

코팅공구를 사용한 Face Milling의 가공특성에 관한연구 (A Study on Machining Characteristics of Face Milling Using Coated Tool)

이 위 로(전북대학교 정밀기계공학과 대학원)
김 성 일(전북대학교 정밀기계공학과 대학원)
김 태 영(전북대학교 정밀기계공학과)

ABSTRACT

This experimental study mainly deals with the single and multi-insert cutting characteristics using coated tool. Because metal cutting of the single and multi-insert has a large relation to the improvement of productivity, the economic cutting process can be achieved by the analysis of proper metal cutting mechanism. Therefore, machining characteristics of face milling in this paper has been studied by investigating the role of different insert number which is concerned with mean cutting force, the RMS values of AE(acoustic emission) signal, tool life and surface roughness in milling SS 41 and SUS 304.

1. 서 론

공구의 회전과 피삭재의 이송으로 단면, 평면, 측면등 다양한 가공을 할 수 있으며, 작업에 따라 커터의 직경, 인서트의 수, 인서트 종류 등의 변화를 줄 수 있는 밀링머시인은 절삭가공에서 중요한 역할을 하는 공작기계의 하나이다. 그러므로 밀링에서 생산성 향상을 위한 공작기계의 설계 및 강성개선, 공구수명에 따른 생산비용의 절감, 표면거칠기에 따른 가공품의 품질 향상을 위한 연구가 진행되고 있으며, 공작기계의 자동화와 무인화가 진행되면서 주로 공구마모 및 파괴의 검출에 관한 연구가 진행되고 있다. 이에 관한 연구결과들로는 Kuljamic⁽¹⁾은 인서트 수의 증가에 따른 공구마모 연구, E. N. Diei⁽²⁾등은 정면밀링 가공시 AE와 공구 마모 및 파괴 검출에 관한 연구, 이⁽³⁾등은 정면밀링에서 공구의 기하학적 형상을 고려한 절삭력 해석, C.Y.Jung⁽⁴⁾등은 밀링가공시 절삭력 제어에 의하여 surface waviness의 증진에 대한 연구, 김⁽⁵⁾은 절삭조건에서 결정되는 여러 변수들이 절삭력 변동을 유발한다고 가정하고 절삭력과 표면거칠기와의 관계에 대한 연구가 있지만, 지금까지의 정면밀링실험은 해석의 난이성, 커터에 인서트 장착시의 인선높이의 불균일, 인서트 수의 영향 등으로 인하여 대부분 단인(single-insert)절삭을 실시하여 다인(multi-insert)절삭의 결과를 예측하였다. 그러나 실제의 밀링작업은 단인으로 절삭하는 경우는 거의 없으므로 다인을 이용한 절삭의 연구가 필요한 실정이다.

또한 공구재료의 개발로 초경공구 대신 기계적인 충격과 열

충격을 받기 때문에 피삭재에 비하여 높은 경도, 쉽게 산화되지 않는 화학적 안정성, 연마모(abrasion wear), 응착마모(adhesion wear), 확산마모(diffusion wear)에 강한 특성을 가진 코팅공구의 사용이 증대되고 있다. 이에 대한 연구로는 S. Paul⁽⁶⁾등의 공구의 기하학적인 형상의 변화와 절삭특성의 관계를 이용한 생산성 증가에 대한 연구, V.C.Venkatesh⁽⁷⁾등의 밀링에서 코팅된 공구가 코팅되지 않은 공구보다 여유면 마모의 진행이 늦어 공구수명 측면에서 유리함을 입증한 연구가 있다.

따라서 본 연구는 코팅공구를 사용하여 SS 41과 SUS 304의 정면밀링가공시 신속한 응답속도로서 절삭상황을 민감하게 검출할 수 있는 절삭력을 측정하고, 또한 진동, 소음에 큰 영향을 받지 않아 절삭상황과 공구의 상태를 파악하는데 좋은 탐지 기법인 AE 신호를 이용하여 인서트 수, 공구마모, 각 절삭조건에 따른 절삭상태 검출 및 표면거칠기를 측정하고, 단인과 다인절삭의 절삭력, AE 신호와 표면거칠기의 관계성과 인서트 수의 변화에 따른 공구수명 평가 및 공구의 마모형태를 분석하여 코팅공구를 이용한 정면밀링의 가공특성을 규명하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 정면밀링 가공의 절삭력 특성

