한국공작기계기술학회 '97년도 추계학술대회 논문집 pp 248~253

정면밀링가공시 절삭조건 변화에 의한 표면거칠기 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Surface Roughness by Cutting Condition Variation in Face Milling

김 성 일*, 김 승 기/ 대불대학교 기계산업시스템공학부
김 태 영/ 전북대학교 기계공학부

ABSTRACT

The ideal surface roughness is obtained by tool geometry and feed rate in face milling. however actual surface roughness is affected by various factors such as cutting conditions, vibration and used tool. To improve the quality and productivity of the machining parts, lots of research on the evaluation of tool life and control of surface roughness has been required. Therefore, the width of flank wear, cutting force, and surface roughness are monitored to analyse the characteristics of surface roughness. This experimental investigation is mainly focused on the characteristics of surface roughness in multi-insert milling using TiN coated tool.

1. 서 론

공작기계에 의한 부품의 가공시 생산성 향상을 위해 가장 중요한 인자 중의 하나는 생산비의 절감이고, 이런 생산비의 절감을 위해 필요한 것이 제품의 품질제어이다. 제품의 품질을 관계된 중요한 인자로는 표면거칠기, 공구수명, 절삭조건 및 공구형상의 선택 등을 들 수 있다. 이론 표면거칠기는 공구형상 및 이송에 의해 결정되지만, 실제 표면거칠기는 구성인선, 진동 등 여러 가지 요인에 의해 이론거칠기와 차이가 발생한다. 따라서 최근 공작기계의 발전과 함께 공구수명 및 표면거칠기를 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다[1,2,3].

표면거칠기에 대한 연구중 단속절삭이고 다수의 인서트를 사용하는 밀링의 경우는 선삭의 경우와는 달리 인서트의 마모상태와 수명, 표면거칠기의 형태도 다르다. 이러한 여러 가지의 복잡성 때문에 대부분 단인밀링을 사용하고 있기에 다인 밀링가공에서의 공구마모 및 표면거칠기의 특성에 관한 연구는 아직 미진한 단계이다. 그러나 현장조건이 고려된 가공방법, 절삭조건, 공구수명, 표면거칠기 등의 면에서 많은 연구가 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 최근 사용이 증가되고 있는 TiN 코팅공구를 사용하여 공구의 마모특성, 인서트 수, 각 절삭조건의 변화에 따른 절삭력과 표면거칠기를 측정하고, 이들간의 상관관계를 파악하여 표면거칠기 특성을 평가하고자 한다.

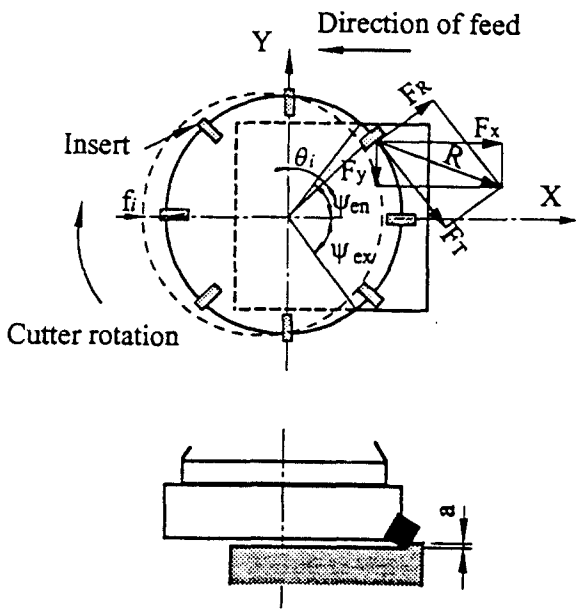
2. 본 론

1. 밀링가공시 절삭력 신호의 특성

정면밀링의 특징은 공구가 회전하고 피삭재가 이송, 다인공구(multi-insert)사용, 단속절삭이라는 것이다. Fig. 1은 정면밀링의 절삭형태와 절삭력의 방향을 보여준다. Fig. 2는 정면밀링에서 인서트 4개를 장착한 경우 초기위치오차와 절삭깊이, 이론적인 최대표면거칠기를 보여준다. 그림에서 보면 4번째 인서트는 절삭에 참여하고 있지 않다. 이 상태로 절삭하게 되면 하나나 두개의 공구가 먼저 마모되어 공구교환 시기도 짧아지고, 표면거칠기도 불안정해진다[4].

