

## 초경합금재의 전자현미경(SEM)내 마이크로 절삭

허성중<sup>#</sup>

### Micro-cutting of Cemented Carbides with SEM

Sung Jung Heo<sup>#</sup>

#### ABSTRACT

This paper investigates the micro-cutting of cemented carbides using PCD (polycrystalline diamond) and PCBN (polycrystalline cubic boron nitride) cutting tools are performed with SEM direct observation method. The purpose of this study is to make clear the cutting mechanism of cemented carbides and the fracture of WC particles at the plastic deformation zone in orthogonal micro-cutting. And also to achieve systematic understanding, the effect of machining parameter on chip formation and machined surface was studied, including cutting speed, depth of cut and various tool rake angle. Summary of the results are shown below. (1) Three type of chip formation process have been proposed by the results of the direct observation in orthogonal micro-cutting of cemented carbide materials. (2) From the whole observation of chip formation, primary WC particles are crushed and/or fine grained in the shearing deformation zone. A part of them are observed to collide directly with a cutting edge of tool by following the micro-cutting. (3) Surface finish, surface morphology and surface integrity is good to obtain by cutting with PCD cutting tool compared with PCBN. (4) The machined surface has the best quality near the low cutting speed of 10 $\mu$ m/sec with a cutting depth of 10  $\mu$ m using 0° rake angle and 3° flank angle in this condition, but it was found that excessively low speed, for example the extent of 1 $\mu$ m/sec, is not good enough to select for various reason.

**Key Words :** PCD cutting tools(다결정 소결 다이아몬드 절삭공구), Cemented carbide materials(초경합금재), Micro-cutting(마이크로 절삭), SEM(주사형 전자현미경), Chip formation(칩 형성)

#### 1. 서론

초경합금재(cemented carbides materials)란 탄화물 분말을 철, 코발트, 니켈 등의 철계 금속을 이용하여 소결하여 결합시킨 합금을 총칭하는 것으로 저온 경도는 물론 고온 경도가 우수하고, 고강도로서 제반 물리적 성질이 안정되어 있는 것이 특징이므로 절삭 공구용 뿐만 아니라 광산용 공구,

터널 공사용 비트, 철강의 압연 롤러 등 내마멸, 내충격용으로 많이 사용되어 진다.<sup>1</sup>

내마멸, 내충격용 초경합금재는 절삭공구용 초경합금재에 비하여 코발트(Co)를 많이 함유하며, 경질 성분인 텅스텐 카바이드(WC)의 입자 지름도 큰 것이 사용된다.

초경합금재의 가공은 재료가 가진 초단삭성으로 인해 일반적으로 연삭 가공에 의해 이루어지고

<sup>#</sup> 접수일: 2003 년 5 월 12 일; 게재승인일: 2003 년 7 월 11 일  
교신저자: 두원공과대학 기계과  
E-mail: sjheo@doowon.ac.kr, Tel: (031) 670-7135

있으므로 가공 능률이 낮다. 반면에 선반, 밀링머신 등을 이용한 절삭은 고능률 가공은 가능하나 공구의 수명 단축과 잦은 결손 및 가공면 표면 거칠기의 악화 등의 원인으로 지금까지 대단히 곤란한 것으로 여겨져 왔다.

경제적인 절삭 가공이 성립하는 전제로서 피삭재와 공구재종과의 경도 균형은 1 대 4 이상의 관계가 필요한 것으로 알려져 있는데, 최근 상용화되고 있는 다결정 다이아몬드 소결체(Polycrystalline Diamond, 이하 PCD 로 줄여 씀) 공구와 CBN 소결체(Polycrystalline Cubic Boron Nitride, 이하 PCBN) 공구에 의해 초경합금재의 절삭가공은 비교적 용이하게 되었다.<sup>2,3</sup>

초경합금재의 절삭에 대해 외경 선반 가공의 경우에는 공구수명과 가공면 표면거칠기 및 절삭저항에 관한 몇 가지의 보고 예가 있으나 아직 불충분한 실정이다.<sup>4,5</sup>

그러므로, 본 연구에서는 초경합금재의 초정밀 절삭의 가능성을 찾기 위해 주사형 전자현미경(Scanning Electron Microscope, 이하 SEM) 내에서 마이크로 절삭을 행하여, 여러 가지 절삭조건의 변화에 대한 절삭현상을 직접 관찰하였다. 즉, 절삭 과정에서 텅스텐 카바이드(WC) 및 코발트(Co)에 일어나는 균열의 동적거동과 칩(chip)으로서의 재료제거 과정을 상세히 고찰함으로써 절삭기구를 규명하고자 하였으며, 경사각을 변화시킨 PCD 와 PCBN 을 사용하여 절삭 현상의 차이점을 살펴봄으로써 초경합금재의 절삭에 더욱 적절한 공구재료를 검증하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 전자현미경 내 마이크로 절삭 장치

SEM 내 마이크로 절삭장치는 절삭깊이의 정확한 설정을 위해 공구대의 강성을 높여 제작하였다. Fig. 1 은 실험에 사용한 SEM 내 미소절삭 장치의 개관이다. 본 장치는 크게 SEM 내 시료대에 고정된 베이스 블록부(base block part), 그 위를 이동하는 시료대 베이스(workpiece die base) 및 시료대의 3 부분으로 이루어져 있다.

