

드릴가공시 버 형성에 관한 연구

이정구*, 고성림**, 고대철***

Study on Mechanism of Burr Formation in Drilling

Jing Koo Lee*, Sung Lim Ko**, and Dae Cheol Ko***

ABSTRACT

Burrs formed in drilling are classified into three types, no burr, burrs with cap, teared burr. To control burr size in drilling, the second type burrs with cap are to be formed because it is small and uniform. It is necessary to understand the mechanism of cap formation to derive the burr formation into second type burr with cap. In several materials, second type burrs are formed in drilling by changing cutting conditions. It is observed that cap is formed as a result of the plastic deformation along the outside of exit hole. According to the tension behavior of the material in concentrated region between hole and drill outside edge, the geometry of burr with cap is determined. Simplified 2D FEM analysis shows good prediction for burr formation.

Key Words : Drilling(구멍가공), Cap formation(캡 형성), Burr formation(버 형성), Plastic deformation(소성 변형), FEM(유한요소해석법)

1. 서론

드릴가공은 절삭가공 공정중에서 약 30% 이상을 차지하는 중요한 절삭가공이다. 대상이 되는 부품, 재질은 많고 적용되는 드릴의 재질, 지름과 가공조건도 다양하다. 그 작업은 자동차 부품, 항공기 부품, 프린트 기관의 드릴가공 등 범위는 대단히 넓은데 크든 작든 버생성에 의한 트러블은 피할 수 없다. 드릴은 3차원적으로 꽤 복잡한 형상이고 그와 같은 공구로 생성되는 버에 대한 생성기구의 해석은 간단하지 않다. 새로운 개념의 강력드릴의 사용이 점차 확대되면서 드릴의 형상이 버의 형성기구^{1,2)}에 미치는 영향에 대한 이해의 필요성이 커

지고 있다. 여러 피삭재에 대해 구멍가공시 버 형성관찰³⁻⁵⁾을 통해 캡(cap)과 버의 형성이 어떻게 이루어지는지를 이해하고 버의 크기와 형상을 비교했다.

2. 드릴 버 형성의 분류

드릴이 출구부에 접근하면서 Fig.1에 표시된 드릴의 각 위치에서의 소성변형의 발달에 따라서 각 단계에서 크랙의 진전이 일찍 시작할수록 재료의 과단변위가 작은 취성이 있는 재료로 볼 수 있다. 변형이 진행되는 중에 크랙의 시작시점에 영향을 미치는 요소들로는 재료의 연성, 드릴의 형상 및 절삭조건 등을 들 수 있다. 이를 기준으로 Fig.2에 나타난 바와같이 캡의 형성여부에 따라서 크게 3종

” 2001년 3월 10일 접수

* 경기공업대학 기계계열

** 건국대학교 기계설계학과

*** 양산대학 메카트로닉스과

류의 버 형태로 분류할 수 있다^[5].

Type A : Fig.1(a)와 같이 드릴선단부의 위치가 구멍의 출구부에 접근하면서 소성변형이 발생하기 시작하는 모든 부위에서 크랙이 발달한다^[5]. 이 경우에는 크랙 진전후 버 발생이 거의 없거나 모따기한 모서리 형태의 “-”버가 발생하기 쉽다.

Type B : 드릴이 계속 진행함에 따라 변형량이 증가하면서 피삭재의 특성이나 드릴의 형상 및 가공조건으로 인하여 출구부의 외곽을 따라서 균일한 인장이 발생함으로써 비교적 균일한 크랙이 발생하면서 칩과 함께 버가 발생하는 경우이다. 상태에 따라서 칩이 분리되기도 하고 Fig.2(b)와 같이 붙어 있기도 한다.

