

Flank 마모에 의한 SUS304의 절삭특성에 관한 연구

유 기 현*, 정 진 용*, 서 남 섭**

A Study on the Cutting Characteristics of SUS304 by Flank Wear

Ki-Hyun Yu*, Chin-Yong Cheong*, Nam-Seob Seo**

ABSTRACT

This experimental study is intended to investigate the development of flank wear in turning of SUS304 which is used in industrial applications and is acknowledged as a machining difficult material. In cutting process, change of velocity, change of feed, and change of depth of cut were investigated about the effect of flank wear, and slenderness ratio is also investigated. The variations of unit cutting force with the change of rake angle and the change of uncut chip area are observed. The friction angles are calculated for the change friction force and observed. The friction angles are calculated for the change friction force and normal force on the different rake angles. From this experimental study, the following results can be said. 1. Under the high cutting speed condition, the flank wear is affected by the feed and depth of cut, but the influence of feed and depth of cut to the flank wear is reduced when the velocity is low. 2. The smaller slenderness ratio is, the shorter the tool life results in high cutting speed, and the lower cutting speed is, the lower the effect of slenderness ratio to the flank wear is. 3. Using the characteristics of force-RMS, the flank wear of a tool can be detected. There are almost no differences between the RMS characteristics of cutting force and feed force.

Key Words : Flank wear, depth of cut, slenderness ratio, uncut chip area, friction angle, RMS.

1. 서 론

절삭가공을 주제로 하는 생산가공 system에서는 생산의 원활화, 가공능률의 향상, 원가의 절감을 목적으로 지속적인 연구가 수행되어오고 있다. 기계공업의 발전에 따라 많은 분야에서 자동화를 이룩할 정도로 기술이 진

보되고 정밀가공이 행하여지는데 따라서 정밀도의 향상, 가공표면의 양질화를 위한 절삭조건 개선이 요구되고 있는 한편, 특히 이러한 내용을 만족시키기 위해 근래에는 수치제어 또는 전용 공작기계가 채용되면서 CIM system이 구축되고, 나아가 생산 system의 무인화를 이룩하기 위한 목표로 기계가공의 전 분야가 급속하게

* 전북대학교 기계과 대학원

** 전북대학교 기계과 교수

발전하고 있다.

한편 신소재가 채용되면서 이를 가공할 수 있는 공구 재료의 질적인 향상이 따르지 못하고 있는 관계로 인하여 이 분야의 혁신을 이룩하는 데에는 다소간의 어려움이 존재하는 것이 현실로서 발전의 균형을 유지하지 못하고 있다고 볼 수 있다. 더구나 근래 산업의 여러 분야에서 각광을 받고 있는 신소재는 절삭가공의 측면에서 볼 때 대부분 難削材로 분류되고 있다. 또한 난삭재로 분류되는 SUS304는 가공물의 재질 그 자체가 난삭성을 초래하므로 工具磨耗가 급속하게 일어나는 현상을 수반하여 공구 절삭인은 이상손상이 발생하거나 정상마모가 급격하게 진전되므로 공구수명이 매우 불안정하게 되면서 이들로 인하여 가공표면의 정밀도 및 거칠기에 심각한 영향을 미치는 결과로 나타나고 있다. 따라서 난삭재를 능률적으로 절삭가공하는 데에는 가공에 저해가 되는 요인을 파악하는 것도 중요하며, 절삭공구의 신뢰성을 유지하도록 절삭 중 공구손상에 대한 현상파악을 검토하는 것도 중요한 과제라 할 수 있겠다.

공장 자동화에따른 기계가공의 무인화가 급속하게 확대됨에 따라 공구손상의 검출에 대한 문제가 부각되고 있으며, 이에 대한 적극적인 개발이 진행되어 오고 있는 가운데 관련연구가 다수 발표되고 있다.

직접 검출 방법으로는 ITV (CCD image sensor) (1, 2) 등을 이용하여 공구 손상에 관한 광학 정보를 computer로 고속 처리하여 工具壽命을 추정하는 방법등이 주목되고 있다. 또한 간접 검출 방법으로는 가공품의 직경을 측정 하는 방법(3), 절삭력 측정, 진동, 음향(AE신호), 절삭온도 측정등이 이용되고 있지만 최근에는 AE 신호의 주파수 대역, 진폭으로부터 공구과손, 마모 등의 검출에 대한 연구가 활발하게 보고되고 있다.

