

절삭력 최적화를 통한 핸드폰 Unibody Case 가공 사이클 타임 단축 및 표면 조도 향상에 관한 연구

이승용*, 최현진*, 이종찬**,#

*(재)대구기계부품연구원 생산시스템연구팀, **금오공과대학교 기계설계공학과

Study to Reduce Process Cycle Time and to Improve Surface Roughness of a Mobile Phone Unibody Case through Cutting Force Optimization

Seung-Yong Lee*, Hyun-Jin Choi*, Jong-Chan Lee**,#

*Daegu Mechatronics & Material Institute, Machinery & Robot Research Division.

**Kumoh National University Mechanical Design Engineering Dept.

(Received 8 May 2017; received in revised form 15 May 2017; accepted 5 June 2017)

ABSTRACT

Machining optimization using typical computer-aided manufacturing (CAM) software mainly depends on tool paths, and it is impossible to predict the behavior of material or cutting force. In this paper, cutting force analysis simulation is performed on the Unibody Case of a mobile phone with the aim of optimizing cutting-force-based machining using the Third Wave Systems' AdventEdge Production Module. Machining time after optimization was shortened by 42% for roughing compared to pre-optimization, and actual machining time was reduced by 36.8%. For finishing, machining time was reduced by 92%, and actual machining time was reduced around 90%. A surface roughness analysis found that the post-optimization surface roughness was 1.16 μm Ra, compared to a pre-optimization value of 1.75 μm Ra.

Key Words : Mobile Phone Case(핸드폰 케이스), Machining Time(가공 시간), Tangential Force(주분력), Cutting Force Optimization(절삭력 최적화), Surface Roughness(표면 거칠기)

1. 서 론

최근 스마트 폰과 태블릿 PC 제품의 차별화는 외관 케이스를 알루미늄 및 마그네슘 등의 다양한 금속성 소재로 가공하여 제작하는 것이 전 세계적

트렌드이다. 또한 다양한 금속성 소재를 가공하여 제작하는 일체형 케이스(Unibody Case)는 금속이 주는 고급스러움과 부품의 경량화에 따라 시장이 급격히 성장하고 있는 추세이다. 금속 소재를 가공함에 있어 기존 다이캐스팅 공법에 비해 제작 원가가 높고 수율이 낮다는 단점이 있다.

이에 현장에서는 생산성을 높이기 위해 많은 연구와 노력이 진행되고 있으나, 절삭력 제어를 통한 공구 경로(Tool Path)의 최적화 기법은 아직 적용되

Corresponding Author : jlee@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7376, Fax: +82-54-478-7319

지 않는 실정이다.

본 연구에서는 핸드폰 Unibody Case 가공에 있어 절삭력을 일정 제어하면서 가공 최적화를 통하여 시간을 단축하기 위한 방법을 찾아보고자 하였다.

국내의 경우 NC Code 최적화 연구는 절삭력 모델을 통하여 엔드밀에 대한 연구에 국한되어 있으며^[1], 국내에서 사용되는 NC Code 최적화는 소재 제거율을 일정하게 유지하기 위하여 칩 제거 단면적에 따라 이송 속도를 변화 시키면서 최적화를 수행하는 형태로 연구되고 있다.^[2]

Lee^[3] 등, Kang^[4] 등, Hwang^[5] 등은 절삭 가공 시 발생하는 국부적인 절삭력을 예측하고 실 가공을 통하여 해석 결과를 확인하는 연구들을 수행하였으며, Hyun^[6] 등은 밀링 가공에서 절삭력에 따른 절삭력 계산 모델을 제시하였다.

NC 밀링가공 중 엔드밀 절삭력에는 X, Y, Z와 축력(Axial Force) 및 단위 길이 당 하중(Load Per Unit Length) 등이 있으며 그 중 밀링 가공에서의 절삭력은 일반적으로 접선 방향의 절삭력을 나타내는 접선 절삭력(Tangential Force)과 반경 방향 절삭력을 나타내는 반경 절삭력(Radial Force)으로 구분할 수 있다.

