

SUS 304 切削時 工具磨耗와 切削溫度의 特性

권 용 기*, 오 석 형**, 김 동 현***

Characteristics of Tool Wear and Cutting Temperature in Machining of SUS 304

Yong-Ki Kwon*, Seok-Hyung Oh**, Dong-Hyun Kim***

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the behavior of SUS 304 during the cutting process and the resulting cutting temperature. Since SUS 304 is a difficult-to-machine material, tool damage is largely affected by the suitability of cutting conditions. Therefore, in varying such cutting conditions, the experiment investigates the relations between cutting temperature and tool wear during the cutting process. All the cutting temperature data were manipulated successfully, and the tool temperature distributions were analyzed by a finite element method based on the acquisition data. In the results, the characteristics of cutting temperature are related to the difficulty of machining characteristics.

Key Words : cutting temperature(절삭온도), tool wear(공구마모), difficult-to-machine material(난삭재), crater wear(크레이터마모), difficult of machining characteristics(난삭성)

1. 序 論

근래 가공 소재로 폭넓게 활용되고 있는 新素材의 대부분은 難削材로 분류되고 있으며 難削材 加工에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 難削性은 공구재료, 가공방법, 가공조건, 공작기계의 성능, 切削油劑의 적부, 材料特性 등을 들 수 있겠지만 가장 민감한 부분은 역시 재료특성과 加工條件의 복잡성을 들 수 있고 難削材의 가공은 재료마다 그 最適條件이나 가공방법이 다르므로 일률적인 취급은 곤란하여 각각의 特性値를 정확하게 파악하는 것이 중요하다고 하겠다.

이러한 특성치를 검토하기 위해서는 피삭재와 공구의 相關關係를 집중적으로 파악해 보는 것이 필요하고 이는 주로 피삭재의 物理的·機械的인 성질, 化學成分 등이 영향을 미치므로 切削溫度(1, 2), 切削抵抗(3, 4), 칩生成機構(5, 6) 등의 인자에 의해서 일어나는 현상 즉, 工具損傷 狀態, 피삭재의 加工品位 그리고 칩처리성을 검토해 봄으로써 被削性 파악 및 적절한 加工條件의 제시가 가능하다고 본다.

일반적인 피삭재의 경우에는 절삭시 발생한 切削熱은 대부분 칩에 의해서 제거되지만 대부분 난삭재의 경우 熱傳導率이 낮기 때문에 칩보다 공구쪽으로 熱傳導가

* 전주공업전문대학
** 군산대학교
*** 원광대학교

많아진다. 일부 연구에 의해 제시된 바에 의하면 難削材의 경우 공구의 주된 損傷原因은 가공시 용착, 확산, 화학반응 등 發生熱(7, 8, 9)에 기인하는 마모가 주원인이 되는 것으로 제시되고 있는 바 이러한 점에 대하여 충분한 연구 검토가 필요하다.

한편 材料特性의 개량과 用途 開發이 두드러지게 진전하여 公業용 재료로 폭넓게 활용되고 있는 오스테나이트계 SUS 304는 절삭에 있어서 불규칙한 톱니형 칩이 생성되며 Cr이나 Ni 함유량이 많으므로 인해 被削性이 불량한 難削材로 분류되고 있으며, 절삭력의 변동이 심하고 不連續 칩이 생성될 뿐만 아니라 熱傳導率이 낮은 材料特性을 가지고 있다. 따라서 발생열에 의한 工具磨耗(10)의 진전이 두드러지는 難削性을 보임으로써 경제적 절삭조건 選定이 어려운 점으로 지적되고 있다. 기계가공중 공구의 損傷防止, 피삭재의 加工品位를 유지하기 위해서는 難削性에 대한 特性을 정확하게 파악하는 것이 필수적이다.

本 研究에서는 SUS 304의 절삭가공중 발생하는 熱에 의한 切削溫度가 마모에 밀접하게 影響하고 있는 것을 주목하여, 절삭과중중 切削溫度 變動과 공구마모의 特性을 규명하고자 실험적으로 검토를 해 보았다. 실험결과로부터 難削性 개선요인을 파악하여 보고자 한다.

2. 切削溫度의 解析

공구마모가 진전되어질 때 절삭온도의 變動 特性을 고찰하기 위하여 공구면에 傳導되는 발생열은 PC에 입력되도록 하여 data를 처리하였다. 이때 발생열에 의한 공구온도의 변동값은 切削刃先에서 일정하게 떨어져 2point로 위치시킨 thermocouple을 이용하여 측정하였다. 측정된 data가 工具刃先에서 떨어진 위치의 온도값이므로 공구면에 전도된 溫度分布 상태는 측정된 온도값들을 이용한 解析의인 방법에 의해 구할 수 밖에 없다. 따라서 측정된 두점의 온도값과 절삭조건 및 공구, 피삭재의 물리적 성질들을 境界條件으로 활용하여 발생열의 特性을 heat conduction 2D FEM analysis 기법에 의해 공구내의 온도분포를 나타내는 isotherm pattern으로 處理 및 分析을 하였다. 다음은 FEM 해석하기 위해 적용한 熱傳導方程式이다.

