

단인과 다인 정면밀링의 가공특성에 관한 연구

김 성 일,* 이 위 로,* 김 태 영**

A Study on Machining Characteristics of Single-insert and Multi-insert Face Milling

Seong-Il Kim,* Wie-Roe Lee,* Tae-Young Kim**

ABSTRACT

Face milling is required to study cutting process with a view of multipoint cutter. 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. The cutting force and AE signal are monitored to make an analysis of cutting process. The surface roughness of the specimens machined by inserts of different numbers is measured at different speeds, feeds and depth of cut. The width of flank wear is also observed.

Key words : coated tool(코팅공구), single-insert cutting(단인절삭), multi-insert cutting(다인절삭), face milling(정면밀링), tool wear(공구마모), AE(acoustic emission), surface roughness(표면거칠기)

1. 서 론

공구의 회전과 피삭재의 이송으로 단면, 평면, 측면 등 다양한 가공을 할 수 있으며, 작업에 따라 커터의 직경, 인서트의 수, 인서트 종류 등의 변화를 줄 수 있

는 밀링머신은 절삭가공에서 중요한 역할을 하는 공작 기계의 하나이다. 그러므로 밀링에서 생산성 향상을 위한 공작기계의 설계 및 강성개선, 공구수명에 따른 생산비용의 절감, 표면거칠기에 따른 가공품의 품질향상을 위한 연구가 진행되고 있으며, 공작기계의 자동화와

* 전북대학교 정밀기계공학과 대학원

** 전북대학교 정밀기계공학과(정회원)

무인화가 진행되면서 주로 공구마모 및 파괴의 검출에 관한 연구가 진행되고 있다. 이에 관한 연구결과들로는 Kuljanic⁽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 열충격을 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 응답속도로써 절삭 상황을 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 다인절삭시의 절삭력, AE 신호와 표면거칠기의 관계성과 인서트 수의 변화에 따른 공구수명 평가 및 공구의 마모 형태를 분석하므로 코팅공구를 이용한 정면밀링의 가공 특성을 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 절삭인의 절입(entrance)시의 충격, 이탈(exit)시의 급격한 에너지 해방을 가지는 단속절삭이며, 공구의 회전과 피삭재의 이송으로 인하여 절삭두께가 변하고 또한 인서트 수의 변화에 따라 하나의 절삭인이 절입한 후 또다른 절삭인이 절입해 들어와 절삭력이 변동되는 특징을 가진다.

Fig. 1에서 Pt(tangential force)와 Pr(radial force)의 성분들은 방향과 크기가 항상 변화하는 것을 보여주고, 측정하고자 하는 이송방향의 분력(feed component) Fx, 절삭방향의 분력(main cutting component) Fy와 절삭깊이 방향의 분력(thrust component) Fz를 보여준다.

Fig. 2는 주축 회전수 520, feed speed 342 mm/min, 절삭깊이(a_p) 1.0 mm에서 SS 41 가공시 인서트 수에 따른 이송방향의 절삭력(Fx)을 보여준다. 그림에서 인서트의 수에 따라 변동되는 절삭력 신호를 보여주고 있고, 인서트 수가 증가함에 따라 절삭력이 감소함을 보여준다. 인서트의 수가 1, 2, 4인 경우에는 절삭력 신호를 구분할 수 있으나, 인서트의 수가 8개의 경우는 피삭재를 인서트 3개가 동시에 절삭하고 있기 때문에 신호의 합성이 나타나는 것을 보여준다.