한편 伊東 誼, Koren(4) 등은 절삭력의 동적 성분에 대해 spectrum 해석을 함으로써 공구마모를 효과적으로 검출할 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 절삭조건에 변화에 따른 flank마모의 변화를 알아 보았고, 경사각의 변화에 따르는 마찰각의 변화 등을 알아보았으며 또 절삭을 하는 도중 정상마모로서 발생하는 flank마모의 進行과 함께 수반되는 절삭력의 변동 特性을 활용하여 공구마모 검출기법으로써의 활용성 여부를 평가하고자 한다.

따라서 절삭이 진행중인 상태에서 공구의 측여유면에

발생하는 flank마모가 진전되는 상태량에 따라 절삭저항의 동적 특성을 알아볼 수 있도록 절삭 전구간에 걸쳐 data를 받을 수 있게 실험장치를 구성하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 공구는 stainless강 절삭용 M20등급보다 마모속도는 빠르나, 마모 경향이 비슷한 P20등급의 tungsten carbide 공구를 사용하였으며, 공구기하학은 주절인각 0°, 부절인각 5°, 상면경사각 0°, 유효경사각 6°, 측여유각 11°, 선단반경 0.4mm이다. 또한 피삭재로서 사용한 재료는 austenite계 stainless강 SUS304 (φ80×500mm)이며 구성성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of SUS304 (%)

C	Ni	Cr	Si	Mn	P	S
0.08	8.0-10.50	18.0-20.0	1.0	2.0	0.04	0.03

실험을 위해 사용된 실험장치 및 기기는 고속정밀선반, 공구기하학을 바꿀 수 있는 공구홀더(tool holder), 공구동력계(tool dynamometer), 증폭기(charge amplifier), A/D converter, 16bit micro computer, 공구현미경, Profile projector, digital dial gauge등이다.

선반의 왕복대 위에 있는 사각형 공구홀더를 제거하고 piezo type의 공구동력계를 설치한 후, 그 위에 유효경사각을 -10°에서 6°까지 바꿀 수 있는 공구대를 이용하여 insert tip을 끼운 공구홀더를 장착 하였다. 물림깊이의 정확성을 위해 왕복대 끝에 1/1000mm까지 측정가능한 dial gauge를 설치하여 건식절삭을 행하였다. 공구는 준 2차원 절삭을 하기위해 주절인각을 0°, 상면 경사각을 0°로 유지하였고 배분력의 값을 최소화 하기위해 선단반경을 작게 하였으며, 절삭조건에서 실질적으로 절삭깊이가 되는 이송을 작게 취했다. 또한 주축의 회전이 기어식 변속장치이므로 봉재의 직경과 주축 회전수와의 관계를 계산하여 절삭속도의 오차범위를 5% 이내가 되도록 했다.

절삭과정중 하나의 절삭조건에 대해 3번의 data를 얻어서 가장 안정된 값을 취했으며, 가공물의 진동영향을 고려하여 가공물 중간 부분이나, 심압대 부근 보다는 가능한한 주축대 부근에서 data를 받았다. 또 절삭 후

의 피삭재 표면의 가공경화 현상이 다음 절삭에 미치는 영향을 없애기 위해 절삭후에 0.01-0.02mm의 前切削을 행했다.

절삭이 끝나면 공구현미경과 profile projector를 이용하여 마모폭을 측정하고 다음실험을 행했다. 실험에서 행한 실험조건은 유효경사각 -10, -5, 0, 6(°)이며 절삭속도는 220, 165, 120, 70(m/min), 이송은 0.05, 0.09, 0.13, 0.17, 0.19, 0.25(mm/rev), 블럼깊이는 0.4, 0.7, 0.9, 1.2, 1.3(mm)이다.

정상마모의 하나이며, 공구여유면과 피삭재와의 접촉에 의한 마찰로 인해 생성되는 flank마모는 다음과 같은 3가지 경위를 통해 진행(5, 6, 7)되어진다.

