

칩브레이커 사용에 따른 밀링버의 생성특성 연구

황덕철*(인천대학교 대학원), 황 준**(충주대학교), 우창기*** (인천대학교)

Burr Formation Characteristics due to Chip Breaker in Milling Process

Duk-Chul Hwang*(Inchon University., Graduate School),
Joon Hwang**(ChungJu National University), Chang-Gi Woo*** (Inchon University.)

ABSTRACT

This paper presents the numerical analysis and experimental verification to know the metal cutting burr formation mechanism in face milling operation. Finite element method are applied to predict the 2-D burr formation process prediction. Face milling process are adjusted to analyze the characteristics of burr shapes according to various cutting conditions. The cutting parameters were investigated with cutting speed, feed rate, depth of cut. Through a few experiments, various burr types are classified according to its shape and properties.

Key Words : Burr Formation Mechanism(버생성 기구), Metal Cutting Process(절삭공정), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서론

기계가공시 절삭가공이 포함되는데 대부분 모든 절삭가공에서는 두면이 만나는 모서리부에서 피삭재의 절삭저항과 공구의 회전에 의한 모서리부의 칩(chip)이 이탈되면서 소재의 밀립 현상이 발달하여 소성변형을 일으키게 된다. 이러한 모서리부의 예리한 들출 현상을 버(Burr)라 한다. 버는 자동화가 이루어지는 현시점과 초정밀가공 기술이 요구 되는 공정에 병목현상이 발생되어 생산성 향

상은 물론 정밀도 유지에 많은 문제점이 야기되고 있으며 또한 생산공정의 자동화에 있어서도 걸림들로 작용하고 있으므로 효율적인 버 제거 및 버 발생 최소화를 위한 기술개발은 대단히 중요한 과제로 생각된다.

이러한 버 발생의 문제는 매우 부수적인 문제로 도외시 되어 오다가 최근에는 전 생산공정의 병목현상을 일으키며 품질향상에 문제점으로 대두되어 많은 연구자들의 관심과 연구가 집중되고 있는 실정이다. 버 발생의 문제를 해결하기 위해서 여러 가지의 방법이 사용되고 있으며, 버 발생 원리와 원인들에 대한 고찰을 통하여 버 발생을 억제하거나 방지하려는 노력과 발생한 버의 효율적인 제거 방법으로서 생산공정 중에서의 자동화를 위한 시스템의 개발 등에 대한 연구가 진행 중이다.

따라서, 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 버 형성을 예측하고, 절삭가공에서 공구이탈시 발생하는 버 형성에 대한 특성을 파악하기 위해 여러 가지 절삭조건하에서 실험과 고찰을 통하여 버 형성의 예측과 버 형성의 최소화를 기할수 있는 최적절삭조건과 제거방법을 찾는 데 기초자료로서 활용하고자 한다.

2. 유한요소 모델링

본 연구의 버 형성과정 모사를 위한 유한요소 모델은 Fig.1 에 나타낸 바와 같이, 공작물과 공구

로 나누어 구성하였으며, 강소성 유한요소모델을 적용하고, Newton-Raphson 법에 의해 해를 구하였다.

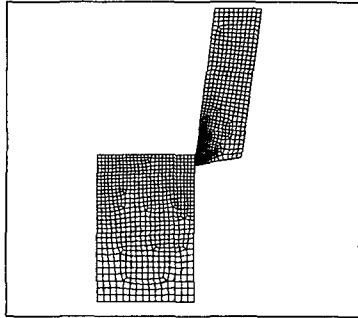


Fig.1 Finite element modeling for burr formation simulation

공구의 이동에 의한 절삭가공공정의 유한요소 해석을 위해서는 대변형 탄소성해석이 필요하다. 특히, 유한요소법을 이용한 절삭시뮬레이션에 있어서 반드시 해결해야 할 문제중의 하나가 실제 절삭가공상태와 같이 공작물로부터 칩이 분리되어 공구경사면을 따라 흘러나가는 현상이며, 이를 공구와 공작물간의 마찰접촉기구를 구성할 수 있는 master-slave surface의 정의와 공구진행에 따른 공작물의 적절한 연성과파괴기준의 설정을 들 수 있다. 연성과파괴기준들은 응력과 변형률의 적분형태로 구성되어 있으며, 이 식에서 얻어진 값이 어느 기준을 초과하면 연성과파괴가 진행되는 것으로 간주한다.

