

〈技術論文〉

2차원 선삭시 고속도강 공구의 플랭크면 절삭온도 예측

전태옥 · 배춘익

(1995년 4월 19일 접수)

Prediction of Cutting Temperature in Flank Face at High Speed Steel in Orthogonal Turning

Tae-Ok Jun and Choon-Eek Bae

Key Words : Orthogonal Turning(2차원 선삭), Temperature Distribution(온도분포), Flank Face(공구여유면), Strain Rate(변형속도)

Abstract

Temperature distribution on the flank face in orthogonal turning with cutting tool of high speed steel is studied by using a finite element method and experiments. Experiments are carried out to verify the validity of the temperature measurement by using a thermoelectric couple junction imbedded in a cutting tool of high speed steel. Good agreement is obtained between the analytical results and the experimental ones for the temperature distributions on flank face of cutting tool with high speed steel. The analytical results show that the temperature on the top flank face of a tool is higher because of the difference of the friction velocity on each face of the tool.

1. 서 론

절삭가공시 재료의 성질, 절입과 이송, 공구각, 절삭속도 등은 공구의 수명 및 가공물의 정밀도 등에 영향을 미치므로 능률적인 작업을 고려한 경제적 절삭조건의 설정은 중요하다. 그러므로 절삭성향상을 고려한 과학적 절삭방법을 많은 학자들이 연구하게 되었다.⁽¹⁾

특히 기계가공 공정중에 발생하는 공구의 마멸 및 파손에 따른 공구의 수명은 무인가공시 제품의 불량발생 및 비가공시간의 증가요인이 되고 가공오차를 발생시키는 직접적인 원인이 되므로 자동화 작업 및 생산성 향상을 위한 공구의 수명예측은 대단히 중요하다.

공구마멸의 원인은 여러가지가 있으나 가장 주된

원인으로는 절삭가공시 발생하는 절삭열에 기인된다는 판단이다,^(2,3) 그러므로 공구의 마멸과 파손의 기구를 해명하기 위해서는 공구인선부의 정확한 절삭온도분포를 알아보는 것이 반드시 필요하다.

근년 많은 학자들의 공구수명에 대한 연구는 가공중 발생하는 절삭열과 마찰열이 공구의 수명에 미치는 원인 규명에 대한 연구로서 유한요소 해석법을 적용하는 경우가 있다. 절삭기구에서 유한요소의 활용은 해석영역을 세분화할 수 있고 복잡한 경계조건의 처리가 유리한 장점이 있다.

수치해석에 있어 유한요소법을 이용한 절삭온도 분포의 계산은 Stevenson 등⁽⁴⁾에 의해 처음 기술되었고, 그후 Wright⁽⁵⁾는 2차원 정상 절삭상태에서 칩의 형상, 잔류응력 및 변형률에 대한 연구를 하였으며, Mori 등⁽⁶⁾은 공구인선의 소성변형과 해석을 시뮬레이션(simulation)하였고, 근년 Owski⁽⁷⁾는 2차원 절삭시 공구경사면의 유출 칩에 대한 온도분포를 해석하였다. Murarka 등⁽⁸⁾은 금속절삭시

*회원, 동아대학교 기계공학과

**회원, 경남전문대학 기계설계학과

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \left(k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \dot{Q}_i = 0 \quad (1)$$

$i=1, 2$

식 (1)에서 ρ 는 밀도, k 는 열전도율, u 와 v 는 x, y 방향의 속도성분이며, x 와 y 는 좌표, T 는 절삭온도를 나타낸다. \dot{Q}_i 는 단위체적내 발생하는 열로서 $i=1$ 은 칩의 소성변형에 따른 발생열이며, $i=2$ 는 공구와 칩의 경계에서 발생하는 마찰열로 표시된다. 소성변형이 일어나는 전단영역의 한점에서의 발생열 $d\dot{Q}_1$ 에 대해 고려하면 식 (2)로 쓸 수 있다.

$$d\dot{Q}_1 = C \dot{\gamma} w \quad (2)$$

C 는 상수, w 는 칩의 폭이며 $\dot{\gamma}$ 는 변형속도 (strain rate)로서, 평균 전단유동응력 (average shear flow stress)의 변화에 대한 시간적 변화 비율인 스트레인속도를 나타내며, 소성영역에서 발생하는 총 에너지발생을 소비된 동력의 항으로 표시하면 다음과 같다.

$$\dot{Q}_1 = F_s V_s \quad (3)$$

F 는 전단분력, V 는 전단속도이며 하첨자 s 는 전단 (shear)을 나타낸다. 식 (2)를 적분하여 식 (3)과 동일하게 하면, C 의 값은 식 (4)로 된다.