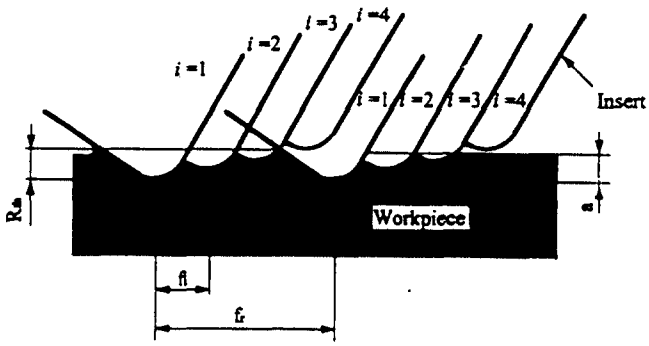
Fig. 3은 인서트를 장착시 Fig. 2와 같이 초기위치오차가 있을 때의 3축 절삭력 거동을 시간에 따라 보여주는 것이다. 1회전당 4개의 절삭력 신호가 일정하고 주기적 증감하여야 되는데, 오차가 발생하여 절삭깊이가 불균일하기 때문에 각 인서트의 절삭력 신호의 거동과 절삭력이 차이가 있음을 보인다. 이러한 경우가 존재하면 표면거칠기가 불균일하고, 먼저 마모되는 공구에 의해

공구수명이 정해져 공구교환시기가 단축된다.



θ_i : Position angle of i-th insert a: Depth of cut
ψ_{en} : Entry angle ψ_{ex} : Exit angle

Fig. 1 Force system and cut geometry in face milling



R_a : Theoretical surface roughness [μm] i : Insert number
f_i : Feed rate [mm/insert] f_r : Feed rate [mm/rev]
a : Depth of cut [mm]

Fig. 2 Run-out and theoretical surface roughness in face milling

2. 이론 표면거칠기와 실제 표면거칠기

정면밀링에서 표면거칠기는 인서트 코너의 기하학적 형상, 이송속도, 주축 및 커터의 run-out, 피삭재와 고정구의 안정성에 의해 결정된다. 인서트의 nose radius(R)≠0 일 때, 이론 표면거칠기는 Fig. 2와 같다. 그러나 실제 표면거칠기는 공구의 마모와 파손, 주축 및 커터의 run-out, 피삭재와 고정구의 안정성, 절삭두께의 변화, 기계진동[5,6] 등에 의해 이론 거칠기보다 크게 된다.

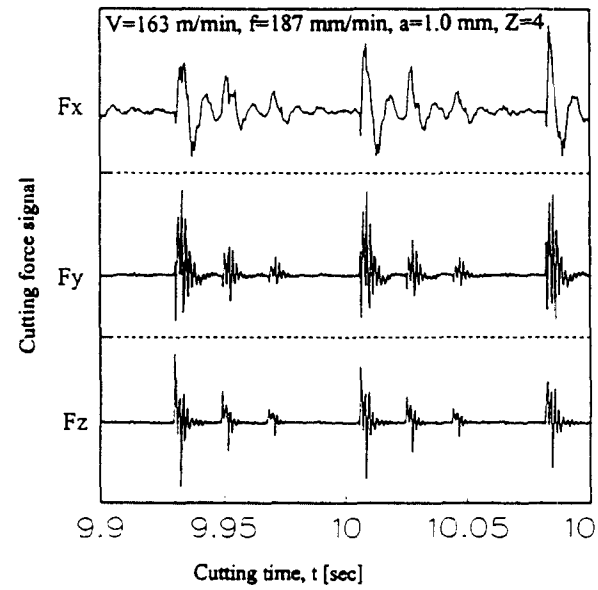


Fig. 3 Cutting force signal vs. cutting time

3. 실험 조건 및 방법

CNC 수직밀링을 사용하였고, 피삭재는 난삭재인 STS 304이며, 80mm(L)×10mm(W)×50 mm(H)의 치수로 가공하였다. 정면밀링커터의 사양은 Table 1에, 공구의 사양 Table 2와 같다.