Cockcroft 와 Latham 은 연성과파괴시 소성변형률 경로에 대한 최대 주인장 응력의 영향을 고려한 연성과파괴기준을 제시하였으며, 인장응력이 없다면, $\sigma^* = 0$ 이므로 파괴는 발생하지 않는다는 개념이다.

$$\int_0^{\epsilon_p} \sigma^* = C_0 \quad (1)$$

여기서, σ^* 는 최대 인장주응력, e_p 는 유효변형률, C_0 는 재료상수이다.

이와 같은 연성과파괴기준에 의해 파괴된 요소는 격자재구성(remesh) 과정을 통해 기존 유한요소모델에서 제거되며, 이 때 공작물로부터 분리되어 칩의 형태로 배출되는 과정을 나타내는 것이다. 이러

한 방법론은 버 형성 과정을 효과적으로 모사할 수 있다.

3. 버 형성기구 예측

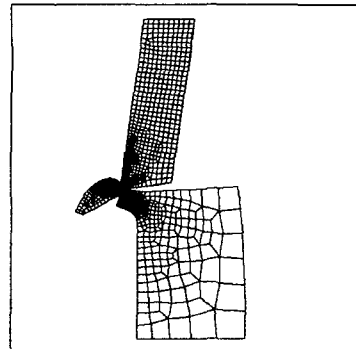


Fig.2 Burr and chip formation simulation on cutting process via finite element method (step 250)

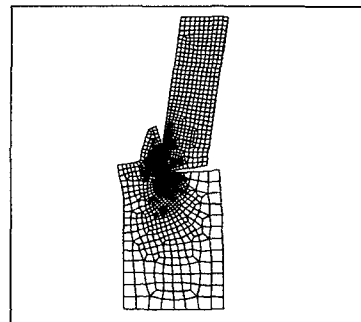


Fig.3 Burr and chip formation simulation on cutting process via finite element method (step 450)

버 형성과정 예측을 위해 구성된 유한요소모델을 이용하여, 공작물의 폭은 50.0mm, 절삭깊이는 1.0mm 으로 2차원 절삭을 실시할 때, 공구경사면을 따른 칩의 분리, 생성과정과 버의 형성과정을 Fig.2(250 step), Fig.3(450 step)을 각각 나타내었다.

가공중에는 공구경사면을 따라 칩이 유동하는 동시에 소성전단파괴가 절삭방향으로 이루어지고 있으며, 특히, 공구가 공작물을 이탈하는 순간의 공작물의 연성과 인성에 의해 칩이 완전히 파단되지 못하고, 공구경사면에 물린 상태에서 공작물의 모서리 부분에서 버의 형성이 이루어지고 있다.

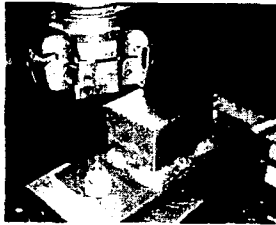
또한, 절삭진행방향으로 공작물 단면이 완전히

지지되어 있지 않으면, 칩의 발생과 함께 재료의 소성변형이 누적되면서 공작물 모서리부분의 버 높이가 증가하는 것도 확인할 수 있다.

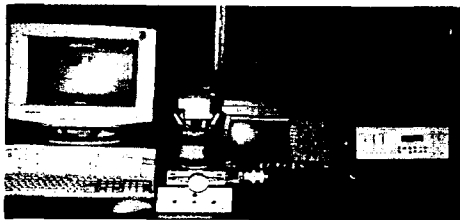
4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험장치 구성

절삭조건 변경에 따른 버 생성특성을 형성과정을 확인하기 위하여 페이스밀링가공을 실시하였으며, 버형상, 표면조도, 절삭력, 공구마멸량, 칩형상 등을 측정하여, 이들 물리량과 버와의 상관성을 고찰하였다.