첫째, 가공을 시작하지 얼마않되는 짧은 시간안에 예리한 공구 edge가 쉽게 떨어져 나가는 손상을 입는다.

둘째, 점진적으로 磨耗가 일정한 比率의 증가를 보이며 커진다.

셋째, 어느시간이 되면 갑작스럽게 磨耗率이 커진다. 이에 따라 切削力이 급증한다.

절삭저항의 최대값, 최소값, 평균값 및 그에 따른 절삭력 RMS값을 측정 할 수 있도록된 program을 이용하였다. 일반적으로 절삭실험에서 사용되는 data는 절삭력의 변동특성 때문에 일정한 값으로 나타나기 보다는 어느정도 유동성이 있는 불규칙적인 data로 산출된다.

실제 절삭과정 중 chip이 발생되는 剪斷域, chip과 공구, 가공면과 공구 사이의 摩擦作用 등에 의해 절삭인선 부위에는 正常磨耗가 발생하는 것은 피할 수 없고, 또한 이러한 공구마모가 진전되고 있는 상태에 따라 切削抵抗도 당연히 심하게 변동되는 특성으로 나타나게 되므로 動的特性으로 해석을 하는 것은 필수적이라 판단된다. SUS304 절삭시 공구마모가 특히 격렬하게 진전될 것이므로 이러한 공구마모 진전 상태에 따르는 切削抵抗의 변동특성을 파악하기 위해 RMS 특성을 이용하였다. 절삭이 진행되는 과정에서 임의의 시간동안에 절삭력을 받아 절삭력의 변동치를 AC성분으로 바꾼 다음 각각에 대한 RMS값을 산출했다.

3. 실험결과 및 고찰

SUS304에 대한 준2차원 旋削에서 실험결과로서 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3은 절삭속도 220m/min, 70m/

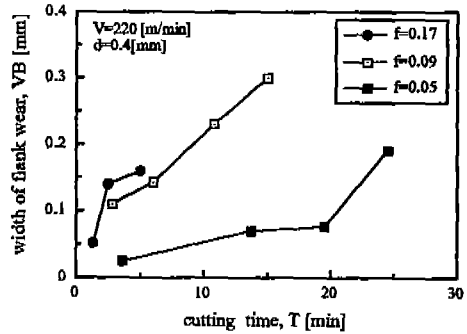


Fig. 1 The relation between width of flank wear and cutting time

min에서 유효경사각을 6°, 블럼깊이를 0.4mm, 1.2mm로 하고 각각의 이송을 0.05, 0.09, 0.17mm/rev로 달리 했을때 flank마모폭과 時間과의 관계를 검토하기 위해 그려본 graph이다.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 이송이 0.17mm/rev인 경우 5분 이내에 공구수명한계에 달하였다. 여기에서 보여지는 것과 같이 flank마모가 수명한계 (평균마모폭 VB : 0.3mm)에 도달되지 아니한 상태에서 공구는 壽命限界를 넘어서고 있는데, 이는 難削材 가공의 경우 절삭조건이 악화되면서 공구의 發生熱로 인하여 절삭날의 경사면 부위에는 열의 영향으로 마모가 급격히 진전되기 때문이라고 생각된다.

이송이 0.09mm/rev인 경우에는 시간에 따르는 마모율이 거의 비례적인 관계를 보이면서 마모가 점진적인 증가로 나타나다가 15분 정도에서 flank마모에 의한 공구수명 한계점을 드러내게 되었다. 또한 이송이

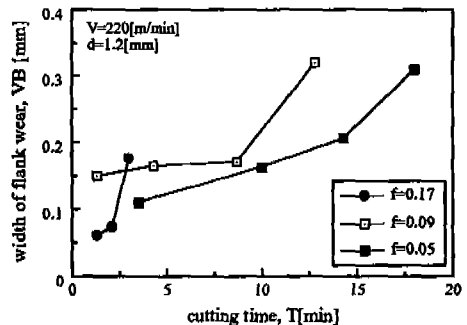


Fig. 2 The relation between width of flank wear and cutting time

0.05mm/rev에서는 약 20분 정도는 flank면에 큰 변화를 보이고 있지않다가 20분을 초과하면서 점점 마모폭이 커지고 있다. 이상에서 알 수 있듯이 이송이 증가할수록 flank마모폭의 증가율이 커짐을 알 수 있으며 이송의 증가가 工具壽命 면에서도 상당히 불리함을 확인할 수 있다.

