

다이아몬드공구에 의한 초경합금의 절삭

김성청*, 이재우**

Machining of WC-Co alloys with diamond tool

Sung-Chung Kim*, and Jae-Woo Lee**

Abstract

This paper deals with the machinability based on turning of WC-Co alloys with the coated and the sintered diamond tools. The main conclusions obtained are as follows. (1) When machining WC-10%Co alloy, the flank wear of sintered diamond tool increases more largely with the increase of cutting speed in comparison with coated diamond tool. The tool wear decreases with the increase of the grain size and nose radius of sintered diamond tool. (2) When machining WC-20%Co alloy, the tool wear and cutting force decrease with the decrease of rake angle. There exists a certain cutting speed range to exhibit the smallest tool wear in machining the WC-20%Co alloy, and this critical cutting speed becomes higher by 2 times in the case of coated diamond tool compared with sintered diamond tool. (3) The machinability becomes better with the increase of Co content. The effects of cutting speed and feed rate on the roughness of machined surface become smaller with the increase of Co content.

Keywords : WC-Co alloy(초경합금), Sintered diamond tool(소결다이아몬드공구),
Machining(절삭), Tool wear(공구마멸), Surface roughness(표면거칠기)

* 충북대학교 정밀기계공학과

** 두원공업전문대학 기계과

1. 서 론

초경합금은 저온 경도는 물론 고온 경도가 우수하고 강도가 높으며, 제반 물리적 성질이 안정되어 있는 것이 특징으로 내마멸, 내충격, 내식용의 공구 및 금형용 부품으로써 각 방면에 이용이 증가되고 있다.

그러나 초경합금은 소결시의 수축 때문에 소결후의 형상·치수를 예측하여 성형 치수를 결정하는 것이 극히 어려우며, 소결만으로는 표면성상이 만족되지 않는 경우가 많으므로 최종 공정으로써 기계가공이 필요한 경우가 많지만, 완전 소결한 초경합금은 높은 경취성을 가지기 때문에 가공방법으로써 연삭^{(1)~(2)}과 같은 입자가공이 주체로 되어, 가공능률이 매우 낮고 복잡한 형상 가공이 어려운 단점이 있다.

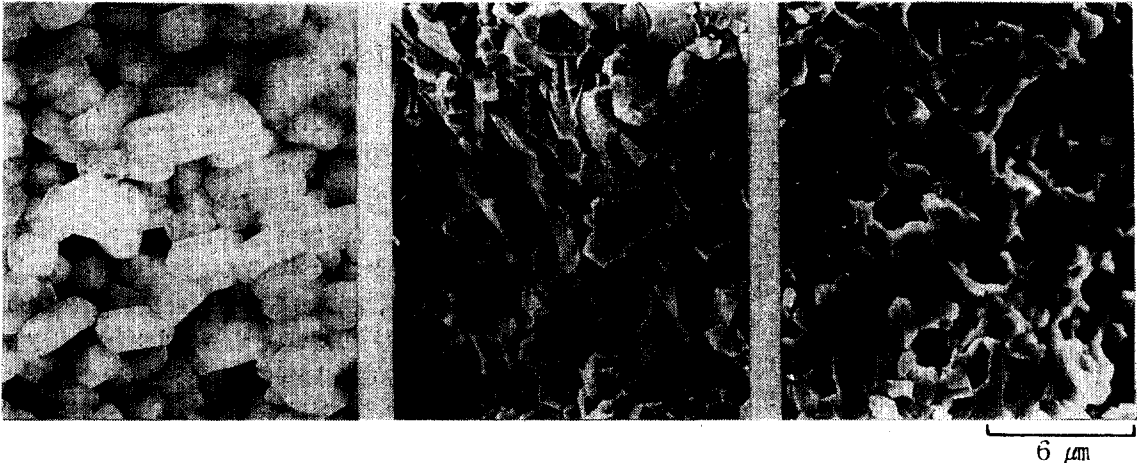
따라서 소량 다품종, 복잡한 제품 형상 및 가공 제거량이 많은 부품에서는 가공능률이 높은 단인 공구에 의한 절삭가공이 행해지는 경우가 많이 있다. 절삭가공용의 공구재질은 일반적으로는 피절삭재 보다 3~4배 높은 경도가 필요하다는 보고⁽³⁾가 있지만, 일반적인 초경합금을 절삭할 수 있는 공구재종은 다이아몬드 혹은 CBN 공구 이외는 존재하지 않는다고 할 수 있다. 특히 다이아몬드공구는 고온에서 탄화되어 내마멸성이 급격히 떨어지는 특성을 가지고 있으며, CBN 및 다이아몬드공구는 가격이 고가이므로 초경합금의 절삭을 위한 적절한 절삭조건을 찾는다는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

그러나 초경합금의 절삭가공이 국내의 산업체에서는 많이 행해지고 있는데 비해, 초경합금의 절삭에 관한 연구보고는 발견되지 않으므로, 산업 현장에서는 적절한 절삭조건 및 공구형상을 선정하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 소결다이아몬드공구는 각 업체에서 제조기술을 기밀로 하는 부분이 많이 있어서 다른 공구 재종과는 달리 제조업체 별로 성질에 상당한 차이가 있고⁽⁴⁾, 인성이 매우 낮기 때문에 공작기계의 강성 및 정밀도에 큰 영향^{(5)~(7)}을 받게 된다. 따라서 공구 제조업체에서 제공하는 초경합금을 피절삭재로 한 절삭 데이터는 실제의 절삭현상과는 맞지 않는 경우가 많다. 또한 연삭마멸(abrasive wear)이 주 마멸기구로 되는 경취재료의 절삭에서는 반드시 경도가 높은 공구가 공구수명이 길 것이라는 일반적인 상식과는 다른 현상⁽⁸⁾이 나타나는 경우가 있다.