2.2 acoustic emission 신호의 특성

소성변형시 또는 탄성체의 파괴시 재료내부의 에너지가 탄성과 등 여러 형태의 에너지로 방출되며, 검출된

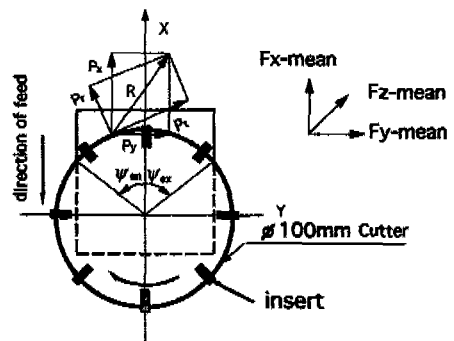


Fig. 1 Force system in face milling

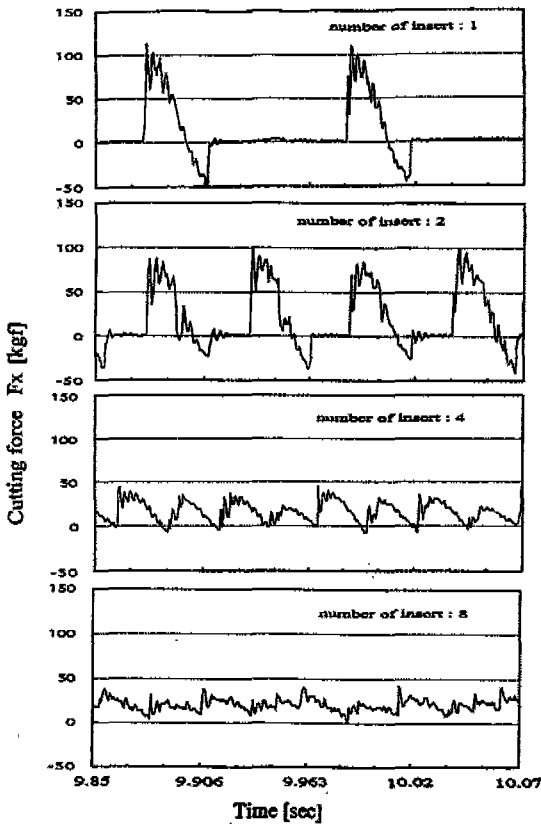


Fig. 2 The relation between cutting force and time (RPM = 520, feed speed = 342 mm/min, $a_p = 1.0$ mm)

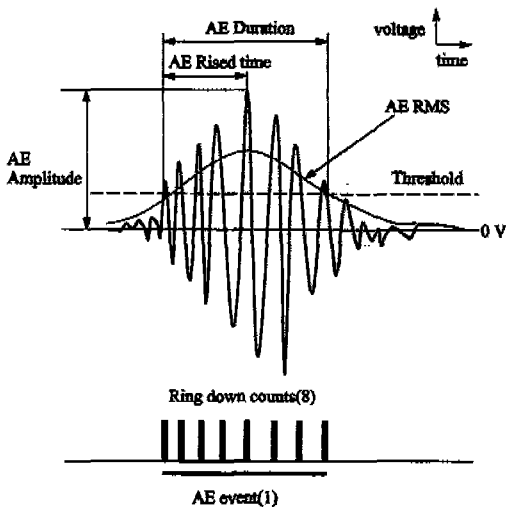


Fig. 3 The AE signal parameters

탄성파를 AE(acoustic emission)신호라 일컫는다. Fig. 3은 AE parameter들을 보여준다.

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 평탄화(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.⁽⁸⁾ RMS 전압을 식으로 나타내면 아래와 같이 AE 신호의 제곱평균의 제곱근 형태로 표현된다. RMS전압은 임의의 전기회로에 AC전압이 가해졌을 때 에너지의 분산을 DC전압이 가해졌을 때의 에너지의 분산과 같은 에너지를 가지는 전압으로 변환한 것이다.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} V^2(t) dt} \quad (1)$$