Tangential Force는 밀링 커터의 접선 방향으로 작용하는 절삭력으로 반경 방향 분력에 비하여 현저하게 크다.^[7]

본 연구에서는 CAM 소프트웨어인 Hyper-Mill을 이용하여 Tool Path를 생성시키고, 절삭력 최적화 프로그램인 Third Wave Systems사의 Advant Edge Production Module을 활용하여 절삭력 제어를 통한 가공 최적화를 실시하고, 실 가공 비교를 통하여 핸드폰 Unibody Case의 Tool Path 및 절삭력을 최적화 하고 제품의 품질을 나타내는 표면 조도를 관찰하여 생산성을 향상할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 조건

상용 CAM 소프트웨어인 Hyper-Mill에서 생성된 Tool Path 및 조건과 이를 토대로 최적화 된 Tool Path 및 가공 시간을 비교하기 위하여 Fig 1 과 같이 5축 복합가공기(일본 MAZAK사 Variaxis- MK3)를 활용하여 가공을 수행 하였다.



(a) Mazak Varizxis MK3 (b) Workpiece & Tool
Fig. 1 Used machine in experiment

공작물은 AL 6061-T6이며 절삭공구는 10mm 초경 엔드밀을 HSK 63A Holder에 열박음하여 가공을 수행하였다. 황삭 조건은 Table 1, 정삭 조건은 Table 2에 각각 나타내었다.

Table 1 Machining conditions (Roughing)

Spindle Speed (rpm)	8,000
Feed Rate (mm/min)	3,000
Entry Rate (mm/min)	1,500
Length of Cut (mm)	2
Tool Path Interval (mm)	5
Tool for Roughing	10mm WC 4 Flute Bull Nose E/M (Coner R0.3)
Material	AL6061-T6
Used Machine	Mazak MK-3

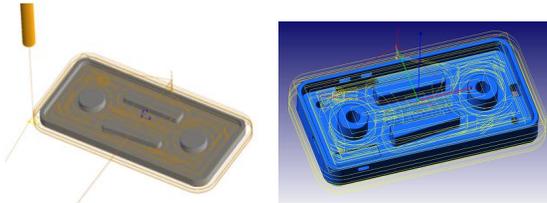
Table 2 Machining conditions (Finishing)

Spindle Speed (rpm)	12,000
Feed Rate (mm/min)	1,200
Entry Rate (mm/min)	1,000
Length of Cut (mm)	0.2
Tool Path Interval (mm)	0.2
Tool for Finishing	10mm WC 4 Flute Flat E/M
Material	AL6061-T6
Used Machine	Mazak MK-3

3. 실험 방법

3.1 Tool Path 생성

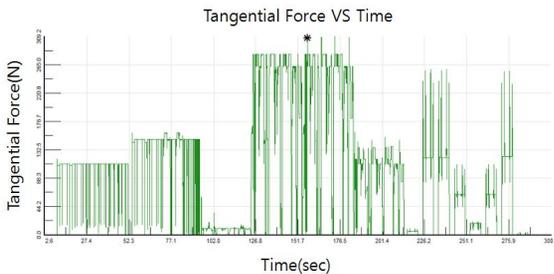
본 연구에서의 대상 모델링은 알루미늄 Unibody 핸드폰 Case로 선정하였고, Unigraphics NX 10을 활용하여 모델링 한 후, Hyper-Mill을 통하여 평면절삭에 가장 많이 활용되는 2D 윤곽 가공 사이클 및 하향 절삭을 활용하여 Tool Path를 작성 하였고, 가상 Cutting 시뮬레이션은 Cimco Edit를 활용하여 공구 간섭 및 충돌 여부를 확인하였다. Fig. 2 (a)는 Hyper-Mill을 통한 NC Code 생성 화면을 나타내고 (b)는 Cimco Edit를 통한 공구 간섭 및 충돌 여부 확인 사진을 나타낸다.