절삭력의 측정은 공구동력계(dynamometer, KISTLER 9257A)를 사용하였으며, 공구동력계에서 나온 절삭력 신호를 증폭하기 위하여 증폭기(amplifier, KISTLER 5001)를 사용하였다. 절삭시 발생되는 신호는 오실로스코프를 통해 모니터링하였고, 동시에 A/D converter를 거쳐 이송속도와 절삭시간에 맞추어 최대로 받을 수 있는 데이터인 초당 2,000개를 받아 IBM-PC에 저장하였다.

표면거칠기의 측정은 이동식 표면조도계(portable surface roughness tester(Mitutoyo, Surftest 201))를 사용하였으며, 중심선 평균거칠기(Ra), 최대높이거칠기(Rmax)를 절삭실험이 종

료된 후 이송방향으로 cutting mark가 가장 큰 피삭재폭 중앙위치 3곳에서 실시하였다. 이송속도와 공구반경을 고려하여 cut-off는 0.8mm, 측

Table 1 The specifications of milling cutter

Milling cutter	M115SP04R-12
Lead angle [°]	15
Axial rake angle [°]	+7
Radial rake angle [°]	0
Number of insert	1, 2, 4, 8
Diameter [mm]	ϕ 100

Table 2 The specifications of insert

Insert material	TiN coated
Ordering code	SPE-422 (V1N)
ISO code	SPEN 1203 08
Clearance angle [°]	11
Nose radius [mm]	0.8

정반복상수(n)를 3으로 설정하였다. 따라서 조도계의 traversing length는 start-up(1mm)을 포함하여 총 3.4mm가 된다. 절삭실험은 표면거칠기 해석과 절삭력 신호의 효율적인 획득 및 해석을 위해 1차로 단인절삭(single-insert cutting)을 실시하고, 인서트의 수를 2, 4, 8개로 증가시켜 실험을 수행하였다.

밀링공구의 마모는 인서트의 축방향 및 반경방향 초기위치오차 때문에 여러가지의 형태로 나타난다. 즉, 모든 인서트가 동일하게 마모되기도 하고, 한개 또는 두 개나 세 개의 인서트만 특히 많이 마모되기도 한다. 이러한 현상을 가능한 한 방지하기 위하여 커터를 일정하게 고정할 수 있도록 제작한 지그위에 놓고 다이얼 게이지(1/1000 mm)로 초기위치오차를 확인한 후 장착하였다. 만일 절삭후 오실로스코프와 절삭력 획득 프로그램에서 각 인서트의 절삭력 신호를 확인하여 인서트 수와 절삭력신호의 수가 일치하지 않으면 인서트 장착시 초기 위치오차가 있다고 판단하여 다시 장착하였다. 그럼에도 불구하고 각 인서트의 마모량은 차이가 발생하였다.

공구마모 측정은 실험을 종료한 후 인서트가 장착된 상태로 밀링커터를 분리하여 1차로 공구현미경에서 관찰하고 더욱 자세한 마모의 측정을 위해 윤곽투영기(profile projector)를 사용하였다. 예비실험 결과 마모는 거의 여유(flank)면에서 발생됨으로 여유면 마모 및 파손여부를 관찰하였다. 공구수명 판단기준은 여유면마모폭(VB)을 0.3 mm로 하였다. 인서트가 다수인 경우는 공구마모가 각 인서트마다 다르기 때문에 각 인서트의 마모를 측정한 후 여유면마모평균값(VB_{av})[7]을 취하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4는 절삭속도 311 m/min의 조건에서 절삭깊이의 변화에 따른 표면거칠기(Ra, Rmax)와 이송(feed rate)과의 관계를 보여준다. 절삭깊이의 증가에 따라서 표면거칠기도 높아짐을 볼 수 있고, 이송이 커질수록 표면거칠기도 높아짐을 볼 수 있다. 따라서 표면거칠기는 이송과 절삭깊이가 증가함에 따라 증가함을 보여준다.

