

스테인레스강 절삭가공에서 공구의 온도 특성에 대한 실험적 연구

권용기*, 오석형**, 김동현***

An Experimental Study of the Temperature Characteristics of a Cutting Tool in Machining of Stainless Steel

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

Abstract

This is an experimental investigation of the temperature generated in a cutting tool during the machining of stainless steel. The temperature results from the wear of the cutting tool are considered in order to investigate the relation between cause and effect of these factors. This possibility has been tested using a thermocouple technique to record temperature vs. time curves for a variety of cutting conditions. This is done by employing a thermocouple inserted on the tool tip near the major cutting edge. Temperature distributions are calculated using finite element method and compared to the contour maps measured by an optical system. It suggests that the temperature gradients and the tool performance will be dependent on certain factors in tool geometry when cutting this material

KeyWord : Cutting temperature(절삭 온도), Thermocouple(열전대), Temperature distribution(온도 분포), Contour map(등고선도), Tool wear(공구 마모)

1. 서 론

대부분의 열은 절삭중 전단면에서 발생하게 되며 칩과 함께 제거되고 일부는 공구에 또다른 일부는 가공물에

전도되며 이 때 발생한 열량이 공구마모 진행에 중요한 인자로 작용하게 되므로 절삭온도에 대한 해석은 여러 사람들이 시도하였다. Rapier¹⁾는 절삭의 이상 모델로서 제1변형 역을 강도가 일정한 평면열원으로 하고 칩

* 전주공업전문대학

** 군산대학교

***원광대학교

과 가공물의 자유 표면으로부터 열손실이 없다고 가정하여 해석하였다. Stephenson²⁾은 열전대를 이용하여 피삭재, 칩·공구 접촉면 상의 평균온도를 비교적 정확하게 측정하였으며 공구 경사면 상의 평균온도 상승은 절삭속도에 의해 주영향을 받게 되며 공구수명에 중요한 인자로 작용한다고 제안하였다.

Boothroyd³⁾는 적외선사진법을 이용하여 공구 경사면, 가공물 및 공구단면의 온도 분포를 열전대로부터 구한 온도 값과 공구,공작물, 칩의 열전도율을 감안한 전도 개념으로부터 구한 각 온도 포인트로부터 등온곡선 전도를 제시하였으며 이는 공구면에서의 온도분포를 확실하게 제시해 준 점에서 평가된다. Kato⁴⁾는 fine powder의 특성에 따라서 용해점 온도가 다른점을 이용하여 공구표면 온도 분포에 대해 비교적 정확하게 측정하였으며 이들 결과가 해석적 방법으로부터 구한 계산 결과와 부합되는 것을 확인하였다. Young⁵⁾은 유한요소법을 이용하여 칩·공구 계면의 온도 분포를 실험적으로 구하였다. Lo Casto⁶⁾는 공구온도와 마모의 상관성을 입증하기 위하여 fine powder를 이용하여 내면 온도 분포를 구하고 SEM 사진을 촬영하여 실험적 접근을 시도하였다.

난삭재의 사용이 증대되고 있는 요즈음의 실정에 비추어 볼 때 각종 공구마모가 진행되는 과정에서 절삭온도 변화의 특성을 파악하여 보는 것은 공구 형상관리를 위한 현상 파악 측면에서는 중요한 인자라고 하겠다. 따라서 본 연구에서는 스테인레스강과 같은 난삭재를 가공하는 경우, 발생하는 열의 전도에 기인하는 공구상면의 누적 온도분포 특성을 파악해보고 이들이 공구마모의 관점에서 난삭성에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 집중 검토하고자 한다. 이들을 검토하기 위해 절삭온도의 거동은 열전대를 이용하여 절삭가공 실시간 실험적으로 처리하여 그 데이터는 유한요소 해석을 해보았다. 이로부터 공구온도의 변동 특성을 구하고, 공구마모의 진전 과정은 optical contour mapping 처리를 하여 특징 요인을 추출한 후 이들 양자 특성을 비교 검토하여 상관성을 파악하였다.

II. 유한요소 해석을 위한 경계조건

절삭할 때 에너지의 대부분은 열로 변환되며 열의 발

생 영역은 전단면, 칩·공구 계면, 여유면 등이다. 대부분의 열은 전단면에서 발생되며 발생 열의 대부분은 칩과 함께 제거되지만, 그 일부는 공구에 또 다른 일부는 가공물에 전도된다. 전도되는 이들 열에 의해 공구는 고온경도가 약화되기 때문에 마모가 심화된다.