固體內的 熱傳導를 위한 2차원 편미분방정식은 다음과 같다.

$$k_{xx} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_{yy} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + Q = 0 \quad (1)$$

여기서 T는 공구내의 溫度分布이고, k_{xx} , k_{yy} 는 각각 x와 y방향의 熱傳導率을 나타낸다. Q는 공구내에 발생하는 열을 나타내며, Q의 부호가 陽이면 内部 發熱을 나타낸다. 境界面의 일부에서 溫度를 알고 있고, 熱이 대류나 열유속(heat flux)에 의하여 境界상에서 얻어지거나 잃을 때 다음과 같은 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$k_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} l_x + k_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} l_y + h(T - T_{\infty}) + q = 0 \quad (2)$$

여기서 h는 對流 熱傳達 계수이고 T는 공구 境界面의 溫度, T_{∞} 는 공구를 둘러 싸고 있는 유체의 온도, 그리고 l_x , l_y 는 方向 cosine이다. 또한 q는 열유속(heat flux)을 나타내며, 그 값의 부호가 陽을 나타내면 열은 밖으로 流出됨을 표시한다. 열유속과 대류에 의한 熱損失은 같은 境界상에서 발생할 수 없다. 式(1)과 그것의 境界條件式(2)에 대해 等價인 범함수(Functional)는 다음과 같다.

$$I = \int_v \frac{1}{2} [k_{xx} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + k_{yy} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 - 2QT] dV + \int_s [qT + \frac{1}{2} h (T - T_{\infty})^2] dS \quad (3)$$

절점값 {T}에 대하여 要素값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} T^{(\bullet)} &= [N^{(\bullet)}] \{ T \} \\ \{ g^{(\bullet)} \} &= \left\{ \begin{array}{c} \frac{\partial T^{(\bullet)}}{\partial x} \\ \frac{\partial T^{(\bullet)}}{\partial y} \end{array} \right\} = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial N^{(\bullet)}}{\partial x} \\ \frac{\partial N^{(\bullet)}}{\partial y} \end{array} \right] \{ T \} \\ &= [B^{(\bullet)}]^T \{ T \} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 要素의 전도행렬과 要素의 하중 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있으며

$$[k^{(\bullet)}] = \int_{V^{(\bullet)}} [B^{(\bullet)}]^T [D^{(\bullet)}]$$

$$[B(\bullet)] dV + \int_{S_2(\bullet)} h [N(\bullet)]^T [N(\bullet)] dS \quad (5)$$

$$\{f(\bullet)\} = - \int_{V(\bullet)} Q [N(\bullet)]^T dV + \int_{S_1(\bullet)} q [N(\bullet)]^T dS - \int_{S_2(\bullet)} h T_m [N(\bullet)]^T dS \quad (6)$$

$$\frac{\partial I}{\partial \{T\}} = \sum_{e=1}^E [k(\bullet)] \{T\} + \{f(\bullet)\} = 0 \quad (7)$$

행렬과 벡터의 형태로 나타내면

$$[k] \{T\} = \{F\} \quad (8)$$

이 된다. 본 연구에서는 절삭과정중 절삭열의 전도로 인해 공구에 축적되고 있는 온도분포 상태를 isotherm pattern으로 처리, 분석을 위해 Fig.1과 같이 mesh generation을 행하였는데 총 element는 1024개, node 수는 651개로 구성하였다.

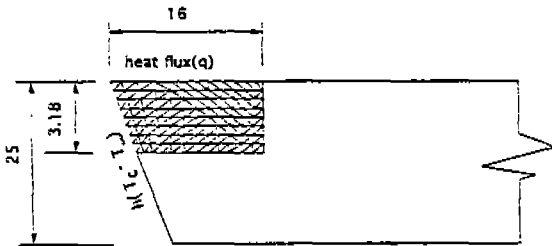


Fig.1 Mesh form in finite element computation.

3. 實驗裝置 및 方法

본 實驗에서 切削性を 검토하기 위해 사용한 피삭재는 오스테나이트계 스테인레스강 SUS 304(Φ80 × 500mm)이며, 高速精密旋盤을 사용하여 길이 방향 절삭을 행하였으며 心押臺 측의 工作物 治具는 베어링 센터로 지지하여 회전을 원활하게 하였고, 물림깊이를 같은 切削條件 상태에서 일정하게 유지되도록 工具臺 타단에 다이얼게이지(Div. 0.001mm)를 설치하여 물림 깊이를 잴을 장입하면서 連續, 乾式 切削을 하였다. 절삭 속도의 변화는 主軸系 速度變換機構가 기어식이므로 주축 회전수를 변화시키면서 棒材 直徑 감소율에 따른

절삭속도 범위가 5% 이내로 되도록 維持하였다. 또한, 主切刃角은 90°을 유지시켰으며 공구는 固定具에 設置하여 有效傾斜角이 -20°~20° 범위를 임의 조절할 수 있도록 하였다. 절삭공구는 P20 超硬合金 T.A工具를 사용하였고 공구幾何學的 형상은 Table 1. 피삭재와 공구의 물리적 성질은 Table 2에 소개하였다.