절삭가공에서 절삭력의 해석은 절삭조건, 절삭공구의 기하학적 형상과 재질, 피삭재의 재질과 형태 등이 관계되어 복잡하다. 특히 정면밀링은 공구의 회전과 피삭재의 이송으로 인하여

절삭두께가 변하므로 절삭력 성분들은 방향과 크기가 항상 변화한다. 그러므로 공구동력계에서 측정가능한 이송방향의 분력 (feed component) F_x , 절삭방향의 분력 (main cutting component) F_y 와 절삭깊이 방향의 분력 (thrust component) F_z 를 측정한다.

2.2 표준편차

평균치가 관측 데이터의 크기를 나타내는데 비해 데이터의 변동성 즉 데이터의 분포가 그 중심에서 어느 정도 퍼져 있는가를 나타낼 때에는 표준편차를 사용한다. 분산의 평방근을 표준편차(s)라 한다.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \dots (a)$$

n : 데이터의 갯수
 x_i : i번째 데이터의 크기
 \bar{x} : n개 데이터의 평균

정면밀링은 단속절삭, 절삭면적의 변화로 인하여 절삭력이 크게 변동되어지는 특성이 있으므로 표면거칠기 변화에 따른 절삭력의 변화되는 정도를 살펴보기 위하여 절삭력의 표준편차 이용한다.

2.3 acoustic emission 신호의 특성

소성변형시 또는 탄성체의 파괴시 재료내부의 에너지가 탄성파 등 여러 형태의 에너지로 방출되며, 검출된 탄성파를 AE(acoustic emission)신호라 일컫는다. AE의 에너지 함유율을 측정하는 방법의 하나로 count 또는 count rate 측정보다 주로 RMS (root mean square)전압값을 사용하는데 이의 이점은 1) data를 해석적인 함수로 모델링하기 용이한 AE data의 명탄화 (smoothing). 2) count rate 기술과 같은 높은 민감성 (sensitivity) 불필요. 3) 변환자의 결합효율 또는 gain에 덜 민감. 4) 방출신호에 포함된 에너지에 RMS data를 관련시키기 용이하기 때문이다⁽⁶⁾.

2.4 공구의 마모의 특성

절삭가공에서 공구의 마모는 공구와 가공물이 미끄럼 접촉을 하여 공구표면으로부터 점진적으로 입자가 떨어져 나가 치수가 변하는 현상, 즉 재료가 손실되는 현상이다. M. C. Shaw⁽⁹⁾는 주된 마모(wear)의 형태를 용착마모(adhesive wear), 연마모(abrasive wear), 침식마모(erosive wear), 부식마모(corrosive wear), 확산마모(diffusion wear), 파괴(fracture wear)로 분류하였고, 중요한 형태의 마모로는 용착마모와 연마모라 하였으며,

실제적인 마모환경은 독립적으로 발생하는 것이 아니라 서로 다른 마모 유형들이 빈번하게 상호작용을 한다고 하였다. 정면밀링가공시에는 가열과 냉각을 반복하기 때문에 온도의존성이 높은 경사면 마모는 적고 여유면 마모가 지배적으로 발생한다. 그래서 여유면 마모를 공구수명의 인자로서 사용하는 경우가 많다.

2.5 이론 표면거칠기

정면밀링에 있어서 노즈반경(nose radius, $R \neq 0$) 일 때의 이론거칠기식은 아래와 같다.

(1) 가공면에 원호의 절삭무늬만 남는 경우 ($\frac{f}{2} \leq R \cdot \sin K' re$)