Fig. 1과 Fig. 2는 같은 절삭속도와 이송에서 물림깊이를 0.4에서 그 값의 3배인 1.2mm로 증가시켰을때 시간에 따른 flank마모폭을 관찰한 graph로써 이송이 0.17mm/rev인 경우는 역시 물림깊이와 관계없이 짧은 시간안에 급격한 수명한계를 나타냈다. 이송이 0.09mm/rev인 경우는 물림깊이가 0.4mm인 경우와는 달리 2분 안에 갑자기 磨耗폭이 커지며 약 8분까지는 거의 변화를 보이지 않고있다가 7분 동안에 급격한 증가를 보이며 수명한계에 달했다. 이송이 0.05mm/rev인 경우 물림깊이의 증가에 의한 時間에 따른 마모폭이 Fig. 1과 비교할때 약 3배가량 커졌으며, 마모폭 0.2mm에 도달하는 시간도 각각 25분, 15분으로써 물림깊이를 작게한 경우가 공구수명면에서 유리하였다. 따라서 같은 절삭속도하에서 이송이 클경우의 물림깊이가 공구수명에 미치는 영향이 작지만, 이송이 작은 영역에서의 물림깊이가 공구수명에 상당한 영향을 주고 있다. 이것은 물림깊이

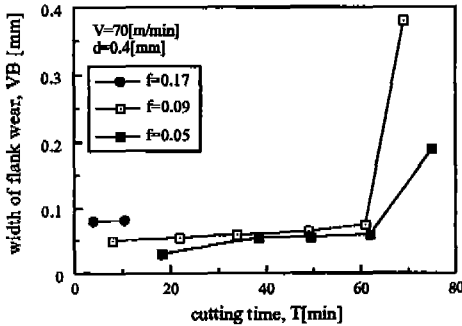


Fig. 3 The relation between width of flank wear and cutting time

의 증가보다는 이송의 증가가 flank마모에 더 큰영향을 주고 있음을 간접적으로 나타내는 것인데, 이러한 原因은 공구날 끝의 단위길이당 발생되는 열량이 물림깊이와 관계없이 이송의 증가에 의하여 커지기 때문인 것으로 추정 되어진다. 따라서 물림깊이의 증가보다는 이송의

증가가 절삭공구의 수명면에서는 불리하게 됨을 보여주고 있다.

Fig. 1과 Fig. 3은 같은 물림깊이와 이송하에서 절삭속도를 220m/min에서 70m/min로 낮게 했을 경우 시간에 따른 flank마모폭을 비교하기 위한 graph로써 절삭속도를 3분의1로 줄임으로써 같은 마모폭에 도달하는 시간이 길어졌으며 이송과 관계없이 마모량이 일정하게 유지되다가 급격한 증가를 보이며 수명한계에 다다랐다. 절삭속도가 감소함에 따라서 이송의 flank마모에 대한 영향이 감소했다. 이러한 이유는 피삭재 SUS304가 難削材로서 열전도도가 아주 낮은 이유때문이라고 생각되며, 따라서 속도 증가에 따른 發生熱이 피삭재를 통해 미처 발산되지 못하고 공구쪽으로 더 많이 전도됨으로 인하여 작은 이송의 증가에도 공구인선의 열량변화에

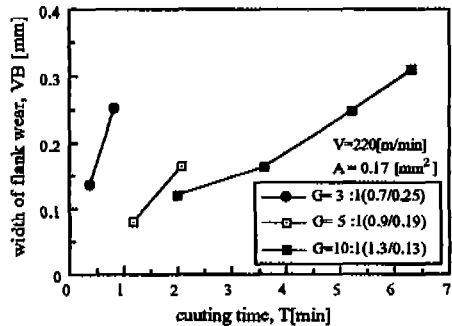


Fig. 4 The relation between width of flank wear and cutting time

의해 공구마모가 촉진 되어지고 있다고 생각된다. 하지만 70m/min의 低速역에서는 工具가 고온으로 되는데 상대적으로 상당한 시간이 필요하기 때문에 물림깊이나 이송의 변화에는 크게 영향을 받지않고 있다고 판단된다. 그러므로 220m/min에서 70m/min으로 속도를 줄이면 물림깊이나 이송의 flank 磨耗에 대한 영향이 줄어들고 있음을 알 수 있으며 고속역으로 갈수록 이송량의 대소는 공구수명에 지배적인 영향을 미침을 알 수 있다.