(a)



(b)

Photo 1 Experimental set-up for burr formation measurement in face milling operation

Photo 1에 나타난 바와 같이, 3축 밀링을 이용하여 페이스 밀링을 수행하고, 공구동력계(9257B, Kistler)를 이용하여 절삭력을 측정하여 A/D변환하여 절삭력 특성을 분석하였다. 또한, 공구현미경(TM-101, Mitutoyo)를 이용하여 가공전후의 공구마멸량과 버 형상 및 크기를 측정하였으며, 표면거칠기측정기를 이용하여 최대거칠기 R_{max} 를 구하였다. 이러한 측정결과들은 절삭조건과 버의 상관성을 연구하기 위해 이용되었다

공작물은 SM20C, 공구는 초경인서트(SPCN, SPCR), 커터바디(EP100, $\phi 100\text{mm}$)를 사용하고, 절삭속도(500rpm), 이송(120mm/rev), 절삭깊이(0.2~2.0mm)로 변경하면서 버 생성실험을 수행하였다.

4.2 버의 형태별 분류

이상의 실험조건하에서 절삭가공 수행시 발생한 대표적인 버의 형태를 분류하면 Fig.4 와 같다. 버의 형태는 절삭조건에 따라 다양한 형태를 나타내고 있으며, (a)primary burr, (b)wave burr, (c)uniform burr, (d)secondary burr 등이 페이스밀링시 가장 일반적으로 나타나는 버 형태이다.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.4 Typical burr shapes via face milling process

4.3 절삭깊이에 대한 버 생성특성

4.3.1 No Chip Breaker 인서트 사용시 버 형상



(a) doc = 1.2mm



(b) doc = 1.8mm

Fig.5 Comparison of burr shapes with respect to depth of cut

Figure 5에 나타낸 바와 같이, 절삭속도, 이송속도 등의 절삭조건은 동일하게 유지하면서, 절삭깊이를 (0.2~2.0mm) 변화시켜 No chip breaker 인서트(SPCN, Korloy) 과 chip breaker 인서트(SPCR, Korloy)를 사용하여 버의 생성특성을 조사하였다.

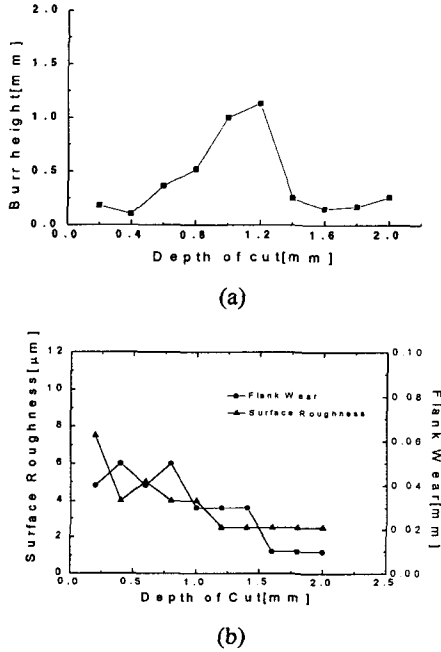


Fig.6 Comparison of burr height and surface roughness with respect to depth of cut with no-chip breaker insert

Figure 5와 6의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, 절삭깊이가 0.4mm 이하일 때는 낮은 높이의 primary burr가 발생되나, 절삭깊이 0.6mm~1.2mm 에서는 wave burr의 높이가 절삭깊이에 비례하여 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 1.4mm~2.0mm 까지에서는 버높이가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

이는 wave burr가 탈락되고 secondary burr 형태를 보이면서 버높이가 감소하는 것으로 확인되었다. 또한, 표면거칠기의 차이는 크지 않게 나타났으나, 절삭깊이의 증가에 따라 점차적으로 개선되는 결과는 공구마멸량과 관련이 있는 것으로 판단된다.