Type C : 드릴의 바깥날부가 피삭재의 출구를 통과한 후에 외곽에서의 균일한 인장에 의한 변형이 진행되면서 Fig.2(c)에서와 같이 드릴중심부에서의 변형이 진행과 함께 크랙이 발생하여 진전함으로써 칩이 파열되고 대형의 버가 불규칙한 형상으로 발달하게 된다. 이 경우에도 칩의 발생이 진행되는 하지만 중심부로부터의 파열로 인하여 칩의 부분들이 큰 버의 형태로 남게되어서 매우 두껍고 거친 제거하기 어려운 형태로 남게된다. Fig.2(c1)과 같이 분산된 형태의 파열이 발생하기도 한다. 이 결과는 Takazawa에 의한 버 형성분류를 미절삭부분 파쇄형, 조기 꽃잎 파열형, 조기 원추 분리형으로 분류한 연구결과와 유사한 결과를 나타낸다^[4].

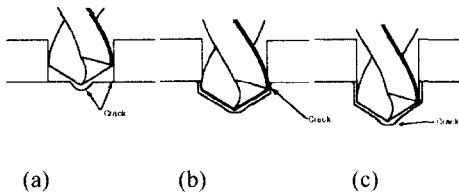


Fig. 1 The location of crack in each type of burr formation.

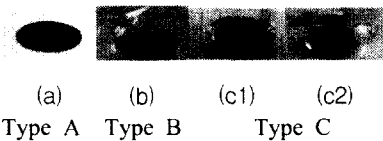


Fig. 2 Classification of burr formation in drilling

3. 버 및 칩 형성의 관찰을 위한 실험 및 결과

두께 20mm인 순 Al, A6061, 황동, SM20C 그리고 SM45C를 사용하였다. 연성이 큰 재질과 취성을 나타내는 재료를 사용함으로써 가능한 모든 형태의 버 형상을 관찰하고자 하였다. 이들 각 재질들의 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다. 파단변위(fracture strain)는 각 재료를 원통형 인장시험 시편을 이용하여 인장시험결과로부터 구하였다. 실험에는 현대정공의 SPT-V18S 머시닝센터를 사용하였으며 드릴은 대한중석의 초경(SHD 드릴)드릴과 HSS 표준드릴을 사용하여 관통시키면서 순 Al, A6061, SM20C, SM45C 그리고 황동에서 칩의 형성 결과를 관찰해 보았다.

3.1 SM20C 가공시 관찰

Table 1 Mechanical properties of workpiece

Property Workpiece	Yield Strength (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Fracture Strain	Property
Pure Al	1.25	4.8	48.8		Al(99.996)
A6061-T6	28.1	25.7	17.6	0.65	Si(0.4)Fe(0.7↓)Cu(0.15)Mn(0.15↓)Mg(0.8)Cr(0.04)Zn(0.25↓)
SM20C	25이상	41이상	28이상		C(0.17)Si(0.17)Mn(0.35)P(0.035)S(0.035)
SM45C	40.1	68.1	23.4	0.62	C(0.42)Si(0.17)Mn(0.5)P(0.035)S(0.035)
SS400	31.5	45.6	35.9	1.05	C(0.15)Si(0.25)Mn(0.85)P(0.05)S(0.05)
A2024 T6	40.2	55	10.3	0.14	Si(0.5)Fe(0.5)Cu(4.3)Mn(0.6)Mg(1.5)Cr(0.1)Zn(0.25)
Brass	10~13	40~44	10 이상		Cu(61~64), Pb(2~3), Fe(0.1이하), Zn(나머지)

Fig.3과 Fig.4에서는 HSS 드릴과 SHD 드릴을 사용한 가공 후에 버 형성결과를 나타낸다. Fig.5에서 0.1mm/rev, 1000rpm(32.4m/min)에서 발생한 칩의 일부가 Fig.3의 동일조건에서 발생된 버의 형상의 일부가 되어 있음을 알 수 있다. 낮은 이송량과 속도에서 비교적 균일한 버가 발생하였으나 손상이 매우 심한 것을 볼 수 있다. Fig.3에서 1000rpm, 0.25mm/rev와 1500rpm(48.5m/min), 0.2mm/rev의 경우에는 칩이 발생하지 않고 전체가 꽃잎모양처럼

