링의 관계를 알아 보았다.

Table 1 Deburring conditons

Deburring tool	D	Material	Condition	
			RPM	Feedrate
Burr-away Burr-off	Ø 10	SM45C AL6061	600 1200	25~ 120
	Ø 11			
	Ø 12			

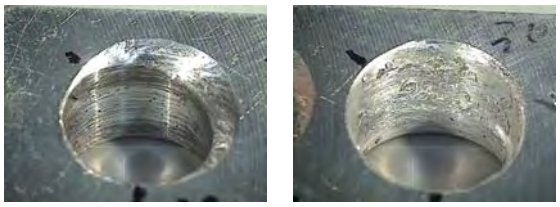
2.3 실험결과

Fig.2 에서 Burr-away 툴과 Burr-off 툴의 절삭날 각도는 33°이며 시계방향으로 회전시켜서 디버링하도록 설계되었다. 그러나 시편의 각도가 30° 가

되면 경사면과 절삭날의 여유각이 3°가 되어 디버링 시 저항이 커지게 된다. Burr-off 툴은 2 날이 순차적으로 버를 제거하고 절삭날부가 생크와 일체형으로 되어있어서 높은 RPM 과 이송속도일 때 충분한 강성을 보였으나 Burr-away 툴의 경우는 툴팁이 1 개이고 일체형이 아닌 교체 방식이기 때문에 고속디버링과 큰 출구 경사각을 갖는 시편의 디버링에서 Burr-off 툴 보다 강성이 작았다.

Fig.4 Breakage of tool tip (SM45C Wa=30°, 600rpm, f=30mm/min)

Burr-away 툴의 경우, 출구경사각이 30°인 시편 SM45C 가공시에 파괴된 툴팁이 Fig.4 에 나와있다. 시편의 경사각이 15° 이면 여유각이 18°가 되어 반경방향의 하중이 적게 작용하기 때문에 툴팁의 파괴없이 디버링을 할 수 있었으나 30°가 되면서 여유각의 부족으로 큰 하중이 걸리면서 낮은 이송속도인 30mm/min 일 때 조차 디버링을 하지 못하고 파괴되었다 Burr-away 툴은 Burr-off 툴보다는 툴 팁의 탄성력이 작기 때문에 디버링 후 구멍내부의 표면조도가 좋다는 장점이 있었다. 출구면이 평면일 때는 두가지 툴 모두 양호한 성능을 보였으나 Burr-away 툴은 절삭날이 1 개이기 때문에 디버링 시에 Fig.7(a) DBC 부분이 과도하게 챔퍼링되는 단점이 존재하였다.(Fig.5)



(a) Burr-away tool (b) Burr-off tool

Fig.5 Deburring result in each tool(Wa=15°, 600rpm, f=30mm/min)

Burr-off 툴은 Burr-away 툴보다 상대적으로 구멍 내부의 조도가 좋지 않았지만 이송속도가 증가함에 따라 양호한 내부조도를 보였다..

(a) f=30mm/min (b) f=120mm/min

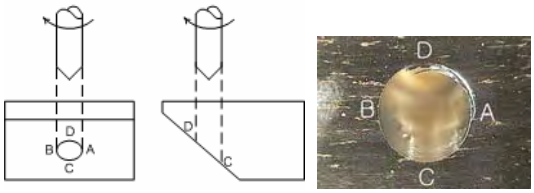
Fig.6 Deburring result in Burr-off tool according to feedrate(Wa=15°, 600rpm)

구멍의 지름이 Ø10~Ø12 로 커짐에 따라 디버링 툴의 탄성 감소로 절삭력이 줄어들어 챔퍼링 되는 양이 적어졌고 구멍 내부의 조도도 좋아지는 현상을 보였고 Ø11 구멍에서 저속회전, 낮은 이송을 주었을 때 최적의 절삭력과 내부조도를 보였다.

(a) Ø11 (b) Ø12

Fig.7 Deburring result according to hole diameter(SM45C, Wa=15°, 600rpm, f=50mm/min)

2.4 디버링 관찰 및 분석



(a) Drilling process (b) Burr position

Fig. 8 Schematic Illustration of Drilling Process

실험에 사용된 시편의 형상이 Fig.7 에 나타나 있다. 이전 실험을 통해서 사용된 모든 드릴의 가공에 생긴 버는 Fig.7 (b)와 같이 구멍의 둘레 A 와 D 에 걸쳐 버가 편중해서 발생하며 AD 에 걸쳐 발생한 버는 드릴의 회전방향 및 이송, 출구면의 경사 그리고 드릴 모서리의 관계에 의해서 생성되는 것임을 알았다. 드릴이 시계방향으로 회전하면서 버를 생성시키는데 디버링 툴의 절삭 방식도 시계방향의 회전에 의한 디버링이다. 따라서 드릴링에 의해 생성된 버를 제거하는 것이 아니라 절삭날로 눌러버리는 작용을 하여 효과적인 디버링을 할 수가 없었고 적절치 못한 회전방향으로 인해 버가 성장하는 현상이 발생하였다.