본 연구는 절삭온도의 실측 값을 구하기 위하여, 공구의 절삭인선 부근에 설치한 열전대로부터 측정된 국부온도 값을 이용하였다. 이로부터 실제 절삭온도 분포 데이터는 유한요소법을 이용하여 구하였다. 다음은 유한요소 해석을 하기 위해 경계조건을 구한 수식들이다.

경계면의 일부에서 온도를 알고 있다면

$$T = T_B(S) \quad (1)$$

여기에서 T_B 는 물체표면 길이 S의 함수를 갖는 경계온도를 나타낸다. 열이 대류나 열유속(heat flux)에 의하여 경계상에서 얻어지거나 잃는다면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

h 는 대류열전달계수이고 T 는 공구 경계면의 온도, T_∞ 는 공구를 둘러싸고 있는 유체의 온도, l_x, l_y 는 방향 코사인이며, q 는 열유속이다. 경계 조건식 (1), (2)에 대응하는 범함수는 다음과 같다.

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

재료성질 행렬은

$$D = \begin{bmatrix} k_{xx} & 0 \\ 0 & k_{yy} \end{bmatrix} \quad (4)$$

식 (4)에 대응되는 범함수는 다음과 같다.

$$I = \sum_{e=1}^E \int_{v^{(e)}} \frac{1}{2} \{g^{(e)}\}^T [D^{(e)}] \{g^{(e)}\} dV - \int_{v^{(e)}} T^{(e)} q^{(e)} dV + \int_{s^{(e)}} T^{(e)} q^{(e)} dS + \int_{s^{(e)}} \frac{h^{(e)}}{2} [T^{(e)} T^{(e)} - 2T^{(e)} T_\infty + T_\infty^2] dS \quad (5)$$

$$\frac{\partial I}{\partial \{T\}} = \frac{\partial I}{\partial \{T\}} \sum_{e=1}^E I^{(e)} = \sum_{e=1}^E \frac{\partial I^{(e)}}{\partial \{T\}} = 0 \quad (6)$$

절점값 {T}에 대하여 요소값으로 다시 쓰면

$$\{g^{(e)}\} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T^{(e)}}{\partial x} \\ \frac{\partial T^{(e)}}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N^{(e)}}{\partial x} \\ \frac{\partial N^{(e)}}{\partial y} \end{bmatrix} \{T\} = [B^{(e)}]^T \{T\} \quad (7)$$

전체 영역에 대한 유한요소방정식은

$$\frac{\partial I^{(e)}}{\partial \{T\}} = [k^{(e)}] T + \{f^{(e)}\} \quad (8)$$

요소의 전도 행렬과 하중 벡터는 다음과 같다.

$$[k^{(e)}] = \int_{v^{(e)}} [B^{(e)}]^T [D^{(e)}] [B^{(e)}] dV + \int_{s_2^{(e)}} h [N^{(e)}]^T [N^{(e)}] dS \quad (9)$$

$$\{f^{(e)}\} = - \int_{v^{(e)}} q [N^{(e)}]^T dV + \int_{s_1^{(e)}} q [N^{(e)}]^T dS - \int_{s_3^{(e)}} h T_{\infty} [N^{(e)}]^T dS \quad (10)$$

절삭열의 누적으로 인해 공구면에 분포되고 있는 온도 값은 등온선 형태로 처리하여 분석을 하였으며, 공구온도 해석에 사용된 요소 분할은 요소 1024개, 절점 수는 651개로 구성하였다.

III. 실험 방법

실험에서 사용한 피삭재와 공구는 오스테나이트계 스테인레스강, 공구기하학은 주절인각 90°, 부절인각 0°, 유효경사각 6°인 P 20 초경합금 T.A 공구이다. 절삭조건으로는 절삭 속도 165, 120, 70m/min 절입량 0.7mm 및 이송은 0.05, 0.09, 0.25mm/rev이다. 실험은 신뢰성을 확보하기 위해 각 실험조건별 10회씩 반복 실험하면서 결과 파악을 하였다.