Speed(rpm) Feed (mm/rev)	600	1000	1500
0.05			
0.1			
0.15			
0.2			
0.25			

Fig. 3 Burr formation in SM20C by HSS drill

Speed (rpm) Feed(mm/rev)	600	1000	1500
0.05			
0.1			
0.15			
0.2			
0.25			

Fig. 4 Burr formation in SM20C by SHD drill

Speed(rpm) Feed (mm/rev)	600	1000	1500
0.1			

Fig. 5 Caps in drilling SM20C by HSS drill

버의 형상으로 붙어있는 파열형의 버가 형성되었다. 118°의 선단각을 갖는 HSS 드릴의 경우에는 드릴이 출구부를 통과한 후에도 회전으로 인한 캡의

Speed(rpm) Feed (mm/rev)	600	1000	1500
0.1			

Fig. 6 Caps in drilling SM20C by SHD drill

손상이 계속됨을 알 수 있다. 이는 드릴의 외주부와 구멍의 출구부 사이에서 인장으로 인한 캡의 변형중 캡의 취약한 부분을 따라서 파단이 이루어져서 버의 일부분이 된다. 이에 비해서 Fig.4와 Fig.6에서와 같이 SHD드릴에서는 전반적으로 균일한 버와 캡의 형상이 형성되고 있음을 관찰할 수 있다.

HSS 드릴에서는 앞에서 설명한대로 파열형의 버에서 급격한 크기의 증가가 있고 그 외에도 불규칙한 버의 형상으로 인하여 SHD드릴에 비하여 전반적으로 큰 버의 높이를 나타내고 있다.

3.2 순Al, A6061, SM45C 및 황동가공시 관찰

순 알루미늄 구멍가공시 SHD드릴에서는 손상이 전혀없는 캡이 생성되어 균일한 버가 형성되었고 부착되어 있음을 알 수 있다. HSS 표준드릴에 비하여 SHD드릴의 경우 버의 높이가 작고 파열이 없는 균일한 버가 형성됨을 관찰하였다. SHD드릴에서는 손상이 전혀 없는 모자모양의 칩(향후 cap이라 칭함)이 생성되어 균일한 버가 형성되었고 버의 높이는 이송의 증가에 따라 증가하는 경향을 볼 수 있다. 캡 중앙부의 파열은 대부분 드릴의 선단각이 작은 HSS 드릴인 경우에 변형량이 크기 때문에 발생한다. 선단각이 큰 강력드릴에서는 파손되지 않는 캡이 형성되었다. Fig. 7은 A6061, SM20C, SM45C 그리고 황동의 피삭재를 캡이 탈락하기 직전의 2단계와 탈락후의 마지막 단계에서 구멍가공을 멈추고 피삭재를 와이어 커팅을 한 후에 버 형성을 구체적으로 비교하기 위해서 찍은 사진이다.

A6061과 SM45C와 같이 연성이 비슷한 두 재질에 있어서는 버 형성이 매우 유사한 양상을 나타내고 있다. SHD드릴에 의한 버 형성은 SM20C에서와 유사하게 깨끗한 캡 형상과 균일한 크기의 버 형상을 표시하고 있다. 구멍 출구부에서의 균일한 인장에 의한 소성변형으로 네킹(necking)현상이 발생하

Material	A16061	SM20C	SM45C	Brass
Step 1				■
Step 2				■
Step 3	■	■	■	■
Step 4	■	■	■	
Step 5	■	■	■	
비고	1000rpm 0.1mm/rev(130X)			

Fig. 7 Progress step in each material by SHD drill

면서 캡이 탈락된 후 뾰족한 버가 형성되는 것을 관찰할 수 있다. 황동에서는 Fig.7에서와 같이 취성으로 인해 네킹 현상이 거의 없고 변형량이 적은 상태에서 캡이 바로 탈락되므로 매우 작은 버 형성을 관찰할 수 있다. 그러나 매우 넓은 소성변형영역으로 인하여 큰 버의 두께를 나타내고 있다.

4. cap 형성 원리

4.1 소성변형에 의한 캡 형성

Fig.7에서 A6061은 구멍 출구부와 드릴 코너부 사이에 있는 재료에서 인장에 의한 소성변형이 이루어져서 인장시험의 최종형상인 매우 예리한 형상의 버가 이루어졌음을 알 수 있다. 파단전의 소성 변형량에 따라서 인장에 의한 변형이 집중되면서 네킹 현상이 많이 일어나다가 두께가 얇아지고 변형이 진행될수록 뾰족한 버가 형성되어 피삭재에 남게된다. 이 때 균일한 변형이 진행되면서 네킹 후에 비교적 균일한 파단에 의해서 소성변형부가 캡으로 배출되며 나머지는 버의 형태로써 피삭재에 남게된다.

