

초경합금재의 선반절삭에 있어서 PCD공구의 마멸 기구와 절삭성

허성중*

(Manuscript received: Mar, 22, 2012 / Revised: Mar, 30, 2012 / Accepted: Apr, 14, 2012)

Wear Mechanism and Machinability of PCD Tool in Turning Tungsten Carbides

Sung Jung Heo

Abstract

The machinability of wear-resistible tungsten carbides and the tool wear behavior in machining of V30 and V50 tungsten carbides using PCD (Poly Crystalline Diamond) cutting tool was investigated to understand machining characteristics. This material is one of the difficult-to-cut materials in present, but their usage has been already broadened to every commercial applications such as mining tools, and impact resistant tools etc. Summary of the results are as follows. (1) Tool wear progression of PCD tools in turning of wear-resistible tungsten carbides were observed specially fast in primary cutting distance within 10m. (2) Three components of cutting resistance in this research were different in balance from the ordinary cutting such as that cutting of steel or cast iron. Those were expressed large value by order of thrust force, principal force, feed force. (3) If presume from viewpoint of high efficient cutting within this research, a proper cutting speed was 15m/min and a proper feed rate was 0.1mm/rev. In this case, it was found that the tool life of PCD tool was cutting distance until 230m approximately. (4) In cutting of wear-resistible tungsten carbides such as V30 and V50, it was recognized that the tool wear rate of V30 was very fast as compared with V50. (5) When the depth of cut was 0.1mm, there was no influence of the feed rate on the feed force. And the feed force tended to decrease as the cutting distance was long, because the tool was worn and the tool edge retreated. (6) It was observed that the tungsten carbides were adhered to the flank.

Key Words : Turning of tungsten carbide(초경합금재의 선반절삭), PCD cutting tool(PCD 절삭공구), Tool wear(공구마멸), Machinability (절삭성), Cutting force(절삭저항), EDS(에너지 분산법)

1. 서론

초경합금재(tungsten carbides)는 저온경도는 물론, 고온경도가 뛰어나며, 고강도로서 안정적인 제반 물리적 성질을 가진 것이 특징이다. 절삭공구용 뿐만 아니라 광석이나 석탄의 굴착에 사용되는 광산용 공구, 터널 공사용의 비트, 도시재개발 등

의 콘크리트 펀치용 공구, 철강의 압연 롤 등의 내마멸·내충격용으로도 많이 사용되고 있다.

이들 초경합금 재 가운데 내마멸·내충격용에 사용되는 것은 절삭공구용의 초경합금재에 비해 코발트(Co)를 많이 함유하며 경질 성분인 텅스텐 카바이드(WC)의 입자 지름도 거친 것이 사용되고 있다^{(1,2)}}.

* 두원공과대학교 기계공학과
주소: 456-718 경기도 안성시 죽산면 관음당길 51

✉ Corresponding Author E-mail: sjheo@doowon.ac.kr

이러한 초고경도 특성의 난삭재인 초경합금재의 가공은 절삭 가공이 어려우므로 일반적인 최종공정으로서의 연삭 가공에 의해 주로 행하여졌으며 관련된 저자의 연구도 보고된 바 있다⁽³⁻⁶⁾.

그러나 연삭 가공은 가공에 소요되는 시간이 길어 비능률적이므로 생산비가 높아지는 단점이 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 초경합금재의 선반 절삭에 관한 연구가 드물게 행하여지고 있지만, 피삭재인 초경합금재가 고가인 이유 등에 의해 공구수명, 표면거칠기, 절삭저항 등의 단순한 보고에 머물고 있다⁽⁷⁻¹²⁾.

따라서, 본 연구에서는 초경합금재의 정밀절삭 가능성을 찾기 위하여, V30과 V50 2종류의 내마멸·내충격 공구용 초경합금재의 선반 절삭 실험을 행하고, 절삭 조건의 변화에 의한 절삭 특성에 대해서 검토하였다.