따라서 본 연구에서는 Co 함량이 다른 3종류의 초경합금에 대하여 무피복 및 피복소결다이아몬드공구를 사용하여 선삭가공을 하고, 공구 마멸 및 표면거칠기에 미치는 공구 재종 및 공구형상의 영향을 검토하였다.

2. 실험 방법

피절삭재로 사용된 초경합금은 평균 입자지름 1.5 μ m의 WC 분말 및 약 1.3 μ m의 Co 분말을 원료로 한, WC-10%Co, WC-20%Co 및 WC-30%Co 혼합



(a) WC-10%Co

(b) WC-20%Co

(c) WC-30%Co

Fig.1 SEM photographs of fractured surfaces of various WC-Co alloys

물을 (직경)50×(길이)200 mm로 프레스 성형한 후, 1340~1380°C에서 1시간 상압소결한 것이다. 피절삭재의 파단면 조직사진을 Fig. 1에 나타낸다. WC-10%Co 합금은 결합제(binder)의 함량이 낮기 때문에 WC 입자간의 결합력이 낮아서 파단면은 입계파괴형(intergranular fracture)을 나타내며, WC-30%Co 합금은 결합제의 함량이 높기 때문에 WC 입자들이 강하게 결합되어 있으므로 입내파괴형(transgranular fracture)을 나타내고, WC-20%Co 합금은 WC-10%Co와 WC-30%Co의 중간 양상을 나타낸다. Table 1은 피절삭재의 물리적 및 기계적 성질을 나타낸 것이며, Co 함량이 높을수록 인성 및 강도가 높아지나 경도가 떨어져서 내마멸성이 저하되며, Co 함량이 높을수록 경취성이 높아지게 된다.

Table 1 Mechanical and physical properties of workpiece machined

Material		WC-10% Co	WC-20% Co	WC-30% Co
Property				
Specific gravity	$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	14.5	13.5	12.8
Vickers hardness, HV		1400	1100	950
Flexural strength	MPa	2012	2604	2811
Modulus of elasticity	GPa	582	491	441
Coefficient of thermal expansion	$10^{-6}/\text{K}$	5.3	6.6	7.6
Heat conductivity	W/(m·k)	72	55	48
Grain size	μm	4.3	4.2	4.1

Table 2는 실험에 사용된 공구의 재종 및 형상을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 공구재종은 무피복 소결다이아몬드공구와 피복 소결다이아몬드공구이다. 무피복 소결다이아몬드공구의 평균 입자지름은 0.5, 5, 20 및 40 μm 의 4 종류로서, 공구입자크기의 영향을 조사하기 위한 실험 이외에는 평균 입자지름 40 μm 의 공구를 사용하였다. 또한 피복 소결다이아몬드공구의 모재인 소결다이아몬드의 입자지름은 10 및 40 μm 의 2 종류로서, 다이아몬드 입자지름의 영향을 조사하기 위한 실험 이외에는 입자지름이 40 μm 인 공구를 사용하였다.

피복 소결다이아몬드공구는 소결다이아몬드 모체에 두께 15 μm 의 피막을 성장시킨 다이아몬드 코팅공구로서 무피복 소결다이아몬드공구에 비해 내열성 및 내마멸성이 우수한 공구이다. 또한 공구 형상의 영향을 조사하기 위하여 공구의 경사각(rake angle)을 -25° , -20° , -15° , -10° 로 변화시켰으며, 공구형상의 영향을 조사하기 위한 실험 이외에는 경사각을 -25° 로 일정하게 하였다. 또한 공구의 노우즈 반경(nose radius)의 크기가 공구마멸에 미치는 영향을 조사하기 위하여 노우즈반경 0.8의 사각형공구, 반경 4 및 6.5 mm의 원형공구를 사용하였으며 노우즈반경의 영향을 조사하기 위한 실험 이외에는 사각형공구를 사용하였다.

Table 2 Materials and geometris of tools used

Tool material	Tool geometry	Chamfer
Sintered diamond	㉔ -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8. Rectangular ㉕ R=4 mm, Round tool Rake angle(deg), $\alpha = -25, -20, -15, -10$ Relief angle(deg), $\gamma = 25$ ㉖ R=6.5 mm, Round tool $\alpha = -25^\circ, \gamma = 25^\circ$	0.02 mm, 20°
Diamond coated sintered diamond	$\alpha = -25^\circ, \gamma = 25^\circ$	0.02 mm, 20°

절삭작업은 Table 3에 나타난 바와 같이 절삭깊이를 0.2 mm로 일정하게 하고, 절삭속도를 25~105 m/min, 이송속도를 0.02, 0.03, 0.04 mm/rev으로 변화시켜 CNC선반(Okamoto CL-66H)에서 수행하였으며, 절삭조건에 따른 영향을 조사하였다.

피절삭재는 습식(wet cutting)에서 외경선삭을 행하였으며, 수용성 절삭액(KS W2에 상당함)을 1 : 50의 비율로 희석하여, 매분 7ℓ의 비율로 공구경사면측으로 주입하였다. 또한 측정식 표면거칠기측정기(Form Talysurf Plus)를 사용하여 절삭방향과 직각으로 절삭면의 최대 표면거칠기를 측정하였으며, 공구의 여유면마멸폭(Flank wear width)과 경계면모폭(Major flank notch width)은 공구현미경으로 최대 값을 측정하였다. 절삭면 및 절삭칩은 주사형 전자현미경(Hitachi

HXM-2B)으로 관찰하였으며, 절삭저항(cutting force)은 압전소자형 공구동력계(Kistler 9257A)로 측정하였다.

