

SUS304 切削時 Carbide 工具의 Flank 磨耗에 관한 研究

鄭 鎭龍*, 吳 錫炯**, 金 鐘澤*, 徐 南燮****

A Study on the Flank Wear of Carbide Tool in Machining SUS304

Chin-Yong Cheong*, Seok-Hyung Oh**, Jong-Taeg Kim*, Nam-Seob Seo****

Abstract

A Study was made on flank wear in carbide tools in turning SUS304 steel. When an austenitic stainless steel (SUS304 steel) is cut with the tool, saw-toothed chips are produced. It is found that machining SUS304 steel would make a tool worn fast.

For increasing productivity, tool wear has to be predicted and controlled. An amended cutting geometry consisting of a negative rake angle (-6°) and a high clearance angle (-17°) is proposed for decreasing carbide tool wear (flank) in the machining of SUS304 steel.

The amended cutting geometry is found to make the flank wear lower than a general cutting geometry (rake angle 6°, clearance angle 5°).

The effects of the three cutting variables (cutting speed, feed, tool radius) on the flank wear analyzed by fitting a simple first-order model containing interaction terms to each flank wear parameter by means of regression analysis and the predicted from first-order regression analysis model equation of flank wear.

v	: 절삭속도(m/min)	Y	: flank마모량(mm)
f	: feed (mm/rev)	b ₀ , ..., b ₇	: 최소자승법으로 구한 회귀계수
r	: 공구반경(mm)	x ₁	: 절삭속도의 독립변수 값을 code화한 것
t	: 절삭시간(sec)	x ₂	: feed의 독립변수 값을 code화한 것
θ	: 공구설치 여유각	x ₃	: 공구반경의 독립변수 값을 code화한 것
α	: 유의수준 값	x ₄	: x ₁ x ₂
R ²	: 결정계수의 값	x ₅	: x ₁ x ₃
NB	: 절삭방향과 직각방향의 공구재료 마모율	x ₆	: x ₂ x ₃
$\dot{V}B$: flank 마모율	x ₇	: x ₁ x ₂ x ₃
$\bar{V}B$: flank 마모 평균폭		
VBmax	: flank 마모 최대폭		

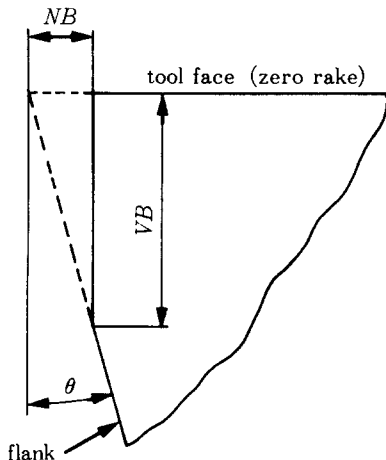
* 全北大學教 機械科 大學院
** 정희원, 群山水産專門大學 教授
*** 종신회원, 全北大學教 機械科 教授

1. 緒 論

다년간의 理論的 및 實驗的 切削研究에서 切削機 構의 解析과 切削性 향상에 큰 발전을 가져왔으나 이러한 연구들의 대부분은 단일 전단 평면을 가정한 연속형 칩(chip)이 생성되는 경우에 대하여 행하여졌다. 그러나 실제의 金屬切削에 있어서 어떠한 칩도 완전하게 평탄한 自由表面을 갖는 연속형 칩으로 볼 수 없으며 加工材料나 切削條件에 따라 요철이 심한 톱니형(Saw-toothed) 칩이 발생하는 경우도 있다. Nakayama⁽¹⁾는 오스테나이트계 스테인레스 강, 티타늄 및 합금, 70-30 황동, 알루미늄 등에서 톱니형 칩이 현저히 나타나고 이러한 칩이 발생할 때에는 칩의 자유 표면에서 주기적인 파단 현상이 일어나며 이에 따른 진동이 발생하여 공구인에 충격을 주는 바람직하지 못한 현상을 일으킨다고 보고하였다. 그렇지만 톱니형 칩이 발생하는 순간에는 切削力이 감소할 뿐만 아니라 加工物의 表面이 현저하게 개선되므로 振動이 심각한 문제를 일으키지 않는 한 이러한 현상은 바람직하며 칩의 크랙은 칩의 처리에도 도움이 된다. 그리함에도 오스테나이트 스테인레스강이나 티타늄 및 티타늄 합금 같은 재료는 절삭할 때 工具磨耗^(2,3)가 급진적으로 이루어지기 때문에 이들 재료를 흔히 難削材라 한다. 이러한 재료들을 절삭할

때 生産性을 향상시키기 위해서는 무엇보다도 공구마모의 정도를 예측하고 工具磨耗를 억제하는 것이 중요하다. 切削工具의 마모전파에 관한 V. C Vekatesh⁽⁴⁾의 보고와 carbide 공구에서의 flank 마모 기구에 대한 A. ber, M. Y. friedman^(5,6)의 보고 등이 있으며, 공구마모 억제를 위한 새로운 工具角이 R. Komanduri^(7,8,9) 등에 의해 보고된 바 있으나, 이들은 톱니형 칩을 생성하는 대표적인 재료인 티타늄 합금을 대상으로 切削條件의 변화가 개별적으로 切削性에 미치는 영향을 취급하였다.

