

절삭력 최적화를 이용한 금형의 생산성 및 표면조도 향상에 관한 연구

전언찬*, 이수용⁺, 이우현⁺⁺, 김동후⁺⁺, 전정도⁺⁺

(논문접수일 2011. 04. 29, 수정일 2011. 07. 26, 심사완료일 2011. 08. 02)

A Study on the Improvement of Productivity and Surface Roughness in Mold Machining using the Optimization of Cutting Force

Eon-Chan Jeon*, Su-Yong Lee⁺, Woo-Hyun Lee⁺⁺, Dong-Hoo Kim⁺⁺, Jung-Do Chun⁺⁺

Abstract

The mold is widely used for mass production in present industry. Also, product cycle time is faster, for this request, high productivity improvement in mold machining is required. And, In case of mold manufacturing company, the delivery shortening is required to quickly manufacture new product. Therefore, we aim for the delivery shortening though the method of machining time shortening in mold machining. On this paper, first, we made the NC-code of Insert die-casting as the object model using PowerMill. And then, analyzed cutting force by Toolpath in Insert mold machining using Production Module of Advantedge which is cutting force analysis program. After that, we came up with the optimum conditions of productivity improvement throughout the analysis result of before and after optimization of cutting force, machining time variation, and surface roughness by changing min tangential force to 80, 85, 90% of max tangential force.

Key Words : Cutting force(절삭력), Optimization(최적화), Tangential force(주분력), Production module(프로덕션 모듈), Tool path (공구 경로)

1. 서론

현재 산업에서 제품 생산주기는 소비자의 요구에 대응하기 위해 더욱더 빨라지고 있으며 무수히 많은 신제품들이 현재 생산되고 있다. 금형은 이러한 제품 대량생산을 위해 널리 사용되고 있다. 제품 생산주기의 가속화의 요구에 맞추기위해 금형의 높은 생산성 향상이 요구되고 있으며, 발 빠른 신제품 제작을

위해 금형 제작 업체의 경우 납기단축이 요구되고 있는 실정이다. 따라서 금형 제작 시 절삭력의 최적화의 방법으로 가공시간 단축을 통해서 납기단축의 목표를 이루고자 한다. 절삭력에 관한 연구는 현재 활발히 진행되고 있으며, Lee 등⁽¹⁾과 Lee 등⁽²⁾은 엔드밀 가공의 절삭력 예측 실험을 통해 절삭력 예측 모델을 제시하였고, Hyun 등⁽³⁾은 볼 엔드밀 가공에서의 절삭력에 따른 Chip load 계산 모델을 제시하였고 그 외 다양한 밀링 절삭

* 동아대학교 기계공학부 (ecjeon@dau.ac.kr)
+ 교신저자, 동아대학교 대학원 기계공학과 (limkorn2000@nate.com)
주소: 602-714 부산시 사하구 하단2동 840번지
++ 동아대학교 대학원 기계공학과

력 예측 연구가 수행되었다^(4~7).

본 연구에서는 대상 모델인 다이캐스팅의 Insert 금형을 PowerMill을 이용하여 NC code를 작성한 뒤 절삭력 해석프로그램인 Advantedge Production Module을 이용하여 대상 모델인 Insert금형의 가공시 중삭, 정삭시의 Toolpath에 따른 절삭력을 해석한 후, max tangential force의 80, 85, 90%값인 min tangential force값의 변화에 따른 최적화 결과의 절삭력 및 가공 시간 변화와 제품 품질을 나타내는 표면 거칠기 값의 최적화 전후의 해석 결과를 비교하여 생산성 향상의 최적의 절삭력 조건을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 NC code생성

본 연구에서의 대상 모델링은 다이캐스팅 금형의 Insert금형의 형상으로 선정하였고, CATIA를 통해 모델링을 한 뒤, PowerMill을 통해 NC code를 작성하였다. Fig. 1(a)는 대상 형상의 3D 모델링을 나타내고, Fig. 1(b)는 PowerMill을 통한 NC code생성 화면을 나타낸다. 그리고 Table 1은 본 연구의 가공 조건을 나타낸다.

