

〈論 文〉

니켈절삭시 CBN, 소결 및 단결정 다이아몬드 공구의 마멸과 예측에 관한 연구

성기석* · 김정두**

(1992년 7월 21일 접수)

A Study on the Tool Wear and Prediction of CBN, Poly Crystal and Single Crystal Diamond Tools in Cutting of Nickel

Ki-Suk Sung and Jeong-Du Kim

Key Words : Difficult to Machine Material(난삭재), CBN, Poly Crystal Diamond(소결다이아몬드), Single Crystal Diamond(단결정다이아몬드), Tool Wear(공구마멸), EDAX (Energy Dispersive Analysis of X-Ray), Chemical Attraction(친화력), Residual Components on Tool after Maching(가공후 공구에 잔유하고 있는 성분), Least Square Method(최소자승법), Tool Wear Prediction(공구마멸의 예측)

Abstract

Generally, the machinability of materials that have a good mechanical properties is poor. For materials having a high strength, high toughness, high strength in high temperature and wear resistance, it is difficult to remove a chip from work materials. These properties are well shown in a Nickel, so this metal is used in machine materials, semi-conductor industry, metal mold and optical fields etc. But it is limited in use because of high cost and poor machinability. In this study, the cutting of pure Nickel was conducted to examine wear of CBN, poly crystal diamond (PCD) and single crystal diamond (SCD) tools. From the result, the CBN tool is superior to poly crystal diamond tools or single crystal diamond tools in terms of tool wear and tool wear is predictable from experimental data base.

1. 서 론

최근들어 금형 및 광학부품과 반도체 산업에서 다양한 신소재 및 초합금(Superalloy)의 사용이 점차 증가하고 있다. 이때 제품이 원하는 강도, 형상 정밀도 및 표면 정밀도를 얻기 위해서는 재료의 선택이 중요하고 공구로는 단결정다이아몬드가 많이 사용되고 있으나 재료에 따라 다이아몬드의 마멸이

문제가 되어 적용이 제한되고 있다. 니켈(Nickel)의 경우 기계적인 성질로서 인성(toughness)이 좋고 고온강도가 우수할 뿐만 아니라 화학적으로도 안정한 재료로서 부식에 강하고 합금으로서의 성질도 기계부품, 구조용 특수강, 내열강 등의 용도로서 뿐만아니라 전기저항용 합금, 항공기엔진, 도금(coating) 및 전자관 음극선 재료로 사용되고 있다. 따라서 재료적인 측면만을 살펴볼때는 니켈이 이상적인 구비조건을 함유하고 있으나 이와같은 성질들은 Ni을 가공하는데는 오히려 불리한 요소로 작용하게 된다. 특히 Ni 합금들은 오스테나이트강

*한국과학기술원 정밀공학과 대학원

**정회원, 한국과학기술원 정밀공학과

(austenite steel) 과 같이 신속한 가공경화(work hardening)를 하는 재료로서 절삭가공을 더욱 어렵게 한다. 따라서 보통의 절삭공구로는 공구의 마멸(wear)이 심하여 수명이 짧고, 고속절삭을 수행할 수 없어 효율적이고 생산적인 가공이 이루어지지 않으며, 공구의 기하학적인 형상이나 절삭조건들이 효율적인 가공에 상반작용을 하기 때문에 가공조건을 선정하기가 어렵다. 예를 들어 Ni 합금중 우주항공산업에 쓰이는 Creep-Resistant alloy 들은 two-phase로서 저속 가공에서는 구성인선(built up edge: BUE)에 의해, 고속가공에서는 고온으로 인하여 어느 경우나 공구에 심한 손상을 가져오므로 절삭속도의 선정이 매우 어렵다.

따라서 니켈의 가공시 나타나는 공구의 마멸에 대한 정량화 및 절삭변수와의 연관성에 대한 연구는 그 자체가 마멸에 대한 데이터 베이스 측면에서 중요하고, 이러한 접근방법으로는 연구가 거의 이루어지지 않았다는 측면에서도 큰 의미를 갖는다. 본 연구는 특히 경도가 큰 공구인 CBN, 소결 다이아몬드(poly crystal diamond 이하 PCD), 단결정 다이아몬드(single crystal diamond 이하 SCD) 공구를 사용하여 니켈의 절삭에서 나타나는 공구의 마멸에 대한 분석을 선행한 후 수집한 정보로부터 절삭속도, 이송, 절삭깊이 및 공구의 nose반경이 공구의 마멸 및 표면의 성상(surface quality)에 미치는 영향에 대하여 고찰하였고 절삭조건 변화에 따라 마멸에 대한 예상 곡선을 구하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 전단 Model

재료의 절삭 가공시 Shear zone에 대한 고찰은 절삭과정 및 결과의 해석에 대한 기초적인 정보를 제공해 준다.

