

구멍가공 시 경사진 출구면에 발생한 버의 효율적 제거를 위한 디버링 공구의 공구경사각과 강성의 결정

배준경*, 신성근**, 권병찬***, 고성림***, #

*경상국립대학교 메카트로닉스공학부, **한국야금, ***건국대학교 기계설계학과

Determination of Rake Angle and Tool Stiffness to Efficiently Remove Drilling Burrs at the Inclined Exit Surface

Jun-Kyung Bae*, Sung-guen Shin**, Byeong-chan Kwon***, Sung-Lim Ko***, #

*Department of Mechatronics Engineering Gyeongsang National University, **KORLOY, ***Department of Mechanical Design, Konkuk University

(Received 10 February 2021; received in revised form 03 May 2021; accepted 07 May 2021)

ABSTRACT

In machining operations, a burr is an undesirable material formed by plastic deformation in a workpiece. With the ongoing industrial developments, it has become an important issue to efficiently remove burrs. Several deburring methods have been developed to remove specific burrs that require special machining. However, to remove burrs formed while machining at the CNC machining center, deburring tools must be developed. In a previous study, a new deburring tool was developed by the authors.

In this study, the influence of the rake angle and stiffness of the new deburring tool was analyzed to improve performance. The theoretical model was driven considering the rake angle and stiffness, and experiments were carried out to validate the model. Especially, conditions based on the designed rake angle and stiffness to effectively remove burrs, which is difficult, at the exit surface were suggested.

Key Words : Burr(버), Deburring(디버링), Rake Angle(경사각), Stiffness(강성), Inclined exit(경사 출구)

1. 서 론

버는 대부분의 기계가공 부품에 원치 않게 남아 있는 가공의 잔재물이다^[1]. 산업의 발전에 따라서 기계부품이 정밀해지고 가공효율이 높아질수록 버 제거 작업은 매우 중요하게 되었다. 그래서 많은

효율적인 버 제거 방법이 개발되었다. 예를 들면 워터젯트에 의한 버제거, 전해가공 및 블라스팅에 의한 버제거 방법들이 개발되었다. 그러나 대부분의 버제거 방법들은 상당히 많은 비용과 유지를 위한 노력이 필요하다.^[2-4]. CNC 머시닝센터에서 부품을 가공 시에 발생하는 버를 효율적으로 제거하기 위해서 가장 저렴하고 효율적인 방법은 CNC 머시닝센터에서 작업 후에 바로 공구교환을 통하여 적용할 수 있는 공구가 개발이 되어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 많은 버제거용 공구들

Corresponding Author : slko@konkuk.ac.kr

Tel: +82-53-581-2239, Fax: +82-53-581-2295

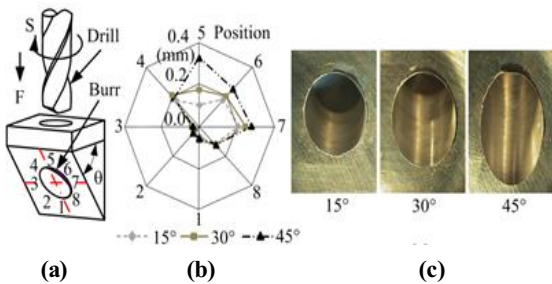


Fig. 1 Burr formation on inclined exit surface (a) schematics of drilling operation (b) height of burrs on the workpiece with different exit surface inclination angle (c) burr examples formed before deburring

버제거가 가능하게 되었다. 새로이 개발된 공구는 특별히 경사진 출구면이나 교차구멍에 발생한 버를 제거하는데 큰 강점이 있다. 그러나 Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 출구경사각, θ ,이 15° 이상이 될 때, Fig. 1(a)에서 5의 위치에 가장 큰 버가 발생하는 것을 Fig. 1.(b), (c)를 통하여 알 수 있다. 또한 출구경사각이 커짐에 따라 더 큰 버가 발생함을 알 수 있다. 새로 개발된 버제거용 공구를 사용함에도 5의 위치에 발생한 버가 가장 제거하기 어려운 부분임을 알게 되었다. 그래서 본 연구에서는 새로운 버제거용 공구의 공구경사각과 강성의 조정을 통하여 제거하기 어려운 위치에 발생한 버를 제거하기 위하여 수행되었다.

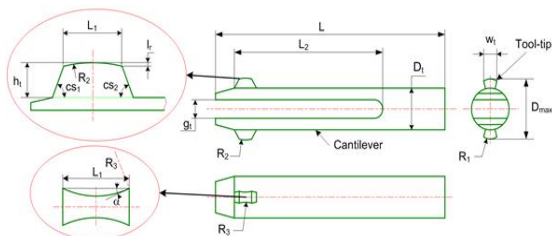


Fig. 2 Structure of deburring tool

이 개발되었다^[5,6,7]. 본 연구의 사전 연구로서 본 연구실에서는 효율적인 버제거용 공구를 개발하였다^[8,9].

