

범용 CNC 밀링에 의한 박막 측벽 파트 가공에 관한 연구

A Study on the CNC Milling Machining of Thin-wall Part

지 성희*, 이 동주**, 신 보성***, 최 두선***, 제 태진***, 이 응숙***

S. H. Ji*, D. J. Lee**, B. S. Shin***, D. S. Choi***, J. T. Jae***, E. S. Lee***

* 충남대학교 대학원 ** 충남대학교 기계 공학과
*** 한국 기계 연구원 정밀가공그룹

Abstract

(절삭력), Thin-wall(박막측벽), Cutting condition
(가공조건), End-mill(엔드밀)

In order to suggest the proper optimal conditions of the CNC milling machining for the Thin-wall surface, some experiments were carried out. The process was applied in the aerospace industry for the machining of light alloys, notably aluminium. In recent year, however, the mold and die industry has begun to use the technology for the production of components, including those manufactured from hardened tool steels. And the end mill is an important tool in the milling process. A typical example for the end mill is the milling of pocket and slot in which a lot of material is removed from the workpiece. Therefore the proper selection of cutting parameter for end milling is one of the important factors affecting the cutting cost. In this paper, we choose the optimal parameters(cutting forces) to cut thin-walled Al part by experiment

Key Words

CNC milling machining(CNC 밀링 가공),
High-speed machining(고속가공), Cutting force

1. 서 론

항공기, 자동차, 금형등, 자유곡면을 갖는 제품의 수요가 날로 증대되고 있다. 이들의 자유곡면은 수치제어 공작기계에서 엔드밀을 사용하여 가공하는 경우가 대부분이다. 여기에는 곡면의 형태, 크기 및 요구 정밀도에 따른 적절한 가공조건이 요구되는데, 이때 다양한 절삭 특성에 기인하는 효과적인 가공조건 설정의 어려움이 따른다. 이러한 가공상의 복잡성으로 절삭조건 예측이 어렵게 되므로 인해 가공물의 형상정밀도의 저하를 가져오게 된다. 결국 요구되는 형상정밀도를 얻기 위해서는 상당히 소극적인 가공조건을 부여하거나 시행착오에 의한 재가공 등을 해야하기 때문에 최적의 가공조건을 찾기 위한 연구가 절실하다고 하겠다.⁽¹⁻²⁾

최근 가공기술의 발달로 제품에 대한 생산성 향상 및 고정밀도의 요구가 급증되어 외국에서 뿐만 아니라 국내에서도 활발한 연구가 성행하고 있는 추세이다. 이러한 연구는 알루미늄 합금등의 일부 경금속을 대상으로 급격히 보급되고 있다. 최근에는 난삭재에도 이러한 연구가 진행되어지고 있다.

또한, 가공에 있어서 엔드밀 가공은 거대한 항공

기 제조업에서 작은 공구와 다이 제작에 이르기 까지 많은 산업에 널리 응용되고 있는데, 그 이유는 슬롯(Slot), 포켓(Pocket), 표면가공(Surface machining)등 다양한 형상의 황삭 및 정삭가공에 유용하기 때문이다. 경량화를 필요로 하는 항공 산업에서 알루미늄 가공에 그 응용의 비중이 높아지고 있으며, 특히 항공기의 동체 및 날개 부분은 알루미늄 합금으로 많은 경량화를 위하여 많은 수의 얇은 리브(Rib)로 이루어져 있다. 이 리브의 두께는 수백-0.1mm 까지 다양하게 존재한다.

고속가공으로 박벽을 깎으면, 시간을 단축한다는 이점을 가지고 있지만⁽³⁻⁶⁾, Tool path의 변경이 필요하고, 범용 기계의 사용법에 비해 고도의 테크닉이 필요하며, 지지대를 사용함으로써 차후에 제거 문제가 발생한다. 그리고, 고속 절삭시 주축의 고속화로 인한 진동의 야기는 표면 거칠기를 수배 악화시키는 요인이 되는 단점들 때문에 본 논문에서는 범용 기계인 CNC 밀링으로 박벽을 가공하였다.

본 연구에서는 CNC 밀링으로 박벽(Thin-wall) 형상을 가공하는 방법을 연구하기 위하여 엔드밀을 이용해 실험을 하였으며, 절삭력을 측정하여 가공 특성을 파악하고, 박벽을 가공하기 위한 최적의 가공 변수를 찾고자 한다.