본 研究에서는 톱니형 칩이 발생하고 내식성, 내열성이 우수하나 심한 공구마모를 가져오는 難削材 중 오스테나이트계 스테인레스 강인 SUS304를 사용하였다. 일반적인 insert tip에서 공구홀더(Photo. 1)만 임의의 각도로 고정하면 공구각을 간단히 바꿀 수 있어 임의의 알맞은 切削角과 다양한 形狀(사각형, 삼각형, 원형 등)의 시판되는 일반적인 insert tip의 사용이 가능하다. 餘裕角의 증가가 flank 마모를 감소시킬 수 있다는 것은 잘 알려져 있으며 알루미늄 합금과 같은 재료들을 보다 쉽게 절삭하기 위하여 餘裕角을 15°까지 증가시키는 것이 일반적이다. 餘裕角의 증가는 rubbing과 재료의 응착을 감소시킬 수 있다. Fig. 1에서 flank 마모량은 여유각의 함수임을 알 수 있다.



$$VB = NB \cot \theta$$

$$VB/NB = VB/NB = \cot \theta \quad (1)$$

여기서 \dot{VB} : flank 마모

\dot{NB} : 절삭방향과 작각방향의공구재료 마모율

θ : 工具의 餘裕角

식(1)에서 \dot{NB} 상수라 하면 工具壽命을 정해주는 \dot{VB} 는 $\cot \theta$ 에 비례한다.

Fig. 1 Clearance angle and flank wear.

일반적으로 고속강도 공구에서⁽¹⁰⁾는 餘裕角(θ)을 8° , carbide 工具에서는 5° 정도로 한다.

공구의 傾斜角을 크게 하면 일반적으로 切削條件이 개선되기 때문에 工具壽命이 길어지리라 기대되지만 工具인선 부위가 얇아지기 때문에 공구인선의 강도가 떨어지고, 열적 영향때문에 오히려 工具壽命이 단축되는 경우가 있다. 더구나 난삭성이 큰 재료에서는 傾斜角의 증가로 인한 切削抵抗의 감소에서 얻은 득 보다는 공구의 조기파괴 및 수명 단축으로 나타나는 불이익이 크다. 따라서 본 研究에서는 공구강도의 저하 및 온도 상승의 부정적 영향을 받지 않으면서 공구각을 변화시키는 방법을 택하였다. 시판되는 P20 등급 carbide insert tip (절인각이 일정)을 사용하는 설치각을 변화시키므로써 餘裕角을 變化시킴과 동시에 傾斜角이 變化되는 조건으로 새로운 절삭각 (경삭각 -6° , 여유각 17°)에서 공구마모 (flank) 개선

정도를 알아보았으며, 연강과 공구마모 정도를 비교하고, 각각의 절삭 조건에서의 예상 flank 마모 정도를 統計分析한 1차 회귀 모델식으로 구해보았다. 또한 切削因子 (절삭속도, feed, 공구반경)가 공구 마모에 미치는 영향과 절삭인자 상호간의 영향을 알아 보아 실제 절삭시에 flank 마모의 예측과 공구마모 억제에 도움을 주고자 한다.

2. 實驗

2-1. 實驗裝置 및 方法

實驗裝置, 實驗器機 및 切削工具는 Photo 1, Table 1 및 Table 2와 같으며, 피삭재의 화학적 성분은 Table 3과 같다.

