

페이스 밀링 가공시 버형성에 관한 연구 (II)

한상우(건국대 대학원 기계설계학과), 고성림*(건국대 기계설계학과)

A Study on Burr Formation in Face Milling (II)

S. W. Han(Mech. Design. Prod. Eng. Dept., KGU), S. L. Ko(Mech. Design. Prod. Eng. Dept., KGU)

ABSTRACT

Burr makes troubles on manufacturing process due to deburring cost, quality of products and productivity. This paper described the results of experimental study on the influence of the cutting parameters on the formation of exit burrs in face milling. The cutting parameters were investigated changing exit angle, rake angle, lead angle in tool geometry as well as feed per tooth. Also we carried out experiments on several materials. Using the results of experimental study, burr types are classified according to appearance and formation mechanism in exit burr and we are considered the burr formation in each type of burr.

Key Words : Classification of burr (버의 분류), Burr formation (버형성), Roll-over burr (롤오버 버), Leaned burr (기울림 버), Exit angle (출구각), Major cutting edge (주절삭날), Minor cutting edge (부절삭날)

1. 서론

대부분의 기계가공에서는 절삭가공이 포함되는 데 모든 절삭가공에서는 두 면이 만나는 모서리부에서 공구의 모서리부 이탈시에 피삭재의 절삭저항으로 밀림현상이 발달하여 소성변형을 일으킨다. 이러한 모서리부의 돌출현상을 버(burr)라한다. 버로 인하여 제품의 기밀성이 저하되며 마찰에 의한 접촉면 손상과 안전성에 문제를 일으킬 수 있기 때문에 반드시 제거되어야 한다. 그러나 이러한 버 제거 공정이 다른 주된 가공공정의 자동화 추세에 비하여 생산성에 있어서 매우 뒤떨어지기 때문에 버 제거 작업이 새로운 병목현상으로 등장하기 이르렀다. 이와 같은 버 제거를 효율적으로 달성하기 위하여 우선적으로 버의 발생 원리를 이해함으로써 가능하게 된다. 이것은 발생할 버의 크기나 재질을 적절하게 예측함으로써 이를 수행하기 위한 효과적인 방법을 찾는 것이 가능하게 되기 때문이다.⁽¹⁾

절삭 중에 발생하는 버는 매우 불규칙하고 복잡한 절삭 중에 발생하기 때문에 해석적인 방법에 의해서 간단히 예측하기가 매우 어렵다. 특히 밀링가공에서의 거동은 3차원 모델로 매우 복잡하여 완전한 이론 모델을 수립하는 것은 매우 어렵기 때문에

일차적으로 실험에 의한 데이터베이스의 확립에 의한 관찰이 선행되어야 한다. 이 때문에 우선적으로 버 발생기구의 이해에 의한 간단한 버 발생 모델을 제시하며, 해석적 방법으로는 버 형성 예측이 매우 제한적이기 때문에 이에 대한 보완으로서 다양한 경우에서의 실험을 실시함으로써 실제 버 형성시 형상과 크기를 예측하는데 사용할 수 있다. 본 논문에서는 버형성 원리의 이해를 위한 실험결과를 이용하여 페이스 밀링에서의 버형성을 관찰하였다.

2. 밀링가공 실험 및 버형성 관찰

페이스 밀링 작업시 발생하는 버의 발생원리에 대한 이해를 넓히기 위해 여러가지 조건에서의 실험과 관찰을 통하여 버형성의 예측과 이를 이용한 버형성의 최소화를 기할 수 있는 조건을 알아보고 데이터베이스의 구축을 위한 실험을 수행하였다.⁽²⁾ 실험에 사용한 공구는 Table 1과 같으며, 네 가지 종류의 피삭재를 사용하였다. Table 2와 같이 날당 이송량의 변화를 세분화하여 공구의 날이 피삭재의 가공 표면으로부터 이탈하는 방향과 가공될 피삭재 모서리 사이와의 각인 exit angle에서의 버형성을 관찰하였다. SM20C에서 Tool 1을 이용하여 이송량 0.1mm/