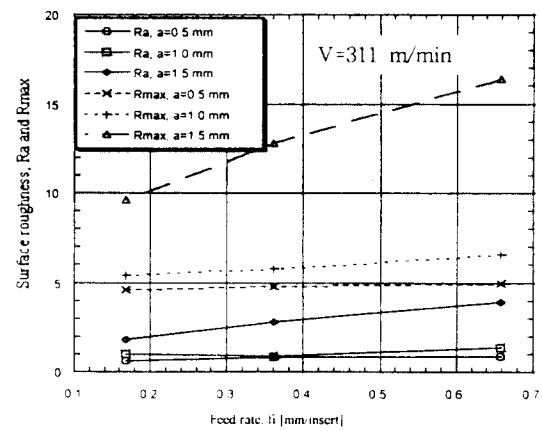


Fig. 4 Surface roughness vs. feed rate for various depth of cut

Fig. 5~10은 인서트의 수를 1, 2, 4, 8로 변화시켰을 때 절삭시간에 따른 공구마모와 표면거칠기와의 관계를 도시한 그림이다.

Fig. 5, 6은 절삭속도 225 m/min, feed speed 187 mm/min, 절삭깊이 0.5 mm, 인서트 1개

(Z=1)의 조건에서 공구마모와 표면거칠기(Ra, Rmax)를 절삭시간에 따라 살펴본 것으로, 여유면마모의 폭이 0.25 mm 부근에서 표면거칠기가 갑자기 높아지는 경향을 보이고 있다. 코팅공구를 사용하여 STS 304 가공시 마모폭이 0.25 mm 부근에 도달했을 때 공구의 인선의 무너짐과 칩이 공구에 응착되고 탈락하는 현상이 반복적으로 발생하였고, 부절인인 여유면마모로 인하여 정상적인 절삭보다는 가공물이 뜯기는 현상이 발견되었다.

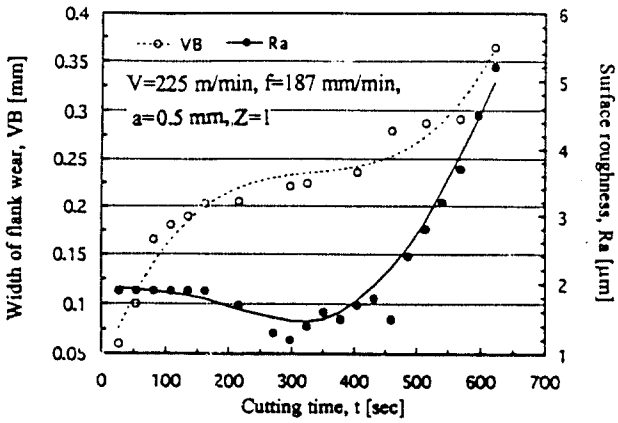


Fig. 5 Width of flank wear and surface roughness vs. cutting time

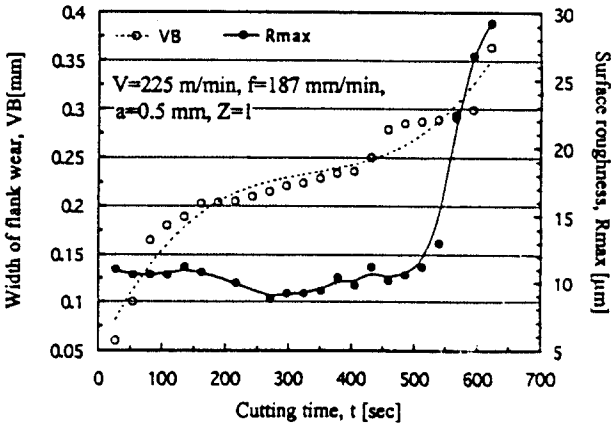


Fig. 6 Width of flank wear and surface roughness vs. cutting time

Fig. 7은 절삭속도 225 m/min, feed speed 187 mm/min, 절삭깊이 0.5 mm, 인서트 2개의 조건에서 공구마모와 표면거칠기(Ra)를 절삭시간에 따라 살펴본 것으로, 마모초기에 표면거칠기는 불규칙한 양상을 보이다가 여유면마모의 폭이 0.25 mm 부근에서 코팅층이 급격하게 탈락하여 표면거칠기가 갑자기 높아지는 경향을 보이고 있다.