Fig. 4는 절삭속도 220m/min하에서 細長比(물림깊이/이송)를 변화시켰을 때의 시간에 따른 flank마모량을 도시해 놓은 graph이다. 여기에서 세장비가 3:1인 경우를 보면 거의 1분안에 빠른 磨耗率을 보이며 壽命限

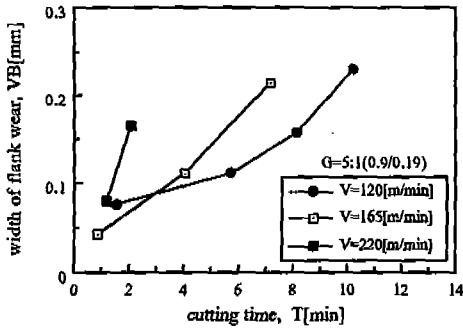


Fig. 5 The relation between width of flank wear and cutting time

계에 다다랐다. 세장비가 5 : 1인 경우는 2분 가량, 세장비가 10 : 1인 경우는 점진적인 마모율을 보이며 약 6분30초 부근에 각각 30초, 2분, 4분으로 세장비가 클수록 기준마모량에 달하는 시간이 길어진다. 따라서 세장비가 작을수록 磨耗가 빨리됨을 알 수 있으며, 절삭 단면적이 일정할때 feed를 증가시키기 보다는 물림깊이를 증가시키는 편이 공구수명의 관점에서는 유리하다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 세장비(G=5 : 1)를 一定하게 유지하고 절삭속도를 220, 165, 120m/min으로 변화시키면서 절삭하였을때 절삭시간에 따른 flank마모폭과의 關係를 나타낸 graph이다. 속도가 220m/min에서는 2分안에 工具壽命에 달하였으며 속도가 감소하면서 7분, 10分으로 길어졌다. 따라서 절삭속도의 증가에 따르는 熱發生量의 증가로 flank마모는 급격하게 증가하는 추세를 보이

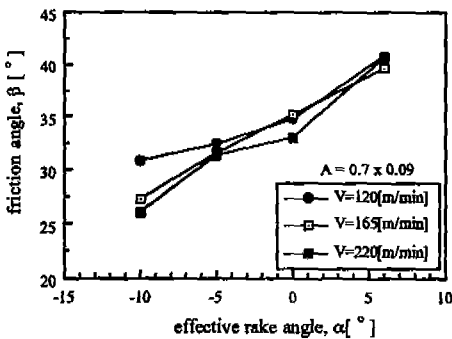


Fig. 6 The relation between friction angle and effective rake angle

며, 공구수명도 빠른시간 이내에 한계값에 도달하게 되므로 열전도도가 낮은 난삭성을 가지는 材料의 加工에서는 절삭조건 변화 인자 중에서 속도와 feed의 영향이 공구수명에 크게 영향을 미침을 알 수 있다. 따라서 일정한 세장비에서의 절삭속도의 증가는 공구수명의 관점에서는 아주 불리함을 말해주고 있다.

Fig. 6은 유효경사각을 -10°에서 6°까지 증가시키며, uncut chip 단면적을 0.063 (A=0.7×0.09) mm²으로 일정하게 유지하고 절삭속도를 변화시키면서 摩擦角 beta가 증가되는 경향을 보여준 graph이다.