본 연구에서는 개발된 새로운 버제거용 공구의 효율을 높이기 위하여 공구 경사각과 공구의 강성에 관하여 모델링을 수립하고 실험으로 입증함으로써 그 영향을 분석하였다. 대부분의 경우 공구경사각이 증가하면 절삭저항이 감소하고 절삭성이 향상되지만 동시에 공구인선부가 약해짐으로 인하여 공구수명이 감소하게 된다. 그러므로 적절한 공구경사각을 찾는 것은 공구효율성의 증가를 위하여 중요하다고 할 수 있다. 그리고 공구의 강성은 경사진 출구면에 발생한 버를 완전히 제거하는데 주요한 역할을 함을 확인하였고 적정 강성을 결정하는 방법을 제시하였다.

새롭게 개발된 버제거용 공구는 양방향 회전에 의한 가공이 가능하도록 설계되어 있어서 그 이전에 개발된 버제거용 공구에 비하여 더욱 효율적인

2. 공구경사각이 버제거에 미치는 영향

2.1 공구경사각의 이론적 계산

새로 개발된 버제거용 공구는 Fig. 2에서와 같이 설계되었다. 버제거를 위한 절삭팁(tip)은 경사각이 c_{s1} , c_{s2} 으로 정의된 두 개의 인선부로 구성되어 있다. 이 부분의 절삭인선의 공구경사각의 크기가 절삭성과 버제거 성능에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. c_{s1} 의 각도로 정의되는 인선부는 입구부의 버를 c_{s2} 의 각도로 정의되는 인선부는 출구부의 버를 제거하는데 사용된다. 공구제작 시 연삭공정에 의해서 공구경사각이 결정된다. 그리고 절삭 공구에서 공구경사각은 절삭 성능에 큰 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 연삭공정에 의해서 형성되는 공구경사각을 수학적으로 계산하였다. 버제거용 공구의 공구경사각을 계산할 수 있음으로써 다양한 형상의 버제거용 공구를 개발할 수 있게 된다.

공구경사각을 계산하기 위하여 공구 인선부 제작에 영향을 미치는 연삭공정으로 인한 기하학적 요소들을 파악해야 한다. 이것을 위하여 Fig. 3는 새로운 버제거 공구의 인선부 제작과정을 잘 나타내고 있다. 팁의 경사면을 가공한 후에 공구경사면에 해당하는 면을 적정 직경의 연삭휠을 이용하여 연삭함으로써 형성된다. 이때의 연삭과정을 Fig. 4(a)에

서 도식적으로 나타내고 있으며 또한 Fig. 4(b)는 연삭휠의 한 단면을 포함하는 평면 내에서 공구경사각, θ , 가 만들어지는 과정을 잘 나타내고 있다. 이 단면이 연삭휠의 두께방향으로 움직일 때, 연삭휠의 반경은 연삭휠의 경사각, β ,에 따라 연삭휠의 반경이 $r \rightarrow r+r'$ 으로 변경된다. 연삭휠의 바닥면으로부터의 높이, h ,의 증가에 따라서 연삭휠의 반경 증가분 r' 은 Eq.(1)에서와 같이 나타낼 수 있다. 각 단면에서 형성되는 공구경사각, θ ,는 다음과 같이 계산된다.

$$\sin\theta = \frac{AC}{AB} \quad r' = \frac{h}{\tan\beta}$$

$$\sin\theta = \frac{\sqrt{(r+r')^2 - (r+r'-t)^2} + \frac{h}{\tan c_s}}{r+r'} \quad (1)$$

여기서 c_s 는 각각 공구인선부 팁의 경사각을 나타내고 있다. 이를 Eq.(1)에 각각 대입함으로써 공구경사각을 Eq.(2)와 같이 계산할 수 있다.

$$\therefore \theta = \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{\left(r + \frac{h}{\tan\beta}\right)^2 - \left(r + \frac{h}{\tan\beta} - t\right)^2} + \frac{h}{\tan c_s}}{r + \frac{h}{\tan\beta}} \right) \quad (2)$$

이상과 같이 공구인선부 팁의 형상과 사용하는 연삭휠의 형상에 따라서 공구경사각의 변화를 수학적으로 계산할 수 있게 된다. Fig. 5(a)는 $r = 18.5$, $c_{s2} = 70^\circ$, $\beta = 80^\circ$ 인 경우에 팁의 높이, h ,의 변화에 따른 공구경사각의 변화를 나타낸다. 그리고 Fig.5(b)은 $h = 0$, $c_{s2} = 70^\circ$, $\beta = 80^\circ$, 인 경우에 연삭휠의 반경, r , 이 변화할 때 공구경사각의 변화를 잘 나타내고 있다. 위 결과를 관찰해 보면 인선부 팁의 높이, h ,의 변화에 따른 공구경사각의 변화는 높이가 0에서 0.8mm로 변할 때, 공구경사각이 20.45° 에서 20.87° 의 작은 변화가 있음을 Fig. 5(a)로부터 알 수 있고, 연삭휠의 반경, r ,의 반경이 12mm에서 20mm로 변할 때 공구경사각이 24° 에서 18.5° 로 매우 민감하게 변화하는 것을 Fig.5(b)로부터 알 수 있다.