$$C = \frac{F_s V_s}{w \int_A \dot{\gamma} dA} \quad (4)$$

A 는 절삭면적이며, 가공물과 2공구 사이의 마찰열은 절삭인선 (cutting edge)에서 임의의 x 거리까지의 열로써 식 (5)로 된다.

$$d\dot{Q}_2 = \tau V_n w \quad (5)$$

τ 는 전단응력이고, V_n 는 칩이 공구와 경계를 이루는 면을 따라 지나는 속도를 나타내며 Tay 등⁽¹⁰⁾은 식 (6)으로 나타낸다.

$$V_n = \frac{1}{3} v \sqrt{1 + \frac{8x}{l}} \quad (6)$$

n 은 경사면 방향을 나타내며 l 은 접촉길이이다. 따라서 마찰에 의해서 발생하는 전열량은 식 (6)을 식 (5)에 대입하여 적분하면 다음 식으로 표시된다.

$$\dot{Q}_2 = \frac{27}{36} w l \tau v \quad (7)$$

2차원 정상 에너지식을 풀기위한 경계조건도 Fig. 1과 같이 고려된다. 여기서, S_1 은 가공물의 외벽이 주위공기와 접하고 있는 경계로서 주위의 공기온도를 고정값으로 하며, S_2 는 칩과 공구가 마찰되는 영역을 나타낸다. 그리고 S_3 는 칩과 공구의 외벽이 주위공기와 접하고 있는 경계를 보여준다.

(1) 경계 S_1 에서는 주위의 온도와 제1종 경계조건을 가지므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$x=0 \text{ 그리고 } y=0$$

$$T_w = T_a \quad (8)$$

이며 a 는 공기 (air), w 는 벽면 (wall)을 표시한다.

(2) 경계 S_2 에서는 식 (7)과 같이 마찰에 의해서 일정한 열이 발생된다고 고려하므로 제2종 경계조건이 취급된다.

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = q \quad (9)$$

(3) 경계 S_3 에서는 주위와 대류열전달이 일어나므로 제3종 경계조건을 고려할 때 다음과 같이 표시된다. h 는 대류 열전달계수이다.

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_w - T_a) \quad (10)$$

(4) 경계 S_4 에서는 단열로서 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (11)$$

3. 수치해석

3.1 수치해석식

각 요소에 대한 온도의 절점값을 $\{T^e\}$ 라고 하면 칩, 가공물 그리고 공구부분을 전체 영역으로 한 근사함수식은 다음 식으로 나타낸다.

$$T = [N] \{T^e\} \quad (12)$$

여기서, $[N]$ 은 형상함수이며 사각형의 각 요소에 대한 꼭지점의 형상함수는 다음과 같이 단순하게 나타내어진다.

$$N_1 = \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)$$

$$N_2 = \frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)$$

$$N_3 = \frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta)$$

$$N_4 = \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 - \eta) \quad (13)$$

ξ, η 는 고려된 사각요소의 국지좌표계로써 각각 x, y 방향으로 -1 에서 $+1$ 까지의 변화로 정의되고 식 (1)에 식 (12)를 대입하여 각요소에 대한 근사 함수식을 전체영역으로 나타내면 식 (14)와 같이된다.

$$\begin{aligned} & \iint_v N_i \left[\left(k_x \frac{\partial^2}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \right] [N] \{T\}^e \\ & + \left\{ \rho C_p \left(u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} \right) \right\} [N] \\ & \{T\}^e + \dot{Q} \Big] dx dy = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

식 (14)을 그린의 정리(Green's theorem)와 식 (8)~식 (11)의 경계요소에 적용시켜 각요소를 전체영역에 대한 수치해석으로 정리하여 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \iint_v \left[\left\{ K_x \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial [N]}{\partial x} + k_y \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial [N]}{\partial y} \right\} \right. \\ & + \rho C_p u N_i \frac{\partial [N]}{\partial x} + \rho C_p v N_i \frac{\partial [N]}{\partial y} \Big] \{T\}^e dx dy \\ & + \iint_v N_i \dot{Q} dx dy + \int_{s_q} N_i q ds \\ & + \int_{s_h} N_i h [N] \{T\}^e ds \\ & - \int_{s_h} N_i h T_a ds = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

식 (15)를 매트릭스(matrices)형으로 표시하면 식 (16)과 같이 나타내어지고,

$$[H] \{T\} + \{F\} = 0 \quad (16)$$

여기서, $[H]$ 는 식 (17)과 같이 요약된다.