본 연구에서는 알루미늄 합금 중 Al-6061을 사용하여 최적의 절삭 조건의 선정을 위해 여러 가지 절삭조건들에 따라 절삭력의 변화, 표면 조도를 측정한 후 이 데이터들을 비교 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에 사용한 CNC 밀링(화천 Hi-super 2x)의 일반 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 The Specifications of CNC

Method of item	Model
Max. spindle	3600 rpm
Max. feed rate	700mm/min
Table size	1100 x 280
CNC system	FANUC OMD

Fig. 1은 절삭력을 측정하기 위한 실험 장치의 구성을 나타낸다. 공구동력계는 압전효과를 이용한 압전식 3분력 변환기를 사용하고 가해진 힘은 전하증폭기를 통해 전압으로 변환된 뒤 A/D 보드에 LabVIEW를 이용하여 데이터를 얻었다.

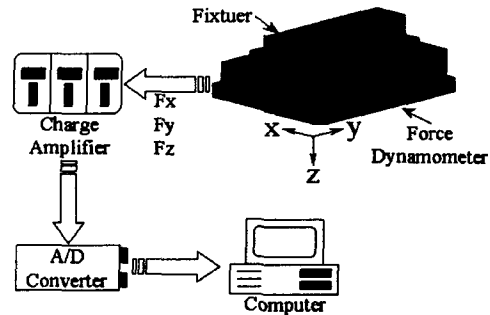


Fig. 1 Diagram of Tool Dynamometer and Workpiece

Table 2는 실험에 사용된 장치 및 피삭재에 대한 명칭이고, Table 3은 실험에 사용된 Al-6061의 화학적 성분을 나타낸다.

Table 2 Instruments for Measuring Cutting Force

Workpiece	Al-6061
Tool dynamometer	Kistler co. Type 9257
DC charge amplifier	Kistler co.
A/D converter	National instrument

Table 3 The Chemical Compositions of Workpiece Al-6061

Compositions									
Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Cu	Al	
0.4	0.7	0.15	0.8	0.04	0.25	0.15	0.15	Re-	
-0.8	Max	Max	-1.2	-0.35	Max	Max	-0.4	mainder	

본 연구에서는 충진재(Bi-Sn)를 사용하고 지지대 역할을 하도록 하여 박벽의 휨이나 진동을 최소화

소화 하였으며, Table 4는 이에 대한 물성치를 나타낸다.

Table 4 Material Properties for Filling Material

Low Temperature metal (Bi-Sn)	Density (Specific gravity)	8.58 g · cm ²
	Hardness	23 (Hb)
	Postal brigand	62.3 MPa
	Compression brigand	46.7 MPa
	Melt of temp.	135℃

2.2 실험 조건 및 방법

공구는 솔리드 스퀘어 엔드밀(Solid square end mill)로써 강, 주철, 금형강 등을 가공하는 범용 엔드밀이다. 직경 $\phi 10\text{mm}$ 에 날수 2인 공구이고, 비틀림각은 30° 인 공구를 사용하였다. Table 5는 실험에 사용한 절삭 조건을 나타낸다.

Table 5 Experimental Cutting Conditions (2500 rpm)

Cutting speed (m/min)	Feeding speed (mm/min)	Axial depth (mm)
78	200	10
	300	
	400	
	500	
	600	

시험편은 Al-6061로 Fig. 2와 같이 박판(60×10×1mm)을 남겨두고 깎았다.

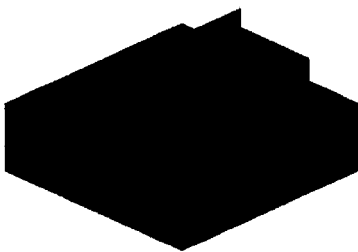


Fig. 2 3D Modeling for Thin-wall

실험에 앞서 알루미늄의 불필요한 (박벽가공을 하기 위한 부분을 제외한)부분을 황삭 가공하고, 충진재(Bi-Sn)을 부어 약 5분간 둔다. 그리고 나머지 부분을 일정한 절삭 깊이로 가공하면서 이송량을 변화시키면서 정삭 가공하여 절삭력을 받는다.

표면거칠기측정은 Mitutoyo SURETEST를 사용하고 접촉식으로 측정하였다. 이때, 이동거리를 3.2mm, 속도는 0.1mm/sec로 하였으며, 측정값은 ASCII 값으로 변환하여 데이터 값을 얻었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 날당 이송 변화에 의한 절삭력 특성

절삭력 실험을 위하여 LabVIEW를 이용하여 CNC 밀링에서 절삭력을 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였으며, 컴퓨터에서의 신호는 전압값인 V를 측정하는데, 신호 증폭기 설정시 1V는 10N으로 설정하였으며 신호값에 10N를 곱하면 실제 절삭력을 얻을 수 있다.