Table 3 Cutting conditions

Cutting speed, V	25 ~ 105 m/min
Feed rate, F	0.02, 0.03, 0.04 mm/rev
Depth of cut, D	0.2 mm

3. 실험결과 및 고찰

3.1 WC-10%Co합금의 절삭

무피복 소결다이아몬드공구와 피복 소결다이아몬드공구를 사용하여 WC-10%Co합금을 습식절삭 하였을 때의 절삭속도에 따른 공구 여유면 마멸폭을 Fig. 2에 나타낸다. 무피복 소결다이아몬드공구는 절삭속도가 커짐에 따라 여유면마멸이 크게 증대되지만, 피복 소결다이아몬드공구는 절삭속도가 커질 때 여유면마멸은 다소 증대되는 경향을 나타낸다. 따라서 절삭속도 45 m/min에서는 두 공구의 여유면마멸폭의 차가 그다지 나타나지 않았으나 절삭속도가 증가할수록 두 공구의 마멸폭의 차는 더욱 증가된다. WC-10%Co합금을 절삭한 경우 습

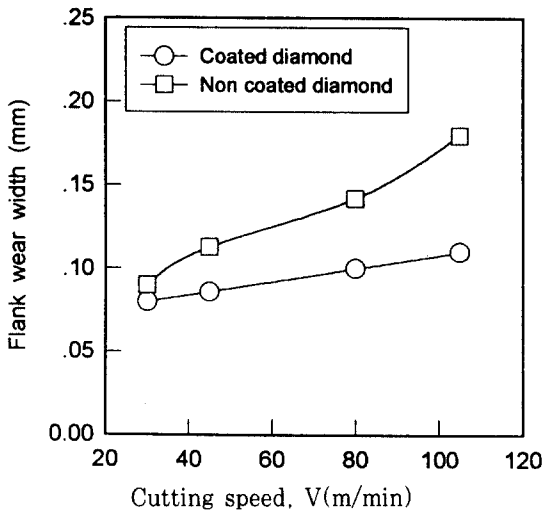


Fig. 2 Effect of cutting speed on flank wear width of diamond tools in machining of WC-10%Co

D=0.2mm, F=0.03mm/rev, Cutting length=400m

식 절삭이라 하더라도 공구 절삭날에서의 절삭온도는 절삭속도의 증가에 따라 높아지기 때문에 절삭속도가 증가될수록 무피복 소결다이아몬드의 내 마멸성이 저하하므로 고속영역일수록 마멸폭이 급격히 크게 된다고 생각된다. 한편 피복 소결다이아몬드공구는 고온에서 화학적으로 안정되어 있고 고온 경도가 높기 때문에 절삭속도가 높을수록 무피복 소결다이아몬드공구에 비해 내마멸성이 현저히 크게 되는 것으로 생각된다. 따라서 피복의 소결다이아몬드를 공구로 사용하는 경우, 무피복 소결다이아몬드공구 보다 고속에서 절삭하는 것이 유리하다고 할 수 있다.

Fig. 3은 WC-10%Co합금을 무피복 및 피복 소결다이아몬드공구로 절삭한 때의 절삭거리에 따른 공구 여유면 마멸폭의 변화를 나타낸 것이다. 이 경우에 있어서도 무피복 소결다이아몬드공구에 비해 피복 소결다이아몬드공구의 절삭거리에 따른 마멸속도가 현저히 낮음을 나타낸다. 일반적인 무피복 소결다이아몬드에서 소결용제부(binder)의 면적이 30%이며, 다이아몬드가 점유하는 면적이 약 70%이다. 이러한 소결용제는 다이아몬드에 비하여 경도 및 강도가 낮으므로 절삭시에 소결용제부의 마멸이 더욱 진전되기 쉬우며, 이 경우 마멸이 빨라진 소결용제부에서 응력집중(stress concentration)현상