베이스 블록부 (1)은 고정구 (2)로부터 SEM 내의 시료대에 장착되며, 공구는 동력계 (3)에 삽입 후, 베이스 블록부에 고정된다. 시료대 베이스 (4)는 시판되고 있는 레일 블록(rail block)과 볼 나사

(5)에 의해 베이스 블록 위를 부드럽게 미끄럼 운동할 수 있다. 피삭재의 이송은 볼 나사 (5)를 SEM 외부의 스텝핑 모터(stepping motor)에 직접 연결하여 제어할 수 있다. 마이크로 절삭용 시료대는 피삭재 홀더 (6)와 그것을 공구 방향으로 운동시키는 절삭 깊이 설정 장치 (7)로 구성되어 있다. 절삭 깊이를 설정하는 방법으로서, 모터로 직접 피삭재 홀더를 작동시킴으로써 1 $\mu$ m 단위의 정확한 설정이 가능할 수 있도록 하였다. 특히, 피삭재 홀더에 인장 스프링을 부착하여 절삭 깊이 방향과 반대 방향으로 항상 인장력이 가해지도록 하여, 절삭력에 의한 피삭재의 이동을 억제 하였다. 또한, 공구 홀더는 피삭재 두께에 맞추어 공구 윗면상의 높이를 변화시킬 수 있도록 설계하여, 불필요한 움직임을 없애는 등 강성을 높여 제작 하였다.

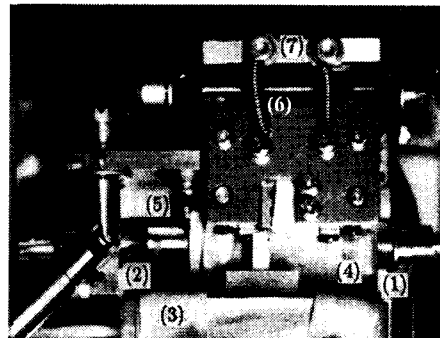


Fig. 1 Photo of micro-cutting device in SEM

### 2.2 실험방법

본 실험에 사용한 피삭재는 피삭재 내부의 경질 WC 입자의 크기와 Co 량에 의한 절삭 특성을 파악하기 위해, 내마멸 내충격 공구용 초경합금재, V50 및 V60(ISO 분류 기호)을 사용 하였다.

피삭재의 화학 조성을 Table 1 에, 기계적 성질을 Table 2 에 각각 나타내었다. 이미 알려진 바와 같이 경도와 탄성계수(Young's modulus)는 Co 량의 증가와 함께 직선적으로 저하된다.

이들 피삭재를 소정의 치수(15×15×0.7mm)로 소결 성형하여, 정밀 연삭기로 관찰면 및 절삭면을 연삭한 후, 래핑(lapping) 다듬질을 행하였다. 그리고, 마이크로 절삭장치의 시료대에 장착하여 시료실 내의 진공도가 2.0×10<sup>-2</sup>Pa 에 도달한 것을 확인 후, 실험을 행하였다.

마이크로 절삭 중 임의의 단계에서 절삭을 멈추고 칩의 형성 과정, 공구 날끝부 및 입자의 파괴 거동 등을 관찰하기 위해 사진 촬영을 하였으며, 일부는 VTR 로 관찰상을 기록하여 실험 후의 검토 자료로 삼았다. 주된 마이크로 절삭조건은 Table 3 에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition (wt%)

Cemente carbides	W	Co	Ti	Ta	C
V50	73.3~78.0	17~22	-	-	4.7~5.1
V60	65.3~73.7	22~30	-	-	4.3~4.7

Table 2 Mechanical properties

Cemented carbides	Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (Hv)	Compressive strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (×10 <sup>4</sup> kg/mm <sup>2</sup> )
V50	13.5	84.0	360	5.1
V60	13.1	82.0	320	4.8

Table 3 Experimental conditions of micro-cutting

Cutting speed v(μm/s)	1, 10, 100
Depth of cut t(μm)	1, 5, 10
Tool material, rake angle(α) and flank angle(β)	PCD : α= 0°, -5°, 12° β= 3°, 6° PCBN : α= 0°, β= 3°

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 절삭 칩 생성 과정 및 칩 형성

##### 3.1.1 초경합금재의 절삭 칩 생성 과정

초경합금재의 절삭에 있어서 절삭 칩의 생성 과정을 규명하기 위해 큰 압축력을 받는 절삭 날부근의 경질 WC 입자에 크랙이 발생하여 파쇄되는 거동을 관찰하여 고찰하였다.