절삭력의 크기는 Fx(이송방향힘), Fy(반경방향힘)를 받았다. Fx의 경우에는 Fy에 비하여 이송량의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 충진재(Bi-Sn)와 알루미늄 합금이 혼합되었을 때(황삭가공)의 Fx와 Fy를 받고 날당 이송량에 대한 절삭 특성을 나타낸 것이다.

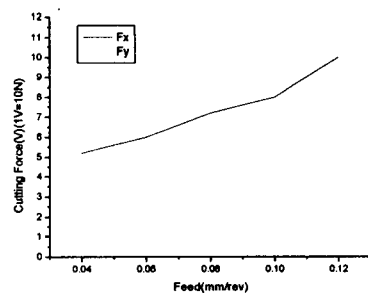


Fig. 3 Characteristics of Cutting Force (Bi-Sn and Al-6061)

날당 이송량이 증가하면서 비례적으로 절삭력도 균일하게 상승을 하고 있다. Fy 보다 Fx 의 절삭력이 더 크게 나타난 것을 알 수 있다.

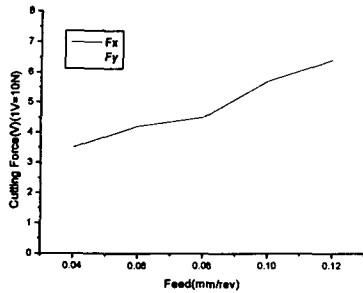


Fig. 4 Characteristics of Cutting Force (Only Al-6061)

Fig. 4는 Al-6061 합금(정삭가공)의 날당 이송량에 대한 절삭 특성을 나타낸 것이다.

Fx와 Fy의 절삭력이 완만하게 상승하는 것을 알 수 있다.

Al-6061만을 절삭하는 경우가 Fig. 3(충진재와 알루미늄의 혼합)과 비교했을 때 Fx 와 Fy 의 절삭력이 더 크게 나타난 것을 알 수 있다.

3.2 표면거칠기 측정

다음은 표면조도기에 의한 표면 거칠기를 측정 한 결과이다. Table 6은 절삭방향으로의 중심선 평균거칠기 값을 측정하여 평균값을 얻었다.

Table 6 Centerline Average Height Roughness at Cutting Direction (μRa)

Feeding speed Numbers	200	300	400	500	600
1	0.788	0.046	0.048	0.054	0.049
2	0.640	0.040	0.039	0.052	0.055
3	0.058	0.039	0.044	0.054	0.059

Fig. 5는 Table 6에 의한 표면 거칠기 측정 그래프이다. 절삭속도와 깊이가 일정할 때, 이송량에 대한 표면거칠기이다. 그래프에서, 이송량이 300mm/min에서 보면 표면거칠기가 가장 좋게 나타난다. 이것은 일정한 절삭속도에서 날당 이송만을 높인다고 표면거칠기가 좋아지는 것이 아니므로,

로, 절삭속도 78m/min에서는 300mm/min의 이송속도가 적당하다고 보여진다.

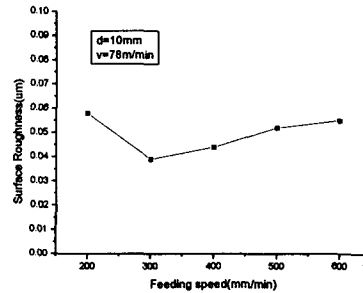


Fig. 5 Surface Roughness (μRa)

측정부의 가장 높은 값과 낮은 값 사이의 거리를 나타내는 최대 높이 거칠기가 Table 7에 나타나 있다. 절삭방향의 표면을 측정하여 평균값을 얻었다.

Table 7 Maximum Height Roughness at Cutting Direction ($\mu Rmax$)

Feeding speed Numbers	200	300	400	500	600
1	0.428	0.230	0.199	0.251	0.215
2	0.308	0.169	0.215	0.219	0.248
3	0.327	0.171	0.202	0.228	0.255

Fig. 6은 Table 7에 의한 값이다. 전체적 경향은 중심선 평균 거칠기와 비슷한 300mm/min의 이송속도에서 표면거칠기가 가장 좋은 것으로 나타난다.