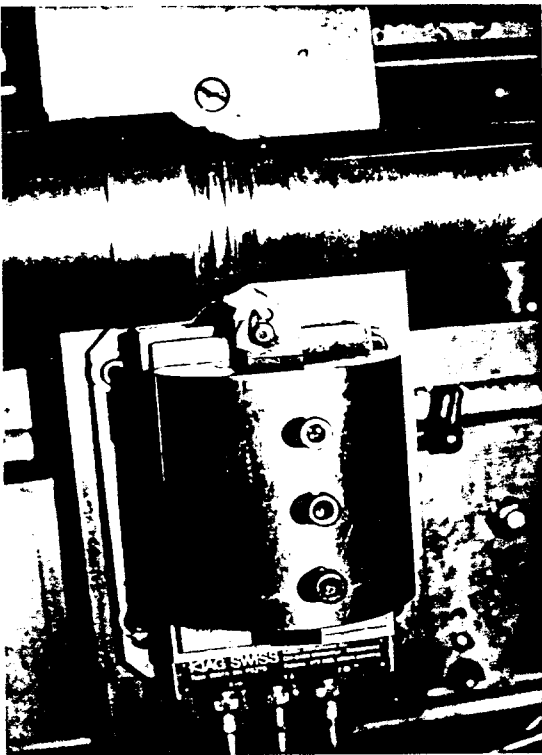


Photo1. Detailed experimental apparatus

Table1. Machine and instruments used

- | |
|--|
| 1) Lathe |
| * high speed precision lathe |
| * spindle speed : 50-1850r. p. m. |
| * bed swing : 390mm |
| * feed : 0.05-3mm/rev. |
| 2) Charge Amplifier |
| * Kistler instrument type : 5001 |
| * measuring range : $\pm 0.1-500,000$ pc |
| * accuracy of range : $\pm 1\%$ |
| 3) Tool Dynamometer |
| * Kistler instrument type : 9257 A |
| * maximum measuring range : 5000 N |
| * resolution : < 0.01 N |
| 4) Profile Projector |
| * model : Nikon |
| * magnification range : x 100 |
| 5) Toolmaker's microscope |
| * model : Nikon |
| * magnification range : x 30 |
| 6) 8 bit computer, 16 bit AT computer |

Table2. Cutting tools

Class	: P20					
Standard	: TPGN 160304		KTP 20	ASA 321		
	: TPGN 160308		KTP 20	ASA 322		
tool holder	: TGPN 2020		K16			
Back rake angle	_____	0°	6°	60°	60°	0.4
		0°	-6°	60°	60°	0.8
Side rake angle	_____			_____	_____	_____
End cutting edge angle	_____			_____	_____	_____
Side cutting edge angle	_____			_____	_____	_____
Nose radius	_____			_____	_____	_____

Table3. Chemical compositions (SUS 304), (Wt. %)

Cr	Ni	C	Mn	Si	P	S
18	8	0.08	2.0	1.0	0.045	0.03

절삭조건인 공구각, 절삭속도, 이송 및 공구선단 반경의 크기와 조합은 다음 Table 4와 같다.

Table4. Cutting conditions

Speed v (m/min)	:	Feed f (mm/rev)	Nose Radius r (mm)
(210) ⇒ A, D, X	}	(1) 0.13	(1) 0.4
(140) ⇒ B, E, Y		}	(2) 0.25
(70) ⇒ C, F, Z			
Mild steel :	$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 5^\circ$ (X, Y, Z)	例) A - 1 2
SUS 304	[$\alpha = 6^\circ$	SUS304를 v 210, f
		$\alpha = -6^\circ$	$\beta = 17^\circ$ (D, E, F) 0.13, r 0.8로 절삭

2-2. 實驗 方法

實驗은 고속 정밀선반에 가공물을 고정하고 자유로이 工具角(傾斜角, 餘裕角)을 바꿀 수 있는 공구홀

더에 工具動力計를 장착하고 throw-away insert tip을 사용하여 연강과 SUS304 강을 연속 건식절차를 행하였으며, 工具動力計에 증폭기를 연결하여 A

/D converter를 이용하여 切削力を 관찰하였다. 切削條件은 工具磨耗 (flank 마모) 에 영향을 미치는 요인들 중 切削速度, feed, 工具半徑, 工具角을 變化시켜가며 절삭을 수행하였다. 마모의 진행을 알아보기 위하여 일정 절삭시간 후에 tip의 측면에 발생하는 flank 磨耗의 平均幅 (VB)을 profile projector로 0.001mm까지 측정하였다. 實驗에서 feed, 절삭깊이는 정확한 값을 유지하였으나 切削速度는 가공물의 직경의 변화에 따라 切削速度가 변하므로 선반 주축의 回轉數를 조절하여 5% 정도의 誤差범위를 유지하였다.

3. 實驗結果 및 分析

3-1. 實驗結果 分析

Fig. 2는 軟鋼을 절삭깊이 0.6mm, 工具半徑 0.8mm로 일정하게 하고 feed를 각각 0.13, 0.25mm/rev, 절삭속도를 70, 140, 210mm/min으로 變化시켰을 때 상용 공구각 (傾斜角 6°, 餘裕角 5°)에서의 절삭시간과 flank 마모폭의 관계를 나타낸 것이다. 절삭속도가 증가함에 따라 工具磨耗가 증가하는데 70, 140mm/min속도에서는 대체적으로 마모 성장속도가 완만하지만 210mm/min속도에서는 급격한 증가현상을 보인다.

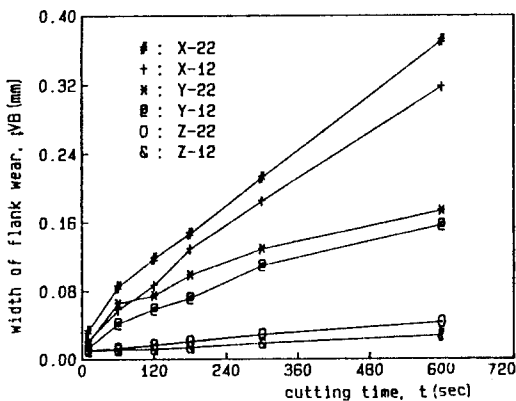


Fig.2 The relation between width of flank wear and cutting time

Fig. 3, 4, 5는 각각 切削速度 70, 140, 210mm/min일 때 Fig. 3에서와 같은 공구각 (傾斜角 6°, 餘裕角 5°)에서 공구반경 0.8mm로 일정하게 했을 때의 연강과 SUS 304강을 비교한 결과이고 모든 속도에서 SUS304 강을 절삭할 때 공구마모가 심했으며, feed 값이 같을 경우에는 高速보다 中速, 低速순으로 마모 크기의 차이가 크게 나타났다 (0.13mm/rev에서는 2.43, 2.55, 3.30배로, 0.25mm/rev에서는 2.13, 2.47, 2.64배로).