유효경사각이 증가할수록 마찰각의 증가를 초래하는데 반하여 절삭저항이 감소하는 것은 경험을 통하여서 알고 있는 사실이다. 언뜻 생각하기에 서로 모순된 결과인것 같으나 마찰력이 감소하는 比率보다는 수직력이 더 큰 비율로 감소하기 때문에 마찰각 $\beta(\beta = \tan^{-1}(F_t/F_n))$ 가 증가하는 것이며 graph에 의하면 속도의 영향은 크지 않다.

공장 자동화의 추세에 따라 가공도중 工具磨耗한계를 빨리 알아내어 공구를 교체하는 것은 중요한 일이다. 이러한 시도는 아직도 여러곳에서 행하여 지고 있으며 여러가지 방법도 알려져 있다.

절삭도중의 공구마모 측정을 시도해 보기 위해, 절삭저항의 동적성분을 AC상태로 변환하여, 그때의 진폭에 제곱을 하여 다시 1/2자승을 한값을 그때의 RMS특성치라 하였다. 本實驗에서는 물림깊이에 의한 공구대 gear의 backlash 현상때문에 발생하는 절삭저항의 변동값이 RMS에 미치는 영향을 작게하기 위해, RMS를 그때의 주분력이나 이송분력으로 나누어서 無次元化 시

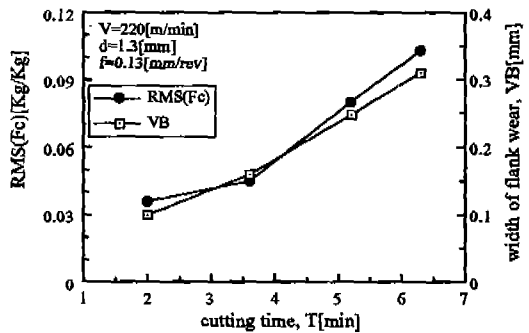


Fig. 7 The relation between RMS(Fc) and cutting time

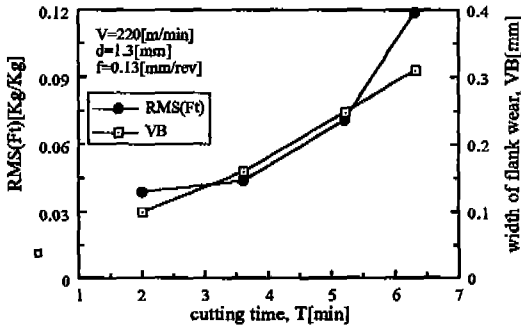


Fig. 8 The relation between RMS (Ft) and cutting time

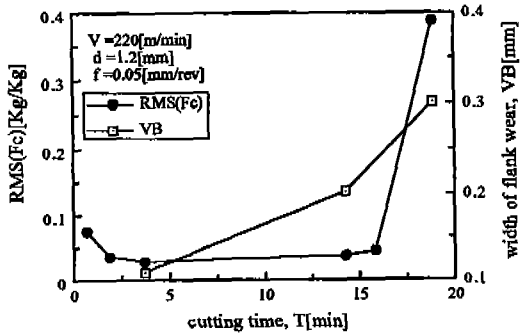


Fig. 9 The relation between RMS (Fc) and cutting time

키고, 그값을 각각 주분력 RMS특성치 또는 이송분력 RMS특성치라 하였다.

Fig. 7과 Fig. 8의 절삭속도를 220m/min, 물림깊이 1.3mm, 이송 0.13mm로 할때 절삭시간이 경과됨에 따라 증가되는 flank마모폭의 進展이 절삭저항의 변동요인으로 작용할때, 주분력 RMS특성치와 이송분력 RMS특성치를 검토하고자 나타낸 graph이다.

Fig. 7의 경우 flank마모폭이 절삭이 개시된 후 0.15mm 정도 까지 지속적으로 증가해가지만 주분력 RMS값은 완만한 증가를 나타내고 있다. flank마모가 0.15~0.25mm로 증가되는 區間에서 主分力 RMS값도 增加하면서 變動되는 현상으로 나타나고 있다. flank마모가 0.25mm를 넘어서 수명한계에 도달될때 까지 RMS값은 前區間의 변동율과 같이 상승되는 내용을 보이고 있다.