2.2 절삭력 해석 및 NC code최적화

본 연구에서는 절삭력 해석 프로그램인 Advantedge Production Module을 이용하여 가공별 Toolpath에 따른 Tangential Force 해석을 수행하였다. Fig. 2는 절삭력 해석에 사용된 Production Module의 화면을 나타내고, Fig. 3(a)는 중삭의 절삭력 결과,



(a) 3D Modeling of Insert Mold (b) Screen of PowerMill

Fig. 1 Shape of Insert Mold

Table 1 Machining Conditions

| | |
|-----------------------------------|--------------------|
| RPM | 2500 |
| Feed Rate | 1000(mm/min) |
| Tool for semi-finishng, finishing | φ17 Endmill |
| Material | SKD61(30×20×120mm) |
| Used Machine | Doosan VM84H |

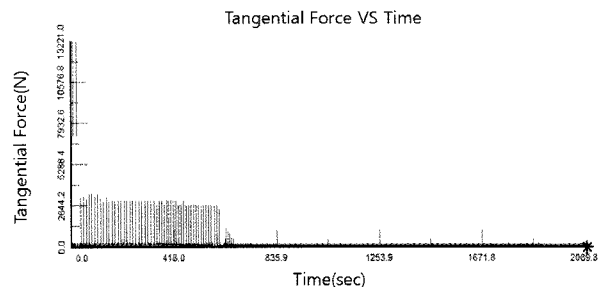
Fig. 3(b)는 정삭의 해석결과를 나타낸다.

위의 결과에서 중삭의 경우 초기 공구 진입에 따라서 최대 13221N의 큰 절삭력이 나타났으며 가공 시간에 따라 점차 절삭력이 줄어들면서 일정한 절삭력이 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 절삭력의 분포는 크게 최대 13221N, 3489.95N, 212.86N의 3가지 구간으로 나눌 수 있다. 정삭의 경우는 177.9N의 최대 절삭력 값이 나타났다.

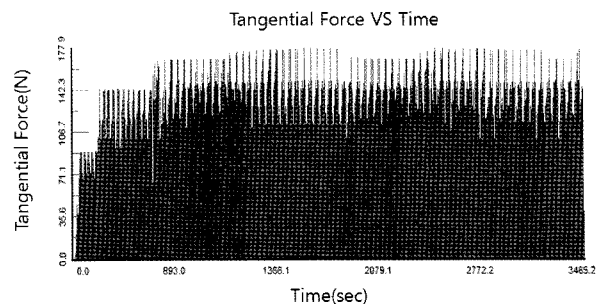
위의 결과를 통해서 본 연구에서는 최대 절삭력의 80, 85, 90%의 min tangential force값을 설정하여 각 가공별로 NC code최적화를 수행하였다. Table 2는 가공별로 80%의 max, min값을 나타내고 Table3, 4는 85, 90%의 max, min값을 나타낸다. Fig. 4는 80, 85, 90%의 조건으로 인한 최적화 결과 구간별로 변화된 이송속도를 나타내는 NC code를 나타낸다.



Fig. 2 Screen of Production Module



(a) Semi-finishing



(b) Finishing

Fig. 3 Tangential force of semi-finishing and finishing

Table 2 Max, Min values of 80%

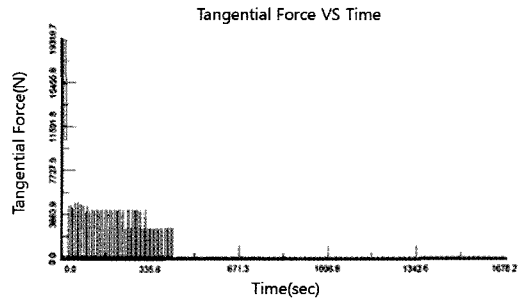
| Machining | Max | Min |
|----------------|--------------------|----------|
| Semi-finishing | 13221N(~N1610) | 10576.8N |
| | 3489.95N(~N116690) | 2791.96N |
| | 212.86N(~End) | 170.28N |
| Finishing | 177.9N | 142.28N |