2차원절삭(orthogonal cutting)에서 Ernst & Merchant의 Model은 절삭중에 나타나는 여러 현상(예를 들어, seizure, temperature effect, work hardening) 등을 무시하였기 때문에 Ni과 같이 가공경화가 심하게 발생하는 재료에 대해서는 그대로 적용하기가 곤란하다. 이에 대하여 Wright⁽¹⁾는 절삭시 가공경화(Work hardening)가 발생하는 현상을 고려하여 Ernst & Merchant의 Model을 수정하였다. 먼저 E. & M.에 의해 유도된 전단각(shear angle)의 Model은 다음과 같다.

$$\psi = \frac{\pi}{4} - \frac{(\beta - \alpha)}{2} \quad (1)$$

여기서,

ψ : Shear angle

β : Friction angle

α : Rake angle of Tool

만일 공구와 공작물간의 마찰(friction)이 없으면 가공경화현상이 나타나지 않으므로 식(1)에서 β 가 0이 된다. 이 경우의 전단각을 ψ_0 이라 하면,

$$\psi_0 = \frac{\pi}{4} - \frac{\alpha}{2} \quad (2)$$

Fig. 1에서 ψ_0 는 실제 절삭수행시 나타는 전단각이라 할때, ψ_1 및 ψ_0 로 각각 Chip이 형성될 때의 일률을 등치시키면 다음 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} & \cos(\psi_0 - \alpha) \sin \psi_0 \\ & = K \left[\cos \frac{(\pi - 2\alpha)}{4} \sin \frac{(\pi + 2\alpha)}{4} \right] \quad (3) \end{aligned}$$

여기서 K 는 극한 전단강도(ultimate shear stress)에 대한 항복강도(yield shear stress)의 비를 표시한다. Ni의 경우 풀림(annealing)된 상태에서 이 비율은 110 : 34(Mpa)로서 매우 크고, 공구의 경사각이 10°이하에서 전단각이 10°를 넘지 않는다. 전단각이 매우 작으므로 전단면적이 크게되고 절삭력이 커져 공구 인선의 부담을 가중시킨다.

2.2 공구마멸의 예측에 대한 수학적 모델

일반적으로 공구마멸을 모델화할 때 시간에 대한 3차 다항식(3rd order polynomials)이 도입된다.⁽²⁾ W 를 공구의 마멸량, t 는 절삭시간(min.) 그리고 a_0, a_1, a_2, a_3 를 상수라 할 때 공구마멸에 대한 식은 다음과 같이 표시된다.

$$W = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (4)$$

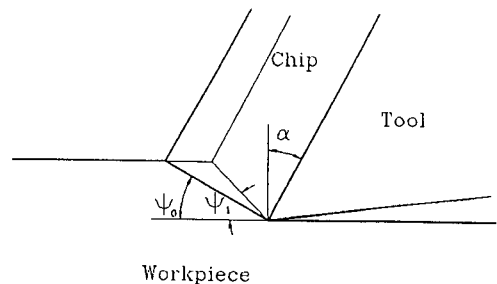


Fig. 1 Shear plane model

여기서 a_0 는 0이 되고, a_1, a_2, a_3 는 실험 데이터로부터 추정할 수 있다. 식(4)은 고정된 절삭조건 하에서 한 공구의 마멸에 대한 모델이다. 그러나 실질적으로 공구의 마멸은 절삭조건에 큰 영향을 받으며, 따라서 이에 대한 고찰이 더욱 중요하다. 이러한 절삭조건으로 절삭속도, 이송, 절삭깊이 그리고 공구의 nose반경을 들 수 있다. 따라서 식(4)의 상수들의 값을 다음과 같이 절삭조건의 함수로 대체한다.

$$a_1, a_2, a_3 = F(V, f, d(\text{or } r)) \\ = V^{b_1} f^{b_2} d^{b_3} \\ \text{or, } = V^{b_1} f^{b_2} r^{b_3} \quad (5)$$

여기서 b_1, b_2, b_3 는 실험 데이터로부터 구할 수 있다. 식(5)의 양변에 로그를 취하면

$$\text{Ln}(a_1, a_2, a_3) = b_1 \cdot \text{Ln } V + b_2 \cdot \text{Ln } f \\ + b_3 \cdot \text{Ln } d \quad (6)$$

수식을 간략화하기 위해 다음과 같이 치환한다.

$$\text{Ln}(a_1, a_2, a_3) = y, \text{Ln } V = x_1 \\ \text{Ln } f = x_2, \text{Ln } d = x_3 \quad (7)$$

이때 b_1, b_2, b_3 에 대한 추정치를 각각 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 이라 할때 오차의 총합이 최소가 되도록 하는 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 를 구하면 된다. 오차의 총합 S 는

$$S = \sum (y - \beta_1 x_1 - \beta_2 x_2 - \beta_3 x_3) \quad (8)$$

식(8)의 S 를 최소화 하기 위해

$$\partial S / \partial \beta_i = 0, \quad i=1, 2, 3 \quad (9)$$

식(9)으로부터 다음의 행렬식을 풀면 β 를 구할 수 있다.