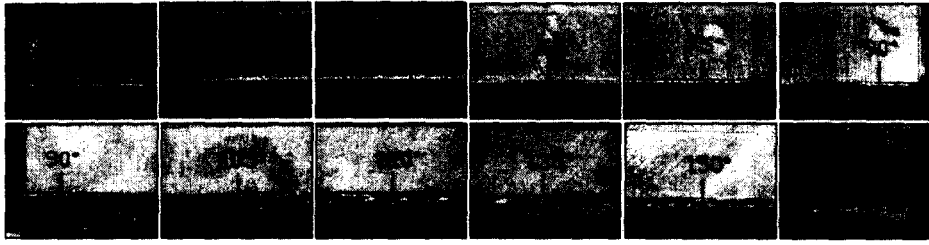


Fig. 1 Burr formation in face milling (SM20C, Tool 1, F=0.1 mm/tooth, V=150m/min, D.O.C=1.2mm)

Table 1 Tool geometry

	Lead angle	Radial Rake angle	Axial Rake angle	Dia-meter	Insert shape
Tool 1	45°	-6°	20°	125(mm)	square
Tool 2	0°	6°	15°	125(mm)	triangle

Table 2 Cutting conditions

Material	Tool	Cutting Velocity	Depth of Cut	Feed	Exit Angle
Al1050	Tool 1	300 (m/min)	2 (mm)	0.05, 0.1, 0.15, 0.2 (mm/tooth)	15° 30°
Al6061	Tool 1				45° 60°
	Tool 2				75° 90°
SM20C	Tool 1	150 (m/min)	1.2 (mm)		105° 120°
	Tool 2				135° 150°
SM45C	Tool 1				165°
	Tool 2				

tooth에서의 각 exit angle에 따른 버의 형상을 Fig. 1에서 볼 수 있다. Exit angle이 15° 에서 105° 까지는 균일하고 작은 버가 발생하고, 120° 와 135° 에서는 주름진 버가 발생하며 150° 와 165° 에서는 균일하고 큰 버가 발생하였다. 형성된 버의 형상을 구체적으로 관찰하기 위하여 레이저 비접촉식 측정된 결과가 Fig. 2와 같고, 이 데이터에서 버의 높이와 두께 그리고 경사각을 얻은 결과가 Fig. 3에 나타나 있다.

3. 밀링가공시 버의 분류 및 버형성 원리

3.1 버의 분류

기존 논문에서의 버 분류를 살펴보면, Gillespie 등⁽³⁾은 버 형성원리에 기초하여 poisson 버, roll-over 버, tear 버, cut-off 버로 나누었으며, K. Nakayama 등⁽⁴⁾은 버 형성에 관계하는 절삭날과 버가 발생하는 방향성으로 분류하였으며, Olvera 등⁽⁵⁾은 발생위치에 따라 버를 분류하였다. W. Kishimoto 등⁽⁶⁾은 roll-over를 제거하기 쉽고 큰 형태를 갖는 primary 버와 작은 높이의 secondary 버로 나누었으며, M. Hashimura 등⁽⁷⁾은 기존의 논문에서 분류한 유사한 버들의 분류를 포함하여 버의 발생 위치와 형태 그리고 형성원리에 따라 서로 관련시켜 분류하였다. 페이스 밀링에서 생기는 버 분류에 있어서 기존의 논문들에서는 버의

Burr plot: SM20C, Lead angle 45°, F=0.1mm/tooth, Exit Angle 15° - 165°

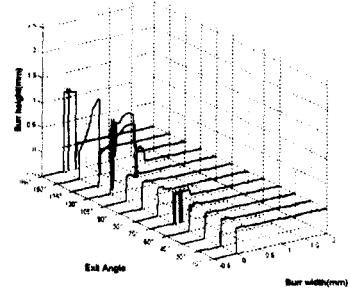


Fig. 2 Burr measurement by laser system (SM20C, Tool 1, F=0.1mm/tooth, D.O.C=1.2mm)