Table 3 Max, Min values of 85%

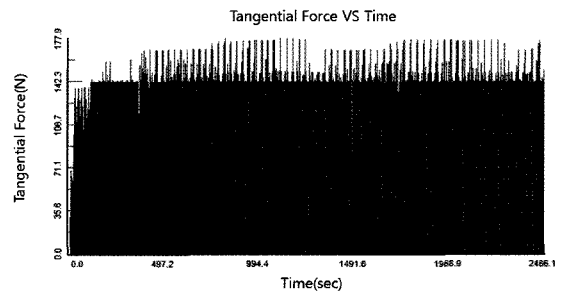
| Machining | Max | Min |
|----------------|--------------------|-----------|
| Semi-finishing | 13221N(~N1610) | 11237.85N |
| | 3489.95N(~N116690) | 2966.45N |
| | 212.86N(~End) | 180.93N |
| Finishing | 177.9N | 151.21N |

Table 4 Max, Min values of 90%

| Machining | Max | Min |
|----------------|--------------------|----------|
| Semi-finishing | 13221N(~N1610) | 11898.9N |
| | 3489.95N(~N116690) | 3140.95N |
| | 212.86N(~End) | 191.57N |
| Finishing | 177.9N | 160.11N |



(a) Semi-finishing



(b) Finishing

Fig. 5 Optimized 80% tangential force of semi-finishing and finishing

3.2 Tangential Force 85%의 결과

85%의 결과 또한 Table 3의 값을 통한 각 가공별 NC code 최적화 결과는 Fig. 6(a), (b)에 중삭, 정삭의 순으로 나타내었다. 80%의 그래프와 비교했을시 튀는 구간이 많이 사라진 것을 알 수 있다.

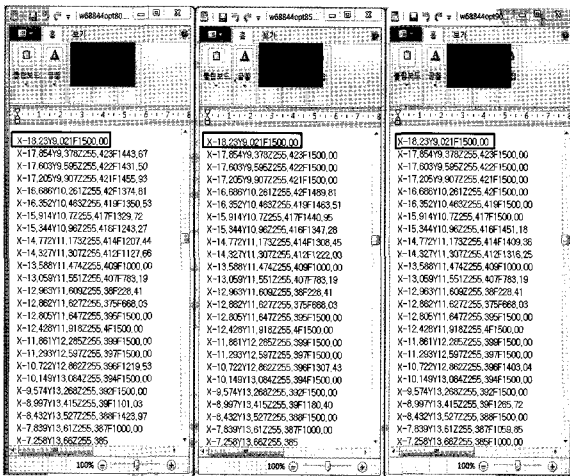
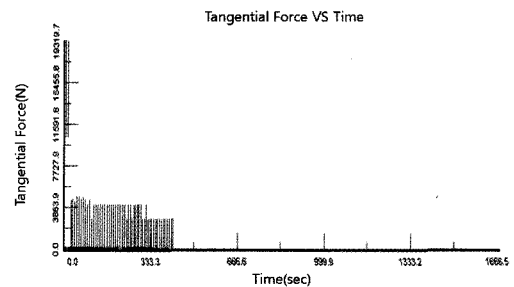


Fig. 4 Optimized NC codes of 80, 85, 90% conditions

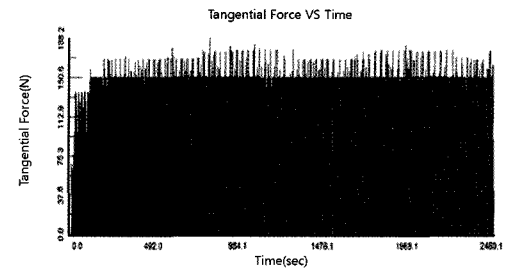
3. 결과 및 고찰

3.1 Tangential Force 80%의 결과

Table 2의 값을 통한 각 가공별 NC code 최적화 결과는 Fig. 5(a), (b)에 중삭, 정삭의 순으로 나타내었다. 최적화 전인 Fig. 3(a), (b)와 비교하면 그래프 상 튀는 구간이 많이 사라져서 절삭력이 다소 안정화 되는 것을 확인할 수 있다. 이는 최적화로 인해 구간별로 이송속도를 빠르거나 느리게 변화를 주면서 안정된 가공을 할 수 있을 것이라 판단된다.