$$\begin{aligned} & \iint_v \left[\left\{ K_x \frac{\partial N_i}{\partial x} \cdot \frac{\partial [N]}{\partial x} + k_y \frac{\partial N_i}{\partial y} \cdot \frac{\partial [N]}{\partial y} \right\} \right. \\ & + \rho C_p u N_i \frac{\partial [N]}{\partial x} + \rho C_p v N_i \frac{\partial [N]}{\partial y} \Big] dx dy \\ & + \int_{s_h} N_i h [N] ds \end{aligned} \quad (17)$$

그리고 $\{F\}$ 는 식 (18)과 같이 나타내어지며

$$\int_{s_q} N_i q ds - \int_{s_h} N_i h T_a ds + \iint_v N_i \dot{Q} dx dy \quad (18)$$

다시 요약하면 식 (19)과 같다.

$$\{F\} = \{F\}_{sq} + \{F\}_{sh} + \{F\}_{gn} \quad (19)$$

여기서, $\{F\}_{sq}$ 는 칩이 공구와 경계를 이루는 면을

따라 l 의 접촉길이를 가지고 마찰에 의해서 발생하는 열량으로 식 (7)이 적용되며, $\{F\}_{sh}$ 는 주위와 대류열전달이 일어날때 경계벽의 온도 T_w 에 대한 주위온도 T_a 가 주위로 열전달이 일어 남을 나타낸다. 그리고 마지막항 $\{F\}_{gn}$ 은 단위체적내에 발생하는 열로 칩의 소성변형에 대한 발생열로 적용되며 그 스칼라량은 식 (3)과 같다.

3.2 수치해석의 유동도

수치해석을 위하여 가공재의 전단영역으로부터 공구등을 4각형 요소로 분할하였으며 공구의 요소수는 267요소, 절점수는 314절점으로 요소번호의 매김은 전단의 선단부에서 부터 시작하여 공구인선부, 공구생크 순으로 요소번호를 표시하였다.

전단면부와 가공물 사이의 경계를 형성하는 바깥쪽 요소수는 22요소로 이 경계를 따른 온도가 모든 방의 온도로 정해지며, 전단구역의 유선상의 절점의 수는 27개이다.

단위요소의 최소 한변의 길이는 0.015 mm에서 부터 공구생크 끝부분의 7.6 mm까지이며, 요소분할에 사용된 절삭후의 칩의 두께는 0.5 mm, 가공재의 요소분할 면적은 1×5 mm, 공구는 폭 $12.7 \times$ 길이 50 mm이다.

Fig. 2는 수치해석에 사용한 플랭크면의 요소분할 및 절점번호를 나타 낸것이다.

Fig. 3은 절삭조건의 변화에 따른 절삭온도분포의 변동특성을 계산하기 위한 유동도(flow chart)

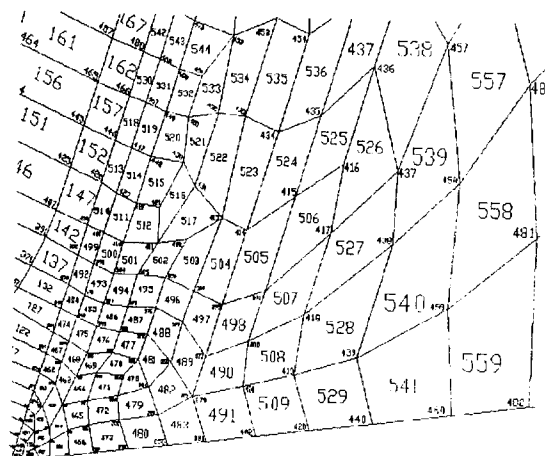


Fig. 2 Expression of quadrilateral elements and nodes number

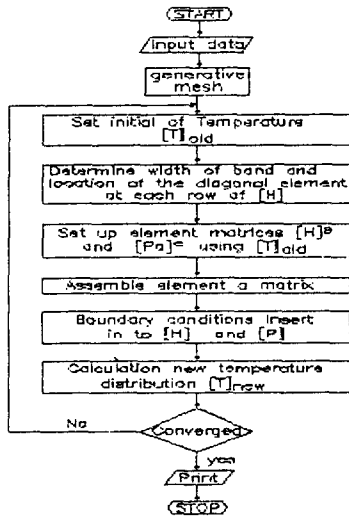


Fig. 3 Flow chart in temperature distributions analysis of program

이며, 온도분포를 해석하기 위한 입력데이터는 총 요소수 714 및 813절점이며, 표준이 되는 요소의 기준온도는 22°C이다. 계산에서 수렴반복 및 회수의 경우 수렴은 해석반복값 차에 대한 비가 0.05이하인 경우로 하였으며 해석의 수렴은 해석반복회수가 8인 경우 수렴으로 하였다. 일반적으로 재료정수는 온도에 따라 변화하므로 재료정수를 구하여진 온도에 대해 수정하고 다시 매트릭스의 계산에서 같은 수순을 반복한다.