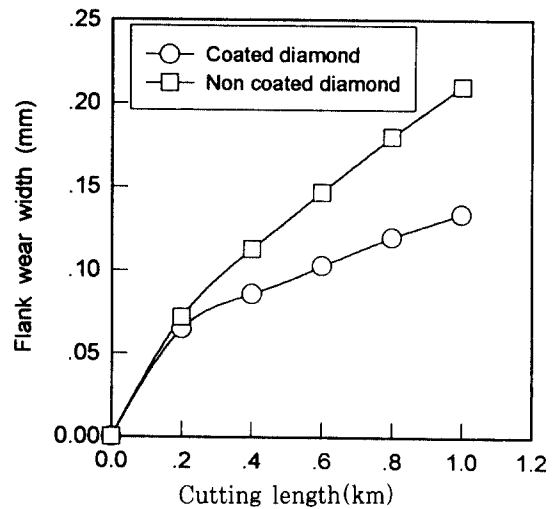


Fig. 3 Wear progress curves of different diamond tools in machining of WC-10%CO

V=45m/min, F=0.03mm/rev, D=0.2mm

이 발생하여 칩핑(chipping)이 생성되는 기점으로 되기 쉬우므로, 칩핑 및 다이아몬드입자 탈락에 의한 공구 마멸(tool wear)을 현저히 촉진시킨다. 이것에 비하여 피복 소결다이아몬드공구에서는 소결용제부에도 다이아몬드가 성장하여 기상 합성된 입자와 입자가 견고하게 결합되어 있기 때문에 다이아몬드입자의 탈락이나 다이아몬드 입계(grain boundary)가 기점으로 되는 칩핑이 발생하지 않으므로 절삭시의 마멸이 억제되는 것으로 생각된다. 또한 다이아몬드입자의 열팽창율은 $1.1 \sim 1.2 \times 10^{-6}$ 인데 비해 소결용제로써 다량 사용된 Co의 열팽창율은 13.8×10^{-6} 으로 크게 다르다. 따라서 절삭온도의 상승에 따라 Co가 팽창하여 다이아몬드입자 사이에서 큰 응력이 발생하므로 열응력에 의한 다이아몬드 입계 파괴가 용이하게 발생하는 것도 하나의 원인으로 생각되어 질 수 있다.

Fig. 4는 WC-10%Co합금을 절삭한 때의 절삭거리 에 따른 표면거칠기의 변화를 나타낸 것이다. 소결다이아몬드공구의 피복에 따른 영향은 그다지 나타나지 않으며 절삭거리의 증가에 따라 표면거칠기는 거의 직선적으로 커지게 됨을 알 수 있다.

WC-10%Co합금을 절삭하였을 경우에 무피복 소결다이아몬드공구의 입자지름이 달라짐에 따른 공구 여유

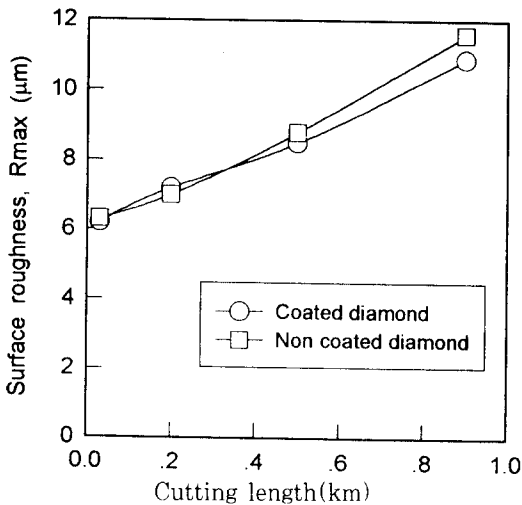


Fig. 4 Effect of cutting length on surface roughness in machining of WC-10%Co with different diamond tools

V=45m/min, F=0.03mm/rev, D=0.2mm

면 마멸폭의 변화를 Fig. 5에 나타낸다. 이 경우에 입자지름이 커질수록 다이아몬드의 함유율이 높아져서 절삭시의 내마멸성이 증대됨을 알 수 있다. 그러나 입자지름이 큰 공구를 사용하는 경우에 인성이 낮아져서 절삭 깊이 및 이송속도를 높게 하면 칩핑등의 손상이 발생할 가능성이 커지게 된다. 본 연구에서는 소결다이아몬드공구의 입자크기의 영향을 조사하기 위한 실험 이외에는 내마멸성이 가장 우수한, 입자지름 40 μm의 공구를 사용하였다.

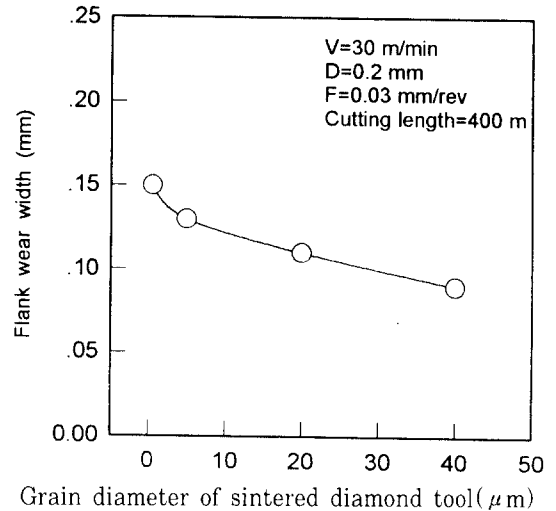


Fig. 5 Effect of grain size of sintered diamond tool on flank wear width in machining of WC-10%Co

Fig. 6은 피복 소결다이아몬드공구의 입자지름을 달리하여 WC-5%Co합금을 절삭하였을 경우에 절삭거리와 공구 여유면마멸과의 관계를 나타낸 것이다. 피복 소결다이아몬드공구의 모재인 소결다이아몬드의 입자지름이 클수록 마멸속도가 현저히 작아지며, 절삭거리가 길어짐에 따라 소결다이아몬드의 입자지름에 따른 여유면 마멸폭의 차는 더욱 커지게 된다. 이것은 피복된 다이아몬드막의 입계량이 적을수록 내마멸성이 우수하기 때문으로 생각된다. 다이아몬드 모재의 결정면을 따라 피복(diamond coated)의 입계부가 형성되며 입계부에서의 다이아몬드 결정면이 각각 다르므로 입계부에서의 다이아몬드막의 상호 결합은 복잡한 양상을 띄게 되며, 따라서 변형이나 결합이 다른 부분 보다 많이 포함되므로 내

마멸성이 떨어진다고 생각된다.