(a) Semi-finishing



(b) Finishing

Fig. 6 Optimized 85% tangential force of semi-finishing and finishing

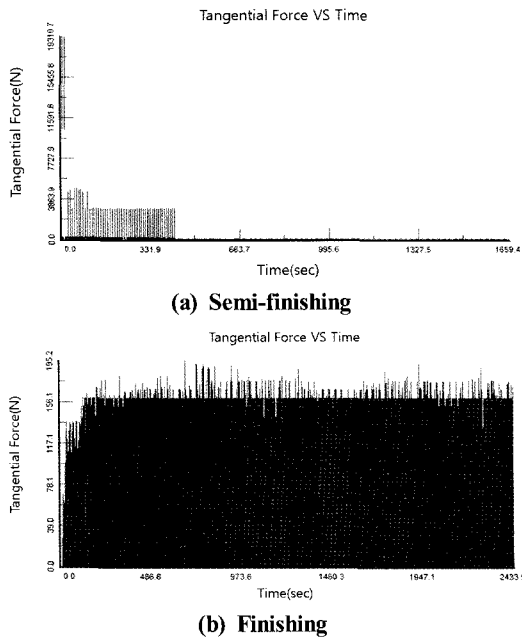


Fig. 7 Optimized 90% tangential force of semi-finishing and finishing

3.3 Tangential Force 90%의 결과

90%의 결과는 Table 4의 값을 통한 각 가공별 NC code 최적화 결과는 Fig. 7(a), (b)에 중삭, 정삭의 순으로 나타내었다. 80, 85%의 그래프와 비교했을시 가장 튀는 구간이 많이 사라졌음을 알 수 있다.

3.4 금형 가공 결과

주분력 80, 85, 90%의 각각의 조건으로 최적화된 NC code를 이용하여 절삭력 최적화전의 조건과의 비교를 위해 총 4가지의 조건을 Doosan VM84H를 이용하여 가공하였다. Fig. 8은 가공에 사용된 장비를 나타내며 Fig. 9는 가공 전 소재를 나타내고, Fig. 10은 가공결과를 나타낸다.

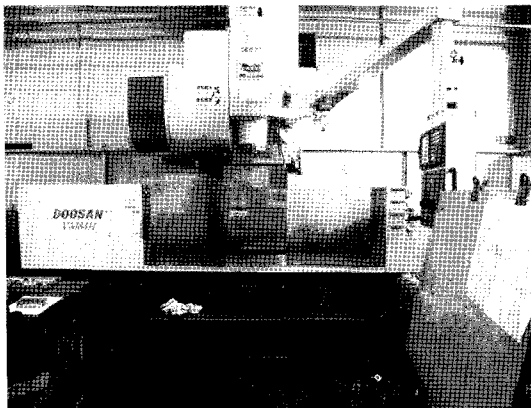


Fig. 8 Used machine in experiment

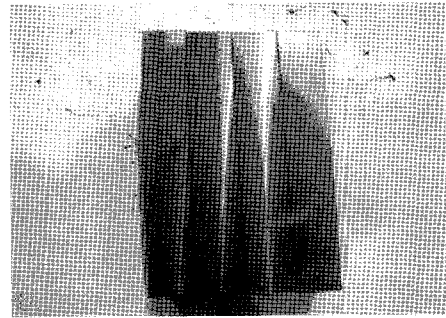


Fig. 9 Material (30×20×120mm)