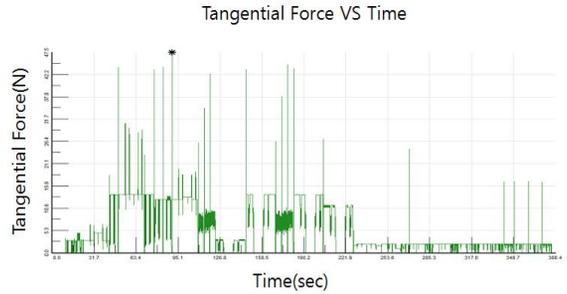
(a) NC Code Generation (b) NC Code Verification
Fig. 2 Generate NC Code using Hyper-Mill

3.2 절삭력 해석 및 Tool Path 최적화

본 연구에서는 절삭력 해석 프로그램인 Advent Edge Production Module을 이용하여 가공별 Tool Path에 따른 Tangential Force 해석을 수행하였다. Fig. 3의 (a), (b)는 황삭 및 정삭의 절삭력 해석 결과를 나타내고 Fig. 4는 황삭 및 정삭의 최적화 후 절삭력 해석 결과를 나타낸다.



(a) Roughing (Standard Machining Cutting Force)



(b) Finishing (Standard Machining Cutting Force)

Fig. 3 Tangential force of roughing and finishing

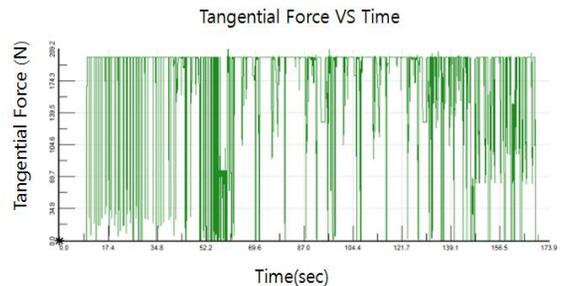
위의 결과에서 최적화 전 황삭의 경우 초기 공구 진입 및 코너 R 부분에서 최대 309.2N의 절삭력이 나타났으며, 정삭의 경우 보스부 및 코너부에서 최대 47.5N의 절삭력이 나타남을 확인 하였다.

Table 3 Roughing result of tangential force analysis

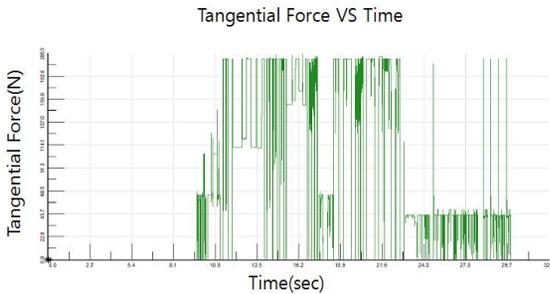
Machining	Standard Machining Cutting Force (N)	
Roughing	Max	Min
	309.2	18.3

Table 4 Finishing result of tangential force analysis

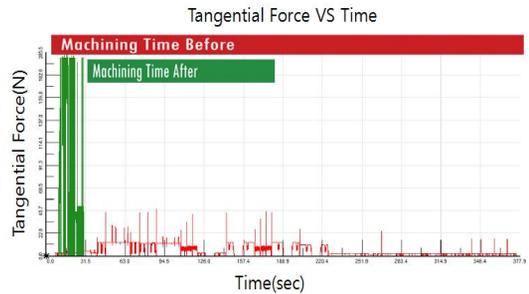
Machining	Standard Machining Cutting Force (N)	
Finishing	Max	Min
	47.5	5.3



(a) Roughing (Optimized Machining Cutting Force)



(b) Roughing (Optimized Machining Cutting Force)
Fig. 4 Optimized tangential force of roughing and finishing



(b) Result of Before and after optimization of Finishing cutting force & Cycle Time
Fig. 5 Roughing and finishing cutting force & cycle time of before and after optimization

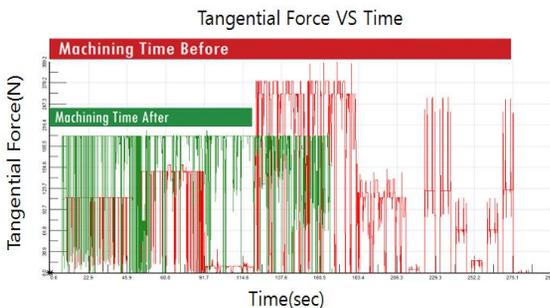
4. 실험 결과 및 고찰

4.1 Tangential Force 최적화 결과

Table 3~4의 값을 통하여 최대 절삭력 80%의 Min Tangential Force 값을 설정하여 부하 균형(Load Balancing)을 수행하고 각 가공별로 Tool Path 최적화를 수행한 결과는 Fig 5(a), (b)에 황삭, 정삭순으로 나타내었다.