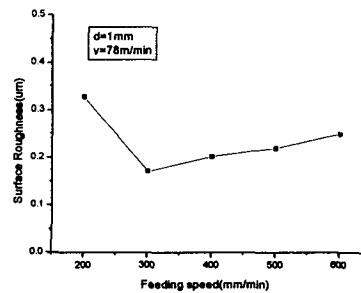


Fig. 6 Surface Roughness ($\mu Rmax$)

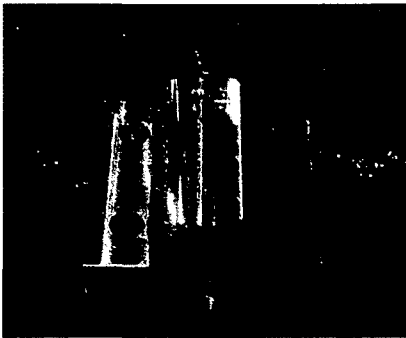
3.3 박막 측벽의 가공 특성

Table 5의 조건으로 실험을 하여, 절삭 조건이 박막 측벽 가공에 미치는 영향을 파악하였다. 소재는 Al-6061을 사용하였고, 가공 방법은 Photo. 1에 나타나 있다. (a)는 박막(5mm)을 남겨놓고 나머지 부분을 황삭 가공한 형상이다. (b)는 황삭 가공한 부분에 지지대 역할을 하는 충전재(Bi-Sn)를 부여서 5분 가량 충전재가 굳도록 놓은 형상이다. (c)는 충전재(Bi-Sn)와 Al-6061을 동시에 정삭 가공하여, (a)에 있는 외벽과 남겨 놓은 충전재(Bi-Sn)를 제거하여 얻은 박막(1mm) 형상이다.

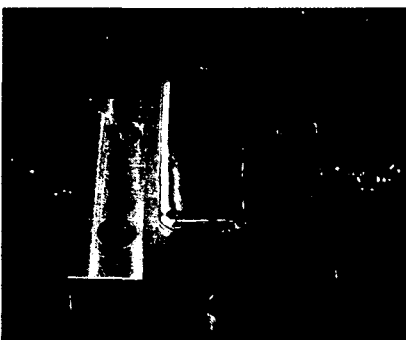


(c)

Photo. 1 Thin wall workpiece



(a)



(b)

박막을 가공할 때는 가공하고자 하는 부분이 너무 얇기 때문에 지지대로 바치지 않으면 외력의 진동이나 힘에 의해 변형이 생길 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 실험에서는 충전재(Bi-Sn)를 사용하여 박막의 무리가 가지 않고 가공 후에 쉽게 제거할 수 있도록 하여, 파손을 방지할 수 있었다.

또한, 일반적으로 축방향 절삭력으로 인한 박막부의 변형이 발생하므로 엔드밀의 밀면이 모재와 접촉하는 면적을 감소시켰다.

4. 결 론

본 연구는 엔드밀을 이용한 Thin-wall 가공을 위해 엔드밀을 이용하고 이송속도의 가공 변수를 변경하여 그 가공 특성을 파악하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 날당 이송이 큰 경우가 날당 이송이 작은 경우보다 큰 절삭력을 나타내고, Al-6061만을 가공한 가공물에서의 절삭력보다 충전재(Bi-Sn)와 Al-6061 합금을 혼합한 가공물에서 더 큰 절삭력을 나타냈다.
2. 절삭속도(78mm/min)와 절삭깊이(10mm)가 일정할 때, 날당 이송 0.06mm/rev이상이 되면 표면 거칠기가 점점 나빠지므로, 날당 이송이

0.06mm/rev(이송속도 300mm/min)일 때 가장 좋은 표면거칠기 값을 얻을 수 있었다.

3. 범용 CNC milling으로 박막을 가공해 고가의 기계를 따로 구입하지 않아도 박막을 가공할 수 있음을 보여주었다.

참고문헌

1. 한홍삼, "CNC 밀링에 의한 블록곡면 가공시에 가공특성에 관한 연구", 大韓精密工學會誌, 第12卷 第11號, pp.45-51, 1995
2. D.H.Kim, and B.K.choi, "Calculation of Economic CL Data for Sculptured Surface machining", Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.9, No.2, 12, 1983
3. T.Moriwaki, "High-Speed machining", CIRP, Vol.41, 1992
4. H.Schut, "High-Speed milling of Dies and Moulds-Cutting Condition and Technology", CIRP, Vol.44, 1985
5. 손일복 "엔드밀을 이용한 알루미늄 측벽 형상의 고속가공 특성", 大韓精密工學會 論文集, pp.912-916, 2000
6. 김홍배 "고속가공에서 박막 측벽 파트 가공을 위한 연구", 韓國工作機械學會 論文集, pp.343-348, 2000