계산에 사용한 공구는 고속도강 공구로서 공구 레이크면과 플랭크면의 각은 18° 및 8°이고 가공재는 탄소강 SM45C 이다.

계산에 사용한 재료데이터의 물리적 성질을 Table 1에 나타내며 입력된 데이터를 기초로 하여 열강성 매트릭스 $[H]$ 을 계산하고, 그 역행 열식을 계산하므로 온도분포 $\{T\}$ 를 구한다.

전단면 열량 q_1 은, 식 (3)으로 소성영역에서의

Table 1 Physical properties

(Metals Handbook 1)

KS D : 1020 Work piece (SM45C)				AISI : M2 Tool (High speed steel)
Specific gravity kg/m ³	Density g/cm ²	Thermal conductivity cal/cm ² ·cm·s·°C	Specific heat cal/g·°C	Average conductivity of the tool material cal/cm ² ·cm·s·°C
7.857143	0.28000	0.0774996	0.109	0.500000E-03

Table 2 Cutting conditions and measured data

Test No.	Cutting speed m/min	Vertical component of resultant force Kg	Horizontal component of resultant force Kg	Depth of cut mm	Uncut chip thickness mm/rev	Tool-chip contact length mm	Shear angle degrees	
01	101.562	32.052	6.873	1.20	0.20	1.527	35.6	
02	119.023	30.921	6.204			1.402		
03	139.267	29.168	5.877			1.106		
11	134.274	34.072	8.002	1.00	0.20	1.202	31.64	
12		25.687	5.934	0.80		1.273	25.45	
13		22.664	4.112	0.70		1.273	23.17	
21	142.526	30.922	6.804	1.20	0.20	1.200	36.5	
22		22.276	4.275			0.10		1.252
23		11.515	2.423			0.04		1.305

발열량으로 계산되어 식 (14)에 입력 되었다. 경계 조건 s_1 에서의 온도는 대기온도 22°C 를 기준으로 하고, 경계 s_2 에서의 발생열은 칩과 공구의 미찰열로서 q_2 로써 입력되었다. 그리고 경계 s_3 에서의 대류열전달은 대기온도를 기준으로 하여 계산 수행되며 식 (10)으로 입력되었고, 경계 s_4 에서는 단열로 입력되었다.

수치해석 프로그램에 사용된 절삭데이터는 Table 2와 같으며, 절삭조건에 따른 각 데이터의 플랭크면 온도분포의 계산은 전산기로 행하였다.

4. 수치해석의 결과

수치해석에 사용된 Table 2의 절삭조건으로 정상절삭을 행하였을 경우 플랭크면의 온도분포 계산값을 Fig. 4에 등온선 그래프로 나타내었다.

Fig. 4은 Test No. 01의 조건으로 절삭속도 100 m/min, 주분력 32 Kg, 이송분력 6.9 Kg, 절입깊이 1.2 mm, 이송률 0.2 mm/rev인 경우로서, 플랭크면의 등온선의 간격이 40°C 인 것을 표시하고 있다.

플랭크면의 최고 온도점은 공구선단부에서 부터 0.45 mm 떨어진 절점번호 460의 398°C 이며, 절삭속도가 증가하면 플랭크면의 온도분포도 일정비율로 증가함을 알수 있다.

Fig. 5는 Test No. 01, 02, 03의 경우로써, 절입의 깊이와 이송률을 일정하게 하였을때 절삭속도를 100, 120, 140 m/min으로 증가시킨 경우 플랭크면의 온도분포를 공구선단부로부터 3 mm까지 표시하고 있다.

그림에서 절삭속도가 증가하면 플랭크면의 온도 분포도 증가하며 이온도 분포의 경향은 급격한 변

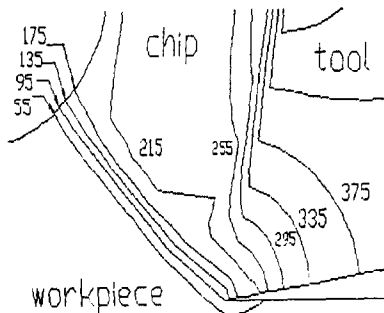


Fig. 4 Typical temperature distributions (Test No. 01)

하없이 전체적으로 상승하였다가 최고 온도점을 기점으로 하여 일정한 비율로 감소하여 간다.