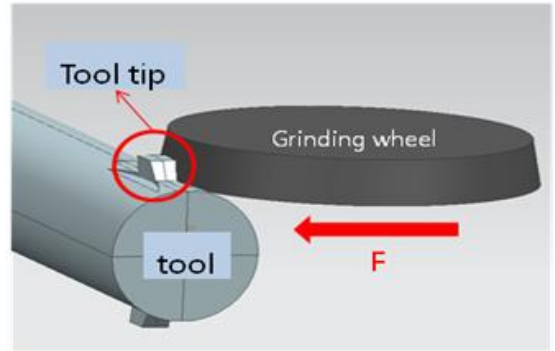


Fig. 3 Manufacturing process of tool's tip

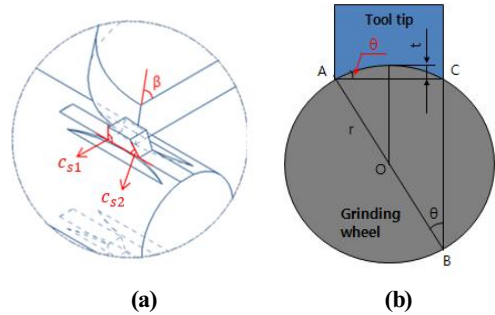


Fig. 4 (a) Schematics of grinding process for the tip
(b) the view of one cross section of the wheel

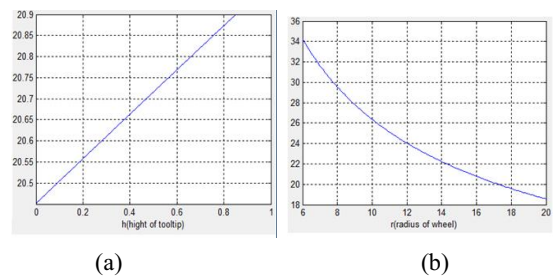


Fig. 5 Variation of rake angle according to the change of (a) tip's height and (b) wheel's radius

2.2 공구경사각의 변화에 따른 버 제거 실험

공구경사각이 버제거 작업에 미치는 영향을 분석하기 위하여 두가지 다른 공구경사각을 보유한 공

구를 제작하여 버제거 실험을 실시하였다. 서로 다른 공구경사각을 보유한 공구를 제작하기 위하여, Table 1에 보는 바와 같이 서로 다른 반경의 연삭 휠을 사용하였다. 반경, r ,이 12.5mm와 16.5mm인 연삭휠을 사용함으로써 서로 다른 범위의 공구경사각을 보유한 공구를 제작할 수 있었다. 이때 공구 제작을 위한 다른 요소들은 고정을 하였다. 공구 팁의 최고 높이, h ,는 각각 0.85mm, 0.91mm으로서 Fig. 6(a), (b)에 나타나있다. 두 공구 모두 출구부 버제거를 위한 팁의 경사각, $c_{s_2}=70^\circ$ 를 사용하였다. 그 결과 팁의 높이의 변화에 따라서 Eq.(2)로부터

Table 1 Geometry and rake angle of deburring Tools

Tool	h (mm)	L1 (mm)	r (mm)	α_2 (°)	L3 (mm)	Rake angle (°)
1	0.85	2	12.5	70	80	22.5~23.9
2	0.91	2	18.5	70	80	19.3~19.6

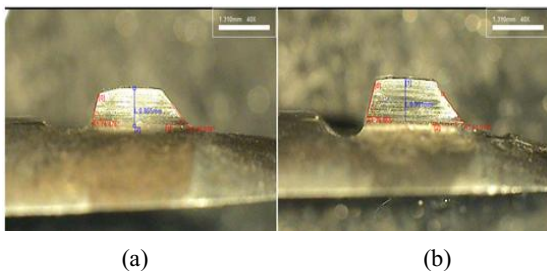


Fig. 6 Image of the tip of deburring tool (a) Tool 1 and (b) Tool 2

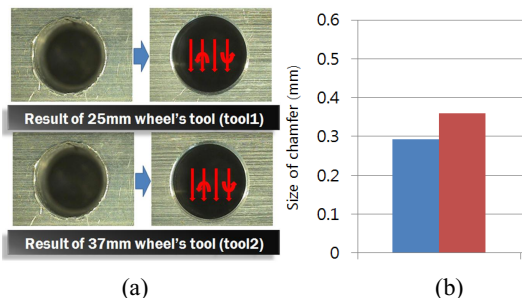


Fig. 7 Deburring results for the burr formed on Al6061 workpiece with 0° exit surface inclination angle (a) image (b) average chamfer size (Tool 1-blue and Tool 2-red)

tool 1의 공구경사각이 22.5-23.9°를 보유하고 tool 2의 공구경사각은 19.3-19.6°를 보유하게 되었다.