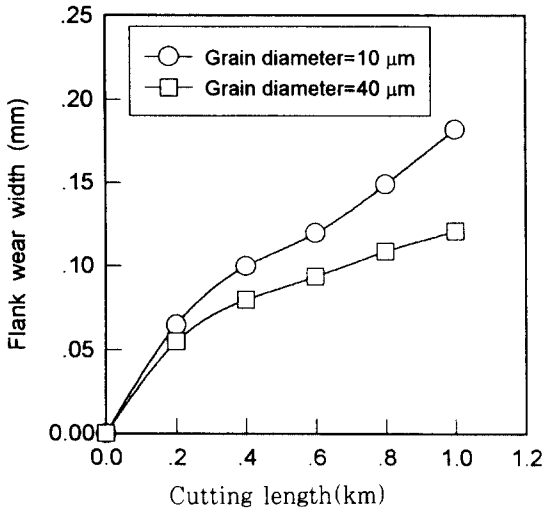


Fig. 6 Effect of cutting length on flank wear width of the coated diamond tools with different diamond grain size

V=30m/min, F=0.03mm/rev, D=0.2mm, Workpiece=WC-10%Co

Fig. 7은 무피복 소결다이아몬드공구의 노우즈 반경이 공구 여유면마멸폭에 미치는 영향을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 이 경우 노우즈 반경이 클수록 우수한 성능을 나타낸다. 이것은 절삭날의 노우즈 반경이 클수록 절삭날의 단위 길이당 절삭량이 작아진다는 것과 절삭날에 발생하는 절삭열의 확산이 용이하기 때문으로 생각된다.

3.2 WC-20%Co합금의 절삭

WC-20%Co합금의 절삭에서는 예비실험 결과 절삭날이 박리상의 마멸을 일으켜 수명에 달하는 경우가 많이 나타났다. Fig. 8은 이러한 박리상의 손상을 억제하기 위하여 공구 경사각이 공구의 여유면마멸폭에 미치는 영향을 조사한 결과를 나타낸 것이다. WC-20%Co 합금의 선삭에서는 절삭시의 공구 여유면에 높은 응력이 작용되어 경계마멸이 생기고 이것이 발달하여 공구수명에 달하기 때문에 여유면마멸폭(Flank wear width)과 경계마멸폭(Major flank notch width)을 별도로 측정하였다. 공구 경사각이 (-)방향으로 크게 됨에 따라 여

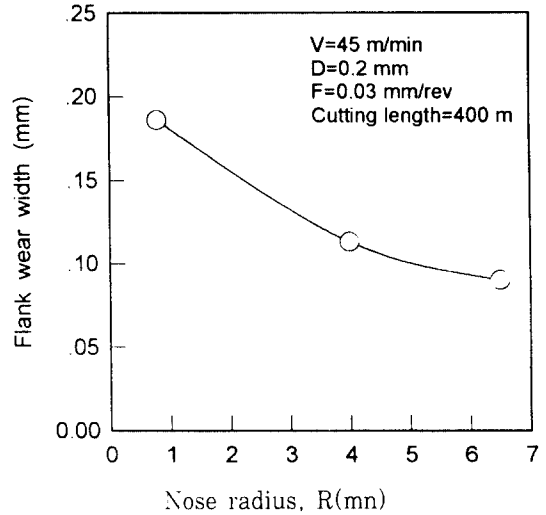


Fig. 7 Effect of nose radius of sintered diamond tool on flank wear width in machining of WC-10%Co

유면마멸폭이 감소되는 경향을 나타내고, 경사면의 박리상 손상도 경사각이 (-)방향으로 크게 됨에 따라 억제

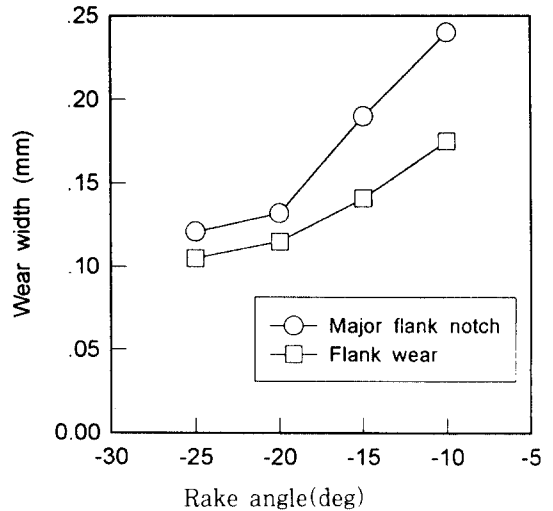


Fig. 8 Effect of rake angle on wear width of sintered diamond tool in machining of WC-20%Co

V=45m/min, F=0.03mm/rev, D=0.2mm, Cutting length=400m

되는 것으로 생각되어진다. 다른 WC-Co 합금에서는 경계마멸이 공구수명에 영향을 미칠 정도로 현저히 발생하지는 않았으나, WC-20%Co 합금에서 경계마멸이 크게 발달하는 원인은 피절삭재의 경도는 WC-10%Co 합금에 비해 다소 낮으나 강도 및 인성이 높아지게 되어 공구와 피절삭재의 경계부에서 높은 응력이 작용하기 때문으로 생각된다.