절삭조건에 따른 온도분포를 알아보기 위하여 절삭속도 135 m/min, 이송률 0.2 mm/rev로 일정하게 하고 절입의 깊이를 변화시켰을 경우 플랭크면의 온도분포의 예를 Fig. 6에 나타내었으며,

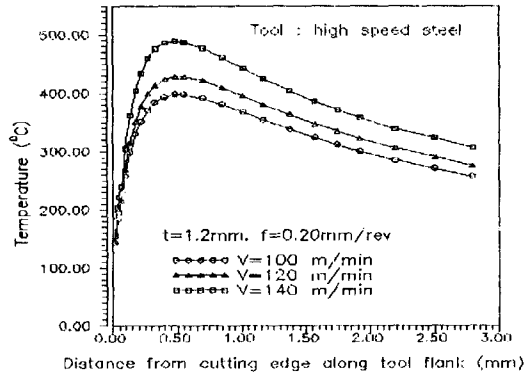


Fig. 5 Effect of cutting speed on flank face temperature

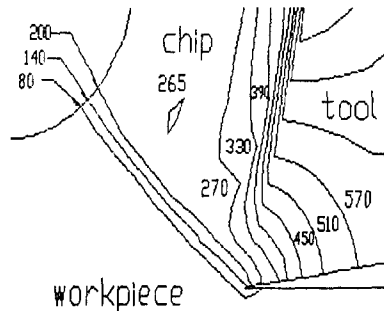


Fig. 6 Isothermals for $V=135$ m/min, depth of the cut 1.0 mm (Test No. 11)

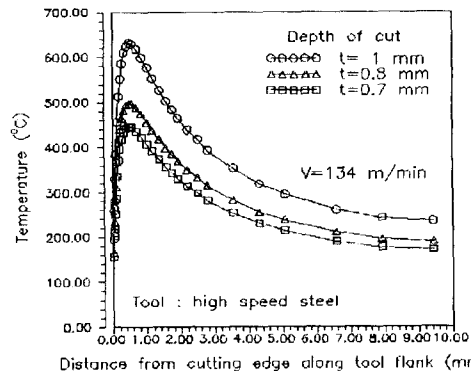


Fig. 7 Effect of depth of cut on flank face temperature

Fig. 6은 Test No. 11로써 절입의 깊이변화가 1.0 mm인 경우로서, 플랭크면의 최고 온도점은 절점 번호 460인 631°이다.

Fig. 7은 Test No. 11, 12, 13의 경우로써 절삭속도와 이송률을 일정히 하였을때, 절입을 1.0, 0.8, 0.7 mm로 변화시켰을 경우, 플랭크면의 온도분포를 공구선단부로부터 표시하였으며, 절입의 깊이가 증가함에 따라 온도분포의 계산치도 전체적으로 증가하며, 공구선단부로부터 최고 높은 온도점을 기점으로 면의 길이가 증가할수록 점차 감소하는 경향

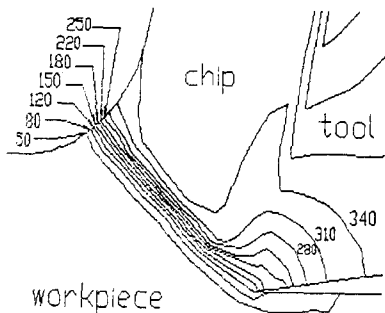


Fig. 8 Isotherms for V=143 m/min, uncut chip thickness 0.04 mm/rev (Test No. 23)

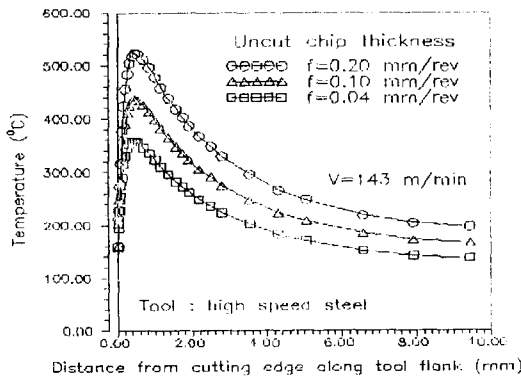


Fig. 9 Effect of uncut chip thickness on flank face temperature

을 보여 주고 있다.

이송률의 변화에 따른 플랭크면의 온도분포를 알아보기 위하여 절삭속도 143 m/min, 절입을 1.2 mm로 일정하게 하였을 경우 온도분포의 한 예를 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8은 Test No. 23의 경우로 이송률이 0.04 mm/rev인 경우이며 플랭크면의 최고 온도점은 절점번호 460인 358°C를 나타내었다.

Fig. 9은 Test No. 21, 22, 23으로써 절삭속도와 절입을 일정히 하였을때 이송률을 0.2, 0.1, 0.04 mm/rev로 변화하였을 경우 공구선단부로부터 플랭크면을 따라 10 mm 까지의 온도분포를 나타내었으며, 이송률이 증가함에 따라 절삭초기에 발생된 열이 공구쪽으로 확산되어 온도분포의 계산값도 어느속도 이상에서 온도가 급정함을 보이며 전체적으로 증가한다.