Table 1에 기술된 사양의 두 종류의 버제거용 공구를 사용하여 Al6061 피삭재에 9.2mm 직경의 구멍을 위한 드릴가공을 한 후에 발생한 출구부 제거를 실시하였다. 버 제거를 위하여 사용된 가공조건은 사전 연구를 통하여 추천된 조건을 사용하여 800rpm의 스피들 속도와 30mm/min의 이송속도를 사용하였다. 사전 연구의 결과를 이용하여 버 제거를 위한 공정으로는 회전방향을 바꾸어서 두 번의 양복작업을 통하여 이루어졌다^[8]. 버 제거 효과를 정량적으로 관찰하기 위하여 출구면의 경사각이 없는 피삭재를 사용하였다. 버제거 실험 결과 Fig. 7에서 관찰 하는 바와 같이 두 공구의 경우 모두 버가 완전히 제거되었다. 공구경사각의 크기가 버 제거에 미치는 영향을 정량적으로 확인하기 위하여 버제거 작업에 의하여 형성된 챔퍼의 크기를 공구 현미경을 이용하여 측정하였다.

버제거 시 형성된 챔퍼의 크기를 4개 측정지점의 평균값을 측정하였다. Fig. 7(b)은 tool 1의 경우 평균 챔퍼의 크기가 0.29mm를 나타내고 tool 2의 경우는 0.36mm를 나타내고 있다. 보는 바와 같이 더 큰 공구경사각을 보유하고 있는 tool 1이 tool 2에 비하여 더 작은 챔퍼를 형성하고 있음을 관찰할 수 있다. 이것은 더 큰 공구경사각은 더 작은 절삭저항을 일으키기 때문에 작은 처짐이 발생하여 작은 챔퍼를 제작하였다고 사료된다. 그래서 버제거 작업을 통한 챔퍼의 적절한 크기를 원할 경우에 실험을 통하여 원하는 챔퍼의 크기를 위한 공구형상과 가공 조건을 선정하는 것이 필요하다.

3. 공구강성이 버제거에 미치는 영향

새로운 버제거용 공구의 형상이 Fig. 2과 같이 홈(slot)을 형성함으로써 인하여 인선부에 하중을 가하면 처짐이 발생하는 빔의 특성을 가지고 있기 때문에 빔의 형상에 따른 강성의 차이가 버제거 성능에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 앞에서 공구경사각의 차이로 인하여 챔퍼의 크기가 차이가 나듯이 공구의 강성의 크기에 의해서 큰 차이가 날 것이 예상 이 된다.

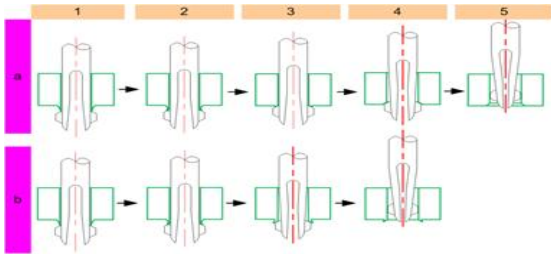


Fig. 8 Cutting mechanism of deburring by the new developed tool (a) when burr is removed completely (b) when burr remains

버제거용 공구의 강성은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 공구재료의 특성과 공구의 길이 및 단면형상이 강성에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 공구재료로는 고속도강(HSS)이 사용되고 주어진 단면형상에서 공구의 홈의 길이(L_2)와 공구의 단면 2차 모멘트 등이 공구 강성에 가장 큰 영향을 미칠 것을 예상할 수 있다. 본 연구에서는 주어진 단면 형상에 대하여 홈의 길이가 변화할 때 강성의 변화로 인한 버제거 성능을 분석하고자 한다.

새로 개발된 버제거용 공구는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 공구인선부가 돌출된 상태로 공구가 탄성변형 내에서 변형에 의한 탄성력에 의해서 버를 제거하도록 되어 있다. 이러한 버제거용 공구를 이용한 버제거 과정을 사전 연구에서 정의하였다^[7]. Fig. 2와 같이 설계된 형상의 공구인선이 출구면을 통과할 때, 구멍의 출구부에 발생한 버를 제거하는 기구를 도식적으로 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다. Fig. 8(a)는 공구인선이 적절하게 설계되어서 출구면에 발생한 버가 원활하게 제거되는 경우를 나타내고 Fig. 8(b)의 경우는 버가 충분히 제거되지 않고 공구의 강성으로 인하여 오히려 변형이 되는 경우를 나타낸다.

Fig. 2에서 공구인선의 외경에 해당하는 D_{max} 와 구멍의 직경과의 차이에 의해서 변형량이 결정된다. 이 변형량의 차이와 공구인선부인 c_{s1} , c_{s2} 에 의해서 결정되는 경사부의 경사각에 의해서 구멍 주변에 발생한 버와 공구인선이 접촉하게 된다. 구멍 진입 시에는 구멍의 입구에 존재하는 버와 c_{s1} 의 경사각으로 이루어진 인선부와 접촉하게 되고

버제거 공구가 다시 돌아 올 때에는 c_{s2} 경사각으로 이루어진 인선부와 구멍 출구부에 존재하는 버와의 접촉이 이루어진다. 그러나 대부분의 경우 대형 버가 구멍가공 시 출구부에 발생하기 때문에 출구부의 버를 제거하기 위해서 c_{s2} 경사각으로 이루어진 인선부가 주로 사용하게 된다. 본 연구에서도 바로 인선부의 높이, h ,와 인선부의 경사각, c_{s2} ,가 주요한 요소가 된다.