SM20C와 SM45C인 경우는 네킹이 약간 발생한 직후에 캡이 탈락되고 버 형성이 비슷한 것을 관찰할 수 있다. SM20C의 캡의 끝부분의 형상을 나타내는 Fig.8로부터 Fig.7에서의 버의 최종형상이 발생하기까지의 인장변형을 추측할 수 있다. 또한 황동인 경우는 네킹 현상이 거의 없이 캡이 탈락되



Fig. 8 Cap sectional shape in SM20C by SHD drill(1000rpm 0.1mm/rev)

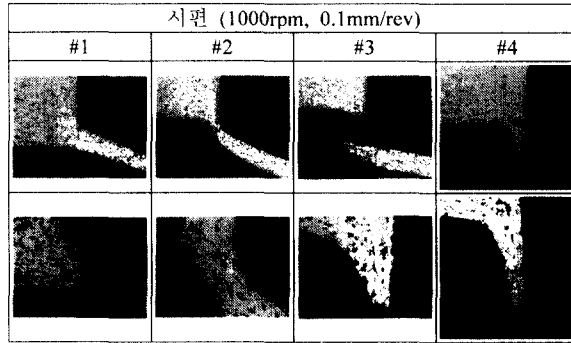


Fig. 9 Detail observation of material behavior in localized deformation zone during drilling burr formation

고 아주 작은 버가 형성되는 것을 관찰할 수 있다. 비교적 큰 선단각에 의한 드릴 가공에서는 출구부를 통과한 후 변형의 진행이 좀더 집중되기 때문에 대부분 균일한 파단이 일어나므로 피삭재의 특성에 덜 민감한 것을 볼 수 있다. 이에 비하여 HSS 드릴의 경우는 SHD 드릴에 비하여 작은 선단각으로 인하여 드릴 인선의 코너부에서 응력집중이 덜 이루어지고 소성영역이 확대되면서 약간의 불균일한 파단이 발생하며 이로 인하여 버의 크기도 불균일성을 나타내고 재질에 민감한 반응을 나타낸다. 이 결과로부터 type B의 버와 캡 형성을 위하여 HSS 드릴에 비하여 SHD 드릴이 매우 효율적이고 버의 크기를 최소화할 수 있음을 알 수 있다.

황동인 경우는 취성으로 인해 네킹 현상이 거의 없고 변형량이 적은 상태에서 캡이 탈락되므로 버의 높이가 아주 작은 것을 관찰할 수 있다. 동일한 type B의 버 형성도 피삭재의 연성에 의해서 인장 변형중 파단의 시점의 차이로 버의 크기와 형상이 차이가 남을 알 수 있다.

4.2 금속조직 관찰과 경도

Fig.9의 그림은 구멍가공을 멈추고 피삭재를 와이어 컷팅을 한 후에 A6061의 금속조직을 관찰하기 위해 마운팅을 한후 금속현미경에서 배율 100배로 찍은 사진이다. 여기에서 드릴이 관통하기 직전의 소성변형된 영역 #3과 4의 밀그림에서 보는바와 같이 소성변형후 입자의 방향성이 바뀐 것으로 관찰할 수 있다. #3의 단계는 아직 캡이 붙어있는 단계로서 방전가공 준비중에 캡이 탈락되어 있는 상태를 나타낸다. 입자의 형태와 방향으로부터 변형량과 변형영역을 관찰할 수 있다. 출구부와 드릴 코너부 사이의 재료에 대하여 집중적이고 국부적인 변형의 발달을 관찰할 수 있다. 네킹 현상을 일으키는 버와 캡의 연결부에서 변형이 집중됨을 알 수 있다. 캡의 다른 부분에서는 변형이 거의 일어나고 있지 않음을 균일한 캡의 두께로부터 예상할 수 있다. 또 마이크로 비커스 경도시험을 해본 결과 시험하중 100g에서 경도값이 110정도로 원재료나 소성변형 영역에서도 경도값은 같았다. 이 현상으로 보아 AI는 가공중에 가공경화 현상은 매우 작음을 알 수 있다. Fig.10에서와 같이 SM20C인 경우는 마이크로 비커스 경도시험의 시험하중 300g에서 원재료 부분은 경도값이 220~225정도이었고 드릴이 관통직전 0.1mm부근부터 260이상으로 증가하기 시작한 것을 관찰할 수 있다. 여기서 경도의 차이는 드릴가공중에 국소 변형부분에서 발생하는 굽힘과 인장으로 인한 가공경화에 의해서 경도가 높아짐을 관찰할 수 있다.