Fig. 9는 무피복 소결다이아몬드공구와 피복 소결다이아몬드공구의 경사각을 -25° 로 하고 WC-20%Co 합금을 절삭하여 절삭속도 의존성을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 또한 피복 소결다이아몬드공구를 사용하여 절삭속도를 변화시킨 경우의 절삭저항을 Fig. 10에 나타낸다. 무피복 및 피복 소결다이아몬드공구는 모두 경계마멸에 극소치가 존재한다. 또한 절삭저항은 절삭속도의 증가에 수반하여 감소된다. WC-20%Co 합금의 선삭에서 경계마멸에 극소치가 존재하는 것은 다음과 같은 원인에 의한 것으로 생각된다. 즉 절삭속도가 저속인 경우 피절삭재의 경도 및 강도가 높기 때문에 절삭날에 부하 되는 응력이 높게 되어 경계마멸이 크게 되지만 절삭속도의 증가에 수반하여 절삭저항이 감소하는 것으로부터 추정되는 바와 같이, 피절삭재의 강도나 경도가 저하하기 때문에 절삭날에 부하되는 응력이 완화되어 마멸폭은 감소된다. 한편 고속으로 되면 절삭날 온도의 상승이 현저하고 소결다이아몬드의 내마멸성이 저하되어 여유면 마멸폭이 크게 된다고 생각된다. 또한 무피복 소결다이아몬드공구에 비해 피복 소결다이아몬드공구의 내열성이 높으므로, 무피복 소결다이아몬드공구에 비해 피복 소결다이아몬드공구는 약 2배의 고속에서 마멸의 극소치가 존재하고 그 마멸폭도 현저히 작아지는 것으로 생각된다. 한편 초경합금의 절삭시에 절삭칩은 취성파괴에 의해 생성되므로 균열형 절삭칩으로 되지만, 절삭속도가 증가하면 피절삭재의 균열이 크게 발달하고 결손 부분의 간격이 크게 되어, 공구와 피절삭재와의 사이에서 접촉 저항이 작용하는 시간적 비율이 감소하여 절삭저항의 평균치가 절삭속도의 증가에 따라 저하한다고 사료된다.

3.3 WC-30%Co 합금의 절삭

Fig. 11은 WC-30%Co 합금을 절삭하였을 때의 공구마멸진행선도를 나타낸 것이다. 초기 마멸은 상당히 크지만 시간의 증대에 따라 매우 완만한 경사를 나타낸

다. 또한 Co 함량을 달리한 각 초경합금 중에서 WC-30%Co 합금을 절삭한 경우의 공구마멸이 가장 작게 됨을 알 수 있다. 이것은 WC-30%Co 합금의 경도가

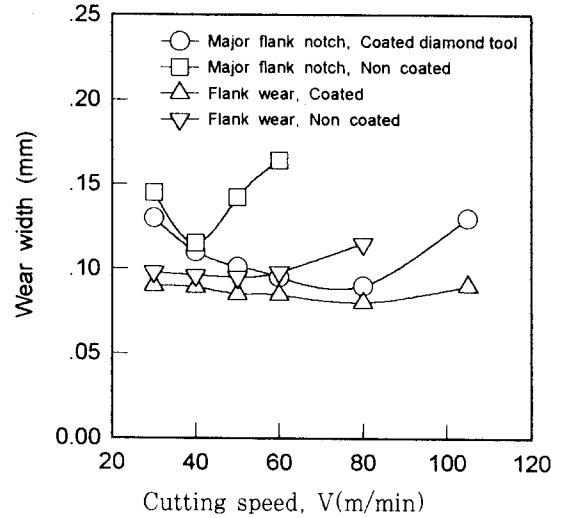


Fig.9 Effect of cutting speed on wear width of different diamond tools in machining of WC-20%Co

F=0.03mm/rev, D=0.2mm, Cutting length=400m

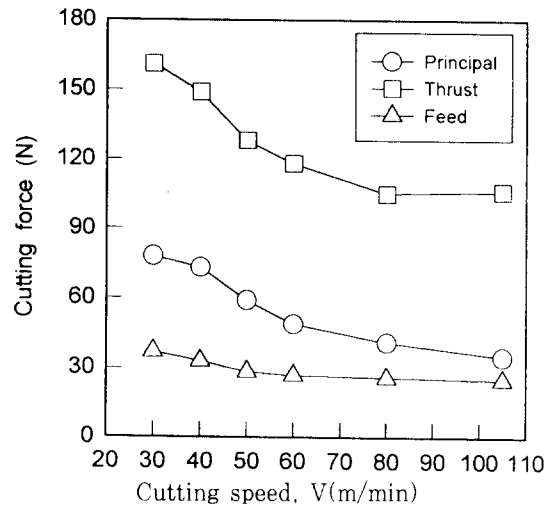


Fig.10 Effect of cutting speed on cutting force in machining of WC-20%Co with coated diamond tool

F=0.03mm/rev, D=0.2mm, Cutting length=400m

가장 낮기 때문에 연삭마멸(abrasive wear) 및 공구의 손상이 감소된 것이 주 원인으로 생각된다.