$V(t) = \text{signal function, } \Delta T = \text{period of time}$

2.3 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 응착마모(adhesive wear), 연마모(abrasive wear), 침식마모(erosive wear), 부식마모(corrosive wear), 확산마모(diffusion wear), 파괴(fracture wear)로 분류하였고, 중요한 형태의 마모로 응착마모와 연마모를 보고하였고, 응착마모는 마찰하고 있는 두 표면에 부착되어 있는 대량의 입자들이 상대적인 미끄럼 운동에 의하여 분리되는 현상으로부터 발생되며, 실제적인 마모환경은 독립적으로 발생하는 것이 아니라 서로 다른 마모 유형들이 빈번하게 상호작용을 한다고 하였다. 선삭에서 N.H. Cook⁽¹⁰⁾은 마모영역을 4가지(여유면 마모(f flank wear), 경사면 마모(crater wear), 노즈반경 마모(nose radius wear), 그루브 마모(outer diameter groove))로 구분하였는데 4가지 영역에서 동시에 나타나기보다는 복합적이거나 한가지의 마모가 지배적으로 나타난다고 보고하였다. 정면밀링공구의 손상에는 마모, 칩핑(chipping), 파괴, 열균열, 피로균열 등을 들 수 있으며, 밀링공구는 가열과 냉각을 반복하기 때문에 온

도의존성이 높은 경사면 마모는 적고 여유면 마모가 지배적으로 발생한다. 따라서 여유면 마모⁽¹¹⁾를 공구수명의 인자로서 사용하는 경우가 많다.

3. 실험장치 및 실험방법

Fig. 4는 실험을 위한 장비의 배치상태와 획득된 신호들의 처리과정을 보이고 있다. 수직밀링머신에서 3축 방향의 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 오실로스코프(oscilloscope)를 통해 모니터링(monitoring)함과 동시에 A/D converter를 통해 1.5 KHz로 샘플링하여 IBM-PC 486에 저장하였다. 절삭조건에서 feed speed(mm/min)는 테이블의 이송이며, feedrate(mm/rev)는 feed speed(mm/min)/주축회전수(RPM)이다. AE 신호를 획득하고 분석하기 위한 AE 측정장비로서 LOCAN-AT를 사용하였으며, AE 센서로는 공진형 광대역 센서를 사용하였고 100~300 KHz의 band pass filter를 가지는 preamplifier를 사용하였다. AE 센서는 high vacuum grease를 도포하여 시편에 1st channel, 공구동력계에 2nd channel을 부착시켰다.

Table 1 Experimental conditions

machine tool	universal milling machine(vertical milling machine)
milling cutter	M115SP04R-12(대한중석, ϕ 100mm, insert 8개 장착용) lead angle:15° axial rake angle:+7° radial rake angle:0°
milling insert	TiN coated tool(V1N, 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) (80×80×50, 중앙부에 ϕ 31 mm 구멍가공) 2) 오스테나이트계 SUS 304(80×55×10)
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 number of insert:1,2,4,8 center-milling

공구의 마모에 관한 실험은 마모시킨 인서트를 삽입하여 절삭하는 방법과 공구수명한계까지 절삭하는 방법으로 하였다. 공구의 마모 측정은 실험후 밀링커터를 분리하여 인서트가 장착된 상태로 1차로 공구현미경에서 관찰하고 더욱 자세한 마모의 측정을 위해 실체현미경(profile projector)을 사용하였다. 예비실험 결과

