

볼 엔드밀링에서의 공구 정렬 오차에 의한 가공면의 이론적인 평가

신영재*, 박경택, 이종현, 강병수(한국기계연구원)

Theoretical Estimation of Machined Surface Profile by Tool Alignment Errors in Ball-End Milling

Y. J. Shin, K. T. Park, J. H. Lee, B. S. Kang(KIMM)

ABSTRACT

High speed milling process is emerging as an important fabrication process benefits include the ability to fabricate micro and meso-scale parts out of a greater range of materials and with more varied geometry. It also enables the creation of micro and meso-scale molds for injection molding. Factors affecting surface roughness have not been studied in depth for this process. A series of experiments has been conducted in order to begin to characterize the factors affecting surface roughness and determine the range of attainable surface roughness values for the high speed milling process. It has previously been shown that run-out creates a greater problem for the dimensional accuracy of parts created by high speed milling process. And run-out also has a more significant effect on the surface quality of milled parts. The surface roughness traces reveal large peak to valley variations. This run-out is generated by spindle dynamics and tool geometry. In order to investigate the relationship between tool alignment errors and surface roughness the scallop generating mechanism in the ball-end milling with tool alignment errors has been studied and simulated. The results indicate that tool alignment errors have no significant effects on the dimension of scallops in flat planes.

Key Words : Tool vibration(공구진동), Run-out(회전정도), Tool alignment error(공구 정렬오차), Scallop(스칼롭)

1. 서론

새로운 제품의 생산 준비기간, 생산 준비투자 중에서 비율이 높은 금형제작의 기간단축, 비용절감은 중요한 과제로 되고 있다. 따라서 금형제작단계에서 CAD/CAM과 고속가공기를 활용한 고속·고정도 가공에 의한 가공시간 단축, 다듬질 공수의 삭감에 의한 제작기간의 단축, 비용 절감을 시키고 있다.

대부분 금형은 곡면과 미세형상의 조합으로 구성 되어 있으며 완만한 형상은 대경공구를, 미세형상은 소경공구를 이용하여 마무리해 가는 가공방법이 일반적이다. 절삭방법으로서 평탄부는 왕복가공, 경사부는 등고선상에 형상이음가공, 미세 형상은 능선이음에 펜슬 가공이나 형상이음가공을 실시하고 있다. 가공방법으로는 절삭깊이를 작게 설정함으로써 절삭부하를 절감하고 고속회전·고속이송을 실현하는 이른바 얇은 절삭깊이 고속이송이 사용되고 있다.

또한, 공구에 있어서도 도출길이를 L/D(공구길이/공구직경)의 값으로 5 이하가 되도록 하여 공구의 채터링 진동 등의 발생 빈도를 줄이고, 수축 기워맞춤방식의 공구홀더를 사용하여 고속 회전시에 진동 정밀도와 강성을 유지시키고 있다.

금형의 고속가공에서 상기와 같은 가공방법과 공구의 사용에도 불구하고 고속 주축에 장착되어 있는 공구 홀더가 정렬 오차를 가질 경우에 공구가 주축의 회전축에 대하여 편심과 경사각을 가지게 된다.

이 경우 공칭 칩 두께의 수십 배에 달하는 공구 진동이 발생하여 공구 수명이 감소하게 되며 가공물의 표면 거칠기가 아주 악화된다[1].

고속 볼 엔드밀링에 관한 문헌조사에 의하면 일반적인 가공과 달리 고속 볼 엔드밀링의 경우에는 절삭날의 기하학적 형상과 회전에 의하여 가공면에 피크 간격과 피드 간격에 의한 스칼롭이 형성된다[2]. 그리고 날당 이송과 경사각 엔드밀링이 가공면의 표면 품질에 가장 크게 영향을 미침을 알 수 있다[3]. 그러나 공구의 정렬 오차를 고려한 스칼롭의 형성에 관련한 논문은 부족한 실정이다. 이 논문에서는 공구의 정렬 오차를 고려한 스칼롭 형성 기구를 모델링하고 시뮬레이션 한다.

2. 볼 엔드밀링에서의 스칼롭 형성 기구

Fig. 1(a)와 같이 피크 간격에 의한 스칼롭은 볼 엔드밀의 정적인 기하학적 형상에 의하여 간단하게

정의되지만 Fig. 1(b)와 같이 피드 간격에 의한 스칼롭 높이를 알기 위해서는 볼 엔드밀이 이송과 회전이 고려되어야 한다.