$$R_{max} = (f_z^2 / 8R) \quad f_z : \text{mm / insert} \quad \dots (a)$$

(2) 가공면에 원호와 직선의 절삭무늬가 동시에 남는 경우

$$\left(\frac{f}{2} > R \cdot \sin K' re\right)$$

(2-1) 주절입에서는 원호절삭무늬만 남고 부절입에서는 원호와 직선의 절삭무늬가 남는 경우

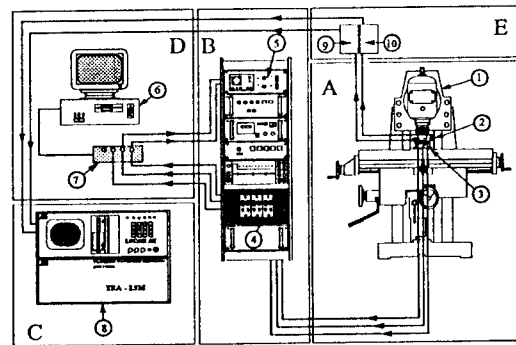
$$f = [R^2 - (R - R_{max})^2]^{1/2} + (R \cdot \sin K' re) + R(R_{max}/R - 1 + \cos K' re) \cdot \cot K' re \quad \dots (b)$$

(2-2) 주절입과 부절입이 동시에 원호와 직선의 무늬가 남는 경우

$$R_{max} = \frac{f}{\cot K' re + \cot K' re} - \frac{R \cdot \cos((K' re - K' re)/2)}{\cos((K' re + K' re)/2)} + R \quad \dots (c)$$

3. 실험장치 및 실험방법

Fig. 1은 실험을 위한 장비의 배치상태와 획득된 신호들의 처리과정을 보이고 있다. 수직밀링머신에서 3축방향의 절삭력을 측정하기 위하여 공구동력계(KISTLER 9257A)를 사용하였으며, 공구동력계에서 나온 절삭력신호를 증폭하기 위하여 증폭기(charge amplifier, KISTLER 5001)를 사용하였다. 절삭조건은 Table 1과 같고 절삭시 발생하는 데이터는 오실로스코



A: Cutting Part B: Amplifier Part C: LOCAN-AT Part D: Cutting Force Acquisition Part E: Pre-Amplifier

Fig. 1 Arrangement of cutting test.

프(oscilloscope)를 통해 모니터링(monitoring)함과 동시에 A/D converter를 통해 2 KHz로 샘플링하여 IBM-PC 486에 저장하였다. AE 신호를 획득하고 분석하기 위한 AE측정장비로서 LOCAN-AT를 사용하였다.

공구의 마모에 관한 실험은 마모시킨 인서트를 삽입하여 절삭하는 방법과 공구수명한계까지 절삭하는 방법으로 하였다. 예비실험 결과 마모는 거의 여유면에서 발생됨으로 여유면 마모 및 피손여부를 관찰하였다. 표면거칠기의 측정은 portable surface roughness tester(Surfest 201)로 중심선 평균거칠기 (R_a), 최대높이거칠기(R_{max})를 시편의 정해진 3곳에서 하였다.

Table 1 Experimental conditions

machine tool	universal milling machine(vertical milling machine) M115S104R-12 (대한중석, $\phi 100$ mm)
milling cutter	lead angle : 15° axial rake angle : $+7^\circ$ radial rake angle : 0°
milling insert	TIN coated tool(VIN, VALENITE, 미국, SPEN 1203 08), clearance angle : 11° thickness : 3.18 mm tip shape : S - type, nose radius : 0.8 mm
work material	1) 기계 구조용 압연강 (SS41) ($80 \times 80 \times 50$, 중앙부에 $\phi 31$ mm 구멍가공) 2) 오스테나이트계 SUS 304 ($80 \times 55 \times 10$)
environment	dry
cutting conditions	cutting speed : 83, 163, 311 m/min feedspeed : 87, 187, 342 mm/min feedrate : 0.011 - 1.291 mm/insert depth of cut : 0.5, 1.0, 1.5 mm, center-milling, number of insert : 1, 2, 4, 8

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 SS 41 가공시 절삭속도 83 m/min, 절삭깊이 1.5 mm의 절삭조건에서 인서트 수가 증가함에 따라 절삭력이 감소함을 보인다. 특히 인서트의 수가 2에서 4개로 변할 때 절삭력이 크게 감소하는데 이것은 인서트 2개가 절입하여 피삭재를 동시에 절삭하기 때문이다.