공구면에 발생하는 각종 마모량 측정은 각각의 절삭 조건으로 길이 방향 절삭이 1회 완료된 상태에서 바이트 팁을 공구 홀더에서 분리한 후 실체현미경으로 먼저 확인을 하여 마모 상태를 파악한 후 공구현미경과 실체현미경, 디지털 다이얼게이지 테스터에서 각각 플랭크마모 폭, 그루브마모 폭, 크레이터마모 깊이를 측정하였

다. 동시에 크레이터마모가 발달되는 경우 성장 과정에 대한 특성 파악을 위하여 각각의 크레이터 성장 윤곽과 그루브마모가 발달하면서 손상되어가는 부분을 경사면 상에서 성장윤곽으로 각각 등고선도로 작성하였다. 공구 수명은 I.S.O 단인공구 수명판정기준에 준하여 플랭크마모 폭과 크레이터마모 깊이를 정하였다. 그루브마모 값은 1.0mm가 추천되기도 하지만 본 실험을 위한 예비 실험 결과 난삭성을 가지는 피삭재의 경우 0.6mm 부근에 도달하면 대체로 다른 정상마모와 함께 심하게 손상되어 더이상 절삭을 어렵게 만드는 특성을 나타냄에 따라 여기서는 마모 기준을 0.6mm로 정하였다.

Fig. 1은 절삭온도를 측정하기 위하여 TA공구 및 바이트 팁에 2개의 열전대를 삽입한 상태를 나타낸 그림이다. 여기에 나타난 바와 같이 공구홀더 밀면으로부터 연직 상 방향으로 1.8mm 구멍 2개를 가공하여 관통시켰다. 바이트 팁은 공구홀더의 관통된 구멍을 통해 열전대(φ1.6mm)가 공구 경사면에 가능한 한 가깝게 위치되도록 바이트 팁 밀면으로부터 2.5mm 깊이(바이트 팁 두께 3.2mm) 부위까지 방전가공을 하여 열전대를 삽입하고 공구와 일체가 되도록 고정구를 이용하여 고정시켰다. 절삭온도의 측정 및 해석용 프로그램은 Micro Assembler와 Turbo Pascal을 이용하여 작성하였다.

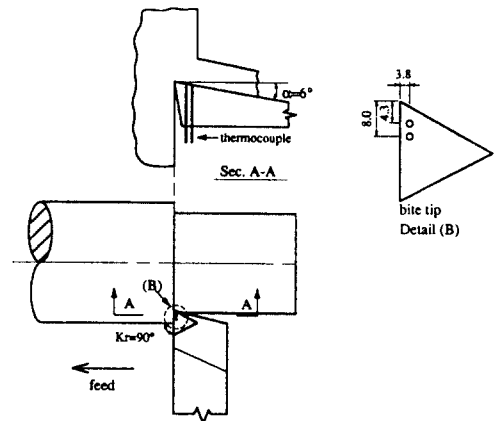


Fig.1 Thermocouple apparatus into the bite tip and tool holder in cutting process with $\alpha = 6^\circ$ and $k_r = 90^\circ$

절삭과정 중 공구마모 진전 상태량에 따르는 절삭온도 변동에 관한 특성을 검토하기 위해서 가공 실시간 각각의 실험에 대하여 모두 자료를 받았다. 온도 자료는 가공이 시작되어 공구가 각종 마모의 수명한계에 도달될 때까지 절삭과정 전구간에 걸쳐 받았다. 열전대는 K, ungrounded type을 이용하였다. 2개의 보상도선을 통해 출력된 전위차 값의 변동은 보상 값으로 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 이 때 자료는 A/D 컨버터를 통하여 신호를 변환시킨 후 전산 처리되었으며, 저장되는 자료는 그래픽 화면에서 1차 점검하면서 안정성 유무를 먼저 확인할 수 있도록 하였다.