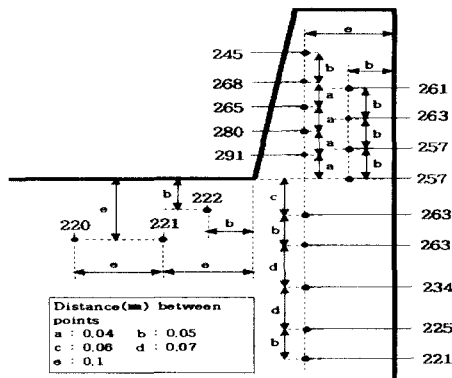


Fig. 10 Hardness distribution after burr formation (SM20C)

4.3 피삭재 및 이송량에 따른 캡의 두께변화

Fig.11은 SM20C와 순 AI에서 이송량에 따른 캡의 단면형상의 변화이다. 순 AI의 경우 SM20C보다 두꺼운 캡형성이 이루어짐을 알 수 있다. Fig.12에서 SHD 드릴을 이용하여 순 AI, SM20C, 황동, A6061을 1000rpm의 회전속도로 회전당 이송량을 변화시키면서 얻은 캡의 두께의 측정 평균값을 나타낸 그래프이다. 캡의 두께는 이송량의 크기에 따라 약간 증가하는 경향이 있다.

캡의 두께는 A6061, SM20C, SM45C, 황동, 순AI 순으로 증가하고 있다. 이 경향은 앞의 Table 1로부터 신장률로 나타나는 연성이 큰 재질일수록 캡의 두께가 증가하는 경향을 나타낸다. Fig.13에서는 동일 절삭조건에 의해서 SM20C 가공시 형성된 버의 두께와 버의 높이의 측정결과와 캡의 두께를

Speed (rpm)	Feed (mm/rev)	Cap picture	비고
1000	0.1		SM20C
	0.15		
	0.2		
1000	0.05		Pure Al

Fig. 11 Cap shape in each material

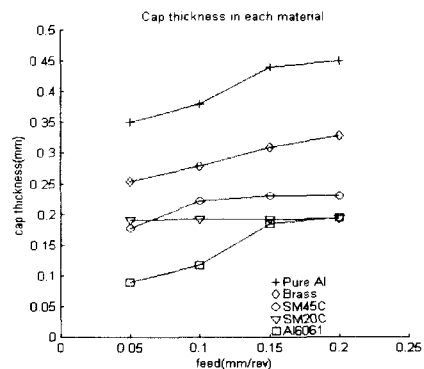


Fig. 12 Cap thickness in each material

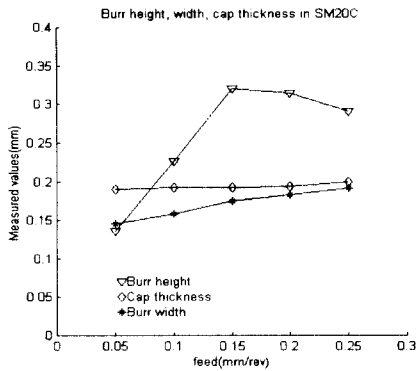


Fig. 13 Burr height, width and cap thickness in SM20C

함께 나타내었다. Fig.12로부터 캡의 두께와 버의 두께변화와 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 그러므로 동일재질의 가공시에는 캡의 두께를 통하여 버의 형상을 정성적으로 예측할 수 있다. 그러므로 버 형성은 균일한 캡이 발생하는 경우에는 버의 형상에는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 그러므로 가공조건이나 드릴 형상의 변화에 있어서 일단 버 형성시 발생하는 B형의 균일한 캡이 발생하도록 유도하는 것이 버 형성을 최소화하기 위한 우선적인 조건이 된다.