Fig. 2 는 절삭 깊이 10μm, 절삭 속도 10μm/s 로 마이크로 절삭하며 연속 촬영한 절삭 칩 생성과정의 관찰 결과를 나타낸 것이다. 그림 중 L 은 최초의 관찰 지점으로부터 공구 이동 거리(cutting distance)이다.

Fig. 2 에서 알 수 있듯이, 초경합금재의 절삭에 있어서 WC 입자의 파쇄에 의한 절삭 칩 생성 과

정은 주로 4 단계로 이루어져 있다고 생각된다.

즉, ① 공구 진입 단계, ② 균열 발생 단계, ③ 균열 단계, ④ 절삭 칩 유출의 단계의 일주기를 거쳐 완전하게 절삭 칩 중에 유출되고 있다.

Fig. 2(a)는 공구 날 끝 전방으로부터 약 15μm 에 있는 지름 약 7μm 의 WC 입자(타원 부분)를 나타낸 것으로, 이와 같은 절삭 날의 진입 단계에서는 공구 앞 부분과 접촉되어 있는 입자를 볼 수 있지만 그다지 큰 변화는 확인할 수 없다.

Fig. 2(b)에 나타낸 균열의 발생 단계에 있어서는 WC 입자는 입자 내부에 미세한 균열이 생긴 모양으로서, WC 입자가 전단영역에 유입된 직후에 여유면 아래쪽의 절삭 방향에 대해 약 10° 방향으로 발생한 것을 알 수 있다.

Fig. 2(c)는 공구 날 끝 전방에 5μm 까지 접근하였을 때의 균열 단계를 나타낸 것으로, WC 입자는 (b)에서 발생 및 성장한 균열이 점점 커져서 여러 개의 불규칙한 파편으로 분리되고 있다. 이 때, WC 입자는 현저한 소성 유동을 일으킴으로써 공구 날 끝 부근에서 발생한 균열이 전단면에 걸쳐서 성장하여, 반시계 방향으로 회전하며 위쪽으로 유출되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 2(d)는 (c)의 단계를 저배율(×3,500)로 관찰한 것으로, 이 시점에서 절삭 칩의 형태는 규칙적인 전단형을 나타내고 있다.

Fig. 2(e)에 나타낸 절삭 칩의 유출 단계에서 WC 입자에서 발생한 균열은 전단 영역에서의 전단 응력에 의해 WC 입자 주위의 공동(空洞)과 일치화 되고 있다. 그 후, 파편들은 공구 여유면과 접촉되어 반시계 방향으로 회전하면서 이동하여 완전한 절삭 칩의 형태로 유출되고 있는 것이 확인되었다.

Fig. 2(f)는 (e)의 단계를 저배율(×3,500)로 관찰한 것으로 WC 입자는 전단영역에서 미세화 된 후, 그것들의 일부가 공구 날 끝과 직접 충돌하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 피삭재에 발생한 균열은 전단영역을 거쳐 하나의 절삭 칩 형성 사이클이 종료되며, 형성된 절삭 칩은 공구 경사면을 따라 유출된 후 다시 새로운 칩 형성이 시작된다.

이상의 관찰 결과로부터, 마이크로 절삭에 있어서 WC 입자의 파쇄 과정을 정리하면 다음과 같다. 즉, WC 입자는 전단영역에 진입하기 직전에 균열이 발생하기 시작하여, 일부에 예리한 형상

을 가진 여러 개의 불규칙한 파편으로 나누어 진다. 이것들의 일부분은 절삭의 진행에 의해 공구 날 끝에 직접 충돌하여 더욱 미세화 된다. 이 때 WC 입자는 Co 등 주변의 큰 구속력에 의해 공구 여유면 및 경사면을 강하게 끌어 당기게 됨에 따라 더욱 작게 파쇄되며, 이와 같은 절삭 거동이 초경합금재의 절삭에 있어서 급격한 공구 마멸을 일으키는 주된 요인 가운데 하나인 것으로 판단할 수 있다.