Fig. 8은 절삭속도 225 m/min, feed speed 187 mm/min, 절삭깊이 0.5 mm, 인서트 4개의 조건에서 공구마모와 표면거칠기(Ra, Rmax)를 절삭

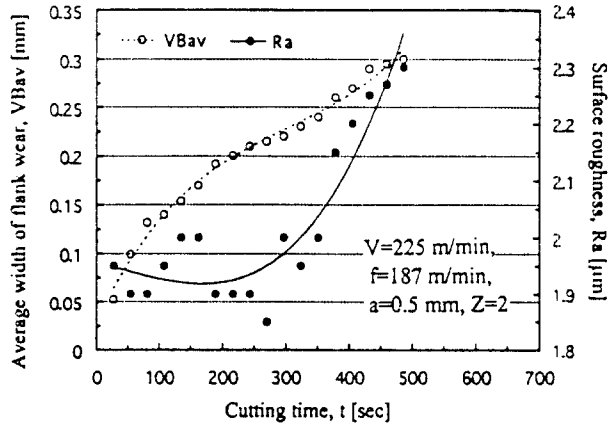


Fig. 7 Width of flank wear and surface roughness vs. cutting time

시간에 따라 살펴본 것으로, 커터에 인서트 장착했을 때 인서트의 초기위치오차로 인하여 절삭초기에 표면거칠기가 높다가 공구가 마모됨에 따라 인서트의 초기위치오차의 감소로 안정화된다. 절

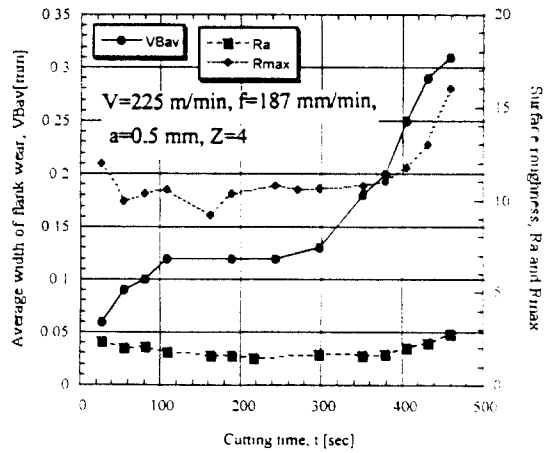


Fig. 8 Average width of flank wear and surface roughness vs. cutting force

삭이 진행됨에 따라 초기보다 오히려 표면거칠기는 낮아지는 양상을 보이고, 절삭시간이 길어지면 표면거칠기가 높아지고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 9는 절삭속도 225 m/min, feed speed 187 mm/min, 절삭깊이 0.5 mm, 인서트 8개의 조건에서 공구마모와 표면거칠기(Ra)를 절삭시간에 따라 살펴본 것으로, 표면거칠기는 마모초기에 일정하게 유지되다가 여유면 마모 폭이 0.25 mm를 넘어서면서 표면거칠기가 급격하게 높아짐을 보이고 있다.