$$B = (X^T X)^{-1} X^T T \quad (10)$$

여기서,

$$B = [\beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3]^T$$

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{16} \\ x_{21} & x_{22} & x_{26} \\ x_{31} & x_{32} & x_{36} \end{bmatrix} \quad x_{ij} = \sum x_i x_j, \quad i, j = 1, 2, 3$$

$$T = [Y_1 \ Y_2 \ Y_3]^T, \quad Y_i = \sum x_i y, \quad i = 1, 2, 3$$

표면조도(surface roughness) Ra 은 기하학적으로 이송 f 와 공구의 nose반경에만 영향을 받지만 실질적으로 절삭속도의 영향을 무시할 수 없다. 따라서 표면조도를 모델화하는 경우 Ra 도 공구의 마멸에 대하여 접근한 방법과 마찬가지로 모델화 할 수 있다. 즉 식(4)에서 W 대신 Ra 로 대체하고 상수 a_0, a_1, a_2, a_3 는 절삭속도, 이송 및 공구의 nose 반경의 영향을 받을때 식(4)과 식(5)은 식(11) 및 식(12)으로 대체되고, 이 상수들은 식(6)부터 식(10)까지의 과정을 반복하여 구할 수 있다.

$$Ra = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (11)$$

$$a_0, a_1, a_2, a_3 = F(V, f, r) \\ = V^{b_1} f^{b_2} r^{b_3} \quad (12)$$

3. 실험장치 및 방법

Table 1에 사용된 장비에 대한 제원을 표시하였

Table 1 Experimental devices and its contents

Devices	Contentqls
Machine tool	NC lathe KEUM DAN ENGINEERING Co. KD-6
A/D converter	Labin master sampling time:0.04 msec
Tool materials	CBN, PCD, SCD
Surface roughness tester	Mitutoyo Surfptest-402
Strain amplifier	KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENT Co. LTD. SER. HB 5010
Optical microscope	MITUTOYO MFG. Co. LTD. TM201

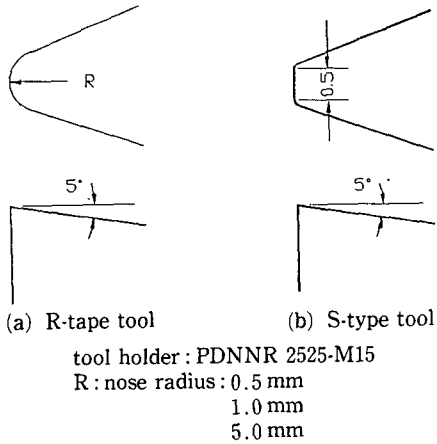


Fig. 2 Tool geometry used in experiments

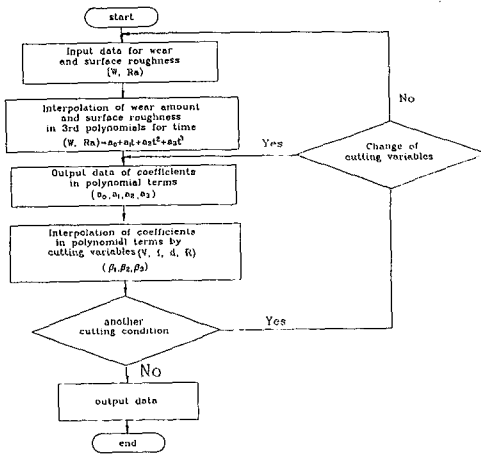


Fig. 3 Flow chart for calculation of prediction curves

Table 2 Properties of used tool

Properties	CBN	Sintered dia.	Natural dia
Density (g/cm ³)	3.48	4.12	3.52
Young's modulus (Kg/mm ² x10 ²)	710	810	990
Hardness (mHV) (kg/mm ²)	4500	5100	9000
Compressive Strength (kg/mm ²)	390	770	870
Poisson's ratio (ν)	0.22	0.07	0.07
Thermal conductivity (cal/cm · sec · °C)	0.48	2.67	5.0
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	4.7	4.2	3.1

고, 또한 사용된 CBN, PCD, SCD 공구의 기하학적 형상 및 치수는 Fig. 2와 같고 물리적, 기계적 성질은 Table 2에 나타내었다. 피삭재인 니켈은 Table 3에 표시한 바와 같이 순도 99.5% 이상인 순 니켈이고, Table 4에 이 재료의 기계적 성질에 대하여 표시하였다. 실험에 사용된 절삭조건은 Table

Table 3 Chemical components of work material

weight ration

Element	Ni	Al	Co	K	Mg	Fe	etc
Content	min 0.995	mas 0.001	max 0.001	max 0.001	max 0.001	max 0.01	bal

Table 4 Mechanical properties of Nickel

	Property	Quantity
Thermal conductivity	(cal · cm · sec/cm ² · °C)	0.22
Brinell hardness No.		230
Tensile strength	(kg/mm ²)	70-85
Yield strength	(kg/mm ²)	65-75
Young's modulus	(kg/mm ²)	22,000

Table 5 Cutting condition for face turning of Ni

Tool	nose radius (mm)	cutting speed (m/min)	feed (mm/rev)	depth of cut (mm)	cutting fluid
CBN	0.5	100	0.04	0.1	wet
	0.5	150	0.06	0.2	"
	1.0	150	0.04	0.1	"
	1.0	200	0.06	0.2	"
	5.0	200	0.04	0.1	"
	5.0	100	0.06	0.2	"
Sintered diamond	S-type	100	0.04	0.2	wet
	S-type	150	0.06	0.1	"
	S-type	100	0.09	0.1	"
	0.5	100	0.04	0.1	"
	0.5	100	0.04	0.1	"
	1.0	150	0.04	0.1	"
	1.0	100	0.06	0.1	"
	5.0	100	0.06	0.1	"
	5.0	200	0.09	0.2	"
	5.0	150	0.04	0.1	"
Natural diamond	S-type	100	0.01	0.02	wet
	S-type	150	0.01	0.02	"
	0.5	100	0.02	0.05	"
	0.5	150	0.005	0.03	"
	1.0	100	0.04	0.1	"
	5.0	150	0.005	0.02	"
	800	150	0.005	0.02	"
	800	100	0.04	0.1	"