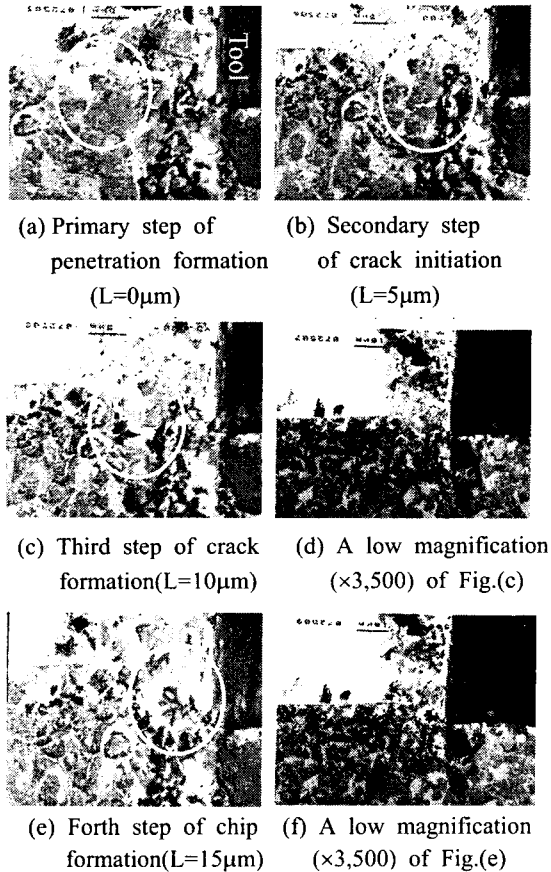


Fig. 2 Successive SEM photographs of chip formation process in micro-cutting [Workpiece; WC-Co G60, Tool; PCD  $\alpha=0^\circ, \beta=3^\circ; t=10\mu\text{m}, v=10\mu\text{m/s}$ ]

### 3.1.2 초경합금재의 절삭 칩 형성

Fig. 3 에 PCD 로써 절삭하였을 때의 절삭 칩 형성 상태를 나타내었다. 공구 날에 마멸이 발생되지 않은 절삭 초기로부터 공구를 1,000 $\mu\text{m}$  까지 연속적으로 진행시킨 정상 절삭의 단계에 있어서

는 Fig. 3(a)에 전체적으로 나타낸 것과 같이 절삭 칩은 코일(coil) 형태로 연결되어 규칙적인 유동향으로 배출되는 경향이 있는 것이 확인되었다. 그러나 공구 마멸이 증대하면, 절삭 칩은 Fig. 3(b)에서 볼 수 있는 약간 말린 정도의 컬(curl) 형태가 되며, 여기서부터 Fig. 3(c)와 같이 절단(折斷)이 일어나는 것을 알 수 있었다. 마이크로 절삭에서 뿐만 아니라 일반의 절삭에 있어서도 전단형 절삭 칩이 배출되면, 공구 수명 한계에 도달하여 가공정도가 악화되어 가는 것이라고 추정할 수 있으므로 공구 교환을 필요로 할 것이다.

Fig. 3(d)는 절삭 칩의 단면을 나타낸 것으로, WC 와 비교하여 상대적으로 경도가 낮은 Co 부분 ( $\rightarrow$ 표시)에서 입자가 거칠게 전단되고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상이 주기적으로 반복되어 작은 전단과 큰 전단이 교대로 발생하는 것도 알 수 있으며, 절삭 저항도 그것에 맞추어 변화하고 있는 것이라고 생각할 수 있다.

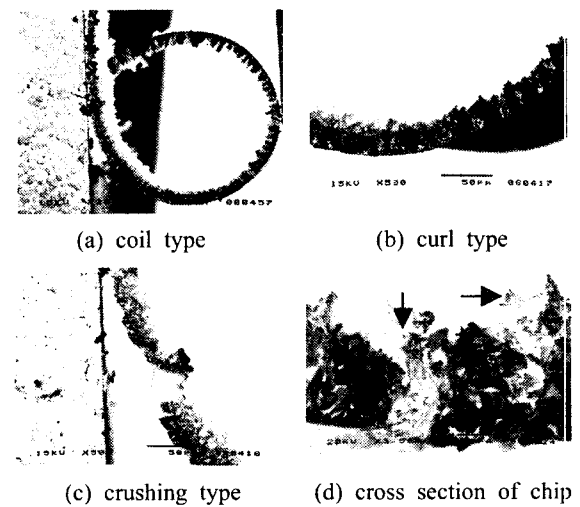


Fig. 3 Typical SEM photographs of chip formation in micro-cutting of WC-Co [Workpiece; WC-Co V50, Tool; PCD  $\alpha=0, \beta=3^\circ; t=10\mu\text{m}, v=10\mu\text{m/s}$ ]

## 3.2 마이크로 절삭 현상

### 3.2.1 WC 입자의 불규칙한 전단 거동

Fig. 4 는 초경합금재를 마이크로 절삭 하였을 때, 전단영역에서의 절삭 칩 내 WC 입자를 SEM 에서 연속적으로 관찰한 전형적인 사진이다.

WC 는 원래 육방정(hexagonal) 형상이지만 소

결 과정에서 성장하면 3 각주상을 나타내기 때문에 일반적으로 조직 중에서는 3 각, 곱자형상(矩形狀) 혹은 사다리꼴형상(梯形狀)을 나타낸다.

Fig. 4 의 조직 중에서 흰색의 콘트라스트를 나타내는 상이 Co 상, 즉 결합상이다.

앞에서 설명하였듯이 절삭 중에 WC 입자는 미세하게 파쇄되어 절삭 칩 가운데로 유출되지만, 그림에서 알 수 있듯이 WC 입자(→표)가 분열되지 않고, 오히려 WC 입자를 둘러싸고 있는 결합제(Co)에서 공동(空洞)이 발생하여, 그대로 절삭 칩으로 유출되는 경우도 많은 것을 확인할 수 있었다.