IV. 결과 및 고찰

IV-1. 공구마모에 대한 절삭온도의 특성

기존의 연구들이^{1~6)} 공구마모와 밀접한 관련을 가지는 절삭온도의 특성 파악을 목적으로 절삭공구의 경사면 온도, 칩의 온도 특성을 실험과 해석적인 방법으로 파악하여 제시하고 있다. 한편 다양한 절삭조건을 이용하여 공구마모의 현상적 파악에 목적을 둔 연구⁷⁾가 제안된 바 있다. 그러나 이들은 공구마모와 절삭온도의 특성에 대해 효과적인 제안은 제시되고 있지만, 마모 진행시 측정되는 절삭 열이 경사면에 분포되는 특성과 동시에 각종 마모가 발생 후 발달되어 가는 특성을 상호관계로 동시에 파악하는 것에는 다소 미흡한 점이 있다. 여기서는 피삭재의 난삭성으로 기인하는 공구마모를 평가해 보고자 가공시간에 대한 공구의 경사면 온도를 실시간 처리하여 검토해 보았다. 또한 여기서의 난삭성은 주로 공구의 인선반경에 가까운 부절인이 심하게 터지면서 발생하는 크레이터마모의 경우와 주절인 후방 부위에서 발생 및 성장을 하면서 주절인 파손에 결정적 영향을 미치는 그루브마모가 원인이 됨을 파악하였다. 따라서 공구의 경사면 상에서 발달되는 이들 마모의 성장 특성을 규명해 볼 수 있도록 마모 단계별 등고선도로 처리하여 검토해 보았다. 이들로 부터 공구 경사면 상의 온도 특성과 난삭성의 상관성을 고찰해 본다.

Fig. 2,3,4는 SUS 304 가공 중 발생하는 공구의 정상마모로 분류될 수 있는 것들 중 크레이터마모 플랭크마모 및 그루브마모가 주로 성장됨으로 인하여 수명한계에 도달된 경우, 이 과정에서 공구 경사면 상에 분포되

는 온도특성을 나타내 본 결과들이다. 여기서 마모가 발생되어 수명한계에 도달할 때까지 공구에 축적되어지는 과정의 온도값 측정은, 실험장치로부터 디지털 신호로 변환시켜 2~5분 간격으로 8.2초 동안 32768개씩 샘플링하여 자료를 취하고 컴퓨터에 저장한 후 각각 평균 온도로 구하여 유한요소법 해석을 하는데 활용되었고 경사면 온도분포를 구하여 나타낼 수 있었다.

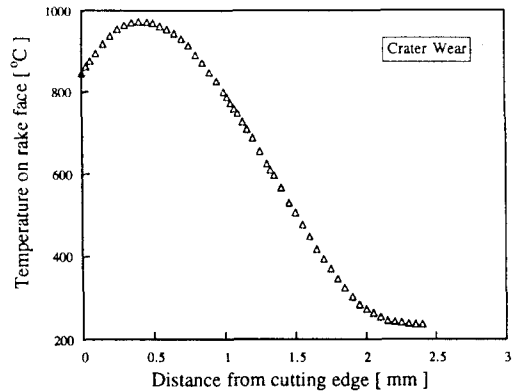


Fig. 2 The relation between temperature on rake face and distance from cutting edge($V=165\text{m/min}$, $d=0.7\text{mm}$, $f=0.25\text{mm/rev}$)

Fig. 2는 마모진행시 산화작용으로 부절인이 손상되는 현상으로 나타난 대표적인 크레이터마모의 경우를 경사면온도와 절삭인선으로 부터의 거리로 나타낸 것이다. 절삭조건으로는 절삭속도 165m/min, 절입량 0.7mm, 이송 0.25mm/rev이고 마모판정 평균시간은 4.5분이었으며, 절삭불능의 상태라고 판정된 상태에서 주절삭인부측의 플랭크마모값은 0.11mm, 그루브마모값은 0.14mm로 측정되었다. 이 때 경사면 최고온도는 973°C에 달하며 절삭인선으로부터 1mm 이내에서 절삭 열은 집중적으로 공구 경사면 상에 축적되면서 공구 재료의 고온경도 한계를 넘어가게 된다. 특히 이 그림에 나타난 최고온도에 도달하는데 걸리는 시간은 중절삭되는 절삭조건에서는 절삭이 개시된 시점으로부터 수분 이내가 되고 있다. 절삭인선으로부터 1mm를 넘어서면서 급격하게

온도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 칩·공구 접촉 계면에서 경사면 상의 온도가 최고점에 이르는 것으로 설명할 수 있으며, 특히 공구인선에 연하여 최고온도에 도달하는 특징으로 크레이터마모가 심화되는 것이 특징이었다. 원인은 열전도율이 탄소강의 1/3 정도 밖에 되지 않으므로 절삭인 부근에서 칩의 전단에 기인한 열의 발산이 원활하게 전도되지 못하므로써, 중절삭조건을 취하는 경우 열적 안정성이 문제가 되어 절삭인선 부위의 공구 경사면 상에서 크레이터마모를 심화시키게 된다고 볼 수 있다. 여기서 또 한가지 특징은 절삭인에는 산화현상으로 인한 날터짐 현상이 절삭 불능의 상태에 이르게 하는 특성으로 나타나고 있다. 경사면 상에 발생하는 크레이터마모의 성장 특징은 IV-2절에서 검토되었다.