5와 같고, 재료의 변질을 줄이고 많은 열발생으로 인한 공구 및 공작물의 온도상승을 억제하기 위해 적절한 절삭유를 공급해 주었다. 피삭재인 니켈은 면절삭(face cutting)을 수행할 수 있도록 원판으로 가공하여 실험하였다. 또한 단면 가공중에 중심부에서 회전속도가 너무 커지는 것을 방지하기 위해 니켈원판의 중심에서 지름이 30 mm인 홈을 가

공하였다. Fig. 3은 본 실험에서 사용한 프로그램의 flow chart이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 공구마멸

Fig. 4는 니켈절삭시 나타나는 PCD 공구의 마멸

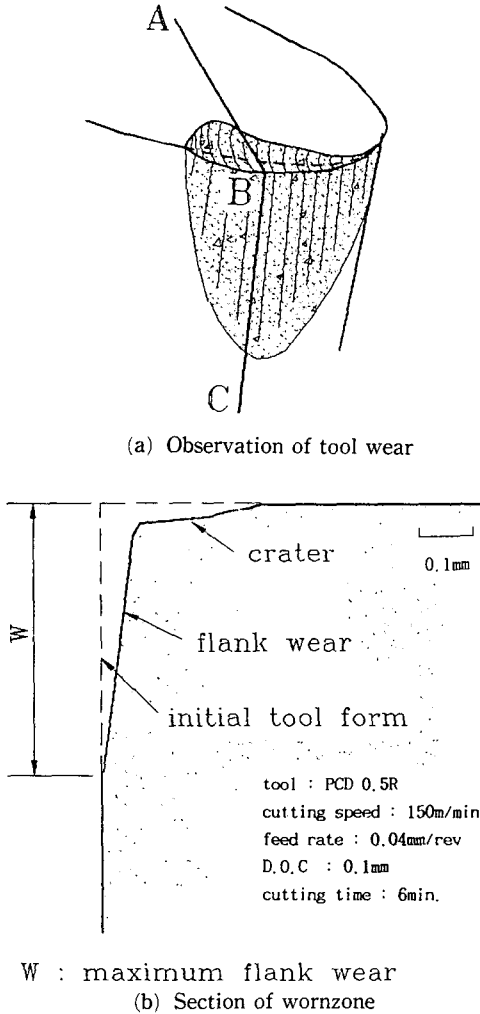


Fig. 4 Characteristic tool wear pattern in cutting of Nickel

을 관찰한 그림이고, (a)에서는 니켈의 절삭시 나타나는 공구의 마멸에 대한 제반현상을 잘 표현해 주고 있다. 즉 공구와 공작물이 접촉하는 부위의 경사면에 중심이 인선에 있는 반원형의 크레이터 마멸(crater wear)이 발생하고, 절삭을 수행할 수록 깊어진다. 또한 절삭이 진행될 수록 인선을 따라 가늘고 긴 홈이 생성되어 공구의 경사각을 부(-)의 방향으로 증가시키는 효과를 가져온다. 일반적으로 이러한 크레이터는 공구의 인선으로부터 어느정도 떨어져 발생하므로 경사각을 증가시키는 효과를 가져 인선을 예리하게 하는데, 니켈의 가공시에는 크레이터가 인선에 근접한 위치에서 그 깊

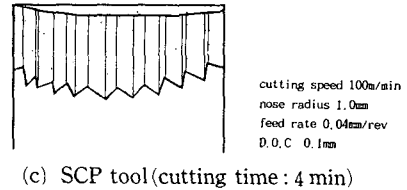
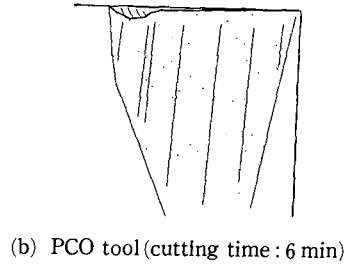
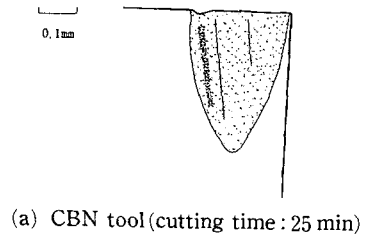