이상의 결과에서 절입의 깊이와 이송률이 증가함에 따라 절삭온도분포의 계산값도 전체적으로 증가하며, 공구선단부로부터 0.45 mm 떨어진 플랭크면에 형성된 등온선의 분포는 플랭크마모와 유사하다. 이것은 플랭크마모와 절삭온도가 밀접한 관계에 있다는 것을 표시하며, 이절삭온도분포가 플랭크마모에 직접적인 영향을 미친다는 것을 예측할 수 있다.

5. 실험

5.1 실험장치 및 방법

2차원선삭시 고속도강 공구의 플랭크면의 온도분포를 측정하기 위한 실험장치의 개요를 Fig. 10에 나타내며, 가공재와 공구의 기계적 및 화학적 성질을 Table 3에 나타낸다.

절삭실험은 고속정밀선반(Keiyocolex KF type)에서 행하였으며, 절삭속도는 100, 120, 140, 134, 143 m/min으로 변화 하였으며, 절입은 0.70에서 1.

Table 3 Mechanical properties and chemical composition of materials

Materials	Chanical properties				Chemical composition (wt. %)									
	Yielding strength kg/mm ²	Tensile stress kg/mm ²	Hardness	Elonga- tion %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V
SM45C	22	38.75	115HRB	25.5	0.43	0.25	0.65	0.022	0.024
H.S.S	92	182	64HRC	14	0.825	0.37	0.23	0.020	0.021	4.27	0.28	5.28	6.56	1.96

2 mm, 이송율은 0.04 mm/rev에서 0.2 mm/rev까지 변화하였다. 절삭속도에 따른 절삭동력은 공구동력계(TSM-TH type)를 이용하여 측정하므로 절삭력의 값을 구하였다.

가공재는 직경 40 mm 길이 170 mm를 정밀가공하여 시험편으로 사용하였으며, 공구의 절인은 레이크각 18°, 플랭크각 8°이다.

플랭크면의 온도분포를 측정하기 위해서 공구선단부로 부터 플랭크면 방향으로 0.45 mm, 0.7 mm, 1 mm인 점에 $\phi 0.52$ mm의 홈을 공구 밀면에서 8°의 경사면을 따라 방전가공(C. N. C wire cut electrical discharge drilling)하였으며, 이홈에 절연 피막처리된 한 0.5 mm의 열전대선(constantan-wire)을 삽입하고 내열용 접착제를 절입 봉합함으로써 열의 유출을 억제하였고, 이들 홈을 갖인 각각의 공구에 열전대선을 심으므로써 실험에 의한 플랭크면의 최고 온도점과 임의점의 온도값을 측정하여 이론값과 비교하고자 했다.

플랭크면에서의 공기방출열을 억제하고, 온도분포를 관찰하기 위하여 가공물과의 접촉길이를 0.2 mm 정도 두고실험을 행하였다.

Fig. 10에 공구선단부의 확대도 A를 나타내었다. 공구와 공작물의 재료는 열전도율이 다르므로 절삭조건에 따른 절삭온도의 변동특성으로 인하여 공구면에 전도되는 발생열은 절삭점의 온도 상승에 따른 열기전력이 되므로, 열전대에 전달된 이온도를 열측정기기(measuring computer 8047 AT system)에 입력하여 모니터에서 내용을 관찰함과 동시에 연결된 기록계로 결과의 온도값을 볼

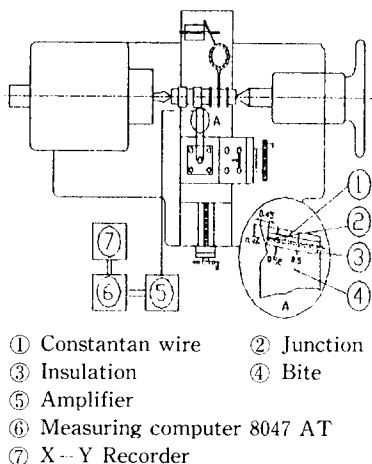


Fig. 10 Schematic lathe of experimental equipment

수 있다.

그러나 공구 측정부에 홈을 파므로써 측정점의 온도가 상승하여 측정치에 오차가 생길것으로 생각되나 열전대에 전달된 열이 방열의 효과를 가져오므로 상쇄될 것으로 본다.

열전대 측정법은 한점의 온도를 측정함으로써, 공구선단부의 온도측정에 극히제한 되어 있으나 측정이 간단하므로 실험에 많이 이용되고 있으며, 이 측정온도를 절삭온도로 사용하므로써 다른점의 온도를 예측할 수 있다.