5. 버 형성의 시뮬레이션

버 형성을 예측하기 위한 유한요소법에 의한 시뮬레이션을 실시하였다. 드릴가공은 복잡한 3차원 가공이므로 매우 제한된 시뮬레이션만이 가능하다¹⁶⁾. 단속절삭에 있어서 공구인선의 파괴를 연구한 Pekelharig¹⁷⁾은 탄소성 유한요소법을 이용하여 공구이탈시 피삭재 모서리부의 변형을 해석하였다. Iwata 등¹⁸⁾은 SEM과 유한요소법을 이용하여 버 형성에 관한 메카니즘을 조사하였다. Ko^{11,2)}는 소성이론과 실험적인 관찰을 이용한 해석적인 방법으로 버 형성 메카니즘을 가정하여 버의 크기 및 파단부의 형상을 예측하고 이를 실험과 비교하였다. 그러나 앞서 언급된 연구들은 버 형성의 초기단계에서 최종단계까지 연속적인 버 형성과정을 완전히 설명하지 못하였으며 버 형성에 대한 피삭재의 재질과 절삭조건에 영향을 고려하지 못하였다.

본 연구에서는 단순화된 2차원 해석을 실시하였다. 단순화된 모델을 위하여 드릴가공의 축대칭 특성과 일정위치에서부터 칩 형성이 멈추고 이송방향으로의 공구진행에 따른 소성변형에 의한 버 형성을 가정하였다.

그러므로 이 전의 연구¹¹⁾에서와 유사하게 절삭현상이 정지되고 버 형성을 위한 소성변형이 시작되는 시점을 초기조건으로 설정하였다. 또한 2차원 절삭시 사용되었던 동일한 코드(code)를 사용하였다¹⁹⁾. 해석에 이용된 피삭재의 형상과 초기조건은 Fig.14와 같다. 버 형성에 관한 피삭재의 재질과 절삭조건에 영향을 고려한 버 형성 예측을 유한요소법을 이용하여 드릴가공에서 드릴이 피삭재를 관통할 때에 발생하는 버 형성을 초기단계부터 최종단계까지 연속적으로 수행하였다. 또한 관찰을 통하여 모델링을 수행하였다.

5.1 모델링

Fig.15에서 보는바와 같이 드릴이 0.1mm씩 진행함에 따라서 #2인 경우 피삭재의 출구까지의 거리 L이 0.1mm를 남겨두기까지는 칩두께가 절삭에 의해서 현저하게 줄어드는 것을 관찰하였다. 그러나 #3인 경우 드릴 모서리 위치가 피삭재 출구면과 일치되는 상태에서부터 드릴이 관통하여 버 형성이 완료되어 캡이 탈락된 후에 #8까지의 칩두께는 감소되지 않고 Table 2에서와 같이 거의 일정하였다. 이것으로 보아 #2까지만 절삭이 진행되고 #3부터는 절삭상태는 멈추고 드릴이 칩을 밀고나가면서 버가 형성되기 시작하여 #8에서 캡이 완전히 탈락하여 최종적으로 버의 형성이 완료되는 것을 관찰할 수 있었다. 특히 #6에서는 캡의 부분이 크랙이 진전되고 있는 것을 선명하게 볼 수 있어서 캡의 탈락시점을 정량적으로 판단할 수 있는 아주 유용한 자료를 확보할 수 있었다. 모델링을 하기 위해 Fig.14에서와 같이 칩 형성이 멈추고 소성변형이 시작하는 초기위치인 #3인 경우 피삭재 바깥부분의 r을 측정하여 0.228mm를 얻었다. 또 T, L값을 측정하여 버 형성과정을 정량화하였다. L은 드릴 외측 모서리와 피삭재 끝면과의 거리를 나타내고 T는 캡의 두께를 그리고 W는 버의 두께에 해당하는 변형부까지의 거리를 각각 나타낸다. Fig.15의 #3단계를 초기조건으로 하여 버형성 과정을 실시하였다.