Fig. 5 Comparison of wear pattern by tool materials

이가 최대인 중심이 되고 칩의 유출방향을 따라 깊이가 줄어드는 결과적으로 경사각을 (-) 방향으로 증가시키므로 인선이 무디게 된다. (b)는 같은 공구를 ABC단면, 즉 칩의 유출방향으로 절단하여 측면에서 본 현미경 관찰로서 앞에서 설명한 (-)로의 경사각 증가, 인선의 마멸을 잘 나타내 주고 있다. 이는 RICHARD⁽⁹⁾의 결과와 일치하는 현상이고 식(3)에서 살펴본 바와 같이 니켈절삭시는 전단각이 작고, 이러한 작은 전단각에서 절삭력은 크게 되며 니켈자체의 친화력으로 인해 공구의 인선 마멸이 가속화 하는 것으로 사료된다. Fig. 5는 CBN, PCD 및 SCD 공구의 여유면 마멸을 표시하였다. CBN 공구의 경우가 니켈의 절삭시 마멸에 대한 저항성이 PCD 및 SCD에 비하여 우수한데 이는 PCD 공구나 SCD의 니켈과의 화학적 친화력에 기인하는 것으로 사료되고, ⁽⁴⁾ SCD의 이러한 특성은 특히 주기율표상의 IVB족이나 VIII족 원소의 절삭가공시 잘 나타난다고 설명되고 있다. ⁽⁵⁾ 니켈 절삭시 나타나는 또 하나의 특징으로는 공구의 절삭깊이에 해당하는 부위에 홈(groove)이 발생한다는 것이다. 이러한 홈이 발생하는 원인에 대하여

정확히 규명된 바는 없으나, Shaw⁽³⁾의 해석에 따르면, 높은 가공경화성향(high tendency to work hardening)을 가진 재료의 경우, Chip의 형성과정에서 칩의 가장자리를 생성하는데 소요되는 비 에너지 (specific cutting energy)가 칩의 중심부위를 생성하는데 소비되는 비 에너지보다 커서, 다른 재료의 절삭시와는 달리 Chip의 가장자리에서의 온도가 중심부위보다 높아 칩의 가장자리와 접촉하는 부위의 공구부분을 국부적으로 용융시켜 밀어내어 흠이 생성된다고 설명하고 있다. Tan⁽⁶⁾에 의하면 이러한 흠의 깊이나 폭은 절삭속도나 이송에 따라 좌우되고 절삭깊이는 절삭속도나 이송에 비하여 영향이 작다. 그러나 SCD 공구의 미세한 흠들은 벽개면의 존재로 인한 마멸양상의 차이⁽⁷⁾에 기인하는 것으로 사료된다.

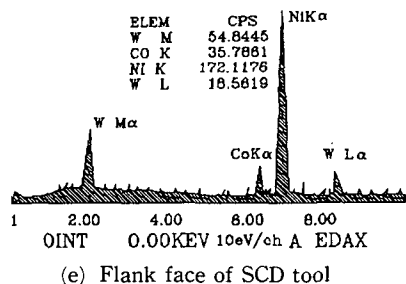
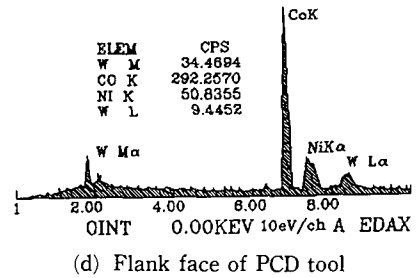
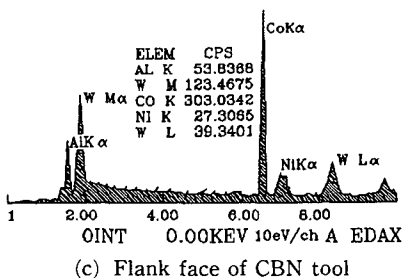
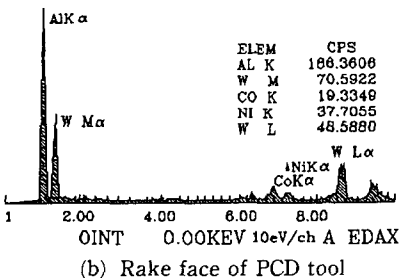
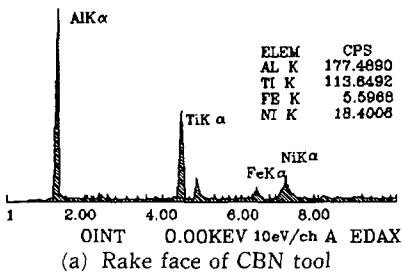
Fig. 6은 공구의 경사면 및 여유면에서 가공후 잔류하는 성분에 대한 EDAX(energy dispersive

analysis of X-ray) 분석을 수행한 것이고, Table 6에 각각의 분석으로 얻어진 니켈의 함량을 CPS(count per second)단위로 나타내고 있다. Nickel을 제외하고 검출되는 W, Ti는 공구 모재의 성분이고, Al은 SEM시편의 재료이다. 이와 같이 이질의 원소가 검출되는 이유는 검출방법이 간접적인 것이기 때문으로서 임의의 한 분위기 중에서 단위 시간동안 센서를 통해 감지되는 원소의 회수를 나타내기 때문이다. 따라서 이들 원소의 유무는 큰 의미가 없다. 공구의 경사면에서 검출되는 니켈의 양은 CBN, PCD 공구에서 각각 18.4, 37.7 CPS, 여유면에서 27.3, 50.8 CPS로서 경사면에서 검출

Table 6 Component of Ni on tool faces after machining

Unit : CPS(Count Per Second)

Tool	Rake face	Flank face
Sintered diamond	37.7	50.8
CBN	18.4	27.3
Natural diamond	0	172.1



cutting speed 100 mm/min
 feed rate 0.01 mm/rev
 D.O.C 0.02 mm
 nose radius 5.0 mm
 cutting time 3 min.