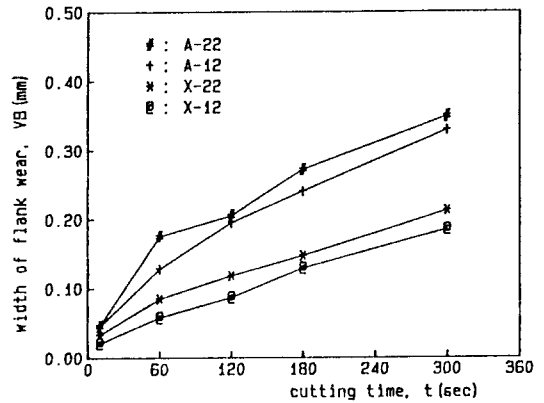


Fig.3 The relation between width of flank wear and cutting time

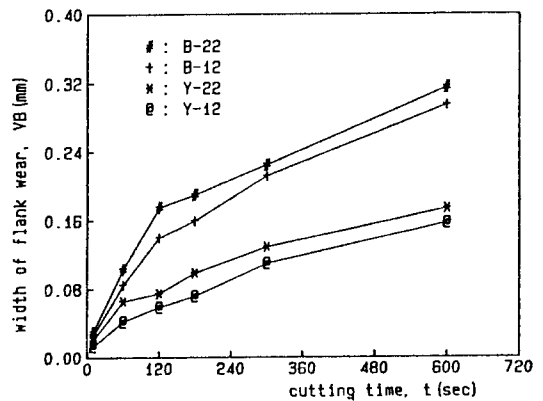


Fig.4 The relation between width of flank wear and

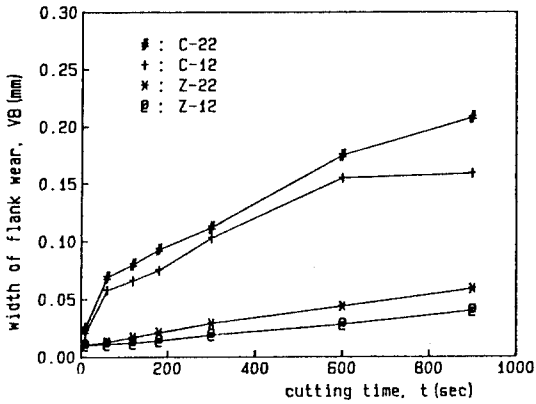


Fig.5 The relation between width of flank wear and cutting time

또 같은 속도에서는 feed가 큰 경우에 工具磨耗가 일반적인 경우와 같이 크게 나타났다. 특히 SUS304 강 절삭시에 공구인선의 초기 탈락현상이 급격히 일어나는데 비해 연강 절삭시에는 공구인선의 초기탈락 현상(초기마모) 시간이 길게 나타났다. 연강의 절삭시는 연속형 칩으로 비교적 긴 칩으로 발생하여 工具에 groove 마모가 심하게 나타났으나, SUS304 강 절삭시는 톱니형으로 짧은 칩으로 발생하여 groove 마모가 심하지 않았고 칩 처리도 수월하였다.

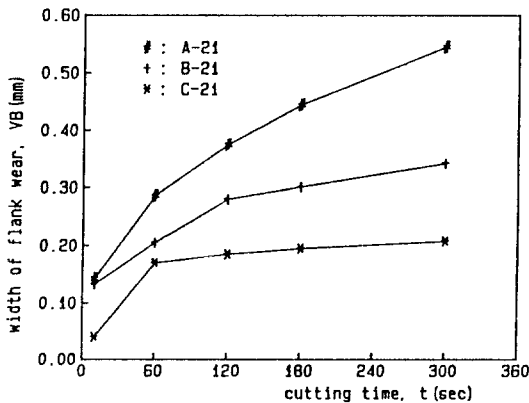


Fig.6 The relation between width of flank wear and cutting time

Fig. 6은 상용 공구각에서 SUS304 강을 절삭깊이 0.6mm, 공구반경 0.4mm, feed 0.25mm/rev로 일정하게 했을때 速度변화에 따른 공구마모와 시간의 관계를 보여준다. 연강을 절삭할 경우와 마찬가지로 속도의 증가에 따라 공구마모가 급격히 증가하고, 저속보다 고속에서의 증가 정도가 크게 나타났다.