5.2 시뮬레이션

피삭재를 강소성체(rigid plastic material)로 가정하였으며 가공경화 특성인 $\sigma = K\varepsilon^n$ 에서 A6061-T6의 특성값으로서 $K=41.8\text{kg/mm}^2$, $n=0.05$ 를 사용하였다. Fig.14에서 L, T, r값을 측정하여 초기조건을 모델링을 한후 버 형성에 대한 시뮬레이션을 실행하였다. 앞에서의 연구^[9]와 동일한 코드를 사용하여 실시하였으며 드릴에 의한 절삭가공이 멈추고 대신에 드릴에 의한 출구부가 구속되지 않는 상태에서 블랭킹 공정과 유사한 작업으로 가정하여 FEM 해석을 실행하였다. 네깅이 발생후 파단시에는 연성 파단 기준을 사용하였다^[9]. Fig.16에서와 같이 시뮬

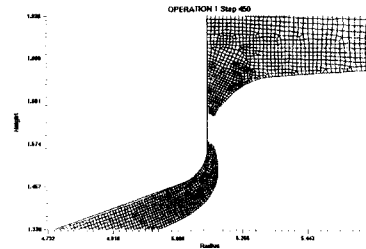


Fig. 16 Drilling simulation(A6061)

Table 2 Variation of parameters(W,T,L) in each step of drill exit stage

No.(#)	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
W(mm)	0.22	0.16	0.16	0.1	0.14	0.12	0.12	0.1
T(mm)	0.14	0.13	0.12	0.12	0.1	0.12		
L(mm)	0.2	0.1	0	-0.1	-0.2	-0.3		



A6061 #3

Fig. 14 Parameters(W, T, L) of drill exit-step(#3)

레이션 결과 버의 높이가 0.24mm인데 Fig.19에서의 레이저를 이용한 실제 버 높이의 측정결과는 0.27mm를 나타내었다. 이와 같은 오차는 우선 초기조건 상태의 불확실성으로부터 온다고 여겨진다. 초기조건 후에도 칩의 대부분은 절삭이 이루어지지 않으나 모서리부에서 국부적으로 절삭이 계속될 가능성이 크기 때문이다. A6061의 최종 버의 형상을 Fig.9의 #4단계나 Fig.15의 #8단계인데 실제로 Fig.16의 버의 형상은 다소 차이를 나타낸다. 이것은 시뮬레이션에서는 버 형성중에는 절삭가공이 중지된다는 가정으로 인한 오차 때문이다. 실제로는 Fig. 14에서 #3이후에도 약간의 절삭이 드릴 코너부에 발생

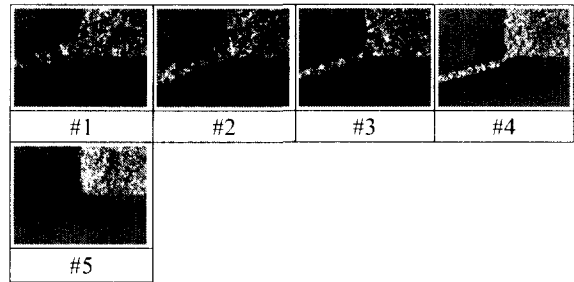


Fig. 17 Observation of burr formation in drilling A2024 with SHD drill

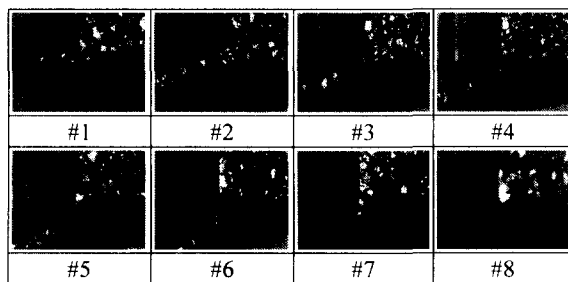


Fig. 15 Observation of burr formation in drilling A6061-T6 with SHD drill(1000rpm, 0.1mm/rev)