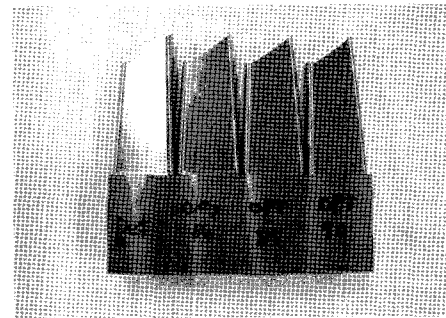


Fig. 10 Result of machining

3.5 가공 시간 비교 결과

최적화 전의 가공시간과 각각 Tangential Force의 80, 85, 90%의 최적화 후의 예측 가공 시간을 Table 5에 나타내었고, 실제 가공 시간을 Table 6에 나타내었으며, Fig. 11은 가공별 예측 가공 시간과 실제 가공 시간의 결과그래프를 나타낸다.

Table 5 Result of expected machining time

| | Standard (sec) | 80% (sec) | 85% (sec) | 90% (sec) |
|----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Semi Finishing | 2089.8 | 1678.2 -19.695% | 1666.5 -20.255% | 1659.4 -20.595% |
| Finishing | 3465.2 | 2486.1 -27.966% | 2460.1 -29.005% | 2433.9 -29.761% |
| Overall | 5555.0 | 4164.3 -25.035% | 4126.6 -25.713% | 4093.3 -26.313% |

Table 6 Result of true machining time

| | Standard (sec) | 80% (sec) | 85% (sec) | 90% (sec) |
|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| Semi Finishing | 2488 | 2101 -15.554% | 2039 -18.046% | 2028 -18.488% |
| Finishing | 3741 | 2924 -21.839% | 2862 -23.496% | 2824 -24.512% |
| Overall | 6229 | 5025 -19.328% | 4901 -21.319% | 4852 -22.106% |

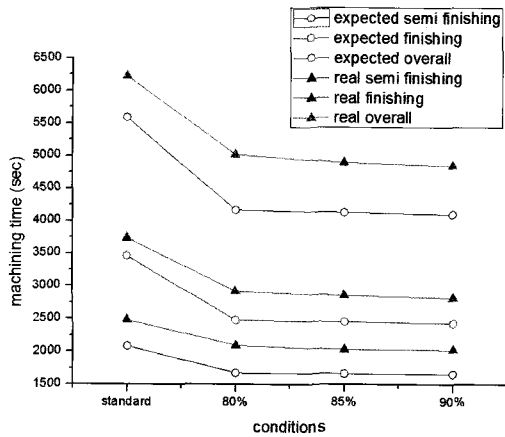


Fig. 11 Relation between expected machining time and real machining time

최적화 후의 가공시간은 최적화 전보다 가공에 따라 90%경우의 정상에서 최대 24.512%단축되었고, 전체시간으로 22.106%의 단축률을 보인다. 이상의 결과에서 Tangential Force의 Min값 설정에 크기에 따라 가공시간은 더욱 더 단축되는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 금형의 어느 한 부품을 통해 분석하였지만, 전체 금형의 가공시 본 연구와 같이 Tangential Force의 NC code최적화를 통해 최소 20%이상의 금형 가공시간을 단축할 것으로 예상된다.

3.6 표면 거칠기 비교 결과

실 가공 후 금형 품질을 비교하기 위해 표면조도기(Mitutoyo SJ-301)를 이용하여 측정하였다. Fig. 12는 표면조도측정을 위해 사용된 장비를 나타내며, Fig. 13은 표면조도 측정 결과 그래프를 나타낸다.

Fig. 13에서 보듯이 Tangential Force 최적화 크기에 따라 표면조도는 좋게 나타났으며 90%의 경우 거의 2배의 향상된 수치를 나타냈다. 이러한 결과는Tangential Force 최적화에 따른 절삭력 안정화로 인해 가공 시 공구 부하를 줄여 표면조도가 향상되었다고 판단된다.