4.3.2 Chip Breaker 인서트 사용시 버 형상

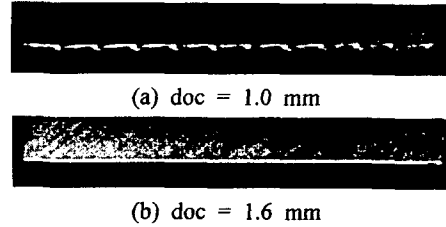


Fig.7 Comparison of burr shapes with respect to depth of cut

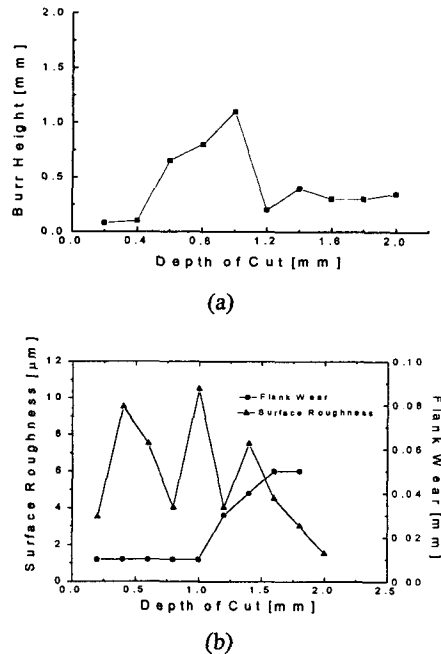


Fig.8 Comparison of burr height and surface roughness with respect to depth of cut with chip breaker insert

Chip Breaker 인서트 사용시에는 버의 크기가 절삭깊이 0.7mm~1.2mm 까지의 조건에서 가장 크게 나타났으며 Fig.7 과 같이 버의 형상이 가공면 수평 바깥쪽으로 심하게 말림 현상이 발생되었다.

Figure 7과 8의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, 절삭깊이가 0.4mm 이하일 때는 낮은 높이의 primary burr가 발생되나, 절삭깊이 0.6mm~1.0mm

에서는 wave burr의 높이가 절삭깊이에 비례하여 증가하는 경향과 함께, no chip breaker 인서트 대비 유사한 버높이를 나타내고 있다. 1.2mm~2.0mm 까지는 버높이가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 높은 pitch를 갖고 있는 wave burr가 탈락되고 secondary burr 형태를 보이면서 버높이가 감소하는 것으로 확인되었다. chip breaker 인서트를 사용한 실험에서 표면거칠기는 1.4mm 이상의 조건에서 향상되는 결과를 보이고 있으며, 공구의 여유면 마멸폭은 절삭깊이 1.0mm까지는 1회 절삭에 대해 0.01mm 정도의 작은값을 보이다가 절삭깊이 1.2mm 이상에서는 마멸량이 급증하는 경향을 나타내고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 페이스밀링 가공시 발생하는 버의 생성특성을 절삭깊이별 조건에 따라 형상화하여 사용 공구별 상관관계를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 버의 형상과 크기는 절삭깊이에 따라 no chip breaker 인서트와 chip breaker 인서트를 각각 사용하여 조사한 결과 모두 비슷한 형상으로 나타났다. 절삭깊이 0.7~1.2mm 부근에서 wave burr가 발생되어 버의 높이가 증가하는 경향을 나타내고 있다.

2) chip breaker 인서트를 사용할 경우 절삭깊이 1.0mm까지는 절삭깊이 증가에 따른 공구의 여유면 마멸량은 0.1mm 정도를 유지하지만, 1.2mm 이상에서는 여유면 마멸량은 급증하는 결과를 나타내고 있다.

3) chip breaker 인서트 사용시 표면거칠기의 최대높이 R_{max} 는 절삭깊이에 증가와는 큰 상관성을 보이지는 못하고 있으나, 측정된 절삭저항은 no chip breaker의 경우와 비교하여 다소 감소하는 경향을 나타내고 있다.

4) 절삭깊이, 인서트의 형상등에 따라 다양한 형태의 버 형태가 발생하고 있으나, 절삭깊이 0.4mm 이하에서는 낮은 높이의 primary burr가 생성되고, 0.6mm~1.2mm (no chip breaker 인서트), 0.6~1.0mm (chip breaker 인서트) 조건에서는 pitch

와 높이가 큰 wave burr가 발생하였다. 절삭깊이 1.2mm 이상에서는 두 가지 인서트 모두 버의 높이가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 wave burr가 탈락되고 낮은 높이의 secondary burr가 생성되기 때문인 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. Pekelharing, A. J., "The Exit Angle Failure in Interrupted Cutting", *Annals of the CIRP*, Vol.27, No.1, pp.5-10, 1978.
2. Iwata, K., Ueda, K., Ikuda, K., "A Study of Mechanism of Burr Formation in Cutting Based on Direct SEM Observation," *JSPE*, Vol.48, No.4, pp.510-515, 1982.
3. Hasimura, M., Hassamontr. J., Dornfeld, D. A., "Effect of In-Plane Exit Angle and Rake Angles on Burr Height and Thickness in Face Milling Operation", *ASME J. of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.121, pp.13-19, 1999.