Fig. 8에서도 역시 이러한 양상은 비슷하게 보여주고

있는데, flank마모폭이 0.15~0.25mm의 구간에서 移送分力 RMS값 기울기는 前區間에 비해 조금 증가하는 양상을 보이다가 flank마모가 0.25mm를 넘어서 수명한계에 도달하는 區間에서 RMS값의 변동이 크게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 9는 flank마모가 폭 0.2mm 정도 이내까지 진전되고 있어도 主分力 RMS값은 磨耗初期상태 0.07보다 오히려 약간 감소하여 0.03까지 내려오는데 이때부터 비교적 일정한 값으로 유지되고 있다. 그러나 마모폭이 0.22mm 정도를 넘어서 수명한계에 도달하는 구간까지 주분력 RMS값은 급격한 증가 양상을 나타내고 있다.

이러한 RMS변동特性은 정상마모로 분류되고 있는 flank마모 특성에서 잘 나타나는 것을 실험과정을 통하여 알 수 있었으며, 이것은 flank마모가 진전되어감에 따라 절삭날 부근의 側餘裕面상에서 피삭재와 線接觸을 이루며 절삭작용을 하고 있는 주절삭날이 공구마모가 진행되어감에 따라 面接觸으로 變換되어 가면서 절삭력이 증가 하게되고, 이과정에서 RMS特性은 두드러진 특징으로 나타나는 현상이 실험결과 파악되었다.

한편 flank마모와 RMS특성은 相關性이 있는 것으로 평가 되었으며, flank마모폭은 이들 data로 부터 분석 검토해 본 바 0.15~0.20mm 정도의 범위에서 RMS특성과 관련시킬 수 있다. 주분력 RMS특성이나 이송분력 RMS특성은 대체로 유사한 특성을 가지는 것으로 파악 되었으므로 어느쪽을 택해서 flank마모에 의한 공구수명을 판정하더라도 무방하다고 생각된다.

이상의 내용으로 볼 때 본 실험에서 검토한 flank마모 수명한계에 도달하기 전에 信號處理가 가능하므로, 이는 공구마모 진전상태를 파악하기 위한 수단으로 절삭력의 RMS특성을 적용하는 것은 가능하다고 본다. 이러한 결과는 On-Line Processing에 적용할 경우 효과적인 工具磨耗 檢出手段이 될 수 있을것으로 판단된다.

4. 결 론

난삭재 SUS304에 대한 준2차원 절삭실험을 행해본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 큰 속도에서 이송의 증가는 물림깊이 증가보다 flank마모에 더 좋지않은 영향을주며, 속도가 감소할수록 그 영향은 감소된다.
2. 큰 속도에서는 세장비(G)가 작을수록 공구수명이 작

아지며, 속도가 작아질수록 세장비(G)가 flank마모에 주는 영향이 점점 작아진다.

3. 힘 RMS특성치를 이용하여 flank마모의 진전상태를 파악 할 수 있으며, 주분력 RMS특성치 또는 이송분력 RMS특성치 어느것을 이용하여도 거의 차이를 보이지 않았음을 알 수 있다.

참고문헌

1. S. Jetly; Measuring Cutting Tool Wear On-Line : Some Practical Considerations, Manufacturing Engineering, pp.55~60, July 1984.
2. G. Rutelli, D. Cuppini; Development of Wear Sensor for Tool Management System, Transactions of the ASME, Vol. 110, pp.59~62, Jan 1988.
3. J. I. Ei Gomayel, K. D. Bregger; On-Line Tool Wear Sensing for Turning Operations, Transactions of the ASME, Vol. 108, pp.44~47, Feb 1986.
4. Yoram Koren, Tsu-ren Ko; Cutting Force Model for Tool Wear Estimation, Trans of the North American Manufacturing of SME, pp.166~169, 1989.
5. E. Kannatey-Asibu, Jr. : The Transport-Diffusion Equation in Metal Cutting and Its Application to Analysis of the Rate of Flank Wear, Trans. ASME, Vol. 107, Feb. 1985, pp.81~89.
6. C. Rubenstein; An Analysis of Tool Life Based on Flank-Face Wear, Transactions of the ASME, Feb. 1976, pp.227~232.
7. 서남섭; 金屬切削理論, 東明社, pp.132~162, 1990.