Table 1. Specification of tool

grade standard	P20 TPGN 160304
tool holder	ASA 321 CTGPR 2525
major cutting edge angle, K_r	90°
minor cutting edge angle, K_m	5°
back rake angle, λ	0°
side rake angle, α	6°
side relief angle, β	11°
nose radius, R_n	0.4mm

Table 2. Physical properties of SUS 304 and P 20

physical properties	SUS 304	P 20
melting point(°C)	1425	2800
density(g/cm ³)	8.0	15.7
thermal conductivity at 0°~100°C(cal/cm·sec °C)	0.0388	0.07
specific heat at 50°C [cal/g °C]	0.12	
coefficient of thermal expansion at 0°~100°C(×10 ⁻⁶ /°C)	17.3	5.2
hardness(Hv)	200	2200

데이터 수집 시스템은 Fig.2와 같이 構成하였다. 공구면에 발생하는 磨耗量 測定은 실체현미경으로 1차 확인을 하면서 마모 진전상태를 파악한 후, 공구현미경과 profile projector, 디지털 다이얼게이지 테스터에서 각각의 磨耗量을 측정하고 contour mapping을 하였다.

또한 切削溫度의 데이터 수집을 행하기 위한 프로그램은 실험의 切削條件을 입력할 수 있는 메뉴 유닛, 데이터 수집을 행하기 위한 유닛, 계산 유닛, 두 화면(graphic과 text) 출력을 하기 위한 출력 유닛 및 데이터 플로팅을 위한 플로터 유닛, 資料의 저장등을 위

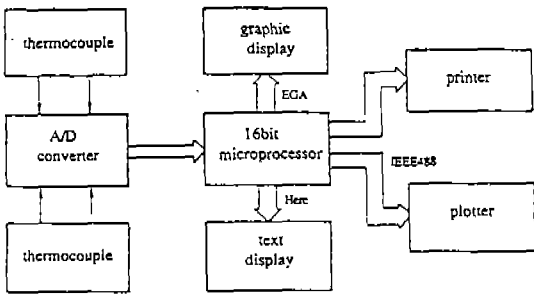


Fig. 2 Block diagram of data acquisition.

한 file manager 유닛등 4부분으로 構成하였으며 각 부분을 모듈화하여 Micro assembler와 Turbo pascal 을 이용하여 작성하였다.

2개의 보상도선을 통해 출력된 電位差 變動 데이터는 증폭기를 통해 보상값으로 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 이때 수집되고 있는 데이터의 상태 파악은 그래픽 화면을 출력시키는 체크 기능을 이용하여 검토가 가능하도록 하였다. 샘플링 타임은 8.02초로 하여 32768개의 데이터가 입력되도록 구성하였으며, 이들은 연산처리 과정을 거쳐 각각 최대값, 최소값, 평균값으로 統計處理하여 결과는 graphic 화면으로 출력됨과 아울러 저장된다. 이때 안정된 데이터를 수집하기 위하여 절삭이 개시된 후 입력되는 데이터는 컴퓨터 그래픽 화면을 통해 확인하여 안정 상태가 유지되는 시점 이후에서 각각의 샘플링을 하였다.

절삭과정 진행중 On-Line 상태에서 切削溫度 變動에 관한 特性 要因을 검출하기 위해서 절삭개시 후 공구가 수명 한계에 도달할 때 까지의 전구간에 걸쳐 溫度값에 대한 데이터 수집을 하였다. 공구온도의 변동값을 측정하기 위해 2개의 열전대는 工具홀더 밀면으로부터 貫通된 구멍을 통해 工具 傾斜面에서 0.7mm까지 근접하도록 바이트 팁에 가공된 구멍 내부로 삽입하여 밀착 및 고정을 시켰다. 방전 가공된 바이트 팁의 구멍 깊이는 팁 두께 3.18mm중 2.48 ± 0.05 mm로 가공하여 관리하였으며, 2개의 열전대는 바이트 홀더 연직 하방의

Table 3. Specification of thermocouple

thermocouple alloy code	K type
sheath diameter	1.6(mm)
sheath type	unground type
measuring temperature range	0° ~ 1200(°C)

밀면에 지그를 부착하여 바이트 팁과 접촉이 일정하게 유지되도록 하였다. 사용된 열전대의 사양은 Table 3과 같다.