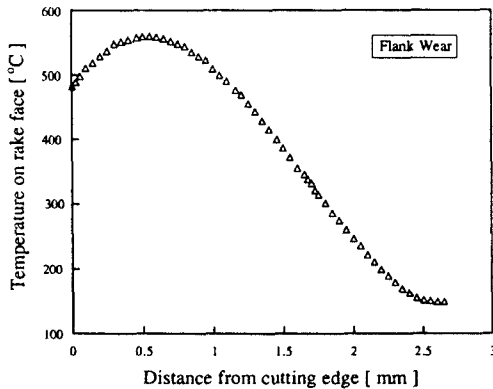


Fig. 3 The relation between temperature on rake face and distance from cutting edge ($V=165\text{m/min}$, $d=0.7\text{mm}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)

Fig. 3은 정상마모로 성장되는 플랭크마모가 진행된 경우, 공구온도 분포 특성을 검토하기 위해 경사면에 축적되는 온도 분포 상태를 검토한 내용이다. 절삭조건으로는 절삭속도 165m/min, 절입량 0.7mm, 이송 0.05mm/rev이고 마모판정 평균시간은 29분이었으며, 플랭크마모 수명한계 기준으로 판정한 상태에서 주절삭인부 측의 그루브마모값은 0.34mm로 측정되었으며 플랭크마모와 병행하여 그루브마모도 성장됨을 볼 수 있었

던 반면, 크레이터마모값은 0.009mm로서 거의 무시할 정도 밖에 성장하지 아니하였음을 볼 수 있었다. 여기서는 uncut chip 단면적을 Fig. 2의 조건보다 훨씬 작게 취하여 경절삭으로 변화시킨 결과로 축적되는 공구 온도는 현저하게 낮게 나타나고 있다. 최고온도는 크레이터마모에 비해 크게 낮아 공구 재료의 고온경도에는 훨씬 미치지 못하여 560°C 열적 안정성은 유지하고 있지만, 역시 절삭인선으로부터 1mm 이내에서 최고온도가 형성되며 그 후부터는 공구 온도가 급격하게 줄어들고 있다. 플랭크마모가 영향을 주는 조건에서는 대체로 난삭성은 보이지 않았다.

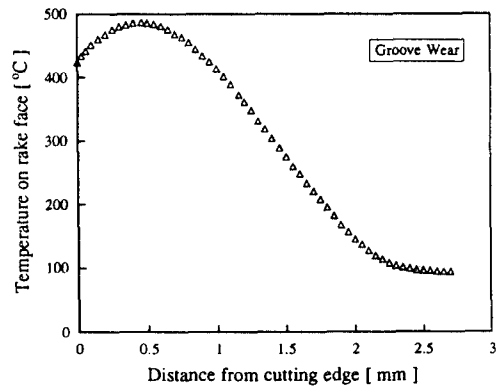


Fig. 4 The relation between temperature on rake face and distance from cutting edge ($V=120\text{m/min}$, $d=0.7\text{mm}$, $f=0.09\text{mm/rev}$)

Fig. 4는 그루브마모가 심화되면서 공구가 파손에 이르게 된 경우 공구온도 분포 특성을 파악해 보기 위하여, 경사면에 축적되는 온도 분포 상태를 검토한 내용이다. 절삭조건으로는 절삭속도 120m/min, 절입량 0.7mm, 이송 0.09mm/rev이고 마모판정 평균시간은 35분이었다. 그루브마모 수명한계 기준으로 판정한 상태에서 주절삭인부 측의 플랭크마모값은 0.14mm로 측정되었다. 여기서도 크레이터마모값은 0.008mm로서 거의 무시할 정도 밖에 성장하지 아니하였음을 볼 수 있었다. 이 경우도 역시 최고온도는 크레이터마모에 비해 현저하