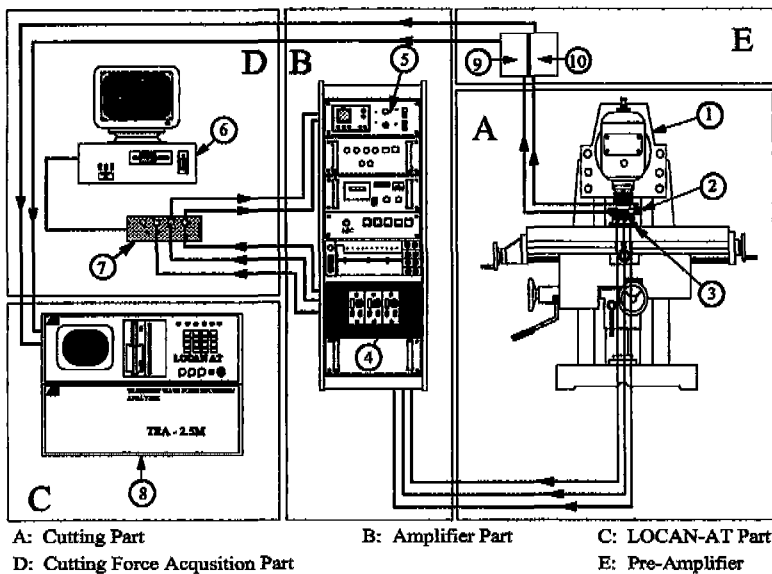


Fig. 4 Arrangement of cutting test

마모는 거의 여유면에서 발생됨으로 여유면 마모 및 파손여부를 관찰하였다. 표면거칠기의 측정은 portable surface roughness tester(Surftest 201)로 중심선 평균거칠기(Ra), 최대높이거칠기(Rmax)를 절삭실험이 종료된 후 시편의 정해진 3곳에서 하였다. 절삭실험은 1차로 단인절삭(single-insert cutting)을 실시하고, 인서트 수를 2, 4, 8개로 증가시켜 실험을 수행하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 5~Fig. 7은 SS 41 가공시 인서트 수의 변화와 절삭조건에 따른 AE RMS를 보인 그림이다.

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 인서트 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 AE신호에 크게 영향을 미치는 원인으로서는 절삭속도에 비례하여 재료의 전단변형속도가 증가하는 것과 경사면과 칩, 여유면과 피삭재의 마찰로 인하여 마모속도가 커지기 때문이라고 생각된다.

인서트 수의 변화와 절삭조건에 따른 AE RMS의 관계를 종합해 보면, 인서트 수의 증가에 따라 AE RMS는 증가한다. 또한 AE RMS는 절삭깊이, feed speed 변화의 영향에는 미소한 반면, 절삭속도가 커짐에 따라 증가함을 알 수 있다.

Photo. 1은 SS 41과 SUS 304의 가공시 코팅공구의 마모형태를 보여주는 사진이다. (a)는 SS 41강의 가공시 일반적인 마모의 형태를 보여주는 사진으로 절삭을 진행함에 따라 코팅층의 마모가 진행되고, 마모의 폭은 거의 일정하게 커짐을 관찰할 수 있었다. (b)는 SUS 304를 가공한 경우의 마모사진이며 SS 41과는 달리 초

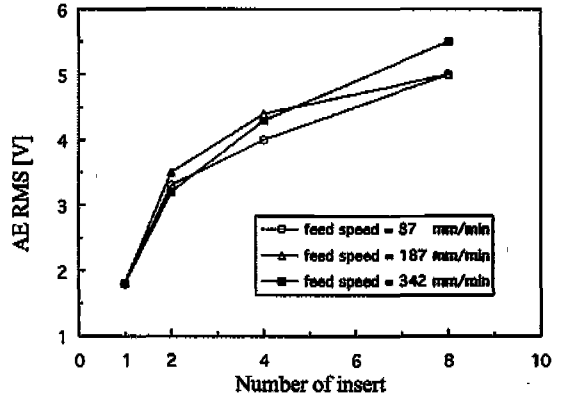


Fig. 5 The relation between AE RMS and number of insert (RPM = 990, $a_p = 1.0\text{mm}$)

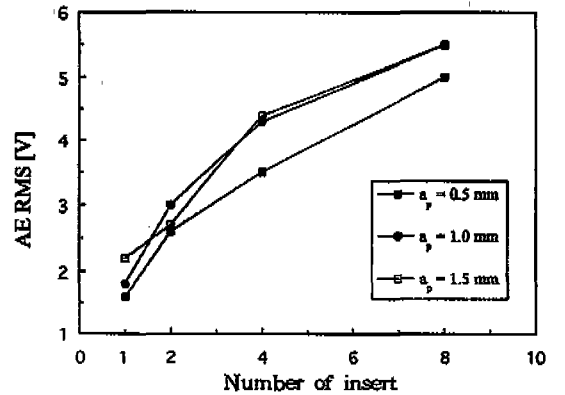


Fig. 6 The relation between AE RMS and number of insert (RPM = 990, feed speed = 342mm/min)