2개의 보상도선을 통해 출력된 電位差 變動 데이터는 Amp.를 통해 보상값으로 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 절삭온도 측정의 보상 data는 0°C 얼음물과 100°C의 끓는 물을 기준온도로 삼았으며 thermometer로 비교 측정하면서 calibration을 하였고, 이들 데이터를 기준으로 하여 검증해 본 결과 측정 온도값은 만족스러운 신뢰한계를 유지하였다.

Fig. 3은 본 실험에서 절삭온도를 측정하기 위하여 TA공구 및 바이트 팁에 2개의 열전대를 설치한 상태를 나타낸 그림이다.

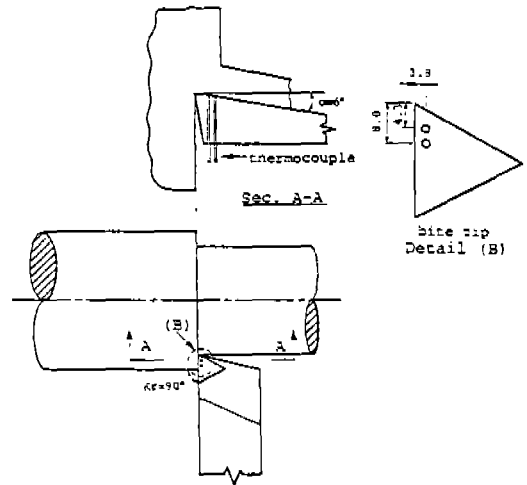


Fig. 3 Drawing of thermocouple apparatus into the bite tip and tool holder in cutting process with $\alpha=6^\circ$ and $K_r=90^\circ$

4. 實驗結果 및 考察

4-1. SUS 304 절삭시 crater마모의 심화 특성

일반적인 재료의 경우는 절삭시에 발생한 칩은 대부분 칩에 의해서 제거된다. 그러나 SUS 304와 같은 難削性을 가지는 피삭재료의 경우 熱傳導率은 낮고 加工硬化性이 크며 인성이 풍부한 특성을 지니고 있으므로 인하여 열의 누적으로 인해 칩보다는 공구쪽으로 熱傳導가 많아지게 된다. 이 때문에 工具 刃先의 온도는 높아지고 切削刃의 마모로 인하여 切削抵抗이 크며,

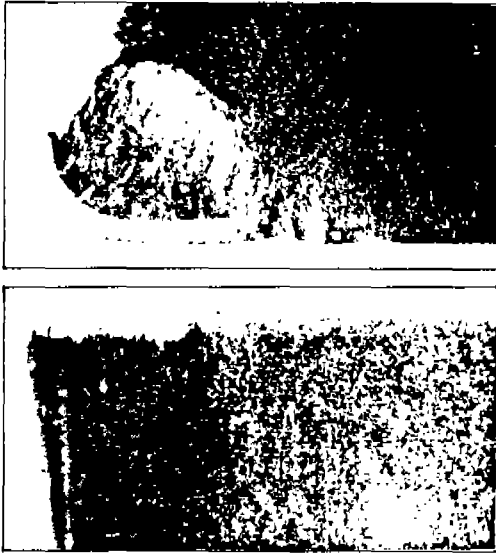


Fig.4 Feature of the crater in rake face with crater wear

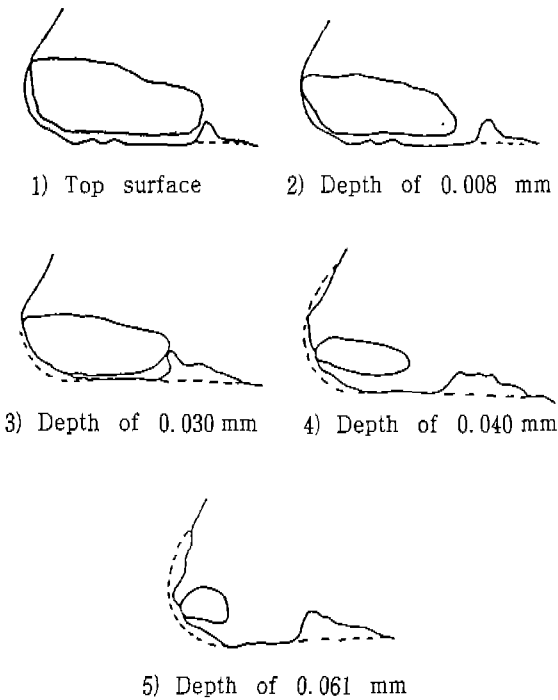


Fig.5 Individual contour maps.

또한 공구의 耐磨耗性이 불량해지는 경향을 나타내는 것으로 파악되고 있다.