3.1 강성의 이론적 계산

버제거용 공구가 Fig. 8(a)에서 5단계와 같이 공구인선부가 완전히 구멍안으로 들어가게 되면 구멍 안에서의 최고 처짐량으로서 $\delta_{max} = (D_{max} - D)/2$ 와 같이 D_{max} 와 구멍의 직경과의 차이에 의해서 변형량이 결정되지만 Fig. 8(a)의 4단계처럼 공구가 약간 처짐을 일으킨 상태에서 버제거가 이루어진다. 그렇게 본다면 tool 1은 최고 처짐량이 0.425mm, 그리고 tool 2는 0.465mm임으로 볼 수 있다. Fig. 8(a) 4단계에서 보는 바와 같이 처짐이 발생하면 반작용으로 힘, P ,가 발생하는데 이 힘을 다음과 같이 계산할 수 있다. 이 처짐 모델을 도식화하면 길이가 L_2 이고 단면 2차모멘트를 I_x 로 표현할 수 있을 때, 이때 선단의 처짐량, δ ,에 의해서 발생하는 힘 P 를 다음과 같이 계산할 수 있다. 여기서 빔의 길이는 Fig. 2에서 홈의 길이, L_2 를 사용하였다. 단순보의 처짐으로 가정하여 다음과 같이 처짐량을 계산할 수 있다.

$$\delta = \frac{PL_2^3}{3EI} \quad P = \frac{3\delta EI}{L_2^3} \quad (3)$$

Eq.(3)으로부터 처짐 시 발생하는 반발력, P ,를 구하기 위하여 단면 2차 모멘트, I_x ,를 구하여야 한다. Fig. 2로부터 공구의 설계를 고려하면 환봉으로부터 홈을 가공함으로써 단면의 모양이 Fig.9와 같이 된다. 본 연구에서는 직경이 9.25mm인 구멍가공시 버제거용 공구로서 Fig. 2에서 $D_{max} = 10.5mm$ 이고 팁의 높이가 0.85mm 그리고 공구의 환봉의 직경이 8.8mm 이고 홈의 폭을 2.3mm로 제작할 때 Fig. 9

에서 단면 이차 모멘트, I_x ,를 Eq.(4)와 같이 구할 수 있다.

$$I_x = \left(\frac{8}{9\pi} - \frac{\pi}{16}\right)bh^3 \approx 0.08659bh^3 \quad (4)$$

$$I_x = 0.08659 \times 4.22 \times 3.15^3 = 11.42mm^4$$

이와 같은 조건에서 공구 처짐량이 실제로는 0.425mm보다 작은 처짐이 이루어진 상태에서 버제거를 위한 절삭이 이루어진다. 본 연구에서는 이 처짐량을 실제보다는 좀 더 큰 $\delta=0.85mm$ 으로 가정하여 진행하도록 하였다. 고속도강의 탄성계수를 $E=200kN/mm^2$, 단면 이차 모멘트, $I_x = 12.63mm^4$ 를 Eq.(3)에 대입하면 다음과 같은 저항 P의 값을 얻을 수 있게 된다.

$$P[N] = \frac{3 \times 0.85 \times 200000 \times 11.42}{L_2^3} = \frac{5824200 [N \cdot mm^3]}{L_2^3 [mm^3]}$$

결과적으로 고정된 단면항상을 보유한 공구의 홈의 길이, L_2 ,가 40mm에서 80mm로 변할 때 반발력, P,의 값이 91.0N으로부터 11.4N으로 크게 변하는 것을 Fig. 10으로부터 알 수 있다. 이론식에 의한 모델을 검증하기 위하여 CAE를 이용한 해석과 실험에 의한 결과와 비교하였다.

3.2 CAE와 실험을 이용한 강성의 해석

새로운 버제거 공구의 효율적인 설계를 위하여 이론식에 의한 처짐과 변형량과의 관계를 CAE를 이용한 모델링을 통해서 검증하고 또한 이를 실험적으로도 검증하고자 실시하였다. CAE에 의한 모델링과 처짐량을 예측하기 위하여 UG NX를 이용하여 Fig. 2에 설계된 버제거 공구 형상대로 Fig. 11(a)처럼 모델링하였다. 그리고 ANSYS 를 이용하여 공구 팁에 힘을 가하여 발생하는 정해진 처짐량에 도달했을 때의 응력분포를 Fig. 11(b)와 같이 해석하였다. 공구 홈부의 길이가 40mm에서 80mm까지 변할 때 일정량의 처짐량, 0.85mm를 가하고 그 때 발생하는 응력분포를 구하고 그 결과를 이용하여 인선부에 발생하는 저항, P,를 Fig. 10에 나타내었다. ANSYS를 이용한 해석에서 중요한 부분은 공