실험에서는 가공물을 양센타로 지지하여 회전을 원활하게 하였고 절입깊이는 절삭상태에서 일정하게 유지되도록 공구대 타단에 다이얼게이지(0.001 mm)를 설치하여 절입깊이를 확인하며 건식절삭을 하였다.

속도의 변환은 주축의 속도변환기구가 기어식이므로 주축회전수를 변화시키면서 직경감소율에 따른 절삭속도의 범위가 5% 이내가 되도록 유지 하였다.

이 열전대 측정은 공구선단부에서 일정거리 떨어진 위치의 온도값을 되풀이 측정한 값으로 수치해석적 방법에 의해 구한값과 비교하므로 플랭크면에 전도된 온도분포를 예측 할 수 있다.

5.2 실험결과

Fig. 11은 2차원 선삭시 고속도강 공구의 플랭크면의 온도분포를 수치해석과 실험으로 구한값을 공구선단부로 부터 1 mm까지 표시한 것으로 절입과 이송율을 일정히 하고 절삭속도를 변화하였을 경우

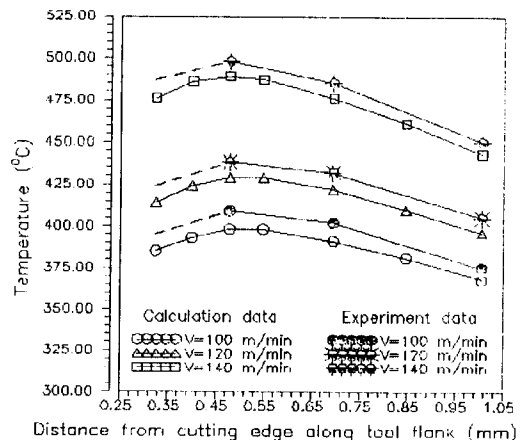


Fig. 11 Effect of cutting speed on flank face temperature for conditions as test No. 01, 02, 03

이다. (Test No. 01, 02, 03)

플랭크면의 온도분포는 공구선단부로부터 0.45 mm 떨어진 곳에서 최대 온도를 가지며, 전반적으로 등분포 그래프를 그리고 온도분포의 경향은 절삭속도가 상승하면 함께 서서히 상승하고 점차 상승율이 작아지는 경향을 보이고 있다.

그림에서 보는 바와 같이 플랭크면의 절삭온도의 실험값이 수치해석의 값보다 10°내지 15° 범위로 높아져있다. 이것은 전단면에 있어 전단변형으로 가열된 가공재가 돌로 갈라져 칩으로 된 가공재쪽은 그 두께가 두꺼워진만큼 감속하여 공구레이크면을 마찰하여 가열하고 절삭가공면으로 된 쪽은 절삭속도로 플랭크면을 마찰하기 때문이다.

또, 공구 레이크면 및 플랭크면에 있어서 전단응력은 거의 같은 값이 얻어진다고 생각하였을 때 공구플랭크면 쪽이 절삭비만큼 단위면적당의 발열량이 높아져 그 때문에 공구플랭크면의 실험온도가 공구선단부에서는 수치해석의 값보다 높아진다고 생각 된다.

절삭조건의 변화에 따른 플랭크면의 절삭온도가 해석결과의 값과 비교하여 일정한 값을 가져 비교적 좋은 일치율을 나타내고 있으므로 해석방법의 타당성이 입증된다.

6. 결 론

2차원 절삭영역을 모델링하여, 주어진 절삭조건에 대한 플랭크면의 온도분포를 알아보기 위하여, 고속도강 공구로서 탄소강을 2차원 선삭하여 수치해석 및 측정값을 함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 2차원 선삭시 정상 칩이 유출될 경우 플랭크면의 절삭 온도분포를 유한요소해석을 사용한 프로그램으로 예측할 수 있으며, 플랭크면의 최고 온도 점을 중심으로 형성된 등온선의 분포는 플랭크마모의 성장과 유사하므로 플랭크마모 측정 프로그램을 보완하면 공구수명 예측이 가능 할 것으로 판단된다.

(2) 특히 다양한 절삭인자 변경에 대한 절삭조건을 시뮬레이션 하므로 짧은 시간에 플랭크면의 온도분포를 알아 볼 수 있는 하나의 방법을 제안 하였으며 나아가서 공구수명과 플랭크면의 절삭온도와의 관계를 고려하면 자동화 기술과 생산성 향상에 기여 할 수 있는 경제적인 절삭조건의 설정이

가능 할 것으로 사료된다.

(3) 주어진 절삭조건에 대한 플랭크면의 최고온도에 대한 결과 값은 다음과 같다.