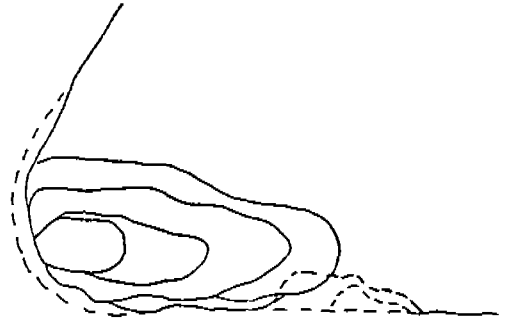


Fig.6 Completed contour map of the crater obtained by superimposing the individual contour drawing given in Fig.5 ($\alpha = -5^\circ$, $V = 220$ m/min, $d = 1.2$ mm, $f = 0.17$ mm/rev).

Fig. 4는 본 실험의 절삭조건 하에서 공구 경사면에 발생한 크레이터磨耗 현상을 공구경사면과 측여유면으로 대응시켜 撮影한 사진으로 제시한 것이다. 마모가 심화된 경우 副切刃 부위에 酸化現象으로 切刃이 크게 손상된 것을 볼 수 있으며, 크레이터磨耗가 심화된 경우 대체로 나타나는 현상이었다. 특히 마모 발생 및 진전은 切削刃에 근접하여 진전되었지만 主切削刃은 비교적 잘 유지되고 있는 특성을 확인해 볼 수 있다.

또한 Fig. 5와 6은 크레이터磨耗가 深化되고 있는 과정을 contour mapping을 통하여 展開 過程으로 제시한 내용이다. Fig. 5는 유효경사각은 -5° , 절삭속도 220 m/min, 절삭깊이 1.2 mm, 이송 0.17 mm/rev의 조건으로 절삭할 때 크레이터磨耗가 심화됨에 따라 形成되고 있는 contour를 각각 profile projector 상에서 mapping한 것이며 Fig. 6은 이들을 합성하여 나타낸 그림이다. 이들 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 크레이터는 切削刃先에 연하여 발생하는 것이 SUS 304 가공시 特徵으로 나타나고 있으며, 고온으로 상승되는 切削熱의 영향으로 마모가 深化되고 있는 것을 절삭과정을 통해 살펴볼 수 있었다.

특히 高溫 硬度의 약화로 인하여 切削刃 부근에는 미소 치핑과 酸化로 인한 마모가 擴散되는 현상이 실험 중 자주 관찰되었다. 한편 크레이터磨耗 사진과 함께 contour mapping이 합성된 그림을 검토해 볼 때 主切削刃은 비교적 유지가 되고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 본 실험의 경우, 대부분 조건에서 크레이터磨耗의

深化가 극대화 되어 공구과손으로 이어지기 직전까지는 절삭 가능한 상태를 유지할 수 있으므로 이들 특성은 난삭재 가공의 조건 선정시 고려할만한 것이라 하겠다.

4-2. 절삭온도 특성

Figs. 7, 8, 9는 각각 제시된 절삭조건으로 절삭 진행중인 상태에서 傾斜面 溫度를 측정할 값을 FEM 解

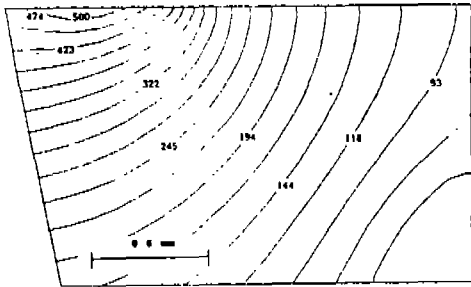


Fig. 7 Isotherm patterns in tool by FEM analysis ($\alpha=6^\circ$, $V=70$ m/min, $d=0.4$ mm, $f=0.09$ mm/rev).

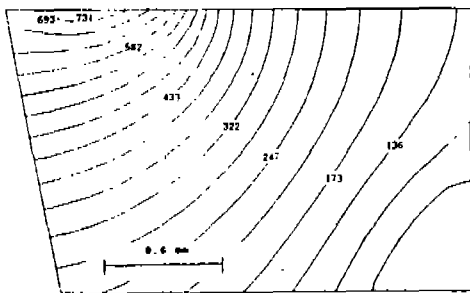


Fig. 8 Isotherm patterns in tool by FEM analysis ($\alpha=6^\circ$, $V=120$ m/min, $d=1.2$ mm, $f=0.17$ mm/rev).

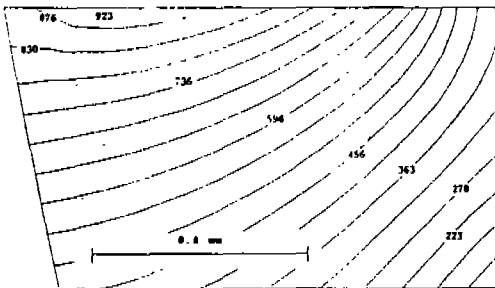


Fig. 9 Isotherm patterns in tool by FEM analysis ($\alpha=6^\circ$, $V=165$ m/min, $d=0.7$ mm, $f=0.25$ mm/rev).