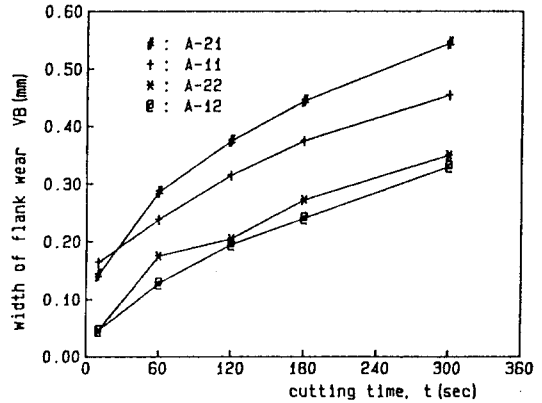


Fig.7 The relation between width of flank wear and cutting time

Fig. 7은 고속에서 feed를 0.13, 0.25mm/rev로, 공구반경을 0.4, 0.8mm로 했을 때의 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 工具半徑이 feed보다 더 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있으며, 工具半徑이 같은 경우에는 feed가 클 때 공구마모에 더 큰 영향을 미치고,

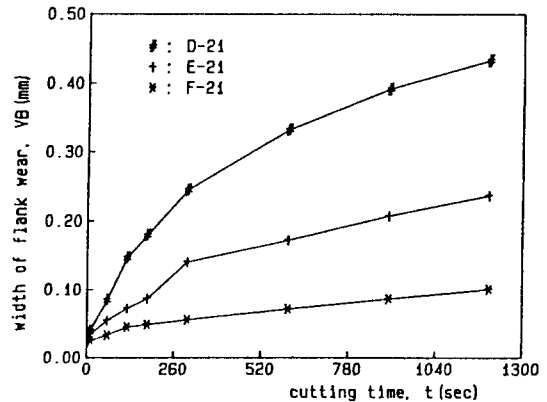


Fig.8 The relation between width of flank wear and cutting time

工具半徑이 작을 때 feed의 영향이 더욱 뚜렷하다. 이상의 결과로 상용 공구각에서는 공구마모에切削速度, 工具半徑, feed의 크기 순으로 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 8, 9는 수정된 공구각(傾斜角 -6° , 餘裕角 17°)에서의 실험결과이다 수정된 공구각에서도 속도가 가장 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있으나, 상용 공구각에서와는 달리 工具半徑의 영향보다 feed의 영향이 크게 나타났다. 공구반경이 작은 경우가 工具半徑이 큰 경우보다 feed에 더 많은 영향을 주며, feed값이 같은 경우에는 공구반경이 작을 때 공구마모에 더 많은 영향을 준다.

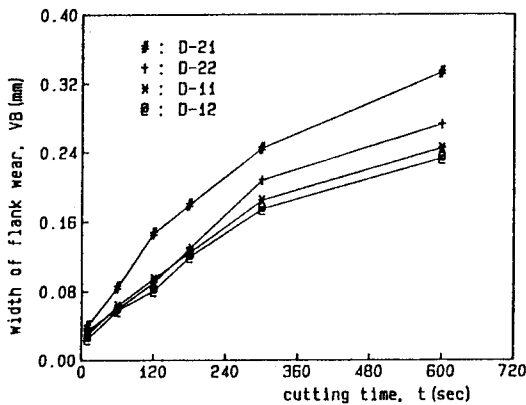


Fig.9 The relation between width of flank wear and cutting time

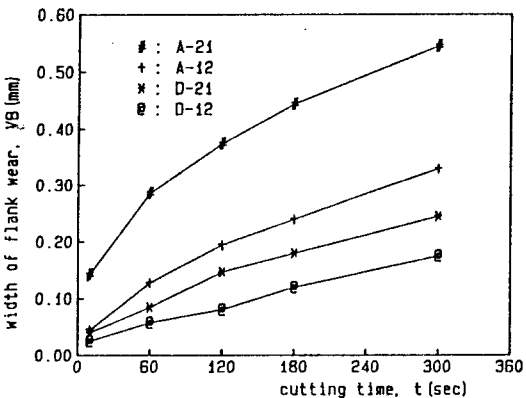


Fig.10 The relation between width of flank wear and cutting time

Fig. 10은 常用 工具角과 修正된 工具角을 比較한 것이다. 상용 공구각과 수정된 공구각 모두에서 톱니형 칩이 발생하였다. 이것으로 보아 톱니형 칩의 발생은 공구각의 원인이라기 보다는 재료적 특성에 의한 것임을 알았다. 모든 절삭속도에서 수정된 공구각의 공구마모가 상당히(평균 3.95배) 작아졌음을 알 수 있다. 이로써 수정된 공구각의 경우 절삭 저항의 증가와 가공면의 정도가 떨어지는 문제점이 있지만 SUS304강 절삭시의 급격한 工具磨耗의 억제 측면에서는 바람직함을 알 수 있다.