	No.01	No.02	No.03	No.11	No.12
Top temp.	398	429	489	631	497
	No.13	No.21	No.22	No.23	
Top temp.	445	522	436	358	

Flank temperature : °C

(4) 플랭크면의 절삭온도 최고값은 공구선단부로부터 0.4778 mm 떨어진 절점번호 460이며, 온도분포의 실험값은 해석값보다 높은 값을 나타 내었고, 실측 온도는 해석값과 5%이내로 일치하였다. 그러므로 절삭조건에 따라 실측한 온도값을 참고로 해석값과 비교하므로 실측 온도분포를 예측할 수 있다.

참고문헌

- (1) Ostafiev, Y. A., 1987, "Determining Standard Relationships for Fixing the Cutting Conditions of the Basis of Previous Production Experience," *Sov. Eng. Res.*, Vol. 7, No. 2, pp. 63~69.
- (2) Venkatesh, V. C. and Satchithanandam, M., 1980, "A Discussion on Tool Life Criteria and Total Failure Causes," *Ann. CIRP.*, Vol. 29, No. 1, pp. 19~22.
- (3) Kagiwade Tadao, 1988, "Numerical Analyses of Cutting Temperatures and Flowing Ratios of Generated Heat," *JSM E., Int. J. Ser. III.*, Vol. 31, No. 3, pp. 624~633.
- (4) Stevenson, M. G., Tay, A. O. and de Vahl Davis, G., 1974, "Using the Finite Element Method to Determine Temperature Distributions in Orthogonal Machining," *Proc. Inst. of Mech. Engrs.*, Vol. 188, pp. 627~638.
- (5) Wright, P. K., Stevenson, M. G. and Chow, J. G., 1983, "Futher Developments in Applying the Finite Element Method to the Calculation of Temperature Distributions in Machining and Comparisons with Experiment," *Trans. ASME.*, Vol. 105, pp. 149~154.
- (6) Mori, K., Osakada, K. and Fukuda, M., 1983, "Simulation of Severe Plastic Deformati on by Finite Element Method with Spatially Fixed

- Elements," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 25, No. 11, pp. 775~783.
- (7) Strenkowski, J. S. and Kyoung-jin Moon., 1990, "Finite Element Prediction of Chip Geometry and Tool-Workpiece Temperature Distributions in Orthogonal Metal Cutting," *Trans. ASME., J. Eng. Ind.*, Vol. 112, No. 4, pp. 313~318.
- (8) Murarka, P. D., Hinduja, S. and Barrow, G., 1981, "Influence of Strain, Strain-Rate and Temperature on the Flow Stress in the Primary Deformation Zone in Metal Cutting," *Int. JMTDR.*, Vol. 21, No. 3/4, pp. 207~216.
- (9) Tay, A. O., Stevenson, M. G., de Vahl Davis, G. and Oxley, P. L. B., 1976, "A Numerical Method for Calculating Temperature Distributions in Machining. From Force and Shear Angle Measurements," *International Journal of Machine Tool Design and Research*, Vol. 16, pp. 335~349.
- (10) Iwata, K., Osakada, K. and Terasaka, Y., 1984, "Process Modeling of Orthogonal Cutting by the Rigid-Plastic Finite Element Method," *Trans. ASME.*, Vol. 106, pp. 132~138.
- (11) Chow, J. G. and Wright, P. K., 1988, "On-Line Estimation of Tool-Chip Interface Temperatures for a Turning Operation," *Trans. ASME., J. Eng. Ind.*, Vol. 110, No. 1, pp. 56~64.
- (12) Adil, G. K., 1988, "A Finite Element Analysis of Temperature in Accelerated Cutting," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, Vol. 28, No. 4, pp. 577~590.
- (13) Palmi, Z., 1987, "Cutting Temperature in intermittent Cutting," *Int. J. Mach. Manuf.*, Vol. 27, No. 2.
- (14) Sadat, A. B. and Raman Shivakumar., 1987, "Detection of Tool Flank Wear Using Acoustic Signature Analysis," *Wear.*, Vol. 115, No. 3, pp. 265~272.
- (15) Venuvinod, P. K., Lau, W. S. and Rubenstein, C., 1990, "Tool Life in Oblique Cutting as a Function of Computed Flank Contact Temperature," *Trans. ASME., J. Eng. Ind.*, Vol. 112, No. 4, pp. 307~312.
- (16) Jeon, J. U., 1988, "Optical Flank Wear Monitoring of Cutting Tools by Image Processing," *Wear.*, Vol. 127, No. 2, pp. 207~217.
- (17) Li Dan, 1990, "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning : A review," *Int. J. Mach. Tool. Manuf.*, Vol. 30, No. 4, pp. 579~598.
- (18) Shkarin, B. A., 1989, "Computer-Aided Calculation of Cutting Tool Life and Requisite Numbers of Tools," *Sov. Eng. Res.*, Vol. 9, No. 4, pp. 90~91.