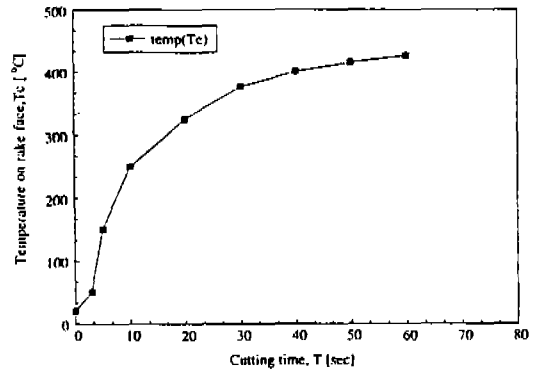


Fig. 10 The relation between temperature on rake face and cutting time.

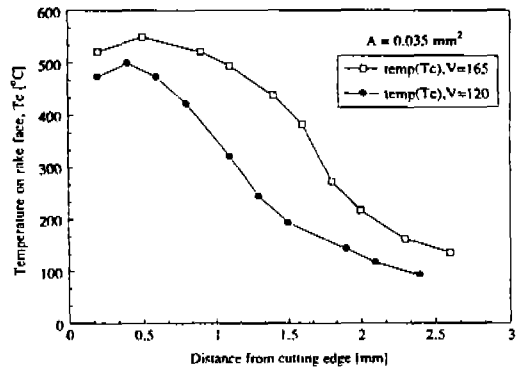


Fig. 11 The relation between temperature on rake face and distance from cutting edge ($A=0.035$ mm²).

析을 이용하여 isotherm pattern으로 나타낸 그림이다. 이들의 경사면 상의 溫度 分布를 차례대로 검토해 볼 때 각각 切削刃先 부위의 온도는 474°C 일때 인근의 온도는 500°C, 693°C 일때 731°C로, 876°C 일때 923°C로 나타남을 볼 수 있다. 이는 切削刃으로부터 약간 떨어진 부위에서 온도가 최고점에 이르며, 切削刃에 거의 연하여 온도가 높게 분포되는 것을 볼 수 있다. 또한 이로부터 절삭온도가 공구의 高溫 硬度를 약화시킬 정도까지 이르게 되면 切削刃에 연하여 工具磨耗가 진전된다는 것을 확인해 주는 내용으로 간주할 수 있겠다.

Fig. 10은 절삭이 시작된 初期 狀態에서 工具 刃先 부위에 상승되고 있는 온도값을 시간에 대한 내용으로 도시한 그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 공구 온도는 절삭이 개시된 初期 狀態, 즉 30초 정도 이내에 이미 급격한 상승을 보여 380°C 정도에 이르지만 그 이후

는 비교적 완만한 증가추세를 보여 60초까지 시간이 경과되어도 425°C 정도를 유지하고 있는 것을 볼 수 있다. 실험에서 온도 변화 상태에 대해 측정된 결과를 검토해 보면 대체로 절삭이 개시된 시점으로 부터 대략 1~2분 이내에 거의 最高 溫度값에 도달하며, 이후부터는 시간이 경과되더라도 공구온도값은 이때 상승된 온도값과 큰 차이는 보이지 않는다. 特性을 알 수 있었다.

Fig. 11은 uncut chip 단면적이 0.035 ($A=d \times f=0.7 \times 0.05$) mm²으로, Fig. 12은 uncut chip 단면적을 0.02 ($A=0.4 \times 0.05$) mm²으로 일정하게 유지할 때 절삭 속도의 변화에 따르는 공구경사면 溫度 分布 狀態를 나타낸 그림이다. Fig. 11에서 절삭속도가 165 m/min일 때 절삭인으로 부터 0.2mm 떨어진 부위의 온도는 525°C, 0.5mm에서 550°C로 최고온도에 도달하며, 0.8mm 떨어진 위치에서 530°C를 나타내지만 그 이후부터는 급격하게 溫度 값은 낮아지고 있다. 또한 절삭속도 120 m/min의 경우 절삭인으로 부터 0.2mm 떨어진 부위의 온도는 475°C, 0.4mm 에서 501°C로 最高溫度에 도달하며, 0.6mm 떨어진 위치에서 480°C를 나타내지만 그 이후부터는 급격하게 온도는 낮아지고 있다. Fig. 12는 절삭속도가 120 m/min 일 때 切削刃으로 부터 0.2mm 떨어진 부위의 온도는 460°C, 0.5mm에서 480°C로 최고온도에 도달하며, 0.7mm 떨어진 위치에서 455°C를 보이지만 그 이후부터 온도값은 급격하게 낮아지고 있다. 절삭속도 70 m/min의 경우 0.2mm 떨어진 부위의 溫度는 360°C, 0.4mm에서 380°C로 최고온도에 도달하며, 0.7mm의 위치에서는 360°C를 보이지만 刃先

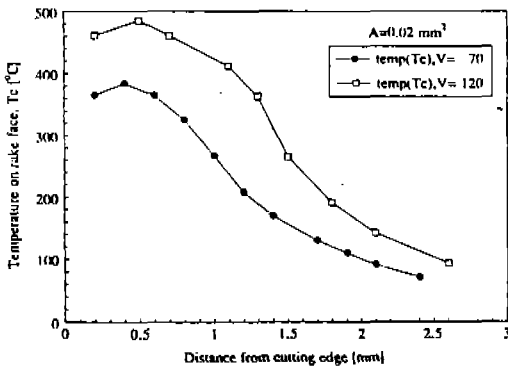


Fig. 12 The relation between temperature on rake face and distance from cutting edge ($A=0.02 \text{ mm}^2$).