Fig. 6 EDAX analysis on tool face

되는 양이 여유면에서 검출되는 양보다 많고, PCD 공구에서 검출되는 양이 CBN 공구에서 검출되는 양보다 대략 2배 정도 많다. SCD의 경우는 극단적으로서 경사면에서는 검출되지 않으며, 여유면에서는 172.1 CPS로서 CBN이나 PCD에서 보다 수배 이상 검출되고 있다. 실제로 이러한 수치가 공구의 마멸량과 직접적인 비례관계가 성립한다고 할 수는 없지만 마멸량과의 연관성은 존재한다. 즉 같은 절삭조건하에서 EDAX분석으로 검출되는 니켈의 양이 많을수록 공구의 마멸은 더 크다고 말할 수 있다. 따라서 니켈의 절삭시 나타나는 공구의 마멸은 SCD, PCD, CBN 순으로 커지고, 공구의 경사면에서보다 여유면에서의 마멸이 더 크다고 볼 수 있으며, 실제로 Fig. 4 (b)에서 나타내었던 바와 같이 여유면에서의 마멸량이 경사면에서보다 크게 나타남을 알 수 있다.

CBN 공구가 마멸에 대한 저항력이 강한 이유는 고온에서 다이아몬드 공구에 비해 훨씬 안정하고 1000°C 이상에서도 경도는 크게 저하되지 않아 상온의 텅스텐 카바이드 공구에 상당하는 경도를 지닐 정도⁽⁸⁾로 고온에서의 특성이 우수하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 다이아몬드 공구의 경우에는 대략 600°C 이상에서는 산화로 인하여 강도가 저하되고 마멸이 촉진하는 것으로 알려져 있다.⁽⁹⁾

4.2 공구마멸에 대한 예측

공구의 마멸에 대한 크기는 대체로 두 가지 방법을 사용하는데 경사면에서의 crater 깊이와 여유면

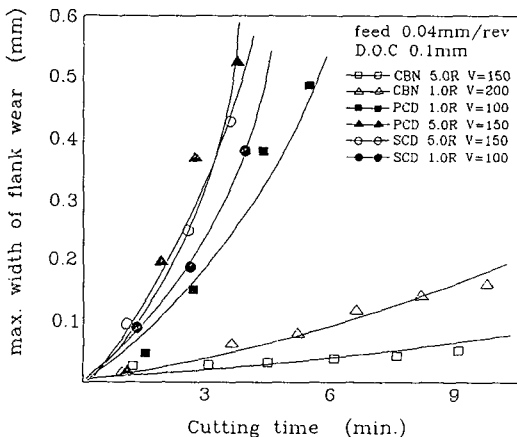


Fig. 7 Flank wear and its 3rd order least square fit of CBN, PCD and SCD tools

의 마멸폭이 그것이다. 앞에서 나타난 바와 같이 니켈의 가공시 나타나는 공구의 마멸은 경사면에서의 마멸보다 여유면에서의 마멸이 지배적이다. 따라서 공구의 마멸을 측정할 때 여유면의 마멸을 측정하는 것이 타당하고, 본 연구에서는 여유면 마멸의 최대폭을 마멸의 크기로 사용하였다. 즉 식(4)에서 W 는 여유면 마멸의 최대폭이 된다. Fig. 7은 실험결과 나타난 마멸량을 식(4)에 따라 공구의 nose반경, 절삭속도를 변화시켰을 때 절삭시간에 대한 3차식으로 보간한 그래프이다. PCD 및 SCD의 마멸곡선은 CBN 공구에 비하여 기울기가 큰 곡선을 그리고, 마멸량도 매우 크다. 이러한 그래프들은 마멸의 예측에 대한 기초자료로 이용된다.

Fig. 8은 절삭시간 5분에 대한 CBN, PCD 및 SCD 공구의 마멸을 속도별로 예측한 그래프로써, CBN 공구의 마멸값은 PCD 및 SCD에 비해 이송 및 절삭속도의 영향을 작게 받는다. 즉 마멸의 증가량에 비해 이송의 증가량이 CBN 공구의 경우가 제일 크고, 고정된 이송속도하에서 속도차이에 의한 마멸량의 차이가 CBN 공구에서 가장 작게 나타난다는 것을 의미한다. 특히 SCD 공구의 마멸이 PCD 공구에 비하여 빠른 이유는 이들 모두 탄소입자로 이루어져 있고 마멸도 같은 메카니즘에 의해 진행되지만 PCD 경우 grain boundary의 존