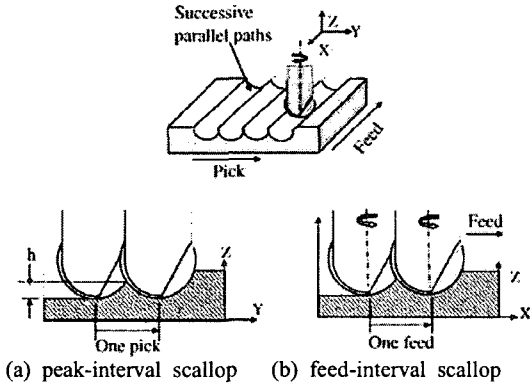


Fig. 1 Pick-interval and feed-interval scallops

3. 절삭날 궤적의 모델

본 연구에서는 두 날을 가진 볼 엔드밀로 평면을 마무리하는 가공으로 가정하므로 절입깊이가 작아 나선형의 절삭날을 직선형의 날로 가정할 수 있으며 편심 방향은 절삭날의 방향과 일치한다고 가정하였다. 따라서 가공에 참여하는 절삭날 상의 한 점은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$C(t) = \begin{Bmatrix} S_x \\ S_y \\ S_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_f t + (R \sin \beta \pm \epsilon) \cos \omega t \\ m p + (R \sin \beta \pm \epsilon) \cos \omega t \\ R(1 - \cos \beta) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

여기서 V_f 는 이송속도, R 은 공구의 반경, p 는 피크 간격, w 는 주축의 각속도, ϵ 는 편심량, m 은 피크의 일련번호이다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션

이송속도 $V_f = 5600$ mm/min, 공구 반경 $R = 1$ mm, 피크 간격 $p = 0.12$ mm, 주축 회전수가 40,000 rpm에 일 때의 편심 0, 5, 10, 15 μ m에 대하여 시뮬레이션을 하였다.

Fig. 2 (a)는 편심 0 μ m으로 스칼롭의 최대값은 2.66 μ m이었으며 Fig. 2(b)는 편심 15 μ m으로 스칼롭의 최대값은 2.31 μ m이었다. 편심량에 따른 스칼롭의 최대크기는 Table 1과 같다.

Table 1 Peak-to-peak values of scallops with eccentricity

| Eccentricity [μ m] | 0 | 5 | 10 | 15 |
|-------------------------|------|------|------|------|
| P-P value [μ m] | 2.66 | 2.51 | 2.39 | 2.31 |

5. 결론

- 볼 엔드밀링에서의 피크 간격 및 피드 간격에 따른 스칼롭 형상을 정의할 수 있는 모델을 정립하였으며
- 평면가공시의 볼 엔드밀 편심의 영향을 시뮬레이션하였다.

- 볼 엔드밀에 의한 평면가공에서는 스칼롭이 크기에 대한 공구 편심의 영향이 없고 스칼롭의 크기가 다소 작아짐을 알 수 있었다.
- 정사면은 공구의 편심에 민감한 방향이므로 정사면에 대한 연구가 필요하다.

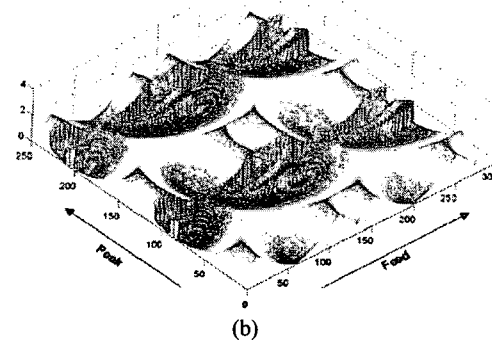
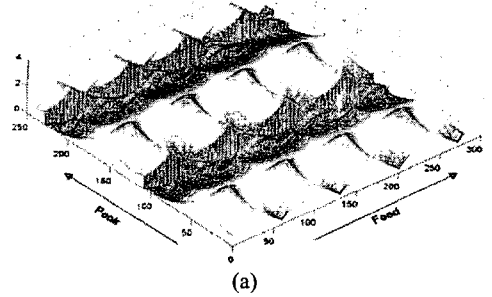


Fig. 2 Simulation of scallops

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중, 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 글로벌 정보공유 및 지식기반의 차세대 생산시스템기술 개발사업의 위탁과제로서 수행중이며, 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. Martin B. Jun, Shiv G. Kapoor, Richard E. Devor, "The Effects of End Mill Alignment Errors on Vibrations at High Spindle Speeds," SME Technical Paper TP04PUB202, 2004
2. J. S. Chen, Y. K. Huang, M. S. Chen, "A study of the surface scallop generating mechanism in the ball-end milling process," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 45, pp.1077-1084, 2005
3. H. Schulz, St. Hock, "High-speed milling of dies and moulds-cutting conditions and technology," Annals of CIRP 44(1) pp.33-38, 1995