황삭의 경우 최적화를 통하여 Table 5와 같이 Max 209.2N, Min 17.5N으로 감소하였으며, 정삭의 경우 Max 205.5, Min 45.7N으로 증가하였다.

황삭에서 최대 절삭력 80% Min Tangential Force 값을 정삭에 반영하여 가공 시간을 최소화함으로써 절삭력이 증가한 것으로 판단된다.



(a) Result of Before and after optimization of Roughing cutting force & Cycle Time

황삭의 절삭력 최적화를 수행한 결과 가공 시간은 Table 6과 같이 300.8s에서 173.9s로 감소하였으며 Air Cut 구간의 경우 최대 13.8%, In Cut 구간 최대 29.6%로 단축됨을 확인하였다. 또한 최대 절삭력은 290.2N으로 일정하게 유지됨을 확인할 수 있으며 이는 절삭력 최적화를 통하여 구간별로 이송 속도를 빠르거나 느리게 변화를 주면서 안정된 가공을 제시하여 Peak 구간을 감소시킨 결과로 판단된다. 정삭의 최적화 수행 결과는 황삭과 같이 Peak 구간을 205.5N 정도로 일정하게 유지하고 가공 시간을 Table 6과 같이 380.4s에서 29.7s로 단축함을 확인하였다. 이는 정삭 시의 여유량을 축 방향, 반경 방향 모두 0.2mm로 제한하고 Step Over 값을 0.2mm로 제한함으로써 공구 수명등에는 별 영향이 없도록 하되 가감속을 제어한 결과로 판단된다.

Table 5 Result of Standard Machining and Optimized Machining Cutting Force

Machining	Standard Machining Cutting Force (N)		Optimized Machining Cutting Force (N)	
	Max	Min	Max	Min
Roughing	309.2	18.3	209.2	17.5
	47.5	5.3	205.5	45.7



Fig. 6 Result of true machining

4.2 핸드폰 Unibody Case 가공 결과

Tangential Force 최적화를 통해 생성된 Tool Path 를 이용하여 절삭력 최적화 전의 조건과 사이클 타임 비교를 위해 실가공을 수행하였으며 Fig 6.는 최적화 전/후의 가공 결과를 나타낸다.

4.3 가공 시간 비교 결과

최적화 전의 가공시간과 Tangential Force 80%의 최적화 후 예측 가공 시간 및 실 가공시간을 Table 6에 나타내었다.

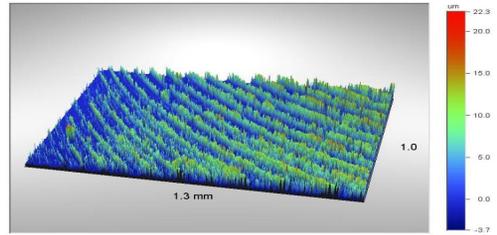
최적화 후 가공시간은 최적화 전보다 황삭의 경우 42%정도 단축되었으며, 실제 가공은 36.8%정도 감소하였다. 정삭의 경우 92%정도 단축되었으며, 실제 가공시간은 90%정도의 단축률을 확인하였다.

4.4 표면 조도 비교

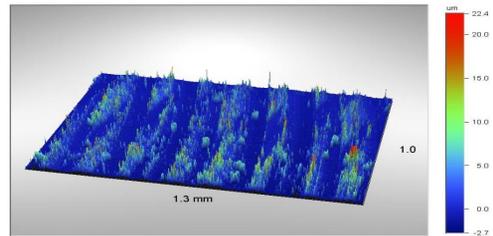
최적화를 통하여 실가공 후 가공면의 표면 조도는 광학식 조도측정기(Wyko NT8000, Veeco Co., USA) 를 이용하여 측정하였으며 Fig. 7(a)는 최적화 전 가공면의 표면 조도 결과를 보여 주고 있으며 (b)는 최적화 후의 표면 조도 결과를 나타내고 있다.