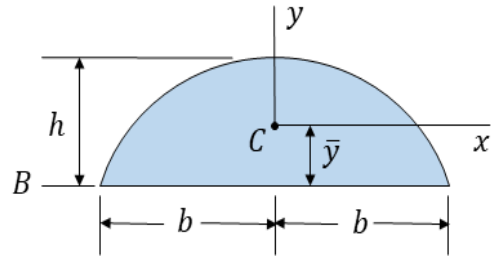


Fig. 9 Geometry of cross section of deburring tool

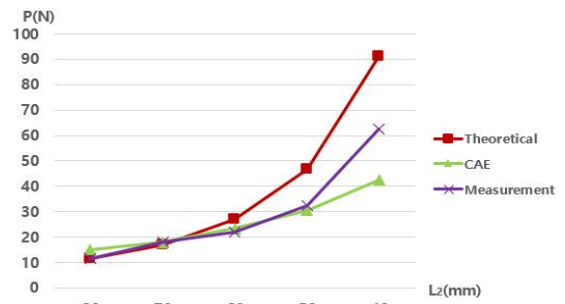


Fig. 10 Comparison of the stiffness obtained by theory, CAE and experiment

구 홀더 부분의 모델링인데 본 해석에서는 고정단으로 해석하였고 홈 내부의 모서리도 실제 제작공정을 고려하여 예리한 모서리로 처리하였다. 그 결과 Fig. 11에서 얻은 CAE 예측 결과값이 이론치에 비하여 작은 강성을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 12는 사용된 측정장비를 설명하고 있다. 사용된 새로운 버제거 공구를 설치하고 휠 핸들을 돌려서 힘 측정기(force gage)가 장착된 베이스가 움직인다. 그 움직이는 양은 옆에 장착되어 있는 디지털 버니어(digital vernier)에 의해서 측정이 된다. 장착된 힘 측정기의 팁을 공구 팁에 위치하고 휠 손잡이(wheel handle)를 이용하여 움직이면 처짐량의 증가에 따라 힘 측정기에 점점 더 큰 힘이 측정된다. 앞에서 이론식과 CAE 해석과의 비교를 위하여 공구의 홈의 길이가 변하면서 일정량, 0.85mm의 처짐을 인가할 때 발생하는 반발력을 측정할 결과이다. 그 결과는 가장 강성이 큰 40mm의 경우는 이론값에 비하여 다소 작은 강성을 나타내지만 그 나머지 부분에서는 매우 유사한 결과를 나타낸다.

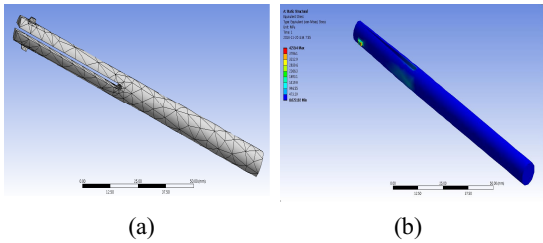


Fig. 11 (a) 3D modeling and (b) stress analysis of deburring tool

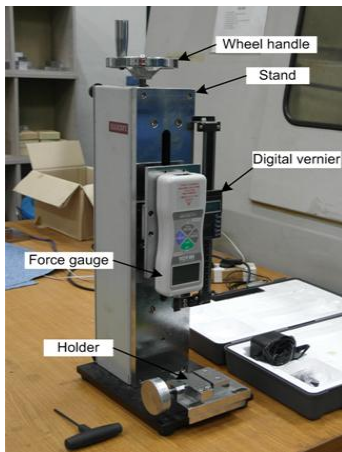


Fig. 12 Experiment set up to measure reaction forces when tool is deflected

Fig. 10에 나타난 세가지 경우 모두 유사한 경향을 나타내고 있지만 반발력이 커질수록 오차가 커짐을 알 수 있다. 실험에 의해서 구한 값을 중심으로 이론값은 다소 큰 값을 나타내고 CAE 해석 결과는 다소 작은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이론값이 실험치보다 다소 큰 것은 실제 빔이 연결 상태에 따라서 흠부를 예리한 모서리나 라운드 형상이 형성될 수도 있다. 또한 공구 제작 시 발생할 수 있는 공구단면의 형상 오차로 인하여 이론값과의 차이가 있다고 사료된다.

본 연구를 통하여 흠부의 길이로 대표되는 강성이 절삭력에 미치는 영향을 파악함으로써 공구 설계 시 가공할 피삭재의 종류 및 가공형상에 따라서 적절한 강성을 설계할 수 있음을 알 수 있다. 그래서 이러한 해석을 바탕으로 가공물의 재료와 상황에 따라서 공구형상의 맞춤 설계가 가능하게 된다.