게 낮고 또한 플랭크마모의 것보다 다소 낮은 487°C로 나타나고 있으며, 온도분포의 경향은 앞의 데이터들과 같이 1mm 이내에서 최고온도에 도달하다가 그 후부터는 급격하게 감소하면서 절삭열의 영향과 무관함을 볼 수 있다. 이러한 재료와 같이 열전도율이 낮은 경우는 공구 쪽으로 전도되는 열량이 많아지므로 절삭이 지속되면서 난삭성의 원인이 됨은 보편적인 결과가 되고 있다. 따라서 다음 절에서 공구마모 진행과정을 구체적으로 검토하겠지만, 칩의 흐름 상태를 개선하여 칩·공구 경사면 사이에 전도되는 열의 유입을 다소 줄일 수 있도록 공구 경사면에 대한 형상관리는 확인된 온도 분포 특성을 고려하여 검토할 필요성이 있다고 본다.

IV-2 마모기구의 mapping에 의한 해석

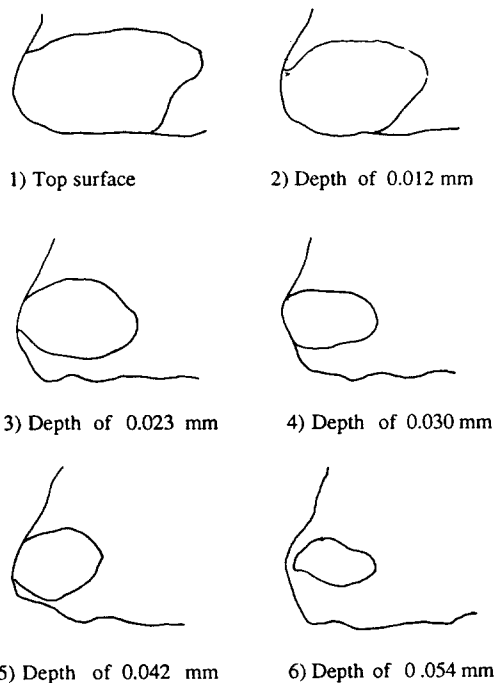


Fig. 5 Individual contour maps(crater wear)

절삭이 진행됨에 따라 절삭인선의 일부가 기계적, 화학적, 열적 요인에 의해 손상되는데 이러한 현상의 진행

과정을 정밀 분석하기 위하여 등고선 처리를 하였다. 이는 Wu⁷⁾가 제안한 optical contour mapping 방법을 활용하였다.

Fig. 5,6은 크레이터마모가 심화되고 있는 과정을 등고선 처리를 하여 성장 단계별로 나타낸 것이다. 공구의 유효경사각은 6°, 절삭속도 165m/min, 절입량 0.7mm, 이송 0.25mm/rev의 조건을 취한 경우를 편의상 6단계로 구분하여 검토해 보았다. 앞 절의 공구온도 분포를 검토하면서 절삭인선으로부터 1mm 이내에서 최고온도에 이르는 것을 볼 수 있었던 바와 같이, 크레이터마모가 심화되면서 점점 주절인에 가깝게 크레이터가 성장해 가는 것을 볼 수 있다. 특히 Fig. 5의 3)으로부터 주절인에 미소 치핑이 발생하고 있으며 부절인은 산화 손상이 심화되면서 수명한계에 도달하기도 전에, 이 영향으로 절삭불능 상태에 이르는 경우가 빈번하였다. 즉 본 실험에서 검토된 바에 의하면 크레이터마모가 난삭성의 원인으로 부각되는 것은 당연하지만, 그 특징은 부절인의 손상이 난삭성의 주원인이었으며 주절인은 크게 손상을 입지 아니하는 것이 지배적이었다.

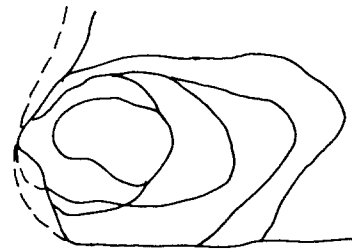


Fig. 6 Completed contour map of the crater obtained by superimposing the individual contour drawing given in Fig.5($\alpha = 6^\circ$, $V = 165\text{m/min}$, $d = 0.7\text{mm}$, $f = 0.25\text{mm/rev}$)

선삭가공에서 절삭처리를 하는 경우 그루브마모가 문제시 되고 있으므로 이에 대한 관심도 절삭현상 연구의 관심거리가 되고 있다. Fang⁸⁾은 그루브마모의 영향 평가를 목적으로 가공 실시간 그루브마모 성장과정을 특징인자로 다루어 연구 발표한 바 있다. 니켈기 합금을

절삭할 때 공구의 절입량에 상당하는 부위에 그루브마모가 발생하게 되며, 이는 절삭속도의 영향을 받으며 절삭속도의 변화에 수반하는 칩 생성 형태와 밀접한 관련이 있다고 보고하였다.