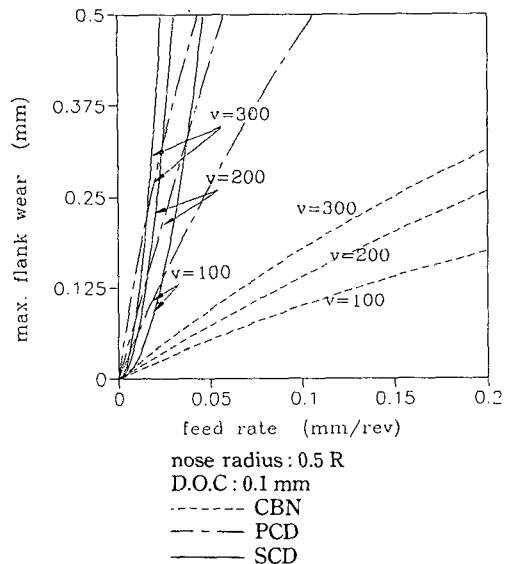


Fig. 8 Five minute tool wear curve for various cutting speed

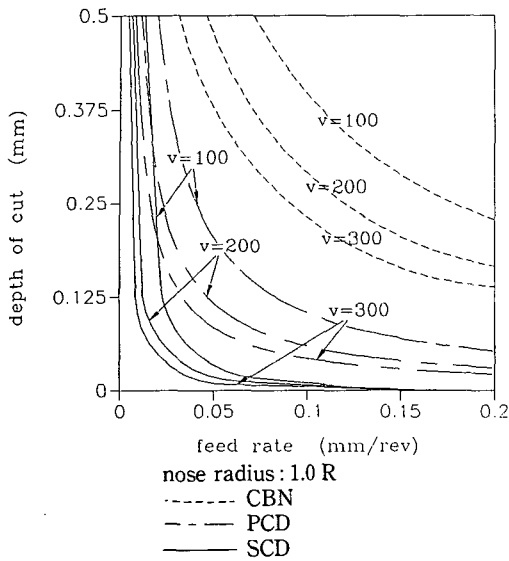


Fig. 9 Five minute tool life model for various cutting speed

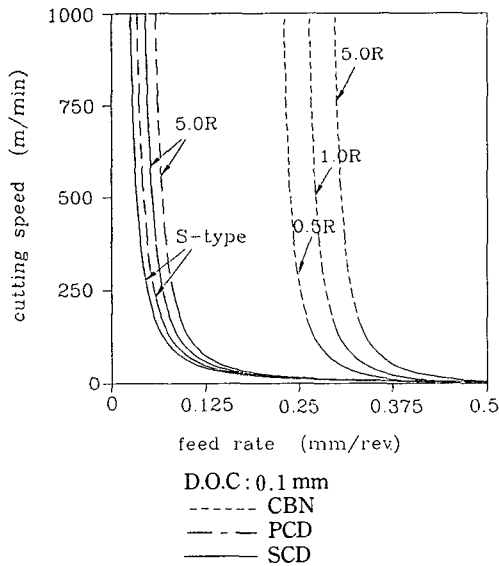


Fig. 10 Five minute tool life model for various nose radius

재로 인하여 마멸의 진행이 다소 방해를 받기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 9는 여유면의 최대 마멸폭을 0.5 mm, 절삭시간을 5분으로 하였을 때 예상되는 절삭속도, 이송 및 절삭깊이의 상호연관 그래프를 각 공구별로

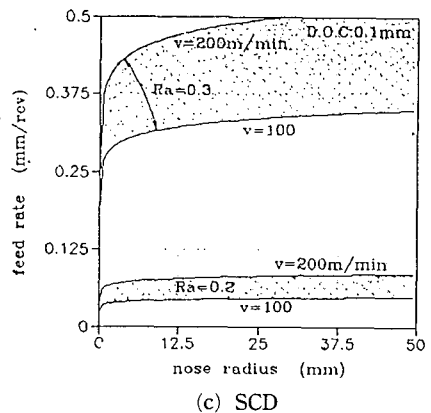
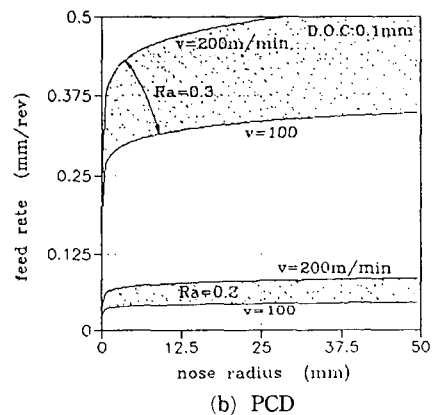
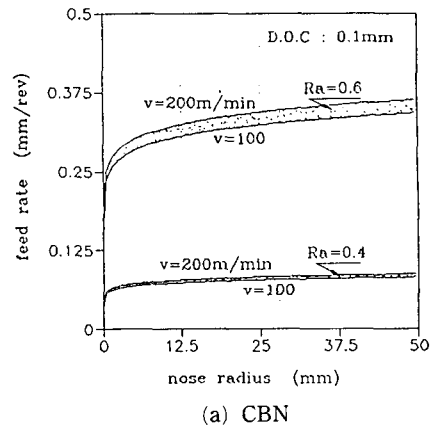


Fig. 11 Surface roughness model in initial cutting

표시하고 있고, 이는 공구의 수명판단 조건에 부합하여 중요한 의미를 가진다. 즉 공구의 수명판단 조건을 여유면의 최대 마멸폭으로 정하였을 경우 이 수치가 0.5 mm에 도달하면 공구수명이 끝났으므로 간주할 때 Fig. 9의 곡선들은 각 공구의 수명

에 대한 절삭변수들 임계치의 체계이 됨의 의미한다. Fig. 10은 식(5)에서 절삭깊이 d 를 고정시키고 각 공구의 nose반경을 고려하였을 때 예측되는 공구수명 5분에 대한 마멸곡선이고 다른 조건은 Fig. 9와 같다. CBN 공구의 경우는 nose반경에 따라 다소 차이를 보이고 있는 반면 PCD 및 SCD 공구의 경우는 nose반경의 영향이 거의 나타나지 않는다는 것을 의미하고, 이는 PCD SCD 공구의 마멸이 공구의 nose반경에 관계치 않고 빠른 속도로 마멸하기 때문이다.