3.3 버제거 공구의 강성의 변화에 따른 경사진 출구면의 버제거 실험

Fig. 8에 나타난 버제거 공정은 출구면의 경사각이 0°일 때 균일한 버제거 작업이 출구면의 구멍 모서리를 따라서 형성됨을 관찰할 수 있다. 그러나 경사진 출구면에 발생한 버제거를 위하여는 Fig. 13에 나타난 바와 같이 공구가 축방향으로 이송함에 따라 버제거 작업도 다른 모서리로 이동하면서 발생함을 알 수 있다. 이 과정에서 공구가 처음 버제거를 시작하는 단계에서는 Fig. 13(b)와 같이 공구의 1 회전 중에서 작은 부분만이 버제거에 관계하는 것을 알 수 있다. 이 경우에는 공구인선부의 진입 시 변형과 구멍에서 나올 때 공구인선부의 복원이 원활하게 이루어져서 원활한 버제거 작업이 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 공구가 이송하면서 Fig. 13(d)의 단계에서는 공구가 1 회전하는 동안 변형이 이루어져서 구멍 안으로 전체가 들어가기 직전 단계를 나타낸다. 이 경우에는 공구인선부가 변형으로부터 원래 변형 전 상태로 복원될 공간이 매우 제한이 되면서 복원이 어려워진다. 이 과정에서는 공구인선부의 변형과 복원이 어려워지면서 버제거 작업이 원활하게 이루어지기가 어렵게 된다. 그래서 이 부분에 해당하는 지점이 바로 Fig. 1에서 5의 위치에 해당된다. 그래서 본 연구에서는 이러한 경사진 출구면에서의 버제거 작업이 공구의 강성이 변화함에 따라서 어떻게 변화하는지를 관찰하고 이를 설계에 반영하여 원활한 버제거를 이루어 한다. Fig. 1에서 5의 위치에서의 버를 가장 제거하기 어렵기 때문에 이 지점에서 버 제거 확인이 중요하다. 이하의 사진에서는 5의 위치가 Fig. 1에서의 위치와 180°회전된 위치에 있어서 Fig. 1과는 가꾸로 위치해 있다. 그래서 지금부터의 버제거 결과 사진에서는 사진 하단부가 5의 위치를 나타낸다. Fig. 1에 나타난 형상의 출구면의 경사각이 30°, 45°인 두가지 Al6061 시편을 사용하였다. 버제거 실험을 위하여 9.2mm 구멍가공을 CNC 머시닝센터에서 선행되었다. 그 후에 버제거용 공구를 장착하여 800rpm과 30mm/min의 회전속도와 이송속도로 버제거 작업이 이루어졌다. Fig. 14와 15에서 보는 바와 같이 대부분의 경우 5의 위치를 제외한 다른 위치에서는 버가 제거되었음을 알 수 있다. 그리고 이 판

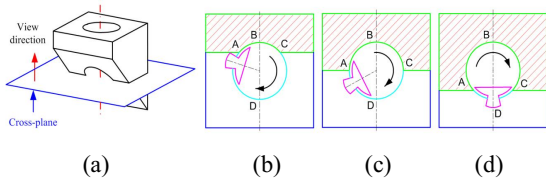


Fig. 13 Deburring process for the burr on inclined exit surface according to different position of tool

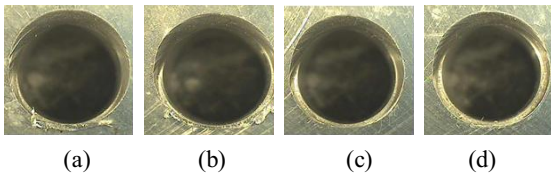


Fig. 14 Result of deburring at the workpiece Al6061 with inclination angle of 30° with different stiffness of slot length (a) 80mm (b) 60mm (c) 50mm (d) 40mm

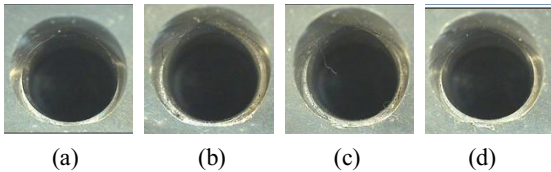


Fig. 15 Result of deburring at the workpiece Al6061 with inclination angle of 45° with different stiffness of slot length (a) 60mm (b) 55mm (c) 50mm (d) 45mm

찰은 구멍의 축에서 바라본 사진이다. 이 결과로부터 출구면의 경사각이 45°인 경우가 더 큰 챔퍼면을 만드는 것을 알 수 있고, 각 경우에 대하여 공구강성이 커질수록, 즉 홈의 길이가 짧아질수록 깊은 챔퍼가 만들어짐을 그림으로부터 관찰할 수 있다.

Fig. 14에서는 홈 길이(L_2)가 80mm와 60mm에서는 지점 5에서 버가 완전히 제거되지 않았음을 알 수 있고, 홈 길이가 50mm 일 때 적절하게 버가 완전히 제거되었음을 관찰할 수 있다. 그러나 40mm가 되었을 때 지나친 강성으로 인하여 다른 2차 버가 형성되는 것을 볼 수 있다. 그래서 이 경우에 가장 최적의 강성은 홈 길이가 50mm 인것을 알 수

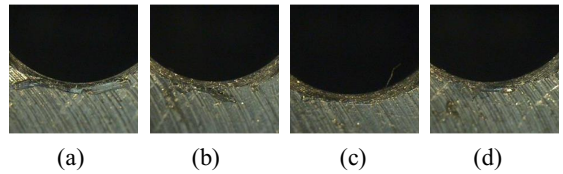


Fig. 16 Detail observation of deburring result at the position 5 of SM45C with inclination angle of 30° when deburred with different slot length (a) 70mm (b) 60mm (c) 50mm (d) 40mm

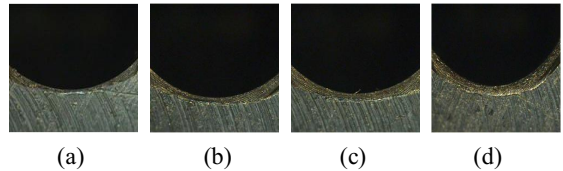


Fig. 17 Detail observation of deburring result at the position 5 of SM45C with inclination angle of 45° when deburred with different slot length (a) 70mm (b) 60mm (c) 50mm (d) 40mm

있다.