이와 같은 불규칙한 전단 현상은 WC 와 Co 의 경도 차, 다시 말해 WC 와 Co 의 마이크로 경도(Hv)비 1780 : 250 에서, 상대적으로 연성이 높은 Co 의 경계면에 걸려서 큰 전단력을 받아 전단영역이 형성되기 때문이라고 여겨진다. 즉, WC 입자 자체가 그 파괴응력을 넘을 수 있는 것과 같은 큰 전단응력을 받아 파괴됨과 함께, 주위의 Co 부분도 입자에 의한 하중의 집중에 의해 변형되었다고 말할 수 있다.

모재 중에 경질 입자를 함유한 경우에 외력이 작용하면 탄성영역에서는 경질 입자 근방에 응력

집중이 발생하여 여기서의 응력이 모재의 내력(耐力, yield strength)을 넘어서면 항복이 일어난다. 더욱 외력이 증가하면 항복영역이 넓어지면서 입자 부근에서는 가공경화가 일어나고, 여기서의 응력은 가공경화지수의 크기에 의존하여 높아지게 된다. 마지막으로 응력은 모재의 파괴응력에 도달함으로써 소성 불안정 상태가 되어, Fig. 3(b)에서 볼 수 있었던 입자 근방의 미소 균열(파괴)이 발생하게 된다.

위와 같은 과정에서, WC 입자 근방의 응력이 입자 자체의 파괴 응력을 넘어서게 되면 입자는 파괴되어 미소화 되는 것이다.

초경합금재의 마이크로 절삭에 있어서 전체적인 절삭 현상을 관찰한 것으로부터, 결합제의 변형 가능성 또한 높기 때문에, WC 입자에 걸리는 힘이 약화 되는 확률도 높은 것이라고 생각할 수 있다.

### 3.2.2 절삭 속도 변화에 의한 전단 파괴 거동

Fig. 5 는 초경합금재의 마이크로 절삭에 있어서 절삭속도의 변화에 의한 전단 파괴 거동을 미시적으로 관찰하여 비교한 일례를 나타낸 것이다.

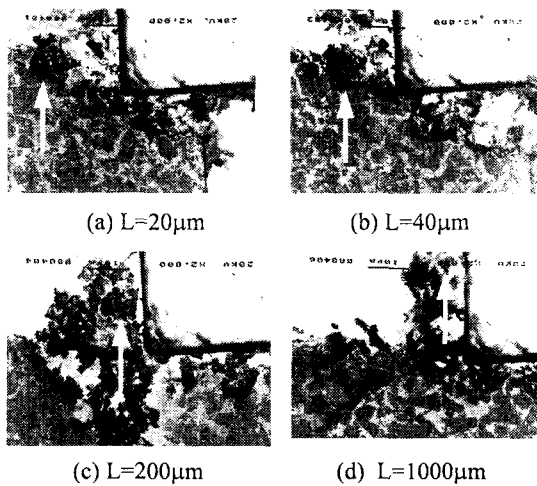


Fig. 4 Successive SEM photographs of shearing deformation process during micro-cutting at various cutting distance [Workpiece; WC-Co G60, Tool; PCD  $\alpha=0^\circ$ ,  $\beta=3^\circ$ ;  $t=10\mu\text{m}$ ,  $v=5\mu\text{m/s}$ ]

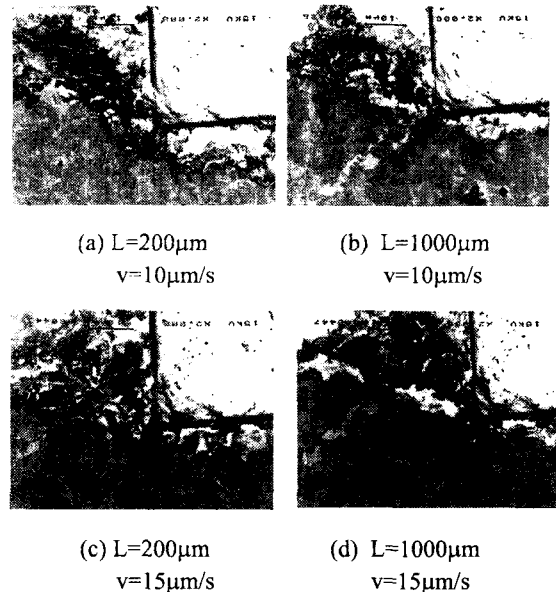


Fig. 5 Comparison of shearing deformation zone by various cutting speed [Workpiece; WC-Co G60, Tool; PCD  $\alpha=0^\circ$ ,  $\beta=3^\circ$ ;  $t=10\mu\text{m}$ ]

그림에서, 절삭속도가 빠르면 빠를수록 전단영역에서의 파괴는 심하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 전단면 상의 전단력 혹은 공구 날 끝에 의해 직접 받는 하중이 크게 되기 때문에 WC 입자에 균열이 발생되어 그 경계면이 거칠게 나타나기 때문이라고 여겨진다.