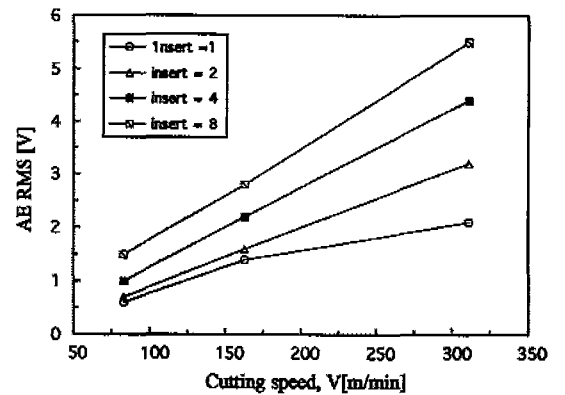
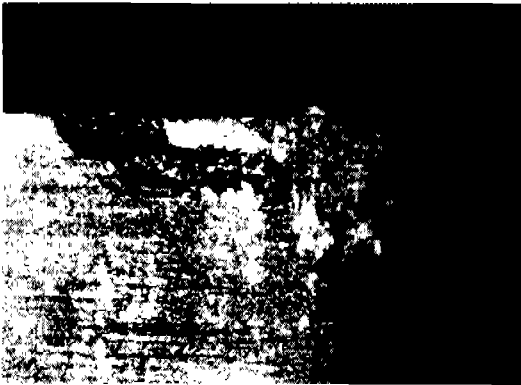


Fig. 7 The relation between AE RMS and cutting speed ($a_p = 1.5\text{mm}$, feed speed = 87mm/min)



(a) machining of SS41



(b) machining of SUS304

Photo. 1 Wear of coated tool

기에 코팅층이 탈락하고, 절삭을 진행함에 따라 코팅층의 탈락면적이 넓어지면서 마모가 진행되며, 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 공구수명을 보여준다. 주축 회전수 715, feed speed 187 mm/min, 절삭깊이 0.5 mm의 조건에서 공구수명의 한계인 여유면 마모 폭 0.3 mm를 기준으로 하여 인서트 수와 그에 따른 공구수명을 살펴본 것으로, 인서트 수를 증가시키면 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 증가하기 때문이다.

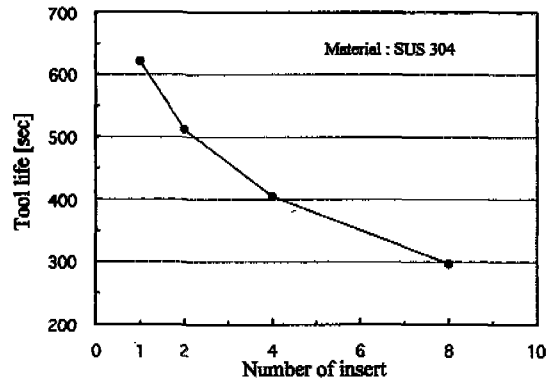


Fig. 8 The relation between tool life and number of insert (RPM = 715, feed speed = 187 mm/min, $a_p = 0.5$ mm)

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 (R_a , R_{max})와의 관계를 보여준다. 마모가 진행되면서 표면거칠기 R_a 는 미소하게 증가하는 반면 R_{max} 는 급격히 증가하고 있다. 또한 공구마모가 진행됨에 따라 표면거칠기 R_{max} 가 R_a 보다

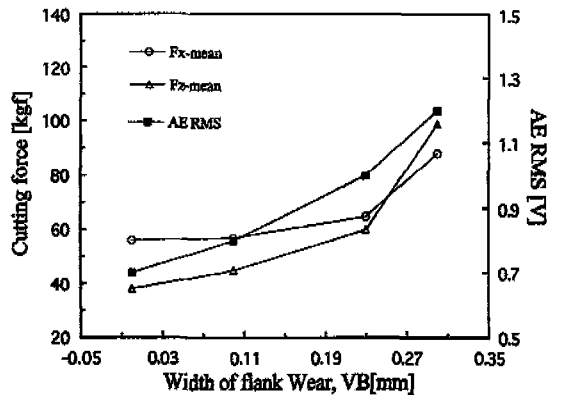


Fig. 9 The relation between cutting force, AE RMS and width of flank wear (RPM = 265, feed speed = 187mm/min, $a_p = 1.0$ mm)