Table 6 Result of machining time

Machining	Standard (s)	Expected Machining time (s)	True Machining time (s)
Rough	300.8	173.9	190
Finish	380.4	29.7	38



(a) Surface Roughness of Standard Machining



(b) Surface Roughness of Optimized Machining
Fig. 7 Result of before and after optimization of surface roughness

Table 7 Result of surface roughness

	Standard Machining	Optimized Machining
Surface Roughness Ra (μm)	1.75	1.16

Table 7에서 보듯이 최적화 전보다 최적화 후가 1.16 μm Ra 수준으로 양호함을 알 수 있다. 이러한 결과는 Tangential Force 최적화에 따른 절삭력 안정화로 인해 가공 시 절삭 부하를 감소시켜 표면 조도가 향상된 것으로 판단된다.

5. 결론

핸드폰 Unibody Case 가공에 있어 절삭력을 일정 제어하면서 가공 시간을 단축하기 위한 기술을 확립하기 위해 절삭력 최적화, 실가공을 통한 가공 시간 비교, 표면 조도 분석을 통한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 핸드폰 Unibody Case의 Tool Path 절삭력 해석을 수행하여 80%의 Min Tangential Force값을 설정하고 Load Balancing을 수행 하였다.
2. 가공시간은 황삭의 경우 36.8%, 정삭의 경우 90% 감소하는 것으로 나타났으며, 절삭력의 크기에 따라 가공 시간이 감소하는 것으로 나타났다.
3. 표면 조도를 분석한 결과 최적화 전 $1.75\mu\text{m}$ Ra 값보다 최적화 후의 표면 조도값이 $1.16\mu\text{m}$ Ra 정도로 양호하게 나타났다.

향후에는 보다 다양한 절삭력의 크기를 적용한 생산성 향상 평가가 수행될 계획이며, 이와 같은 결과를 토대로 핸드폰 부품 가공 최적화에 활용할 계획이다.

후 기

본 연구는 산업핵심기술개발사업 "공정대응형 4면 팔렛 방식 수평 2-head 머시닝센터 개발"의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

REFERENCES

1. Lee, H. U., Ko, J. H. and Cho, D. W., "NC Code Optimization Based on an Improved Cutting Force Model", Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp. 37-42, 2001.
2. Kim, S. H., Cho, H. D. and Kim, T. H. "Cycle Reduction Simulation for Turning Process" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 1-8, 2015.
3. Lee, K. Y., Kang, M. C., and Kim, J. S., "The Prediction of Cutting Force and Surface Potography by Dynamic Force Model in End Milling," Journal of the KSPE, Vol. 14, No. 4, pp. 38-45, 1997.
4. Kang, I. S., Lee, S. Y., Choi, H. J., Park, C. W., "Machining Optimization Simulation Based on Cutting Force and Its Experimental Validation" KSPE Spring Conference, pp. 16-16, 2016.
5. Hwang, Y., K., Chung, W. J., Lee, C. M, "Experimental Study of Cutting Force and Surface Roughness Prediction in MQL Turning of Al6061", Journal of the KSPE, Vol. 25, No. 6, pp. 159~167, 2008.
6. Hyun, E. J., and Jung, Y. H., "Chip Load Prediction for Ball End Mill," KSPE Spring Conference, pp. 1014~1018, 1999.
7. Lee, S. Y., Im, Y. M., "Prediction and Experiments of Cutting Force in End Milling" Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 13, No. 4, pp. 9~15, 2004.
8. Choi, S. Y., Kwon, D. G., Park, I. S., Wang, D. H., "A Study on the cutting Forces and Tool Deformation when Flat-ended Pocket Machining," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 2, pp. 28~33, 2017.