즉, 하중이 작은 영역에서는 모재의 소성 유동에 의해 WC 입자에 걸리는 하중은 약화되어, 입자의 균열이 발생하지 않는 경우가 높지만, 압축 하중이 어느 정도의 값을 넘으면 변형의 집중에 의해 입자에 걸리는 하중이 증가하여 균열이 생기는 확률은 급증하게 되는 것이다. 여기서, 균열된 WC 입자들이 절삭 칩 가운데 유출되는 칩 생성 사이클에 있어서는 절삭 속도가 빠른 쪽이 짧고, 당연히 전단형 절삭 칩으로 되는 것도 다시 확인할 수 있었다.

Fig. 6 은 절삭 속도에 의한 전단 파괴 거동과 절삭 칩 생성 상태를 전체적으로 비교하기 위해 VTR 로 기록한 것의 일부를 발췌한 사진이다. 이것들은 포지티브 경사각(positive rake angle)인 공구를 사용하여, 같은 절삭 깊이에서 절삭 속도를 10 배씩 증가시켜 절삭하였을 때, 절삭 시작점으로부터의 공구 이동 거리가 거의 같은 지점(L=1,500μm)에서의 절삭 상태를 나타낸 것이다.

절삭 속도가 저속인  $v=1\mu\text{m/s}$  의 경우는 Fig. 6(a), (b)와 같이 절삭 날로부터 절삭 방향에 있는 소성 변형 영역이 넓어져서 절삭 칩은 두껍게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 절삭력에 의한 전단력보다 주로 공구 날끝에 의해 받는 직접 하중이 더 크게 작용하기 때문이라고 생각된다.

이와 같이 절삭 속도가 낮을 때에는 분할이 많은 전단형 절삭 칩으로, 가공 표면상에도 버어(burr)가 발생되고 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 이 조건에서는 절삭 다듬질면도 악화된다고 생각할 수 있으나, 현저한 균열의 성장은 보이지 않고, 공구의 진행과 더불어 절삭 칩 컬(curl)의 반지름은 크게 나타난다.

Fig. 6(c)에 나타낸  $v=10\mu\text{m/s}$  의 조건에서는  $v=1\mu\text{m/s}$  의 경우에 비하여 소성 변형 영역이 좁기 때문에 외관상의 전단각은 크고, 전단력과 절삭력에 의해 파괴된 WC 입자는 모재의 소성 유동에 편성된 형태로 절삭 칩 중에 배출된다. 또한, 다른 절삭 조건과 비교하면 공구 날 끝 부근의 WC 입

자 및 모재의 변형량은 작아서 보다 정밀한 절삭이 행해 질 수 있는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6(d)는 (c)의 공구 날 끝 부분(타원 부분)에 있어서 미세한 균열이 생긴 WC 입자의 고배율 SEM 사진을 나타낸 것이다.

WC 입자는 공구 날 끝과 직접 충돌하여 전단 파괴되어 있고, 공구가 이동함에 따라 전단력은 공구 날 끝에 집중적으로 작용함으로써 전방의 입자에도 균열이 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 초경합금재의 마이크로 절삭에 있어서는  $v=10\mu\text{m/s}$  의 절삭속도가 다른 조건에 비해 알맞으며, 절삭 칩의 배출도 좋은 것을 확인하였다.

Fig. 6(e), (f)에 본 실험 장치의 구성을 고려할 때

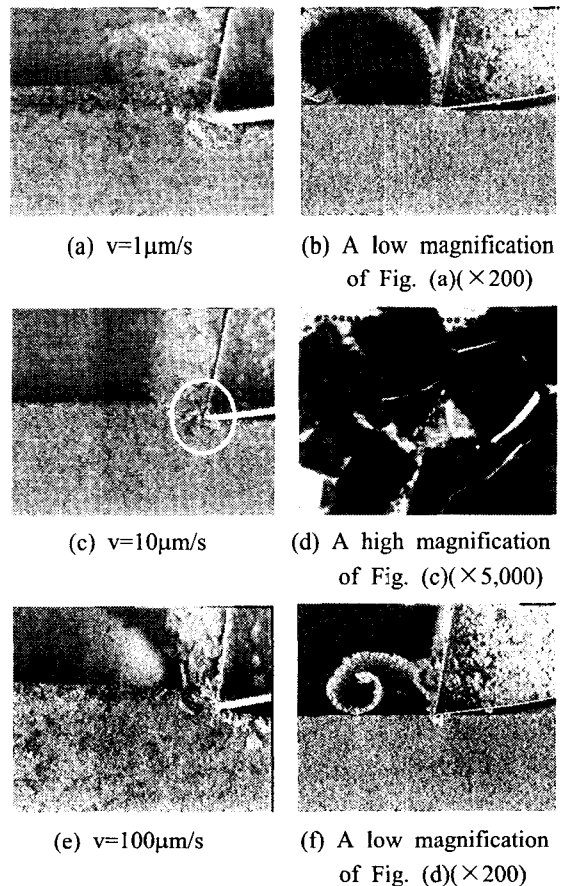


Fig. 6 Comparison of the whole chip formation by various cutting speed [Workpiece; WC-Co G60, Tool; PCD  $\alpha=12^\circ$ ,  $\beta=6^\circ$ ;  $t=10\mu\text{m}$ ]