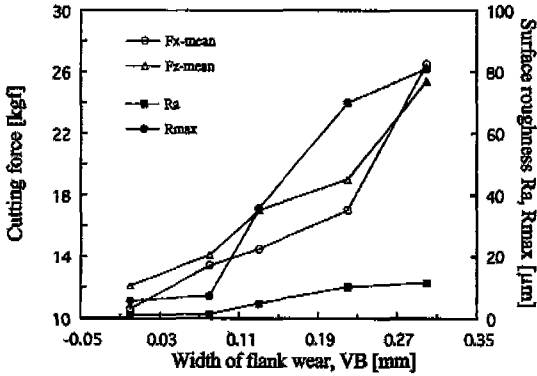


Fig. 10 The relation between cutting force, surface roughness and width of flank wear (RPM = 520, feed speed = 87 mm/min, $a_p = 1.0$ mm)

민감함을 보여주고 있는데, 이는 표면거칠기에 가장 큰 영향을 주는 부절인인 여유면이 마모되어 절삭력이 커짐으로 인하여 공구와 공작물간의 불필요한 진동과 공기구하학적 형상의 변화로 가공면이 뜯기는 현상이 발생되기 때문이다.

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 보여주고, 표면거칠기 Rmax가 Ra에 비하여 공구마모에 따른 영향이 큼을 보여준다.

Fig. 11~Fig. 12는 SS 41 가공시 인서트 수에 따른 표면거칠기의 특성을 보여주는 그림이다.

Fig. 11은 주축회전수 520, 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 없음을 알 수 있다.

Fig. 12는 feed speed 187 mm/min, 절삭깊이 1.5 mm의 조건에서 인서트 수의 증가에 따른 표면거칠기의 관계를 절삭속도의 변화에 따라 보여준 것으로, 인서트 수의 증가에 따라 Ra는 거의 일정한 반면 Rmax는 감소하는 경향을 볼 수 있다. 또한 feedrate가 노즈반경

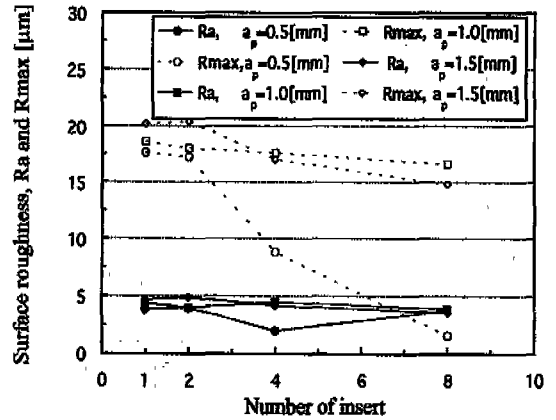


Fig. 11 The relation of surface roughness and number of insert (RPM = 520, feed speed = 187 mm/min)

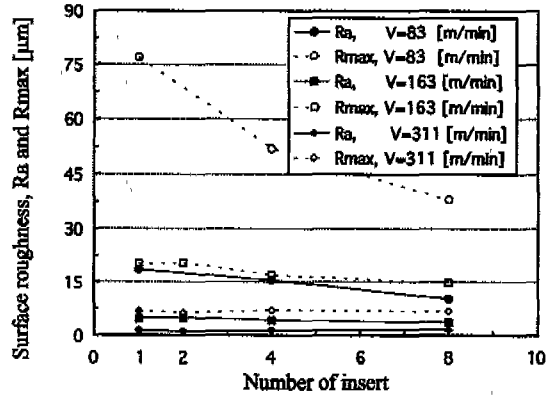


Fig. 12 The relation between surface roughness and number of insert (feed speed = 187 mm/min, $a_p = 1.5$ mm)

(nose radius)보다 작은 경우에 인서트 수의 증가에 따른 표면거칠기는 절삭속도가 높을 때보다 낮을 때가 더욱 감소함을 보여준다.