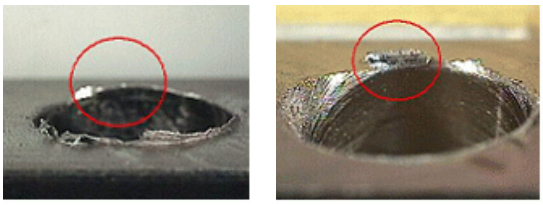


Fig.9 Burr formation after deburring

디버링 툴에 따른 특징을 살펴보면 Burr-away 툴은 절삭날을 교환하는 방식으로 설계되어 있어 마모되었을 때 새로운 툴로 교체할 수 있는 장점이 있으나 툴팁의 두께가 얇기 때문에 충격에 약하며 충분한 강성을 가지고 있지 못하여 경사진 면을 디버링 하는데에 부적절하다. 또한 1 날인 특성으로 경사면에 깊은 챔퍼를 만드는 단점도 있다. Burr-off 툴은 좌우대칭의 일체형 툴로서 절삭날이 유연하여 절삭저항을 덜 받으며 경사면을 가공하기에 적합하였다. 그러나 구멍내부 조도가 나빠지는 점은 절삭조건을 변경하는 방법으로 보완되어야 한다. Ø 10 용 Burr-off 툴의 디버링 절삭날을 포함한 외경이 Ø13.08 인데 이는 과삭 및 표면 조도를 나쁘게 한다. 실험을 통해서 600RPM 의 낮은이송(50mm/min 이하)로 Ø11 구멍을 가공할 때 이런 점이 개선되는 것을 관찰하였다.

3. 경사면에서의 디버링 방법

경사진 출구면의 디버링에 있어서 가장 기본적인 요소는 그곳에 버형성 원리를 아는 것이다. 시계방향의 회전에 의해 경사면에 형성된 버를 제거하기 위해서는 반시계 방향으로 절삭하는 툴을 사용해야 한다. 하지만 실험에 사용되었던 툴은 드릴과 마찬가지로 정회전에 의해 절삭이 이루어지는 방식이다. 두가지 툴 모두 경사진 출구면에 생긴 구멍에 적합한 것은 아니지만 실험을 통해서 경사면에서의 디버링 방법에 대한 노하우를 얻을 수 있었다.

정회전에 의해 생성된 구멍을 디버링 하기 위해서는 역회전의 디버링 툴을 사용해야 한다. 같은 절삭방식의 툴을 사용한다면 버가 거의 없는 DBC(Fig.7)부분의 챔퍼링만 될 뿐 버가 있는 곳은 절삭날에 의해 경해지거나 심지어 새로운 버가 성장하기도 한다. 또한 디버링 시에 여유각이 부족하면 공구의 파손이 올 수 있기 때문에 일체형 툴을 쓰거나 Fig.2 의 33°의 절삭날 각보다 큰 각도로도 제작되어야 한다.. 마지막으로 구멍 내부의 면조도를 위해서 버가 있는 부분에서만 절삭하고 공구를 빨때는 회전을 멈추는 것이 바람직하다. 생산성을 위해서는 고속가공이 유리하지만 이번 디버링 실험에서는 저속회전, 저속이송인 경우에 디버링 성능이 좋았다. 이것은 재질마다 틀릴 수가 있는 것이고 각 부품의 용도에 따라 현장에서 결정되어야 할 사항이라 생각한다.

4. 결론

경사진 출구면에 발생한 버의 효율적인 제거를 위하여 역회전이 가능한 날을 보유해야 한다. 또한 효율적인 디버링을 위해서는 출구경사각에 따른 다양한 절삭날 각이 필요하다. 또한 절삭조건 즉 rpm 과 이송량을 조절함으로써 공구강성의 조절이 필요하다. 그러므로 경사진 출구면의 디버링을 위해서 Burr-off 툴이 유효하며 디버링 시 역회전 가공과 큰 절삭날을 보유하여야 한다. 또한 적정조건 선정으로 효율적인 디버링이 가능하다.

후기

이 실험은 과학기술부의 2001 국가지정연구실(NRL) 지정사업으로 수행되었음

References

1. Gillespie,L.K., "Deburring Precision Miniature Parts," Precision Engineering, Vol.1, No.4,pp.189-198, 1979.
2. Sung-Lim Ko and Jae-Eun Chang, "Development of Drill Geometry for Burr Minimization in Drilling," Annals of the CIRP., Vol.52, pp45-48, 2003
3. Sung-Lim Ko and Byung-Kwon Kim, “Burr formation experiment in drilling on the inclined exit surface” 4th Asia-Pacific Forum on PSFDT, Vol.4, 2005