때 비교적 고속인  $v=100\mu\text{m/s}$  으로 절삭한 경우 전체적인 칩 생성 상태를 나타내었다. 앞에서 알아본  $v=1\mu\text{m/s}$  및  $v=10\mu\text{m/s}$  의 경우와 비교하여 소성 변형 영역은 더욱 좁아 지고 있다. 또한, 절삭 칩의 배출은 불규칙적으로, 약간 감긴 정도의 쉘(curl) 형상으로 되며 전단형으로 변하여 배출되고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서,  $v=100\mu\text{m/s}$  에서는 절삭 칩 생성 사이클이 대단히 짧고, 심한 전단형 절삭 칩이 될 가능성이 높으므로 초경합금재의 마이크로 절삭에는 부적당한 절삭 조건으로 판단된다.

절삭 속도의 변화에 있어서 소성 영역의 크기 및 절삭 칩의 배출 상태를 관찰 함으로써 알 수 있었던듯이, 절삭 속도가 낮을수록 소성 변형 영역은 넓어 지고, 절삭 속도의 증가와 함께 전단면의 형성은 확실하게 되지만 초경합금재의 제반 특성을 고려하여 지나치게 높은 절삭 속도는 적절하지 못하다고 생각된다.

그러나, 본 마이크로 절삭 실험 조건에서 절삭 속도가 느린 쪽이 유리하다는 것은 초경합금재 초정밀 절삭을 위해 충분히 고려하여야 할 사항인 가공 표면 거칠기의 개선 및 공구의 마멸 제어와 버어의 생성 억제를 위한 제약 조건이라고 판단될 뿐, 일반 절삭할 경우에 있어서 최적의 절삭 속도를 결정 짓는 요인이라고 단정 지어 말할 수는 없을 것이다.

단지, Fig. 5의 결과에서 알 수 있었던 전단 영역에서의 경질 WC 입자의 균열 상태로부터 추정하면, 실제의 절삭에 있어서 적정 절삭 속도는 초경합금재의 Co 량이 감소하여 경도가 높아지면 절삭속도는 더욱 낮게 설정할 필요가 있을 것이다. 또한 미세한 WC 를 사용한 초경합금재의 절삭에서는 Co 량이 같다 해도 역시 절삭속도를 낮게 설정할 필요가 있다고 생각된다.

### 3.2.3 공구형상에 따른 전단 파괴 거동

초경합금재의 절삭가공에 있어서 적절한 공구 재종을 선택하는 것이 가장 중요한 것이지만, 최적의 공구 형상을 선택하는 것도 대단히 중요하다. 따라서, 여기서는 공구 경사각의 변화에 의한 전단 영역의 거동 및 절삭 칩 생성 상태의 관계와 함께 공구 형상이 전단에 미치는 영향을 비교하여 적정한 공구 형상을 검토하였다.

Fig. 7은 각각 다른 경사각, 즉 +, 0,  $-(\alpha=0^\circ,$

$-5^\circ, 12^\circ)$ 를 가진 PCD 와 PCBN 을 사용하여 V50, V60 초경합금재를 마이크로 절삭 한 경우의 절삭 칩 생성의 변화 등을 관찰한 것의 일부이다.

공구 경사각의 증대에 의해 전단각이 증대하며, 경사각은  $0^\circ, -5^\circ$ 와 같이 작은 쪽이 칩의 배출이 용이하게 되고, Fig. 7(a)~(c)에서 각각 볼 수 있듯이 공구 경사각이 작으면 작을 수록 절삭 칩의 두께가 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다.

한편, 경사각이 포지티브(positive) 방향으로 크게 되면, 공구 날 끝 여유면으로부터 과대한 절삭 저항에 의해, 공구 경사면에 치핑(chipping)이 발생한다. 이와 같은 사실은 네가티브(negative) 경사각의 경우에는 공구 여유면에 과대한 절삭 저항이 작