Fig. 13은 주축회전수 520, 절삭깊이 0.5 mm의 조건에서 인서트 수의 변화에 따른 feed speed와 표면거칠기 (Ra, Rmax)와의 관계를 도시한 것으로, feed speed가 증가함에 따라 표면거칠기 Ra, Rmax가 증가함을 보이고 있다. 인서트 수에 따른 표면거칠기는 일정한 경향을 보이지 않는데 이는 feedrate가 노즈반경 (nose radius)보다 작은 경우로 절삭시 절삭된 면의 미소면적을 다시 절삭하므로 피삭재의 표면이 부풀어오르거나, 미소하게 뜯기는 등의 현상이 발생되는 경우가

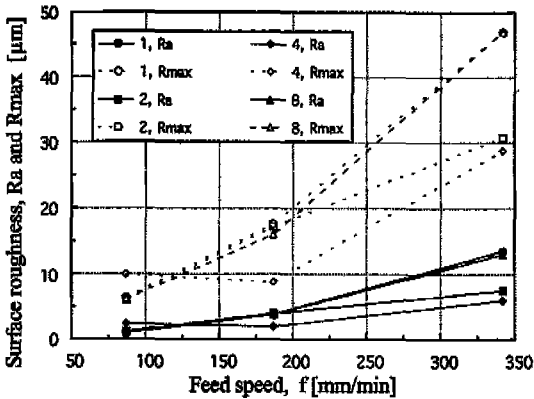


Fig. 13 The relation between surface roughness and feed speed with number of insert (RPM = 520, $a_p = 0.5$ mm)

있기 때문이다.

Fig. 14는 절삭깊이 0.5 mm, 주축회전수와 feed speed를 조합한 일정한 증가비율의 feedrate와 실제 표면거칠기와 이론 표면거칠기의 비(actual/theoretical roughness)의 관계를 보여주는 그림으로, feedrate의 증가에 따라 실제거칠기와 이론거칠기의 비는 감소하고, 실제거칠기는 이론거칠기⁽¹¹⁾의 1.1로부터 100배 정도까지 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이론거칠기와 실제거칠기와의 차이가 발생하는 일반적인 이유는 기계진동에 의한 공구와 공작물간의 불필요한 상대변위와 절삭홈 가장자리에서의 부풀어오름 등이 있다.⁽¹²⁾ 노즈반경 0.8 mm 인서트를 사용한 본 실험에서는 노즈반경내에서 feedrate가 증가될수록 실제/이론 거

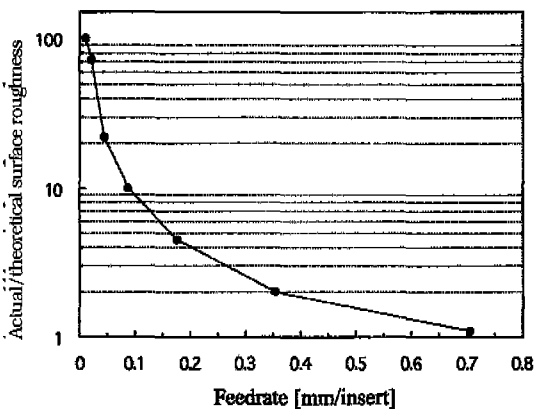


Fig. 14 The relation between surface roughness ratio and feedrate

칠기가 적은 반면, feedrate를 아주 작게 하면 표면거칠기가 극히 양호해질 것 같으나 이미 절삭된 면을 다시 미소하게 절삭하게 되므로 절삭이 정상적으로 이루어지지 않고 피삭재의 표면이 부풀어올라 실제 표면거칠기는 이론 거칠기와 큰 차이가 있다.⁽¹³⁾ 그러므로 feedrate를 아주 작게 할지라도 실제거칠기의 향상의 정도가 한계가 있으므로 원하는 실제거칠기를 얻기 위해서는 절삭공구의 기하학적 형상을 고려해야 한다.

Fig. 15는 실험조건외의 feedrate와 표면거칠기 Ra와의 관계이다. 이것은 3가지의 절삭깊이에 대한 주축회전수, feed speed, 인서트 수 등 36가지 feedrate의 조건들을 조합한 것으로 feedrate의 증가에 따라 표면거칠기 Ra가 선형적으로 증가함을 보여주고 있다.