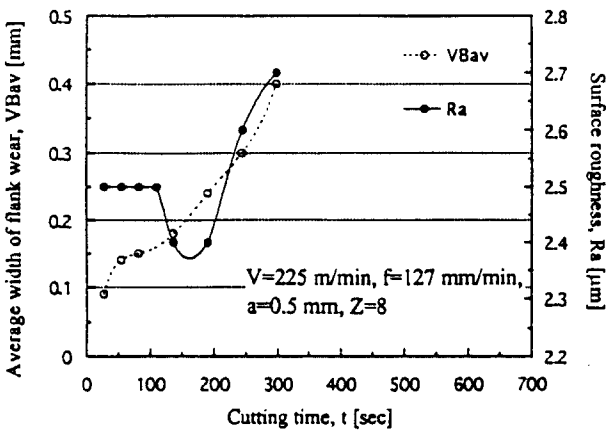


Fig. 9 Width of flank wear and surface roughness vs. cutting time

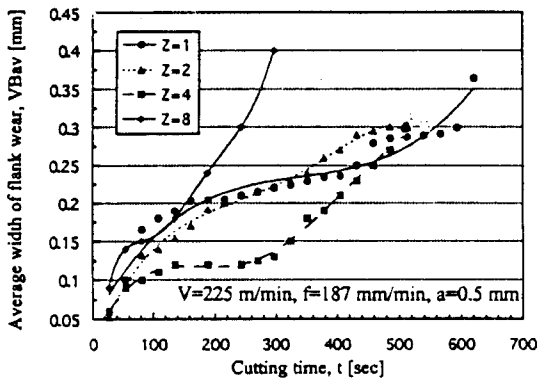


Fig. 10 Average width of flank wear vs. cutting time for various number of inserts

Fig. 10은 절삭시간에 따른 공구마모를 인서트 수(Z)의 변화에 따라 살펴본 것으로 절삭시간이 길어짐에 따라 공구의 마모량은 증가됨을 볼 수 있고, 공구수명은 인서트 수가 증가할수록 감소함을 보여준다. 이는 인서트의 마모가 일정하지 않고 먼저 마모되는 공구에 의해 수명이 결정되기 때문이다. 인서트 수가 여러개일 때의 마모 측정은 인서트를 커터에 삽입할 때 인서트의 초기위치오차, 공구와 피삭재의 응착 등의 현상이 발생되어 인서트의 마모량이 다르기 때문에 각 인서트 마모량의 합을 인서트의 수로 나눈 평균값으로 하였다.

공구마모에 따른 표면거칠기의 특성을 종합하여 보면, 절삭이 진행됨에 따라 마모초기의 표면거칠기는 낮아지는 양상을 보이다가 안정되고, 공구수명한계에 달할때 급격히 높아짐을 보여준다. 또한 인서트 수가 증가할수록 공구수명이 감소함으로 공구수명과 기계강성 및 표면거칠기의 영향 등을 고려하여 인서트의 수를 결정하여야 한다.

5. 결 론

1. 표면거칠기는 이송과 절삭깊이가 증가할수록 증가한다.
2. 절삭이 진행됨에 따라 마모초기의 표면거칠기는 낮아지는 양상을 보이다가 안정되고, 공구수명한계에 달할때 급격히 높아진다.
3. 표면거칠기는 반경방향의 초기위치오차 보다는 축방향의 초기위치오차에 의해 영향받는다.
4. 다인밀링시 인서트의 초기위치오차 및 여러 요인에 의해 인서트가 일정하게 마모되지 않으면 먼저 마모되는 공구에 의해 공구수명이 결정되어 공구수명은 감소하고, 표면거칠기는 불안정하게 된다.

참 고 문 헌

1. W. A. Kline and R. E. Devor, "The Effect of Runout on Cutting Geometry and Forces in End Milling", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 23, No. 2/3, pp. 123~140, 1983.
2. C.Y. Jung and J.H. Oh, "Improvement of Surface Waviness By Cutting Force Control in Milling", Int. J. Mach. Tool Manufact., Vol. 31, No. 1, pp. 9~21, 1991.
3. C. Sikdar, S. Paul and A.B. Chattopadhyay," Effect of Variation in Edge Geometry on

Wear and Life of Coated Carbide Face Milling Inserts", Wear(157), pp. 116~126, 1992.

4. "밀링가공기술", 중소기업진흥공단, pp. 47~53, 1986.
5. 金永振, 金弘在 編著, "精密工作法 第2版", 大光書林, pp.56~63, 1984.
6. 狩野勝吉 譯, "難削材의 切削加工技術", pp.153~154, 1989.
7. M. A. Elbestawi, T. A. Papazafiriou and R. X. Du, "In-process Monitoring of Tool Wear in Milling Using Cutting Force Signature", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 31, No. 1, pp. 55~73, 1991.