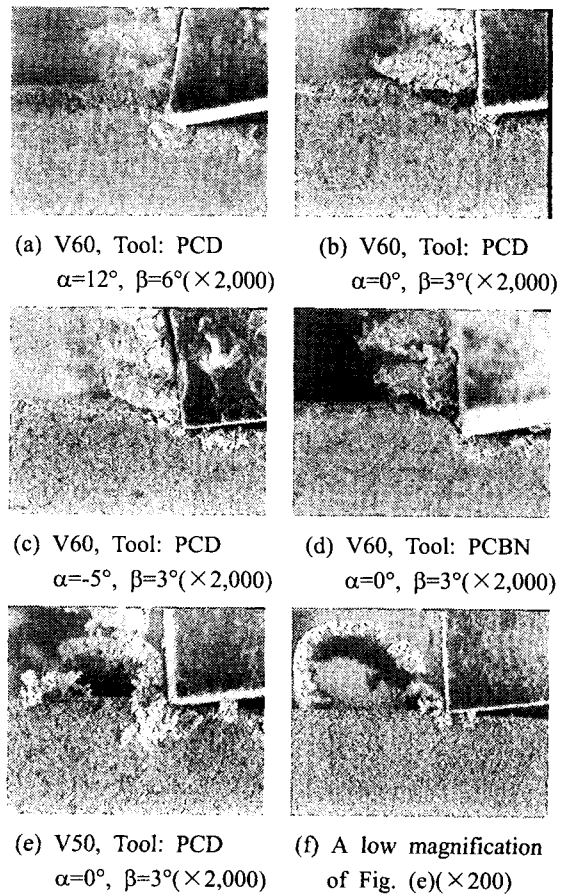


Fig. 7 Comparison of the whole chip formation by various tool shapes and workpieces [Workpiece ; WC-Co V50, V60, Tool; PCD, PCBN;  $v=10\mu\text{m/s}$   $t=10\mu\text{m}$ ]

용하여도 경사면에 치핑이 발생하기 어려워 절삭 날의 신뢰성이 높고 공구 수명이 안정된다는 보고와도 일치하는 것이다<sup>6</sup>.

따라서, PCD 를 사용하여 초경합금재를 절삭한 경우의 적절한 공구 경사각은  $-5^{\circ}\sim 0^{\circ}$  정도가 타당하다고 할 수 있다.

Fig. 7(d)는 (c)와 같은 형상을 가진 PCBN 공구를 사용하여 V60 초경합금재를 마이크로 절삭하였을 때를 나타낸 것이다. PCD 공구를 사용하였을 때와 비교하면 이 때에는 입자 균열이 더욱 많은 전단형 절삭 칩이 배출되고, 공구가 진행한 가공 표면의 상태도 악화되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 초경합금재의 절삭에 적합한 공구로서는 PCBN 보다 PCD 공구라는 것으로 판단되어진다.

Fig. 7(e), (f)는 V60 보다 경도와 압축 강도가 높은 V50 을 Fig. 7(c)와 같은 형상의 PCD 를 사용하여 마이크로 절삭하였을 때의 사진으로, V60 을 절삭한 경우와 비교하여 절삭 칩의 배출이 나쁘고, 절삭 날의 수준에서 다시 전단되고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 V60 보다 단단한 WC 입자로 구성되어 있는 V50 은 좁은 범위에서 큰 굽힘 변형을 받음으로써 굽힘 파괴가 일어나 절삭 칩의 작은 파편을 위쪽으로 밀어 올리기 때문이라고 생각되어진다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 초경합금재의 초정밀 절삭의 가능성을 찾기 위해 주사형 전자현미경내에서 마이크로 절삭을 행하여, 여러 가지 절삭현상을 직접 관찰하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 초경합금재의 절삭에 있어서 절삭 칩 형태가 생성되는 과정은 주로 4 단계로 성립되었다. 즉, ① 공구 진입 단계, ② 균열 발생 단계, ③ 균열 단계, ④ 절삭 칩 유출의 단계의 일주기를 완료하여 완전하게 절삭 칩으로 유출되었다.

(2) 초경합금재의 마이크로 절삭에 있어서 전체적인 절삭 현상을 관찰한 결과, 결합제의 변형 능력이 높기 때문에, WC 입자에 걸리는 힘을 약화시킬 확률이 높은 것으로 판명되었다.

(3) 절삭 속도 변화에 따른 소성 영역의 크기 및 절삭 칩의 배출 상태로부터, 본 연구에서의 가장 적당한 절삭 속도는  $v=10\mu\text{m/s}$ , 라고 판단된다.

(4) 초경합금재의 절삭에 적합한 공구로는 PCD 공구인 것이 판명되었으며, 이 때 공구 경사각은  $-5^{\circ}\sim 0^{\circ}$  정도가 타당하였다.

#### 참고문헌

1. Suzuki, H., Cemented Carbides and Sintered Harc. Materials, Maruzen Co. Ltd., p. 33, 1989.
2. Technical Research Institute, Machining Data Files, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 95-0321, 1997.
3. Kim, H. C., Hahm, S. D., Hong, W. P., Park, Y. W. and Kim, K. S., "The Comparison of Cutting Characteristics of PCD and MCD Tools in the Ultraprecision Turning of Aluminum Alloy," J. of the KSPE, Vol. 17, No. 12, pp. 68-75, 2000.
4. Technical Research Institute, Machining Data Files, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 95-0323, 1997.
5. Technical Research Institute, Machining Data Files, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 95-0325, 1997.
6. Technical Research Institute, Machining Data Files, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 95-0319, 1997.