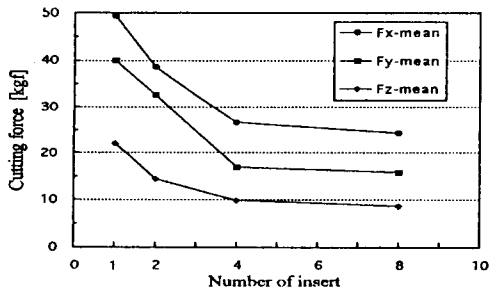


Fig. 2 The relation between cutting force and number of insert ($V=83$ m/min, $a_p=1.5$ mm)

Fig. 3은 절삭깊이 0.5 mm의 조건에서 표면거칠기 R_a 와 평균 절삭력(F_z -mean), 절삭력의 표준편차와의 관계를 살펴 본

것으로, 표면거칠기 R_a 의 증가에 따라 절삭력(F_z -mean)이 선형적으로 증가하며 또한 절삭력의 변동(표준편차)이 커지는 것을 보여주고있다.

Fig. 4는 feed speed 87 mm/min, 절삭깊이 1.0의 조건에서 인서트 수, 절삭속도, 평균절삭력(F_z -mean)의 관계를 도시한 그림이다. 인서트 수를 감소시키고 절삭속도를 증가시켜 유사한 feedrate가 유지되도록 하므로써, 즉 $a_1 \rightarrow a_2, b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow b_3, c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3, d_1 \rightarrow d_2$ 와같이 변화시킬때, 절삭력(F_z -mean)이 작아지는 것을 볼 수있다. 유사한 feedrate 일지라도 절삭력은 인서트 수 보다 절삭속도의 영향을 더 받는것을 알 수 있다. 이는 절삭속도의 증가는 절삭온도의 상승을 유발하여 가공물의 강도가 떨어져 절삭력이 감소⁽¹⁰⁾ 되기 때문이다.

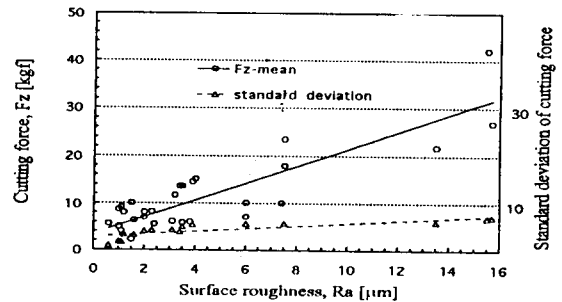
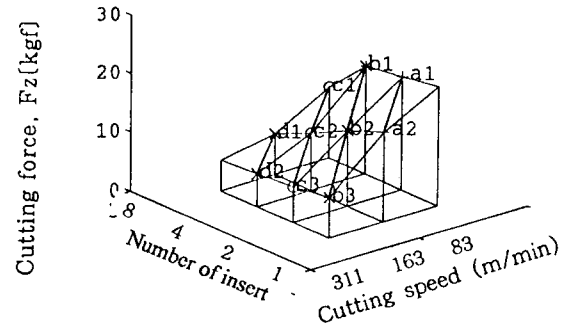


Fig. 3 The relation among cutting force, standard deviation and surface roughness



$a_1 \cong a_2, b_1 \cong b_2 \cong b_3, c_1 \cong c_2 \cong c_3, d_1 \cong d_2$: similar feedrate
 $a_1 \rightarrow a_2, b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow b_3, c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3, d_1 \rightarrow d_2$:
 decrease of insert number, increase of cutting speed

Fig. 4 The relation among insert number, cutting speed and cutting force($feed=87$ mm/min, $a_p=1.0$ mm)

Fig. 5는 주축회전수 990, 절삭깊이 1.0 mm에서 인서트 수와 AE RMS의 관계를 feed speed의 변화에 따라 도시한 그림이다. 인서트의 수가 증가함에 따라 AE RMS는 증가함을 보이고 있고, feed speed의 변화에 AE RMS는 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

Fig. 6은 주축 회전수 990, feed speed 342 mm/min에서 인

서트 수와 AE RMS의 관계를 절삭깊이의 변화에 따라 도시한 그림이다. 인서트의 수가 증가함에 따라 AE RMS는 증가함을 보이고 있고, 절삭깊이의 변화에 대해서 AE RMS는 큰 변화가 없음을 보여준다.