에서 멀어지면서 부터 온도값은 급격하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 두 그림 모두 온도 분포는 工具刃先에서 대략 0.5~0.7mm 정도 떨어진 부위에서 최고 온도가 되며 1.0mm를 넘어서면서 부터 급격하게 온도값은 減少하는 양상으로 나타나고 있는데, 이는 isotherm pattern에서 확인된 바와 같이 tool-chip 接觸 界面에서 경사면상의 온도가 최고점에 이른다라고 볼 수 있겠다.

또한, 工具刃先에 연하여 최고 온도에 도달하기 때문에 절삭조건을 重切削으로 취할 경우, SUS 304는 切削刃 쪽으로 크레이터磨耗가 심화 및 확대되어가는 것으로 나타나고 있다. 따라서 절삭인 부위는 高溫硬度가 약화되므로, 절삭이 지속됨에 따라 절삭인의 微小破損과 酸化損傷을 수반하는 현상이 나타나는 것을 절삭온도 측정 결과로도 확인하였다.

Fig. 13은 절삭속도를 220, 165, 120 m/min로 변화시킬때 uncut chip 단면적의 변화가 傾斜面 溫度에 미치는 영향을 검토하기 위해 제시한 내용이다. uncut chip 단면적이 0.03mm²에서는 절삭속도의 조건에 따라 공구온도는 큰 차이를 보이지만 uncut chip 단면적이 점차 증가되면서 이들 조건에는 비교적 영향을 적게 받는 것으로 나타나고 있다. 단면적이 0.07mm²까지는 절삭속도별 격차가 나타나지만 그보다 크게 uncut chip 단면적을 증가시키는 경우 절삭속도의 영향보다는 uncut chip 단면적과 밀접하게 관련되면서 工具溫度는 상승되며, 이것이 원인이 되어 공구는 壽命限界에 이르기 때문에 더 이상의 溫度域은 측정할 수 없었다. 즉 본 연구의 실험조건을 위주로 정리해 보면, 輕切削의

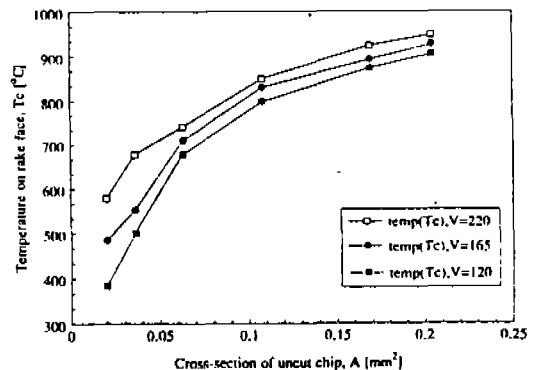


Fig. 13 The relation between temperature on rake face and cross-section of uncut chip.

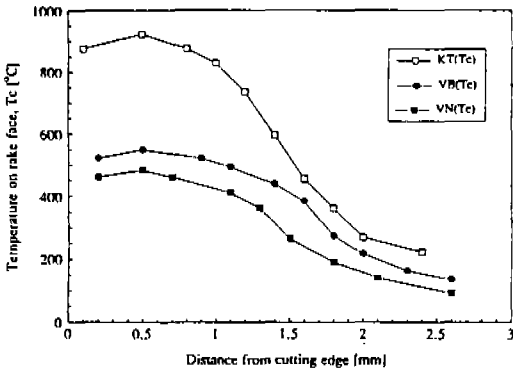


Fig. 14 The relation between temperature on rake face and distance from cutting edge.

경우 uncut chip 단면적이 커질 때 절삭속도를 고속역으로 증가시킨 경우보다 切削溫度는 급격하게 상승하여 공구 재종 P20의 高溫硬度값을 초과하게 되는 것을 검토할 수 있다. 이는 難削材로서 SUS 304는 uncut chip 단면적의 증가가 工具刃先 온도와 밀접한 관련을 가지며 이로 인해 공구마모가 급진전되는 현상으로 파악된 바, 절삭속도의 변화로부터 影響을 받아 초래되는 難削特性和 같은 수준에서 검토되는 것이 타당하다고 본다. 또한 SUS 304와 같은 難削材 절삭가공시 발생 열은 절삭조건에 적절한 선정여부에 따라 크게 影響 받음을 확인한 결과로부터 難削성 개선 요인이 검토될 수 있다.