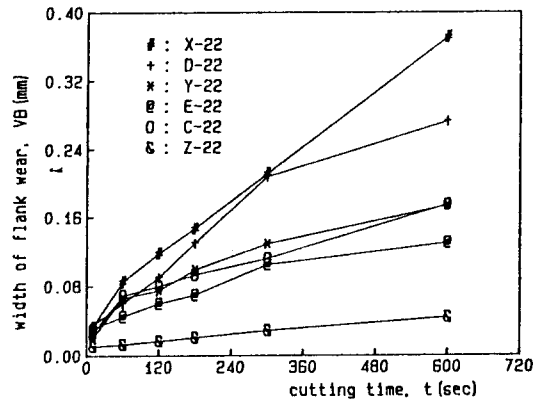


Fig.11 The relation between width of flank wear and cutting time

Fig. 11은 상용 工具角에서의 軟鋼 절삭시와 수정된 工具角에서의 SUS304 강 절삭시의 비교 그림으로써 高速 및 中速에서는 수정된 공구각에서의 마모가 軟鋼 절삭시보다도 적었으며, 底速에서는 연강을 절삭할 때 마모가 더 적게 나타났다. 결과적으로 수정된 공구각에서의 공구마모는 거의 軟鋼을 절삭할 때와 같은 정도로 改善되었음을 알 수 있다.

3-2. 統計處理 分析

flank 마모에 대한 세개의 切削因子 각각의 영향과 인자들간의 상호작용들의 영향들은 統計的 分析에 의하여 알아볼 수 있다. flank 마모를 예측할 수 있는 적당한 1차 회귀 모델식은 다음과 같은

형태로 나타낼 수 있다.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_2x_3 + b_6x_1x_3 + b_7x_1x_2x_3 \quad (2)$$

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ 은 최소자승법에 의해 구해지는 계수들이며: x_1, x_2, x_3 는 각각 切削速度, feed, 工具半徑의 독립변수들이고: $x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3, x_1x_2x_3$ 는 獨立變數들의 相互作用에 기인한 변수들이다. 이들 값의 차이가 크기 때문에 -1과 1사이의 값으로 code화한다. 이때 Coding식은 다음과 같다.

$$x_1 = \frac{v-140}{140} \quad x_2 = \frac{f-0.25}{0.13} \quad x_3 = \frac{r-0.8}{0.4}$$

v : 切削速度 f : feed r : 工具半徑

式(2)에서 각각의 계수들은 切削速度, feed, 工具半徑의 단위 증가에 따른 工具磨耗의 영향 정도를 나타낸다. ANOVA (analysis of variance) table을 작성하여 실험의 妥當性을 알아볼 수 있으며 1차 회귀 모델식의 信賴性을 파악하기 위하여 決定係數

Table5. Coding of cutting conditions

	v	f	r		X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃
1	210	0.25	0.4	1.00	0.50	0.00	-1.00	0.00	-0.50	0.00	0.00
1	210	0.13	0.4	1.00	0.50	-0.92	-1.00	-0.46	-0.50	0.92	0.46
1	210	0.25	0.8	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	210	0.13	0.8	1.00	0.50	-0.92	0.00	-0.46	0.00	0.00	0.00
1	140	0.25	0.4	1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	140	0.13	0.4	1.00	0.00	-0.92	-1.00	0.00	0.00	0.92	0.00
1	140	0.25	0.8	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	140	0.13	0.8	1.00	0.00	-0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	70	0.25	0.4	1.00	-0.50	0.00	-1.00	0.00	0.50	0.00	0.00
1	70	0.13	0.4	1.00	-0.50	-0.92	-1.00	0.46	0.50	0.92	-0.46
1	70	0.25	0.8	1.00	-0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	70	0.13	0.8	1.00	-0.50	-0.92	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00

Table6. First-order model of regression

Time:(1)10sec,(2)1min,(3)5min,(4)10min (rake angle:6°, clearance angle 5°)

$$\begin{aligned} Y(1) &= 0.034 + 0.021X_1 + 0.004X_2 - 0.072X_3 - 0.004X_4 - 0.082X_5 + 0.005X_6 + 0.025X_7 \\ Y(2) &= 0.146 + 0.107X_1 + 0.027X_2 - 0.104X_3 + 0.039X_4 - 0.009X_5 - 0.005X_6 + 0.023X_7 \\ Y(3) &= 0.229 + 0.238X_1 + 0.015X_2 - 0.136X_3 + 0.012X_4 - 0.099X_5 - 0.034X_6 - 0.063X_7 \\ Y(4) &= 0.308 + 0.260X_1 + 0.027X_2 - 0.133X_3 + 0.017X_4 - 0.085X_5 - 0.061X_6 - 0.022X_7 \end{aligned}$$

Time:(1)10sec,(2)1min,(3)10min,(4)20min (rake angle:-6°, clearance angle:17°)

$$\begin{aligned} Y(1) &= 0.030 + 0.012X_1 + 0.009X_2 - 0.003X_3 + 0.004X_4 - 0.003X_5 + 0.002X_6 - 0.000X_7 \\ Y(2) &= 0.045 + 0.030X_1 + 0.008X_2 - 0.013X_3 - 0.001X_4 - 0.022X_5 - 0.004X_6 - 0.018X_7 \\ Y(3) &= 0.156 + 0.207X_1 + 0.030X_2 - 0.036X_3 + 0.033X_4 - 0.054X_5 - 0.032X_6 - 0.047X_7 \\ Y(4) &= 0.221 + 0.297X_1 + 0.056X_2 - 0.036X_3 + 0.048X_4 - 0.035X_5 - 0.023X_6 - 0.022X_7 \end{aligned}$$

(coefficient of determination)를 구한다. 또 절삭 인자 각각의 영향과 切削因子 相互間의 影響을 알아보기 위하여 Partial F-test를 행하며, t-test에 의하여 예상 flank마모구간을 추정할 수 있다.