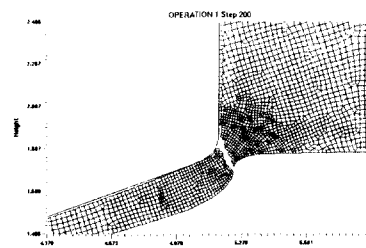


Fig. 18 Drilling simulation(A2024)

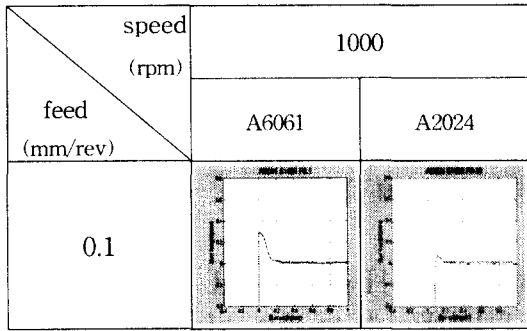


Fig. 19 Measurement of Burr formation in A6061 and A2024 by SHD drill

하여서 #8과 같은 예리한 버가 형성된다. A2024에 대한 시뮬레이션 결과와 버 형성 측정결과와는 0.07 mm로서 매우 잘 일치하고 있음을 Fig.18과 Fig.19로부터 알 수 있다.

6. 결론

버 형성과 칩 형성에 대하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모든 구멍가공에서 발생하는 버 형상을 크게 3종류로 분류하였다.
2. 이송량의 증가에 따라서 칩 두께는 이송량의 증가에 민감하지 않고 약간의 증가만을 나타내고 있다. 칩의 균일한 발생으로 이송량의 변화에 따라서 비교적 균일한 버가 형성된다.
3. 140° 의 선단각의 크기로 인하여 드릴의 코너부와 구멍출구 사이에 소성 변형이 집중됨으로 인하여 균일한 크랙의 발생이 유도된다. 이것은 구체적으로 선단각이 크고 코너부가 예리할수록 응력 집중현상이 두드러질 것으로 예상된다.
4. 드릴링시 절삭가공이 끝난 상태를 초기조건으로 드릴에 의한 블랭킹 공정으로 가정하여 유한요소해석을 이용한 2차원 버 형성 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과가 버 형성을 잘 예측함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구지원사업(1999-2-30400-002-3)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. S. L. Ko, D. Dornfeld, "A Study on Burr Formation Mechanism," Trans. ASME, J. Eng. for Materials and Technology, Vol.113, pp. 75-87, 1991.1.
2. S. L. Ko, D. Dornfeld, "Analysis of fracture in at the exit stage of metal cutting," J. Material Process. Technology, Vol. 58, pp. 189-200, 1996.
3. L. K. Gillespie and P. K. Blotter, "The Formation and Properties of Machining Burrs," Trans. ASME, J. Eng. for Industry, pp. 64-74, 1976.
4. T. Miyake, A. Yamamoto, K. Kitajima, Y. Yanaka and K. Takazawa, "Syudy on mechanism of Burr Formation in Drilling -Deformation of Material during Burr Formation," JSPE-57-03, Vol. 3, pp. 87-92, 1991.
5. 고 성립, 전 근배, 이 정구, " 새로운 개념 드릴에 의한 구멍 가공시 버 형성에 관한 연구", 한국 정밀 공학회 제17권 제3호, pp. 114~121, 2000.
6. M. Hashimura, K. Ueda, D.A. Dornfeld, K. Manabe, "Analysis of Three Dimensional Burr Formation in oblique Cutting," CIRP, 44/1, pp. 27-30, 1995.
7. A.J. Pekelharing, "The exit angle failure in interrupted cutting," CIRP, Vol. 27, No. 1, pp. 5-10, 1978.
8. Iwata, K, Ueda, K, Ikuda, K., "Syudy of mechanism of Burr Formation in cutting based on direct SEM observation," JSPE, Vol. 48, No.4, pp. 510-515, 1982.
9. 고대철, 고성립, "유한요소법을 이용한 버 형성 예측 모듈의 개발," 한국정밀공학회 제17권 제10호, pp. 163-170, 2000.