Fig. 15으로부터 피삭재의 출구각이 45°일 때, 공구의 강성 즉 홈의 길이(L_2)에 따른 5의 위치에서의 버의 거동을 살펴보았다. 길이가 60mm일 때에는 버가 완전히 제거되지 않았고 55mm 일 때 완전히 제거됨을 알 수 있다. 그리고 다시 홈의 길이가 줄어들어서 50과 45mm인 경우에 공구의 큰 강성으로 인하여 2차 버가 발생함을 알 수 있다. 이 경우에는 홈의 길이가 55mm인 경우에 적합한 강성을 얻을 수 있다.

동일한 실험을 피삭재가 SM45C로 변경했을 때 피삭재 출구면의 경사각이 30°인 경우가 Fig. 16에 나타나 있다. 홈 길이가 70, 60, 50mm인 경우에는 5의 위치에서 버가 완전히 제거되지 않았고 길이가 40mm일 때 완전히 제거되었다. Fig. 17은 출구면 경사각이 45°인 경우에서도 홈 길이가 40mm 일때 버가 완전히 제거되었다.

결과적으로, SM45C의 피삭재를 버제거하는 경우에 홈 길이가 40mm의 강성이 최적이고 Al6061의

경우는 55mm에서 50mm 정도의 강성이 적합한 것으로 판명이 되었다. 재료의 경도나 인장강도의 차이에 따라서 버제거 공구의 적정 강성이 달라짐을 관찰 할 수 있었다. 버제거를 위한 새로운 공구의 경우는 피삭재의 특성에 따라서 강성을 최적화하는 작업이 필요함을 알게 되었다. 그래서 실제로 새로 개발된 버제거용 공구의 형상은 강성을 조절할 수 있도록 홈의 길이를 임의로 변화 시킬 수 있는 조정이 가능한 구조가 되어야 함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 새로 개발된 버제거용 공구의 공구경사각과 공구강성을 이론적으로 모델링하였다.

공구경사각의 경우에는 공구 제작시 공구 인선부를 연삭하는 연삭휠의 직경이 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 공구의 다른 향상, 공구 인선 톱의 높이와 인선부 경사각이 미치는 영향을 분석할 수 있었다. 또한 공구경사각이 버제거 성능에 미치는 영향을 실험적으로 관찰하였다. 버제거용 공구의 강성이 버제거에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위하여 본 공구의 주어진 단면 형상으로부터 홈부의 길이에 따른 강성의 변화를 수학적으로 계산할 수 있었다. 그리고 이렇게 설계된 공구를 사용하여 Al6061과 SM45C의 다른 기계적 특성을 갖는 피삭재 가공 시 효율적인 버제거를 위한 강성을 제안하였다. 또한 피삭재의 형상 즉, 경사진 출구면의 각도에 따라서 버가 가장 제거되기 어려운 위치에 발생하는 버의 제거에 공구의 강성이 미치는 영향을 분석하였다.

후 기

“이 논문은 2020년도 경상국립대학교 교원 연구활동 지원사업의 예산지원으로 수행되었음.”

REFERENCES

1. Ko, S. L., “Understanding of Burr Technology and It's Trend”, Journal of the Korean society of

mechanical engineers, Vol. 33, No. 1, pp. 33-46, 1993.

2. Kim, J., Min, S. and Dornfeld, D. A., "Optimization and control of drilling burr formation of AISI 304L and AISI 4118 based on drilling burr control charts", International journal of machine tools & manufacture, Vol. 41 No. 7, pp. 923-936, 2001.
3. Jeong, Y. H., Yoo, B. H., Lee, H. U., Min B. K., Cho, D. W. and Lee. S. H., "Deburring microfeatures using micro-EDM", Journal of materials processing technology, Vol. 209 No. 14, pp. 5399-5406, 2009.
4. Lee, S. H. and Dornfeld, D. A., "Precision laser Deburring", Journal of manufacturing Science and Engineering, Vol. 123, No. 4, pp. 601-608, 2001.
5. Beier, H. M. and Nothnagel, R., “Development of a High-Speed Deburring Tool”, Proceedings of 7th International Conference on Deburring and Surface Finishing, pp. 271-279, 2004.
6. Kim, K. H. and Park, N. J., “A New Deburring Tool for Intersecting Holes”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, Vol. 219, No. 12, pp. 865-870, 2005.
7. Cheon, K. H and Kim, H. J., “An Experimental Study on the Deburring Characteristics according to rpm Change of Deburring Wheel”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 45 pp. 103-110, 2018
8. Ton, T. P., Park, H. Y. and Ko, S. L., “Experimental analysis of deburring process on inclined exit surface by new deburring tool”, CIRP Annals, Vol. 60, No. 1, pp. 129-132, 2011.
9. Bae, J. K., Park, H. Y., Kwon, B. C. and Ko, S. L., “Determination of Cutting Conditions for an Efficient Deburring Process Using a New Deburring Tool”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 109-117, 2016.