Table 5는 모든 切削條件을 code화한 값이다.

Table 6은 시간에 따른 상용 공구각과 수정된 공구각의 1차 회귀 모델식이다. 상용 공구각에서는 공구마모가 급격히 일어나므로 시간을 10분까지, 수정된 공구각에서는 공구마모가 느리기 때문에 20분까지 길게 하였다. 각각의 계수는 변수들이 한 단위 증가함에 따라 공구마모 (Y)에 미치는 영향이라 볼 수 있다 [절삭속도 (+) 영향, feed (+) 영향, 공구반경 (-) 영향]. 한 예로, 상용 공구각에서 10분때인 경우 공구마모는 속도가 70m/min 증가할 때 0.26mm 증가하고, feed가 0.13mm/rev 증가할 때 0.027mm 증가하는 반면, 공구반경이 0.4mm 증가하면 0.133mm 감소함을 의미한다.

또 1차 회귀 모델식에서 상수값 b_0 로부터 초기 공구선인 탈락시간을 알 수 있다. 상용 공구각에서는 절삭 시작 후 1분정도가 경과하는 사이에 급격히 공구인선 파괴현상이 일어나지만, 수정된 공구각에서는 1분이 경과한 후에도 공구인선 탈락 현상이 아주 작게

나타나며, 상용 공구각에서와 같은 정도의 초기 공구인선 탈락은 약 5분 정도 지난 후에 일어난다.

Table 7은 ANOVA (analysis of variance) table로 각각 상용 공구각에서의 10분, 수정된 공구각에서의 20분 때의 것이다. Table에서 볼 수 있듯이 F_0 값이 $F(\alpha)$ 보다 크기 때문에 實驗이 타당함을 알 수 있고 결정계수 값 ($R^2=0.9971, 0.9553$) 이 크기 때문에 1차 회귀 모델식의 신뢰성이 좋음을 알 수 있다.

Table 8은 실측값과 1차 회귀 모델식으로 예측한 값을 비교한 것이며 구간 측정값은 t-test를 행하여 구한 값이다. Table 8에서 볼 수 있듯이 실측값과 예측값의 차이가 미소하였다. 이로써 1차 회귀 모델식으로 공구 마모량을 예측할 수 있음을 알 수 있다.

Table 9는 시간별 partial F-test 값으로 각각의 절삭요인들과 요인들 상호관계들이 마모량 (Y)에 미치는 영향의 정도를 나타낸다. 상용 공구각에서 모든 절삭요인의 영향 정도는 절삭속도, 공구반경, feed 순이지만 초기 인선 탈락시간(10초) 근처에서는 다른 모든 요인들 중 공구반경이 지배적인 영향을 주고 있으며, 시간이 지남에 따라 공구반경의 영향보다도 점차로 속도의 영향에 지배됨을 알 수 있다. 또한 10분

Table7. Analysis of variance (ANOVA)

Time:10min (rake angle: 5°, clearance angle: 6°)

Factor	S.S	d.f	M.S	F_0	$F(\alpha=0.05)$
A	0.2150	7	0.0307	196.6	6.09
E	0.0006	4	0.0002		
T	0.2156	11			
				$R^2 = 0.9971$	

Time:20min (rake angle: -6°, clearance angle: 17°)

Factor	S.S	d.f	M.S	F_0	$F(\alpha=0.05)$
A	0.1810	7	0.0259	12.22	6.09
E	0.0085	4	0.0021		
T	0.1894	11			
				$R^2 = 0.9553$	

Table8. Comparison of values measured and values by first-order model of regression

(rake angle: 6° , clearance angle:5°)(rake angle:-6° , clearance angle: 17°)

measured value	predicted value	interval estimation value	measured value	predicted value	interval estimation value
0.615	0.6142	0.5838-0.6445	0.433	0.4230	0.3113-0.5347
0.522	0.5145	0.4842-0.5448	0.390	0.3698	0.2582-0.4815
0.435	0.4383	0.4080-0.4687	0.340	0.3183	0.2067-0.4300
0.399	0.4050	0.3747-0.4353	0.317	0.2962	0.1845-0.4078
0.440	0.4417	0.4225-0.4609	0.237	0.2570	0.1864-0.3276
0.345	0.3600	0.3408-0.3792	0.181	0.2213	0.1507-0.2920
0.315	0.3083	0.2891-0.3275	0.141	0.1843	0.1137-0.2550
0.295	0.2830	0.2638-0.3022	0.128	0.1697	0.0990-0.2403
0.270	0.2692	0.2388-0.2995	0.101	0.0910	-0.0207-0.2027
0.213	0.2055	0.1752-0.2358	0.093	0.0728	-0.0388-0.1845
0.175	0.1783	0.1480-0.2087	0.072	0.0503	-0.0613-0.1620
0.155	0.1610	0.1307-0.1913	0.064	0.0432	-0.0685-0.1548