Fig. 7은 절삭깊이 1.5 mm, feed speed 87 mm/min에서 절삭속도와 AE RMS와의 관계를 인서트 수에 따라 도시한 그림이다. 절삭속도가 증가함에 따라 AE RMS는 증가함을 알 수 있다. 이와같이 절삭속도가 AE 신호에 크게 영향을 미치는 원인으로서서는 절삭속도에 비례하여 재료의 전단변형속도가 증가하는 것과 경사면과 칩, 여유면과 피삭재의 마찰로 인하여 마모속도가 커지기 때문이라고 생각된다.

절삭력과 AE RMS에 미치는 인자를 종합해 살펴보면 인서트 수의 증가에 따라 절삭력은 감소하고 AE RMS는 증가하며 유사한 feedrate에서 절삭력은 인서트 수보다 절삭속도의 영향을 더 받는다. 또한 AE RMS는 절삭깊이, feed speed 변화의 영향에는 미소한 반면, 절삭속도가 커짐에 따라 증가함을 알

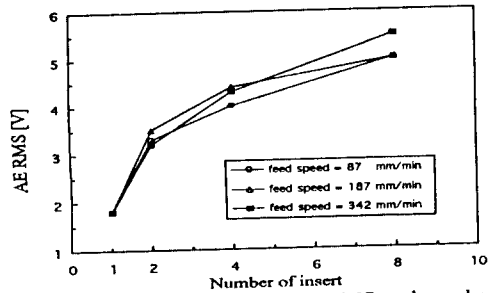


Fig. 5 The relation between AE RMS and number of insert (RPM = 990, $a_p = 1.0$ mm)

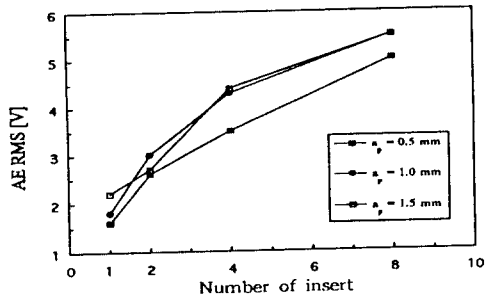


Fig. 6 The relation between AE RMS and time (RPM=990, feed speed=342 mm/min)

수 있다.

Photo. 1은 SS 41과 SUS 304의 가공시 코팅공구의 마모형태를 보여주는 사진이다. (a)는 SS41강의 가공시 일반적인 마모의 형태를 보여주는 사진으로 절삭이 진행되면서 코팅층의 박리와 마모가 함께 진행되고, 마모의 폭은 거의 일정하게 커짐을 관찰할 수 있었다. (b)는 SUS 304를 가공한 경우의 마모 사진이며 SS 41과는 달리 초기에 코팅층이 무너지고, 절삭을 진행함에 따라 코팅층의 탈락면적이 넓어지고 마모가 진행되

며, 칩이 공구에 달라붙는 응착마모가 발생됨을 보여주는 사진이다. 칩이 공구에 응착하면, 피삭재의 표면거칠기가 불균일하게 되는 등의 악영향을 미치므로 공구의 선정시 재료와의 친화성 문제를 고려해야한다는 것을 보인다.

Fig. 8은 SUS 304의 가공시 인서트 수의 변화에 따른 공구 수명을 보여준다. 절삭속도 226 m/min, 절삭깊이 0.5 mm의 조건에서 여유면 마모의 폭을 0.3 mm로 공구수명 판단기준으로 하여 인서트 수의 증가에 따른 공구수명을 살펴본 것으로 인서트 수가 증가함에 따라 공구수명은 감소함을 보인다. 이는 Kennametal K42 인서트를 사용한 이전의 연구자와 유사한 경향을 보이고 있다⁽¹⁾. 공구수명이 감소하는 이유는 인서트 수가 증가함에 따라 커터온도와 공작물의 온도가 증가하여 공구마모가 촉진되기 때문이다.