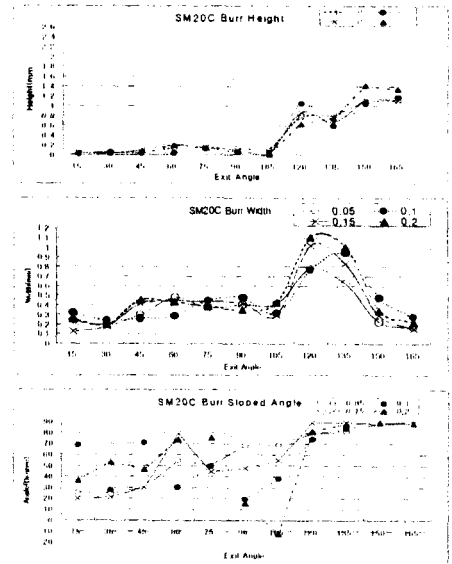


Fig. 3 Data of burr formation in SM20C by tool 1

발생 위치, 형태, 형성원리에 따라 서로 유사하게 분류. 명명하였으며, 버 명칭에 대한 사용을 혼란하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 버의 생성이 활발한 공구의 이탈지점에서 생기는 exit edge에서의 버를 각 exit angle과 절삭조건, 공구의 변화에 따라 그의 생성을 관찰하여 버형성 원리에 의하여 roll-over 버와 leaned burr로 나누었으며, 또한 버형태로는 크게

규칙적인 형태와 불규칙적인 형태로 각각 Type A·B·C·D·E의 다섯 경우로 분류하여 버형성 예측을 위한 전문가 시스템에 데이터베이스의 자료로 이용하였다(Fig. 4). Roll-over 버는 Fig. 1에서 처럼 예각의 exit angle과 작은 둔각에서 버 생성을 관찰할 수 있으며 Fig. 5(a)는 그 단면 모습이다. Leaned 버는 생김새에 따른 분류로 wave-type 버와 uniform 버로 분류될 수 있으며, 실험 결과인 Fig. 1에서 처럼 exit angle이 큰 둔각에서 생성됨을 관찰할 수 있다. Fig. 5(b)와 (c)에서 그 단면의 모습을 보여주고 있는 것으로서 레이저 측정시 Type B의 두께가 크게 나타나지만 실제 단면의 두께와 높이는 Type C와 비슷하며 버 제거효과를 고려하여 함께 leaned 버로 고려할 수 있다. Type D와 E의 불규칙한 버는 Table 1에서 Tool 2와 같이 리드각(lead angle)이 작은 경우에 주절삭날의 영향이 작아지고 부절삭날에 의한 2차원 절삭과 같은 roll-over 버가 주를 이루는 형태이다.

3.2 버형성 원리

Fig. 6은 Tool 1의 절삭날 형상을 갖고 exit edge를 이탈할 때에 exit angle이 75°와 135°에서의 과정을 평면적인 상태와 입체적인 상태로 보여주고 있다. Type A를 나타내는 roll-over 버는 2차원 절삭에서 형성되는 버의 원리와 같다⁽⁸⁾. Exit angle이 작은 각에서는 부절삭날(minor cutting edge)이 먼저 피삭재의 exit edge를 이탈하면서 exit surface에서 굽힘이 일어난 버를 공구진행방향으로 부절삭날의 전단에 의한 크기가 작은 버를 생성한다. Fig. 6(a)에서 볼 수 있듯이, 주절삭날(major cutting edge)에 의해 만들어지는 transition surface상에서 굽힘이 일어나는 hinged side는 절삭이 계속되면서 없어지기 때문에 버형성에 큰 영향을 미치지 못하는 못한다. 따라서 예각인 exit angle에서는 부절삭날의 전단에 의한 버 높이가 작고 버 두께가 작은 roll-over 버가 생성된다. 이에 반하여, SM20C의 경우 exit angle이 90°에서부터 105° 지난 범위까지는 꼬인 형태의 칩이 탈락되어 Type A의 버가 생성되다가 그 이상의 exit angle에서는 피치(pitch)를 갖는 주름진 형태의 wave-type인 Type B인 버가 생성되는 것을 Fig. 1에서 볼 수 있다. Tool 1에 의한 절삭에 있어서 exit angle이 반경방

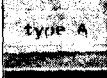


Regular type			Non-regular type	
Roll-over Burr	Leaned Burr		Type D (Ragged burr)	Type E (Longitudinal burr)
Type A (Secondary burr)	Type B (Wave-type burr)	Type C (Uniform burr)		
				