F(α= 0.05) (Time:10min)

(Time:20min)

이 지난 후에는 feed의 영향보다 오히려 절삭속도와 공구반경의 상호관련 영향이 더 커지며, 나머지 관련 요인들은 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 수정된 공구각에서 工具磨耗에 미치는 영향의 정도는 切削速度, feed, 工具半徑 순이다.

초기(10초)에는 모든 절삭 요인중 feed의 영향이 가장 컸지만 1분이 지나면서부터는 절삭속도, 공구반

경, feed 순으로 나타났다. 이것은 상용 공구각에서 보다 수정된 공구각에서의 인선 탈락 현상이 늦게 일어남을 말해준다.

시간이 경과할수록 工具半徑의 영향보다 feed의 영향이 점차로 증가하여 10분이 지나면 feed 영향이 工具半徑의 영향보다 커지는 것을 알 수 있다. 기타의 요인들은 거의 영향을 주지 않는다.

Table9. Partial F-distribution ratio

(rake angle: 6° , clearance angle: 5°)

	10sec	1min	5min	10min
b ₀	0.0004	0.0002	0.0002	0.0002
b ₁	0.5659	34.3841	134.5407	216.3917
b ₂	0.0516	5.8918	1.3953	6.1594
b ₃	19.7727	99.9334	131.7922	170.7185
b ₄	0.0103	1.9829	0.1441	0.4100
b ₅	4.3143	0.1239	11.6400	11.5642
b ₆	0.0480	0.0855	3.4951	15.2323
b ₇	0.1697	0.3373	1.9981	0.3206

Appropriate Fα-Statistic F(1, 4, 0.05) = 7.71

(rake angle: -6° , clearance angle: 17°)

	10sec	1min	10min	20min
b ₀	0.0000	0.0000	0.0012	0.0021
b ₁	11.5187	11.8809	18.1386	20.8509
b ₂	16.6642	2.1297	0.9955	1.8930
b ₃	2.6660	6.3538	1.6763	0.9021
b ₄	0.6400	0.0066	0.1905	0.2288
b ₅	0.3600	3.1947	0.6172	0.1448
b ₆	0.3325	0.3167	0.5587	0.1563
b ₇	0.0000	0.9538	0.1957	0.0237

4. 結 論

이상의 實驗結果 및 統計分析으로 부터 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 工具角을 수정한 工具(傾斜角 -6° , 餘裕角 17°)의 工具磨耗가 常用공구(傾斜角 6° , 餘裕角 17°)에서의 마모보다 크게 감소하였다.

2. 常用 工具에서 工具磨耗에 미치는 영향의 크기는 切削速度, 工具半徑, feed 순이었으나 修正 工具角에서는 공구마모에 切削速度, feed, 工具半徑 순으로 영향을 미친다.

3. 1차 회귀 모델식으로부터 工具 磨耗量을 예측할 수 있으며, 統計的 分析 方法으로 切削因子들의 相互 關聯 影響정도를 알 수 있다.

REFERENCES

1. Kazuo Nakayma "The formation of SAW-TOOTHED CHIP in metal cutting" p572-577, 43(1977)
2. Noboru UEDA and Tetsuo MATSUO : Influence of Saw-toothed Chip Formation on Tool Wear, p 512-517 (1980)
3. M. Lee "The Failure Characteristics of Cutting Tools Machining Titanium Alloys at High Speed", p 275-287
4. V. C Venkatesh, V. Radharkrishnan and J. Chandramowli, "Wear Propagation in Cutting Tools"
5. A. BER and M. Y. FRIEDMAN, ON the Mechanism of Flank Wear in Carbide Tools
6. R. N. Meyer and S. M. Wu, Pergamon Press 1967, AN ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF CARBIDE TOOL CRATER, Int. J. Mach. Tool Des. Res., Printed in Great Britain, Vol. 7, p123-153.
7. R. Komanduri and R. H. Brown "On the Mechanics of chip Segmentation In Machining", Journal of Engineering for Industry FEBRUARY 1981 Vol. 103.
8. R. Komanduri "Some Clarifications on the Mechanics of Chipformaion when Machining Titanium Alloys". Wear, 76, p15-24(1982)
9. R. Komanduri and W. R. Reed, Jr "Evaluation of Carbide Grades and a New Cutting geometry for Machining Titanium Alloys", WEAR, 92, p113-123(1983)
10. 서남섭, 금속절삭이론(1988), p123-162
11. 박성현, 회귀분석(1989), p171-303