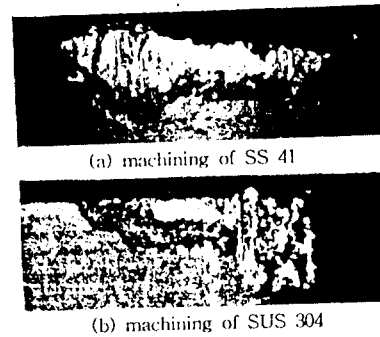


Photo. 1 Wear of coated tool

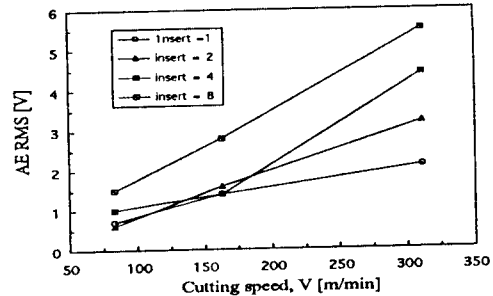


Fig. 7 The relation between AE RMS and cutting speed ($a_p = 1.5$ mm, feed speed=87 mm/min)

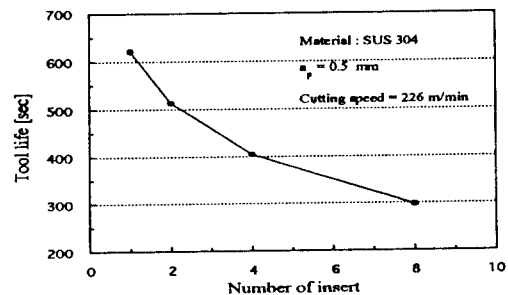


Fig. 8 The relation between tool life and number of insert

Fig. 9 ~ Fig. 10은 SS 41 가공시 공구마모에 따른 절삭력, AE RMS, 표면거칠기의 특성을 보여준다.

Fig. 9는 주축 회전수 265, feed speed 187 mm/min, 절삭깊이 1.0 mm의 절삭조건에서 공구마모에 따른 절삭력과 AE RMS와의 관계를 보여주고 있다. 공구가 마모됨에 따라 AE RMS가 증가함을 보이고 있다. 이는 공구가 마모되고, 재료가 소성변형되기 때문이다.

Fig. 10은 주축 회전수 520, feed speed 87 mm/min, 절삭깊이 1.0 mm의 조건에서 공구마모에 따른 절삭력과 표면거칠기 (Ra, Rmax)와의 관계를 보여준다. 마모가 진행되면서 표면거칠기 Ra와 Rmax는 증가하고 있다. 또한 공구마모가 진행됨에 따라 표면거칠기에 가장 큰 영향을 주는 부절인이 마모되어 절삭력의 증가로 인한 공구와 공작물간의 불필요한 진동과 공구기하학적 형상의 변화로 인하여 가공면이 뜯기는 현상이 발생되기 때문이다.

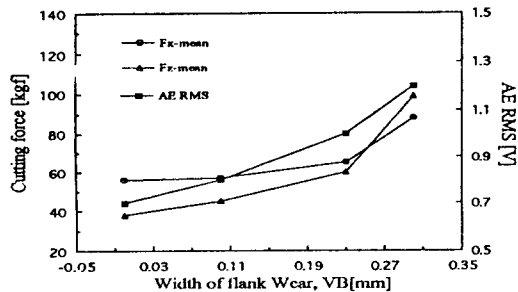


Fig. 9 The relation between cutting force, AE RMS and flank wear (RPM=265, feed speed=187 mm/min, $a_p=1.0$ mm)

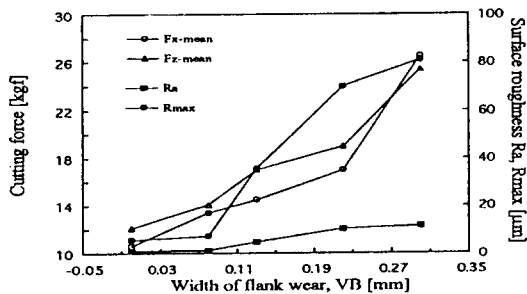


Fig. 10 The relation between cutting force, surface roughness and width flank wear (RPM=520, feed speed=87 mm/min, $a_p=1.0$ mm)

공구마모에 따른 공구수명, 절삭력, AE RMS, 표면거칠기의 특성을 종합하여 보면, 인서트의 수를 증가시키면 공구수명이 감소함으로 공구수명과 기계강성 및 표면거칠기의 영향등을 고려하여 인서트의 수를 결정하여야 하며, 공구마모에 따라 절삭력과 AE RMS가 증가함으로 공구의 여유면 마모 검출에 절삭력과 AE RMS가 사용될 수 있음을 보여준다.