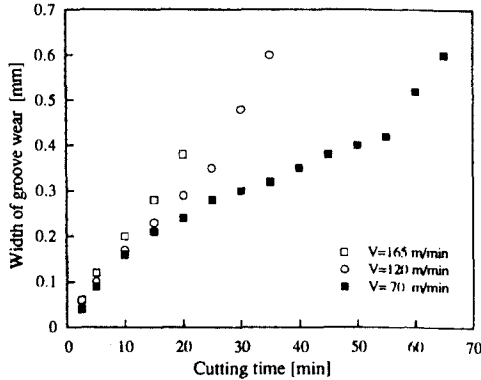


Fig. 7 The relation between width of groove wear and cutting time($d=0.7\text{mm}$, $f=0.09\text{mm/rev}$)

절삭속도가 중·저속이 됨에 따라 그루브마모에 의해 공구가 수명한계에 이르는 것이 본 연구에서는 두드러진 현상이었다. Fig. 7은 절삭속도를 165, 120, 70 m/min으로 변화시킬 때 절삭시간의 경과에 따르는 그루브마모의 성장 특성을 파악해 보기 위해 나타낸 것이다. 이 그림에서 나타나는 특징으로는 빠른 절삭속도의 영역에서는 크레이터마모나 플랭크마모로 인하여 공구는 수명한계에 도달하므로 그루브마모가 크게 성장하지 못하지만, 절삭속도가 70m/min에서는 그루브마모로 인하여 수명한계에 이르는 것을 볼 수 있다. 한편 절삭 개시 후 55분부터 마모 성장은 급격히 빨라짐을 볼 수 있는데, 이는 재료의 피로한계일 것으로 생각된다. 따라서 본 실험에 사용된 피삭재의 경우는 저속역이라도 공구수명에는 이러한 점에서 제한을 받는 것으로 확인되었다.

Fig. 8.9는 그루브마모가 성장되고 있는 과정을 단계별로 나타낸 것이다. 등고선도에서 확인할 수 있는 바와 같이 그루브마모가 급격하게 성장하면서 절삭인선 쪽으로 진행하기 때문에 공작물과 접촉하면서 절삭에 관여해야 될 플랭크면의 주절삭인부를 점점 감소시키게 된다.

이들이 인부를 약화시키기 때문에 좁아지는 플랭크면이 발열 및 절삭력에 대한 강도 약화로 인하여 플랭크마모가 심화되거나 파손으로 진전된다. 따라서 그루브마모가 수명한계에 도달하기 전에 다른 마모로 전이가 심각하게 발달되는 점에 주목할 필요가 있다.

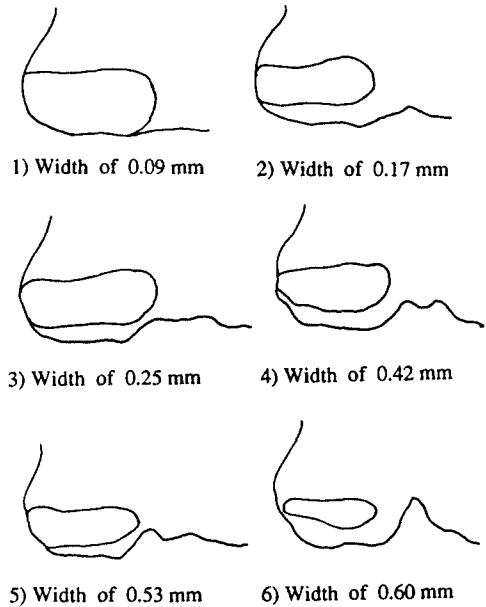


Fig. 8 Individual contour maps(groove wear)

등고선 처리를 하여 검토한 그루브마모 특성을 보면, 소성변형에 의해서 칩의 폭이 외주 측으로 증가하고 이 부분은 공구 경사면에서 여유면 측으로 압축력을 작용시키기 때문에 절삭인이 손상된다고 볼 수 있겠다. 이러한 요인으로 공작물의 외주면과 절삭 단면에서 형성되는 인선부위에 버어 발생하며, 버어는 가공경화에 의해 두드러지게 경도가 증가하고, 수많은 톱날 형상을 하고 있는 경화된 버어가 절삭인의 능을 초과하므로 절삭에 관여하고 있지 않은 절입 경계부 후방의 절삭인 능을 심하게 손상시키면서 성장하므로써, 앞에서 검토한 바와 같이 플랭크마모의 성장을 촉진시키기도 하지만 주로 인선 파손의 주원인으로 작용하게 되어 절삭이 불가능해짐이 확인되었다.