Fig. 16은 절삭깊이 0.5 mm의 조건에서 표면거칠기 Ra와 평균 절삭력(Fz-mean)의 관계를 살펴본 것으로, 표면거칠기 Ra의 증가에 따라 절삭력(Fz-mean)이 선형적으로 증가함을 보여주고 있다. 이는 절삭력(Fz-mean)은 표면거칠기 Ra와 상관관계가 있음을 보여준다.

5. 결 론

- 1) 밀링공구의 인서트 수가 증가함에 따라 AE RMS는 증가한다.
- 2) 코팅공구에 사용한 SS 41의 가공시 AE RMS는 feed speed와 절삭깊이의 변화에 거의 영향이 없으나, 절삭속도가 증가함에 따라 증가양상이 뚜렷하다.
- 3) 코팅공구의 마모는 SS 41의 가공시 코팅층의 마

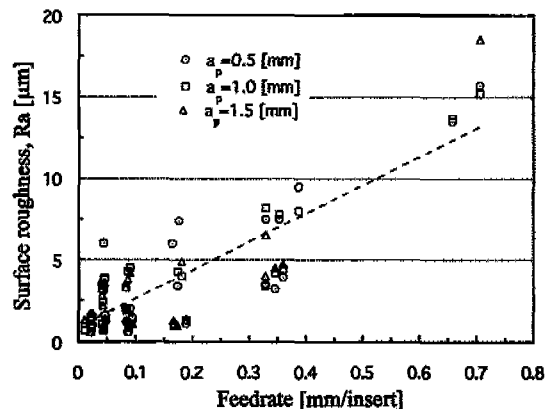


Fig. 15 The relation between surface roughness and feedrate

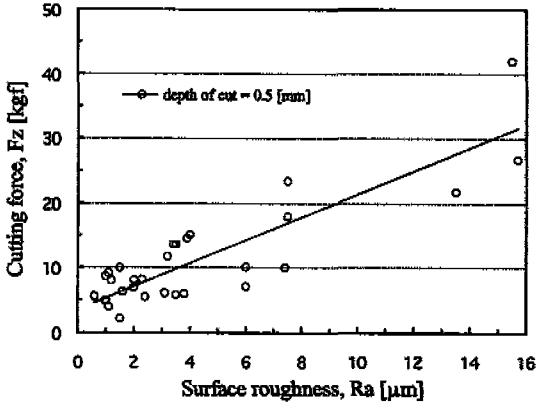


Fig. 16 The relation between cutting force and surface roughness

모가 일정하게 증가하는데 반하여 SUS 304의 가공시 초기에 코팅층이 탈락하고 탈락면적이 넓어지면서 마모되며, 절삭을 진행함에 따라 응착마모가 발생하고, SUS 304의 가공시 공구수명은 인서트 수가 증가함에 따라 감소한다.

4) 표면거칠기 Ra는 인서트 수, 절삭깊이의 변화에도 거의 변화가 없으나 feed speed가 커질 때 증가하고 절삭력(Fz-mean)과 선형적인 관계를 가지는 반면, Rmax는 인서트 수가 증가함에 따라 양호해지고, feed speed의 증가에 따라 증가한다.

5) 실험조건에서 feedrate가 커질수록 실제거칠기는 이론거칠기에 접근한다.

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, "正面밀링의 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.Venkatesh 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.Venkatesh, 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. M.C.Shaw, "METAL CUTTING PRINCIPLES", CLARENDON PRESS · OXFORD, pp.224-250, 1984
10. N.H.Cook, "Tool Wear and Tool Life", ASME Journal of Engineering for Industry, pp.931-938, November, 1973,
11. 서남섭 著, "금속절삭이론", 동명사, pp.140-145, 223-233, 1991
12. 金永振, 金弘在 編著, "精密工作法 第2版", 大光書林, pp.56-63, 1984
13. "밀링가공기술", 중소기업진흥공단, pp.87-99, 1986