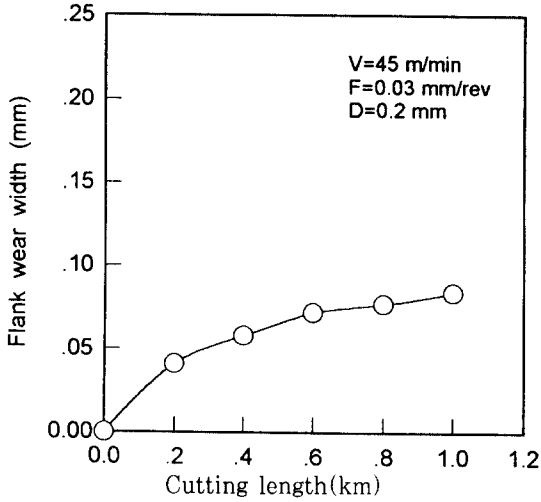


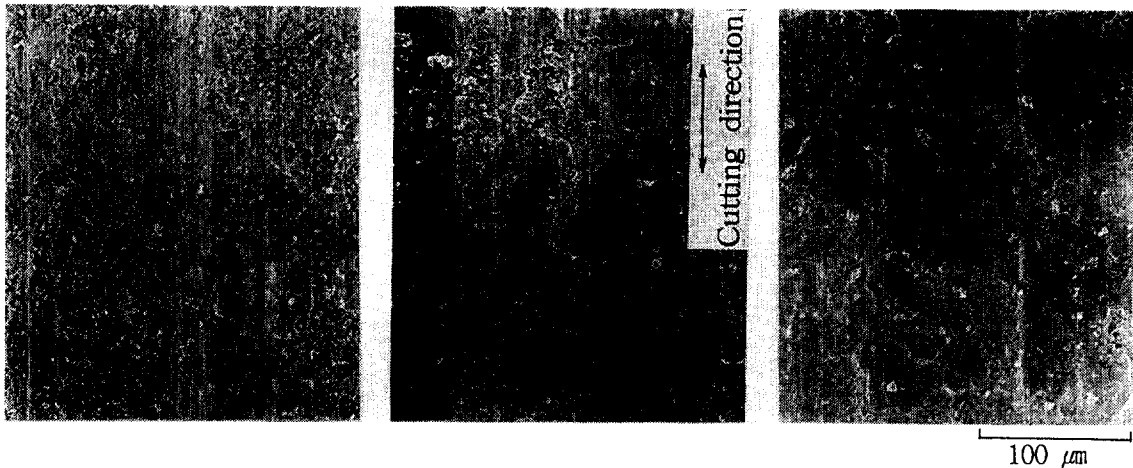
Fig.11 Wear progress curves of sintered diamond tool in machining of WC-30%Co

3.4 각종 WC-Co합금의 절삭면

Fig. 12는 WC-10%Co, WC-20%Co 및 WC-30%Co 합금을 절삭하였을 때의 절삭면의 SEM 사진을 나타낸 것이다. Co 함량이 높을수록 절삭면이 평탄하며, Co

함량이 높을수록 취성파괴에 의한 요철(凹凸)이 많은 절삭면을 나타내고 있다. Co 함량이 높을수록 취성이 낮아지고 인성이 높아지기 때문에 절삭시의 파괴는 미시적 파괴로 되며 균열이 절삭면 하방으로 진전하기 어렵게 되므로 절삭면이 평탄하게 되는 것으로 판단된다.

Fig. 13은 WC-10%Co 합금을 피복 소결다이아몬드 공구로 절삭하였을 때의 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기를 나타낸 것이다. 절삭속도가 2배로 증대될 때 표면거칠기는 2배 이상 커지게 되므로 표면거칠기의 절삭속도 의존성이 매우 크다고 할 수 있다. Fig. 14는 절삭속도를 25 m/min 및 65 m/min으로 달리한 경우의 절삭칩의 형태를 나타낸 것이다. 이러한 절삭칩의 형태로 부터 절삭시의 절삭칩이 취성파괴형에 의해 생성됨을 알 수 있으며, 고속에서 절삭한 때는 저속에서 절삭한 경우에 비해 더욱 큰 절삭칩이 존재함을 알 수 있는데 이것은 절삭속도가 증가됨에 따라 절삭시의 파괴규모(fracture scale)가 커지기 때문으로 사료된다. 따라서 절삭속도가 낮을수록 표면거칠기가 감소 되는 것은 절삭속도가 낮을수록 파괴규모가 작으며 절삭면 하방으로의 균열진전(crack propagation)이 일어나기 어렵고 균열전파영역이 작아지기 때문으로 생각된다. 한편 Fig. 13과 다른 이송속도 및 절삭깊이에서 절삭속도의 영향을 조사한 결과 Fig. 13에서 나타난 것과 같이 절삭속도의 상승에 따라 표면거칠기가 크게 증가하였다.



(a) WC-10%Co

(b) WC-20%Co

(c) WC-30%Co

Fig.12 Finished surfaces in machining of various WC-Co alloys with sintered diamond tool
V=45m/min, F=0.03mm/rev, D=0.2mm, Cutting time=30m

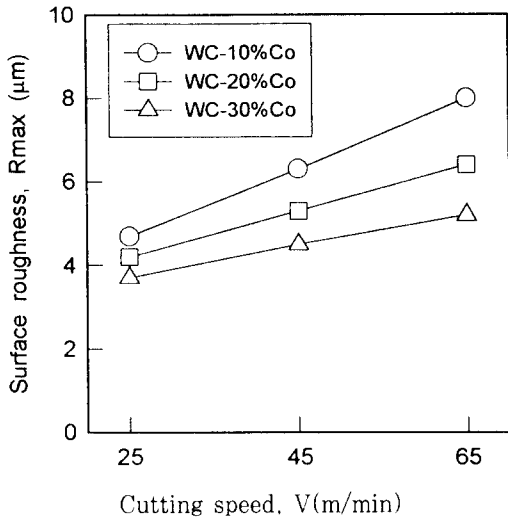


Fig.13 Effect of cutting speed on surface roughness in machining of various WC-Co alloys with sintered diamond tool

F=0.03mm/rev, D=0.2mm, Cutting length=30m

Fig. 15는 실험에 사용된 각종 초경합금을 절삭하였을 때의 표면거칠기에 미치는 이송속도의 영향을 나타낸 것이다. 모든 WC-Co 합금에서 이송속도의 증가에 따라 표면거칠기가 높아지고 있으나 이송속도의 변화에 따