Fig. 4 Classification of exit burr in face milling



(a) Type A (b) Type B (c) Type C
Fig. 5 Section of each burr type

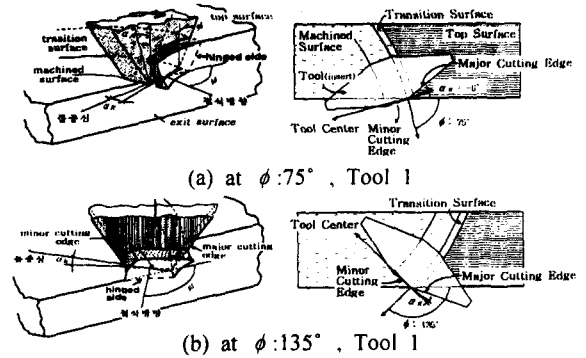
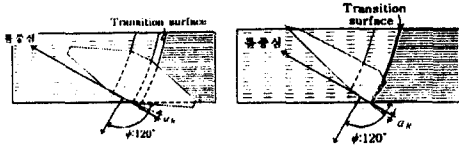


Fig. 6 Burr formation process in different exit angles

향경사각(α_R)과 관계하여 96° 이상부터는 주절삭날이 먼저 exit edge를 이탈하여 버가 생성된다. 그러나 공구의 절삭면이 축방향경사각(α_A) 만큼 기울어져 있기 때문에 일정 범위 동안에는 주절삭날에 의한 주름진 형태의 버가 발달하는 동시에 부절삭날의 영향에 의해 exit edge에서 탈락되어 꼬인 형태의 칩 형태로 남는다. 부절삭날의 영향이 작아지는 105° 이상부터는 Fig. 6(b)에서 볼 수 있듯이, 절삭에 의해 칩의 굽힘이 일어나는 hinged side가 exit surface에서 발생하고 먼저 이탈하는 주절삭날 쪽의 hinged side에서 칩 절삭의 굽힘에 의한 소성변형이 심하게 일어나며 공구 중심 쪽의 hinged side에서 상대적으로 심하지 않게 일어난다. 부절삭날이 exit edge를 이탈하면서 성장된 버를 밀어냄으로서 버가 생성된다. Fig. 6(b)에서 주절삭날이 이탈되면서 transition surface에 남은 피삭재와 버 사이에서 인장에 의한 파단이 발생하지 않으면 심한 인장응력이 작용한다. 이 과정 중에 top surface에 가까이 있는 부분은 가장 큰 인장 변형이 일어난다. 이로 인하여 wave-type의 버가 발생한다. 그러나 90°-105°와 같이 작은 이탈 각에서는 부절삭날에 의한 roll-over 버의 이탈현상을 조장하기 때문에 Fig. 7과 같은 transition type A-B 버가 발생한다. Exit angle이 더 커지면 주로 주절삭날에 의해 성장된 버가 발달되므로 피치가 짧으며 버 높이가 크고 일정한 Type C의 uniform 버가 생성된다. Fig. 7에 Type A에서 B로, B에서 C로 전이되는 실험 결과 사진을 볼 수 있다. Type B와 C의 버형성 원리는 주절삭날에 의해 공구의 이송방향으로 버가 생성되는 leaned 버이다⁽⁴⁾. 불규칙한 형태를 보이는 Type D와 E는 Tool 2의 경우에서만 exit angle이



Fig. 7 Transition burr type (Type A-B, Type B-C)



(a) square insert of tool 1 (b) triangle insert of tool 2
Fig. 8 Comparison of exit process in tool 1 and tool 2

105° 와 135° 사이에서 불규칙적으로 생성되었고 그 외의 exit angle에서는 Type A의 버가 생성됨을 관찰할 수 있었다. 리드각이 0° 인 Tool 2에서는 Fig. 8과 같이 주절삭날에 의한 이탈시 인장에 의한 변형이 허용되지 않아서 파단이 발생하며, 그 후에는 부절삭날에 의한 roll-over 버 형성이 진행되면서 Type A 버가 대부분 형성된다. 이는 Tool 1과 Tool 2의 이탈 과정을 비교하면 공구의 리드각이 Tool 1의 45° 인 경우보다 Tool 2의 0° 인 경우가 절삭날의 transition surface 이탈이 급하기 때문에 주절삭날에 의해 생성되는 버가 불규칙적이다.