Fig. 11 ~ Fig. 14는 SS 41 가공시 인서트 수에 따른 표면거칠기의 특성에 관한 그림이다.

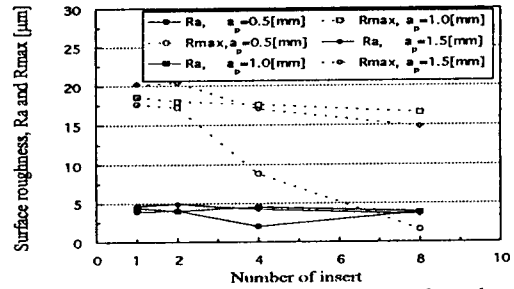


Fig. 11 The relation of surface roughness and number of insert ($V=163$ m/min, feed speed=187 mm/min)

Fig. 11은 절삭속도 163 m/min, feed speed 187 mm/min의 조건에서 인서트 수의 증가에 따른 표면거칠기를 절삭깊이의 변화에 따라 살펴본 것으로, 인서트의 수가 증가함에 따라 표면거칠기 Ra는 거의 일정한 반면 Rmax는 감소하는 경향을 볼 수 있다. 또한 표면거칠기 Ra는 절삭깊이와 크게 관계가 없을 수 있다.

Fig. 12는 실험조건에서 feedrate와 실제 표면거칠기와 이론 표면거칠기의 비(actual/theoretical roughness)를 비교한 것으로 feedrate의 증가에 따라 실제거칠기와 이론거칠기의 비는 감소하고, 실제거칠기는 이론거칠기의 1.1로부터 100배 정도까지 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이론거칠기와 실제거칠기와의 차이가 발생하는 일반적인 이유로는 기계진동에 의한 공구와 공작물간의 불필요한 상대변위와 절삭홈 가장자리에서의 부풀어 오름 등이 있다⁽¹¹⁾. 노즈반경 0.8 mm 인서트를 사용한 본 실험에서는 노즈반경내에서 feedrate가 증가될수록 실제/이론 거칠기가 적은 반면, feedrate를 아주 작게하면 표면거칠기가 극히 양호해질 것 같으나 이미 절삭된 면을 다시 미세하게 절삭하게 되므로 절삭이 정상적으로 이루어지지 않고 피삭재의 표면이 부풀어올라 실제 표면거칠기는 이론 거칠기와 큰 차이가 있다⁽¹²⁾. 그러므로 feedrate를 아주 작게 할지라도 표면거칠기의 좋아지는 정도가 한계가 있으므로 원하는 표면 거칠기를 얻기 위해서는 절삭공구의 기하학적 형상을 적절히 고려해야 한다.

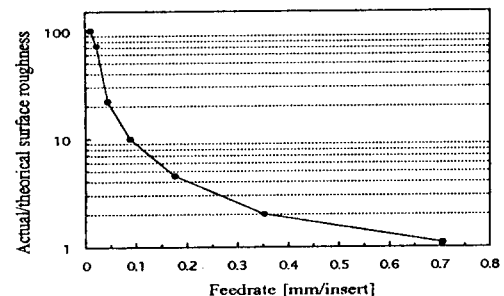
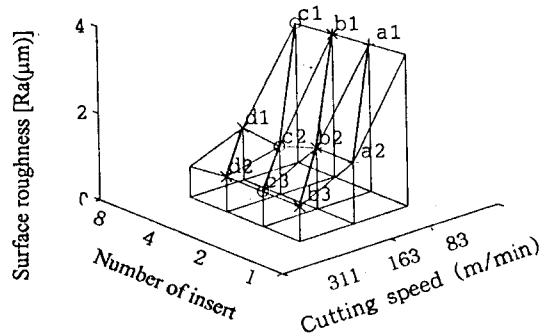


Fig. 12 The relation between surface roughness ratio and feedrate



$a_1 \cong a_2, b_1 \cong b_2 \cong b_3, c_1 \cong c_2 \cong c_3, d_1 \cong d_2$: similar feedrate
 $a_1 \rightarrow a_2, b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow b_3, c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3, d_1 \rightarrow d_2$: decrease of insert number, increase of cutting speed