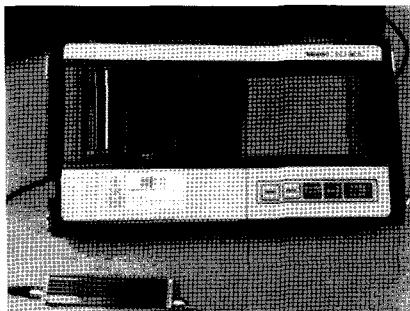


Fig. 12 Surface roughness tester(Mitutoyo SJ-301)

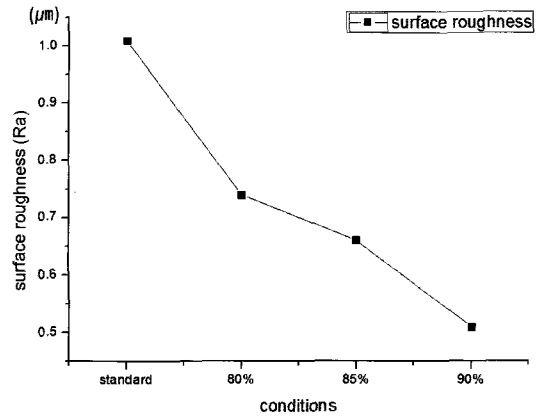


Fig. 13 Relation between surface roughness and conditions

4. 결론

본 연구에서는 Advantedge Production Module을 이용한 금형 가공시 절삭력 변화에 따른 최적화 방법을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Insert 금형가공 Toolpath의 Tangential Force 해석을 통해 80, 85, 90%의 절삭력 최적화를 수행하였다.
- (2) 가공시간은 90% 조건에서 22.106%로 가장 큰 단축률을 나타내었고, 절삭력 최적화 크기에 따라 단축률이 크게 나타났다.
- (3) 표면 조도는 90%의 경우 가장 큰 값을 나타냈으며 최적화 전의 경우보다 2배 이상의 향상된 값을 도출했다.
- (4) 가공시간과 표면 조도 결과 값을 종합해보면 90%에서 가장 뛰어난 값을 나타내므로 90%에서 최적의 효과를 나타내었다.

후기

본 연구는 지식경제부 지정 지역혁신센터사업 신소형재가공 청정공정개발연구센터 지원으로 수행되었음

참고 문헌

- (1) Lee, S. Y., and Im, Y. M., 2004, "Prediction and Experiments of Cutting Forces in End Milling," *Journal of KSMTE*, Vol. 13, No. 4, pp. 9~15.
- (2) Lee, K. Y., Kang, M. C., and Kim, J. S., 1997, "The Prediction of Cutting Force and Surface Topography by Dynamic Force Model in End Milling," *Journal of KSPE*, Vol. 14, No. 4, pp. 38~45.

- (3) Hyun, E. J., and Jung, Y. H., 1999, "Chip Load Prediction for Ball End Mill," *KSPE Spring Conference*, pp. 1014~1018.
- (4) Young, H. T., Mathew, P., and Oxley, P. L. B., 1994, "Predicting Cutting Forces in Face Milling," *International Journal of machine tool and manufacture*, Vol. 34, No. 6, pp. 771~783.
- (5) Li, X. P., Nee, A. Y. C., Wong, Y. S., and Zheng, H. Q., 1999, "Theoretical Modelling and Simulation of Milling Forces," *Journal of Materials Technology*, Vol. 89-90, No. 1, pp. 266~272.
- (6) Zheng, H. Q., Li, X. P., Wong, Y. S., and Nee, A. Y. C., 1999, "Theoretical Modelling and Simulation of Cutting Forces in Face Milling with Cutter Runout," *International Journal of machine tool and manufacture*, Vol. 39, No. 12, pp. 2003~2018.
- (7) Kim, K. W., 2002, "Predicting Cutting Forces in Face Milling with the Orthogonal Machining Theory," *Journal of KSPE*, Vol. 19, No. 12, pp. 150~157.