3.3 버 형성 해석

Leaned 버의 높이는 절삭 깊이와 유사함을 Fig. 9 에서 알 수 있다. Exit angle 165° 에서 각 이송량에 따른 SM20C와 SM45C의 버 높이는 2mm, A11050, A16061의 버 높이는 1.2mm 정도이며, exit angle 45° 에서의 Type A의 버 높이는 0.4mm 이하이고 Al계열이 SM계열 보다 약간 큼을 보이고 있다. Fig. 10은 각 피삭재에서 이송에 따른 평균 버 높이를 exit angle에 따라 보여주고 있으며, 경한 재질로 가면서 exit angle에 따라 버의 높이가 줄어듦을 알 수 있다.

4. 결론

- (1) 페이스 밀링 작업시 발생하는 exit 버의 발생 원리에 대한 이해를 넓히기 위해 A11050, A16061, SM20C, SM45C에서 공구 형상 정보가 다른 두 개의 공구를 갖고 절삭 조건의 날당 이송량을 다양화 시켜 각 exit angle에서의 실험과 관찰을 수행하였다.
- (2) 버의 형성원리에 의하여 부절삭날의 영향에 의한 roll-over 버와 주절삭날에 의한 leaned 버로 분류하였고, 버형태에 따라서 다섯 종류로 분류하였다.
- (3) 분류한 버의 형성원리를 알아 보았으며, 버의 형성원리에 있어서 피삭재 재질과 절삭조건 뿐만 아니라 공구의 형상과 공구와 피삭재 사이의 관계인

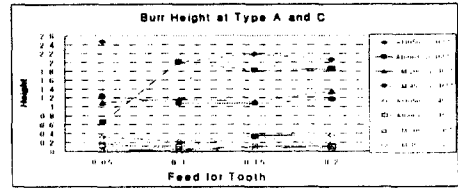


Fig. 9 Burr height at Type A($\phi:45^\circ$) and Type C($\phi:165^\circ$) in milling with Tool 1

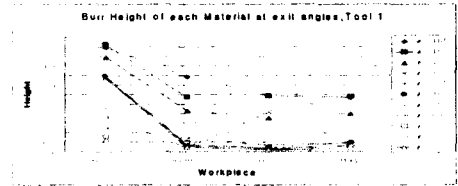


Fig. 10 Burr height of each material at exit angles in milling Tool 1

exit angle도 크게 영향을 미침을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 고성립, "Burr Technology의 이해와 그 추세," 대한 기계학회 추계학술대회, pp. 206-209, 1991.
2. 한상우, 고성립, "페이스 밀링 가공시 버 형성에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 1169-1172, 1999.
3. L. K. Gillespie and P. T. Blotter, "The Formation and Properties of Maching Burr," ASME Jour. Engin. for Industry, Vol. 98. No. 1, pp. 66-74, 1976.
4. K. Nakayama and M. Arai, "Burr Formation in Metal Cutting," CIRP, Vol.36, No.1, pp.33-36, 1987.
5. O. Olvera and G. Barrow, "An Experimental Study of Burr Formation in Square Shoulder Face Milling," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 36, No. 9, pp. 1005-1020, 1996.
6. W. Kishimoto, T. Miyake, A. Yamamoto, K. Yamanaka and K. Takano, "Study of Burr Formation in Face Milling," Bull. Japan Soc. of Prec. Engg., Vol. 15, No. 1, pp.51-52, 1981.
7. M. Hashimura, J. Hassamontr and D. A. Dornfeld, "Effect of In-Plane Exit Angle and Rake Angles on burr Height and Thickness in Face Milling Operation." ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 121, pp. 13-19, 1999.
8. M. Hashimura, Y. P. Chang and D. A. Dornfeld, "Analysis of Burr Formation Mechanism in Orthogonal Cutting," ASME Jour. Manufact. Science and Engin., Vol. 121, pp. 1-7, 1999.