Fig. 14는 일반적으로 절삭에 의한 가공시 공구의 정상마모로 분류될 수 있는 것들중, SUS 304 가공에 대한 열적 마모 특성으로 본 연구에서 검토된 크레이터 마모와 다른 공구마모와의 切削溫度 특성을 비교 및 검토를 위해 각각 대응시켜 나타내어 본 그림이다. 본 실험에서 피삭재로 선정된 SUS 304의 절삭과정에서는 플랭크磨耗(VB)나 그루브磨耗(VN), 크레이터磨耗(KT)가 정상마모로서 고려될 수 있었다. 따라서 이들의 마모가 심하게 진행되어 壽命限界에 도달하기 직전 상태가 되고 있는 시점에서 切削溫度 값을 각각 샘플링한 결과를 공구의 主切削刃으로부터의 거리에 대응시켜 傾斜面 溫度分布 특성으로 파악하였다. 여기서 플랭크磨耗(VB), 그루브磨耗(VN)의 경우에는 工具磨耗의 진전 요인으로 切削溫度가 크게 영향을 미치지 않는 반면 실험의 과정 내내 확인된 바와 같이 크레이터磨耗(KT)의 경우는 마모가 진전되면서 難削성이 두드러지는

현상으로 연관되고 있다. 절삭인으로부터 1mm 이내 범위에서 高溫狀態로 열은 집중적으로 축적되고 있는 것을 이 그림의 溫度分布 狀態로도 파악해 볼 수 있으며, SUS 304와 같은 難削재 절삭가공시 熱傳導度가 낮은 재료특성은 피할 수 없으므로 칩의 흐름 상태를 개선하여 칩·공구 경사면 사이에 전도되는 열의 유입 만큼이라도 줄일 수 있도록 공구의 경사면에 대한 形狀管理를 온도분포 특성을 고려하여 검토하는 것이 필요하다.

5. 結 論

본 研究에서 難削재로 분류되고 있는 오스테나이트계 SUS 304를 절삭하면서 難削材의 피삭성을 좌우하는 인자인 工具溫度에 대한 變動 特性을 절삭과정 진행중, 전구간에 걸쳐 data처리를 하여 分析한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. SUS 304 절삭중 發生熱은 切削刃으로부터 1mm 이내 범위에서 고온상태로 축적된다. 따라서 熱傳導率이 낮은 SUS 304와 같은 難削재 가공시, 절삭공구에 대한 傾斜面 형상관리는 이 범위에서 집중 검토할 필요가 있다고 본다.
2. SUS 304 절삭에서 輕切削을 초과하는 조건에서 工具溫度는 절삭이 개시된 초기에 이미 급상승을 한다. 이로 인해 切削刃에 연하여 생성된 crater는 성장되는 과정 중 산화현상이 심화·확대 되면서 공구파손으로 이어지며, 難削性을 나타내는 역할로 작용함이 파악되었다.
3. SUS 304 절삭시 輕切削의 경우는 절삭속도 증가보다 uncut crater 斷面積의 증가가 發生熱에 밀접하게 影響하는 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. M. C. Shaw and P. Lezanski; Tool Face Temperatures in High Speed Milling, Trans. ASME, Vol. 112, May 1990, pp.132~135.
2. P. K. Wright; Effect of Rake Face Design on Cutting Tool Temperature Distributions, Trans. ASME, Vol. 102, May. 1980. pp.123~128.

3. G. J. Lay, Y. Saito and Y. Ito; Detection of Tool Wear by Dynamic Component of Cutting Force, JSPE, Vol. 50-7, 84.7, pp.1117~1122.
4. M. Masuda and M. Torii; The Influence of Cutting Force on Boundary Failure of Cutting Tool, JSPE, Vol. 53-10, 87.10, pp.1596~1601.
5. R. Komanduri and B. F. Von Turkovich; New Observations on the Mechanism of Chip Formation When Machining Titanium Alloys, Wear 69, 1981. pp.179~188.
6. N. Ueda and T. Matsuo; Influence of Saw-Toothed Chip Formation on Tool Wear, Proc. 4th Inter. Conf. Prod. Engr. Tokyo 1980, pp.512-517.
7. E. K. Levy; Analytical Investigation of the Effect of Tool Wear on the Temperature Variations in a Metal Cutting Tool, Trans. ASME, Feb. 1976, pp.251~257.
8. G. Boothroyd; Effect of Tool Flank Wear on the Temperatures Generated during Metal Cutting, MTDR, 1967, pp.667~680.
9. M. G. Stevenson; Further Developments in Applying the Finite Element Method to the Calculation of Temperature Distributions in Machining and Comparisons with Experiment, Trans. ASME, Aug. 1983, Vol. 105, pp.149~154.
10. R. N. Meyer and S. M. Wu; Optical Contour Mapping of Cutting Tool Crater Wear, Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 6, 1966, pp.153~170.