른 영향은 Co의 함량이 낮을수록 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 Co의 함량이 낮을 수록 모든 이송속도에서 표면거칠기가 높아지며, 높은 이송속도에서 Co 함량에 따라 큰 차를 나타낸다. 모든 이송속도에서의 표면거칠기는 이론 표면거칠기 보다 현저히 큰 값을 가지므로 이

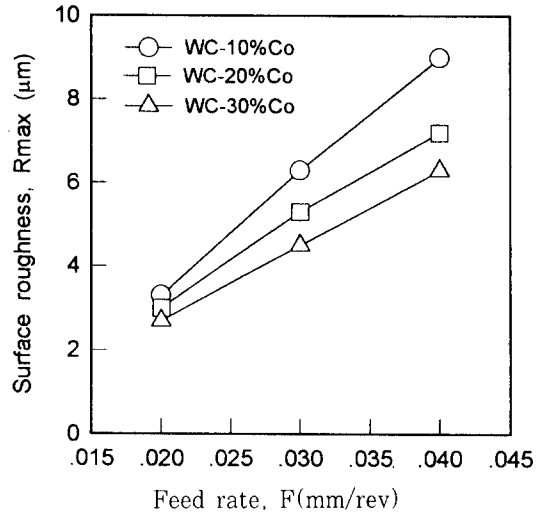
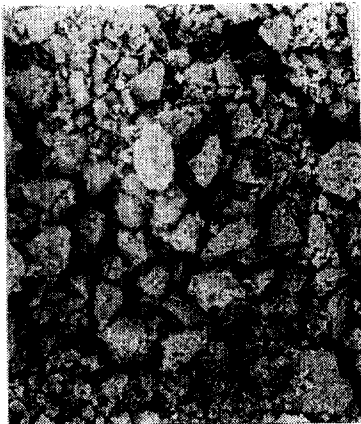


Fig.15 Effect of feed rate on surface roughness in machining of various WC-Co alloys with sintered diamond tool

V=45m/min, D=0.2mm, Cutting length=30m/min



(a) V=25m/min



(b) V=65m/min

Fig.14 SEM photographs of chips formed at different cutting speed

F=0.03mm/rev, D=0.2mm, Cutting length=30m

송속도가 증가함에 따른 표면거칠기의 증가는, 이론 표면거칠기의 증가에 따른 영향 보다 파괴규모가 현저히 증가하기 때문으로 생각된다. 또한 Co 함량이 낮을수록 취성이 높으므로 이송속도의 변화에 따른 파괴규모의 변화가 크기 때문에 표면거칠기의 증가율이 커지는 것으로 사료된다. 또한 이송속도가 2배 증가하였을 때의 표면거칠기의 증가율 보다 절삭속도가 2배 증가하였을 때의 표면거칠기의 증가율이 낮으므로, 절삭속도의 영향 보다 이송속도의 영향이 더욱 크다고 할 수 있다. 한편 Fig. 15와 다른 절삭속도 및 절삭깊이에서 이송속도의 영향을 조사한 결과 Fig. 15에서 나타난 것과 같이 이송속도의 상승에 따라 표면거칠기가 크게 증가하였다.

4. 결 론

본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) WC-10%Co합금을 절삭하였을 때, 절삭속도의 상승에 따른 공구 여유면마멸폭의 증가율은 무피복 소결다이아몬드공구에 비해 피복 소결다이아몬드공구가 크다. 또한 절삭면의 표면거칠기는 절삭속도가 증가하면 현저히 증대되며, 소결다이아몬드의 입자가 클수록 공구마멸이 작아진다. 공구의 노우즈 반경의 증가는 공구마멸을 감소시킨다.
- (2) WC-20%Co합금을 절삭하였을 경우에 공구 경사각이 (-)방향으로 커지면 공구마멸 및 절삭저항이 저하된다. 또한 절삭시에 공구마멸이 최소로 되는 절삭속도가 존재하고, 이 절삭속도는 피복 소결다이아몬드공구가 무피복 소결다이아몬드공구에 비해 2배 높다.
- (3) Co 함량이 가장 높은 WC-30%Co합금을 절삭한 경우의 공구마멸이 가장 작게 된다.
- (4) Co 함량이 높을수록 절삭면의 표면거칠기에 미치는 절삭속도 및 이송속도의 영향이 커지게 되며, Co 함량이 낮을수록 절삭면의 표면거칠기는 양호하게 된다.

참고문헌

- (1) 허성중, 김원일, "WC-Co의 고농률적 연삭가공 조건에 관한 연구", 대한기계학회논문집, Vol. 17, No. 3, pp. 721~730, 1993.
- (2) Thiel, N. W. , "The Wet Grinding of Tungsten-Carbide/Steel. Industrial Diamond Review, Vol. 33, January, pp. 39~43, 1973.
- (3) 狩野承吉, "切削加工のトラブルシューティング", 機械と工具, No. 10, pp. 114~119, 1993.
- (4) 村川正夫, "ダイヤモンドコーティング, CBNコーティングの切削工具への適用", 機械と工具, No. 9, pp. 26~32, 1994.
- (5) 竹山秀彦, "機械加工の無人化に對應する切削工具", 日本精密工學會誌, Vol. 52, No. 9, pp. 1491~1495, 1986.
- (6) 鴻野雄一郎, "超高壓燒結體工具", 日本精密工學會誌, Vol. 61, No. 6, pp. 754~758, 1995.
- (7) 大西賢治, "難削材切削と工作機械の特性", 機械と工具, No. 9, pp. 10~14, 1993.
- (8) 布施久康, "CBN工具の摩耗機構", 昭和61年精密工學會春季大會學術講演會講演論文集, pp. 733~734, 1986.