Fig. 13 The relation among insert number, cutting speed and surface roughness (feed=87mm/min, $a_p=1.0$ mm)

Fig. 13는 feed speed 87 mm/min, 절삭깊이 1.0의 조건에서 인서트 수, 절삭속도, 표면거칠기 Ra 관계를 도시한 그림이다. 인서트 수를 감소시키고 절삭속도를 증가시켜 유사한 feedrate가 유지되도록, 즉 $a_1 \rightarrow a_2, b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow b_3, c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3, d_1 \rightarrow d_2$, 와 같이 변화시킬때 표면거칠기 Ra는 작아진다. 유사한 feedrate 일지라도 표면거칠기는 인서트 수 보다 절삭속도의 영향을 더 받는 것을 알 수 있다. 이는 절삭속도의 증가는 built-up edge를 방지^[10]시키기 때문이다.

5. 결 론

- 정면밀링가공시 절삭력은 인서트 수가 증가함에 따라 감소하고, 일정한 feed speed에서 인서트 수와 절삭속도를 조합하여 유사한 feedrate시 인서트 수 보다는 절삭속도의 영향을 크게 받는다.
- 코팅공구에 사용한 SS 41의 가공시 AE RMS는 인서트 수가 증가함에 따라 커지고, feed speed와 절삭깊이의 변화에 거의 영향이 없으나 절삭속도가 커짐에 따라 증가양상이 뚜렷하다.
- 코팅공구의 마모는 SS 41의 가공시 코팅층의 박리와 함께 마모가 증가하는데 반하여 SUS 304의 가공시는 초기의 코팅층의 탈락과 탈락면적이 넓어지고 마모가 시작되며, 절삭이 진행되면서 용착마모가 발생하고, SUS 304의 가공시 공구수명은 인서트 수가 증가함에 따라 감소한다.
- 표면거칠기 Ra는 인서트 수, 절삭깊이의 변화에도 거의 변화가 없고, 일정한 feed speed에서 인서트 수와 절삭속도를 조합한 유사한 feedrate에서 인서트 수 보다는 절삭속도의 영향을 크게 받는다. 또한 Ra는 평균 절삭력 (Fz-mean), 절삭력의 표준편차와의 선형적인 관계를 가진다.

5. 실험조건에서 feedrate가 커질수록 실제거칠기는 이론거칠기에 접근한다.

6. 참고문헌

- [1] Elso Kuljanic, "An Investigation of Wear in Single-Tooth and Multi-Tooth Milling", Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 14, pp.95-109, 1974
- [2] E.N.Diei and D.A.Dornfeld, "Acoustic Emission from the Face Milling Process - the Effects of Process Variable", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 109, MAY, pp.92-99, 1987
- [3] 이우영, 신호철, "전단유동응력에 의한 정면밀링의 절삭력 해석", 大韓機械學會論文集 第13卷 第6號, pp.1170-1182, 1989
- [4] 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
- [5] 김정석, "정면밀링의 表面粗度에 關한 研究", 부산대학교 공과대학 연구보고 제26집, pp.317-322, 1983. 12
- [6] S.Paul, C.Sikdar, V.C.Venkaatesh and A.B.Chattopadhyay, "Geometrical Modification of Coated Carbide Inserts for Improved Performance in High Production Face Milling", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 34, No. 2, pp.169-182, 1994
- [7] V.C.Venkaatesh, C.T.Ye, D.T.Quinto, D.E.P.Hoy., "Performance Studies of Uncoated, CVD-Coated and PVD-Coated Carbides in Turning and Milling", Annals of the CIRP, pp.545-550, Vol.40/1/1991
- [8] D.A.Dornfeld, "An Investigation of Orthogonal Cutting via Acoustic Emission Signal Analysis", Proceeding of the 7th NAMRC, pp.270-274, 1979
- [9] Milton.C.Shaw, "METAL CUTTING PRINCIPLES", CLARENDON PRESS · OXFORD, pp.224-250, 1984
- [10] 徐南燮 著 "金屬切削理論", 東明社, 1990
- [11] 金永振, 金弘在 編著, "精密工作法 第2版", 大光書林, pp.56-63, 1984
- [12] 밀링가공기술, 중소기업진흥공단, pp.87-99, 1986