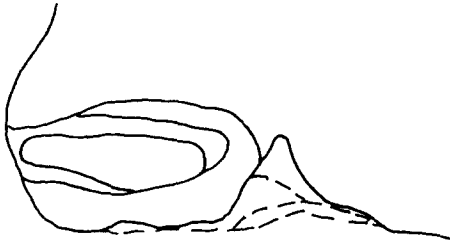


Fig. 9 Completed contour map of the worn cutting edge with groove wear obtained by superimposing the individual contour drawing given in Fig.8 ($\alpha = 6^\circ$, $V=120\text{m/min}$, $d=0.7\text{mm}$, $f=0.09\text{mm/rev}$)

여기서 난삭재료의 난삭성은 고속 역의 절삭속도를 극복하기 어렵지만, 또한 저속 역의 경우에서도 상당한 정도의 문제점이 도출되는 것을 확인하였다.

V. 결 론

절삭온도 해석 결과에서 공구마모에 따르는 경사면 상의 온도 분포 상태와 등고선도를 통하여 확인해 본 공구마모 진전에 따르는 성장과정을 집중 검토해 본 바 다음의 결론을 얻었다.

1. 열전도율이 낮은 피삭재료는 중절삭으로 인한 크레이터마모가 심화되는 경우, 대체로 부절인의 산화손상이 절삭 불능의 원인이 되는 난삭성으로 연관되고 있지만 주절인은 유지가 되는 점이 주목된다.
2. 경절삭의 경우 버어의 영향으로 인한 그루브마모가 지배적으로 난삭성에 영향을 미치고 있으며, 이는 주절인 파손, 플랭크면의 최소화 및 절삭 불능으로 이어지므로 트러블 요인을 배제할 수 있는 절삭조건의 선정이 요구된다.
3. 열전도율이 낮은 재료 가공의 경우 절삭인선에 의하여 공구내에서 최고온도가 분포되며, 이로 인하여 산화손상 원인이 되므로 칩 유동방향 선택을 고려하는 것이 공구면 형상관리 측면에 도움이 될

것이다.

본 논문에서 검토한 연구 내용들은 절삭공구의 열적마모와 열변형해석에 대한 연구의 자료로서 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. A.C. Rapier : A Theoretical Investigation of the Temperature Distribution in the Metal Cutting Process, British Journal of Appl. Phys. Vol.5, pp.400-405, Nov. 1954.
2. D.A. Stephenson : Assessment of Steady-State Metal Cutting Temperature Models Based on Simulations Infrared and Thermocouple Data, ASME Journal of Engineering for Industry, Vol.113, pp.121-128, May 1991.
3. G. Boothroyd : Effect of Tool Flank Wear on the Temperatures Generated during Metal Cutting, MTD, pp.667-680, 1967.
4. S.Kato : Measurement of Temperature Distribution within Tool Using Powders of Constant Melting Point, Trans. ASME, pp. 607-613, May 1976.
5. H.T. Young : An Experimental Investigation of Temperatures in Chip Formation, Proceedings of the 29th International MATADOR Conference, pp. 559-565, Apr. 1992.
6. S.Lo Casto, E.Lo Valvo, M.Piacentini : Cutting Temperatures Evaluation in Ceramic Tools : Experimental Tests, numerical Analysis and SEM Observations, Annals of the CIRP, Vol. 43/1, pp.73-76, 1994
7. S.M. Wu, R.N. Meyer : An Analysis of the Development of Carbide Tool Crater Wear, Int.J.Mach. Tool Des.Res, Vol.7, pp.123-153, 1967
8. X.D.Fang, Y.Yao, G.Arndt : Monitoring Groove Wear Development in Cutting Tools via Stochastic Modelling of Three-Dimensional Vibrations, Wear, Vol. 151, pp. 143-156, 1991.