4.3 표면조도에 대한 예측

기하학적인 표면거칠기는 공구의 nose반경과 이송에만 영향을 받으나, 실제의 절삭가공에서는 절삭속도의 영향을 무시할 수 없다. Fig. 11은 절삭초기에 나타나는 표면조도에 대한 제반 절삭변수들의 영향에 대하여 각 공구별로 예측한 곡선이고, CBN공구의 경우 절삭속도가 표면조도에 미치는 영향은 크지 않고, PCD는 절삭속도가 표면에 상당한 영향을 끼치며, SCD의 경우는 CBN과 PCD의 중간정도이고, 대체로 상대적인 황삭의 경우에 절삭속도의 영향이 큼을 의미한다. CBN 공구의 경우 절삭속도의 영향이 크게 나타나지 않는 이유는 CBN 공구의 인선이 PCD나 SCD보다 무디어 절삭속도의 증가에 따른 균일한 칩의 생성확률이 PCD나 SCD에비해 작기 때문인 것으로 사료된다. 또한 이송은 전 범위에서 표면조도에 절대적인 영향을 미치고, 공구의 nose반경이 작은 부위에서는 nose반경에 따라 표면조도에 영향을 크게 미치나 상대적으로 큰 범위의 nose반경에서는 nose반경이 표면조도에 미치는 효과가 크게 나타나지 않는다.

5. 결 론

본 연구에서는 경도가 큰 CBN, PCD 및 SCD 공구를 사용하여 난삭재인 니켈의 절삭가공에서 나타나는 공구의 마멸에 대하여 연구하였고, 얻어진 실험데이터로부터 공구의 마멸이 제반 절삭변수들과 어떤 연관성이 있는지에 대하여 예측하였다. 본 연구를 통하여 나타난 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 니켈절삭 가공에서의 공구의 마멸크기는, SCD, PCD, CBN 순으로 나타난다.

(2) 공구의 마멸은 여유면의 flank 마멸이 경사

면상의 crater 마멸보다 크고, 인선의 침해가 심하며 crater의 중심이 공구의 인선에 위치하고 있다.

(3) 공구수명 5분에 대한 절삭변수들의 예측 곡선으로부터 PCD와 SCD 공구의 마멸은 제반 절삭변수들의 전 범위에 걸쳐 크게 나타난다.

(4) 공구의 마멸이 문제시 되지 않는 절삭초기에 CBN 공구로 가공한 경우 표면조도는 절삭속도에 그다지 영향을 받지 않으나 PCD 가공한 경우나 SCD로 가공한 경우에는 속도가 증가함에 따라 표면조도가 향상된다.

(5) 본 연구에서 도입한 방법을 이용하면 제반 절삭변수들이 특정한 절삭 파라미터에 미치는 영향에 대한 예측도 가능하다.

후 기

위 과제는 (주)금성사의 연구비 지원으로 수행되었으며, 관계자에게 감사한다.

참고문헌

- (1) Wright, P.K., 1982, "Predicting the Shear Plane Angle in Machining From Workmaterial Strain-Hardening Characteristics," Trans. of the ASME J. of Eng. for Ind. Vol. 104, pp. 285~292.
- (2) John, C. Miller, Richard, E. Devor, 1980, "An Experimental Approach to Machinability Testing," SAE 75th Anniversary.
- (3) RICHARDS N. and ASPINWALL, D. 1989, "USE OF CERAMIC TOOLS FOR MACHINING NICKEL BASED ALLOYS," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 29, No. 4, pp. 575~588.
- (4) Naoza IKAWA, 1987, Shoichi SHIMADA and Hideyuki MOROOKA, Technology of Diamond Tool for Untraprecision Metal Cutting, Bull. JSPE, Vol. 21, No. 4, pp. 233~238.
- (5) DeGarmo, E.P., Black J.K. and Kohsher, R. 1984, "Materials and Processes in Manufacturing," Macmillan Publishing Company, pp. 563~564.
- (6) Tan, M.T. 1986, "Groove Wear of Tools in NC Turning of Pure Nickel," Annals of the CIRP,

Vol. 35/1, pp. 71~74.

- (7) 見義一兄, 1988, “單結晶ダイヤモンドの刃先,” JSPE, Vol. 54, No. 11, pp. 2052~2055.
- (8) Trent, E.M. and MET., D. Ph. D., 1978, Metal Cutting, BUTTERWORTHS.
- (9) IKAWA, N., SHIMADA, S. and OHMORI, G., 1988, Recent Trends in Diamond Tool Technology, Proceedings of the International Congress for Ultra-precision Technology