또한, 초경합금재의 절삭에 우수하다고 알려진 다이아몬드 소결체(PCD: Poly Crystalline Diamond)공구를 사용하여, 그 마멸 기구나 절삭저항의 특성에 대해서 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험에는, MAZAK사제, 정밀고속선반(회전수 33~2000rpm, 이송 0.075~0.499mm/rev, 동력 3.7kW)을 사용하고, 건삭에 의한 외주 선반 절삭을 행하였다.

피삭재는 함유된 텅스텐 카바이드(WC)와 코발트(Co)량에 의한 절삭 특성을 파악하기 위하여 내마멸·내충격 공구용 초경합금 V30과 V50(ISO분류 기호)을 사용하였다. 피삭재의 화학적 조성을 Table 1에, 주요 기계적 성질을 Table 2에 각각 나타내었다.

사용된 공구는 ETGNR1616 홀더에 다결정 다이아몬드 소

Table 1 Chemical compositions of tungsten carbides(wt%)

Tungsten carbides	W	Co	C
V30	79~87	7~16	5~6
V50	73.3~78.0	17~22	4.7~5.1

Table 2 Mechanical properties of tungsten carbides

Cemented carbides	Specific gravity (Mg/m ³)	Hardness (HRA)	Compressive strength (GPa)	Young's modulus (GPa)
V30	14.4	88.5	4.61	578
V50	13.5	84.0	3.53	500

Table 3 Cutting conditions

Cutting speed(m/min)	10, 15
Feed rate(mm/rev)	0.1, 0.2
Depth of cut(mm)	0.1

결체 DX140이 부착된 스로우 어웨이 팁 TNGA160408(이후 PCD 공구라고 약기한다)을 체결한 것을 사용하였다.

공구형상은 (-5, -5, 5, 5, 30, 0, 0.8)이며, 절삭 날 끝은 약 0.01mm의 호우닝 처리하였다. 주된 선반 절삭조건은 Table 3에 나타내었다.

일반적으로 초경합금재의 절삭은 저속이 유리하다는 실험 결과에 따라 15m/min이하의 2가지 절삭 속도에 대해서 선반 절삭을 행하였다⁽¹²⁾. 절삭 깊이 및 이송 속도에 대해서는 주로 추천 절삭 조건으로 하였으나 이송 속도에 대해서는 가공 능률을 감안해 0.2mm/rev로도 실험하였다.

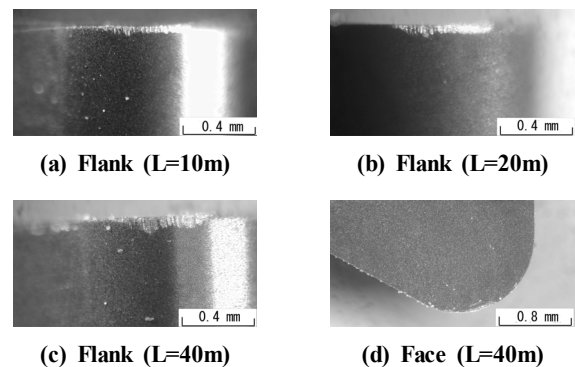
3. 실험결과

3.1 초기 공구마멸 특성

절삭 초기의 공구마멸 특성을 조사하기 위해 절삭 거리 5m마다 공구관찰 및 여유면 마멸량을 측정하였다. Fig. 1은 PCD 공구를 이용하여 절삭 속도 10m/min으로 V50을 절삭했을 때의 공구여유면 및 경사면 마멸부의 광학현미경 사진이다.

Fig. 1에서 알 수 있듯이, 절삭 거리가 10m에서 20m까지의 절삭 초기에서는 절삭날과 거의 평행한 여유면 마멸이 형성되어, 절취 두께의 영향이 작은 것을 나타내고 있다. Fig. 1(c)에서 알 수 있듯이 절삭 거리 40m에서는 전방 여유면 경계부의 마멸이 증가해 최대 마멸량이 되었다. 이렇게 초경합금재의 절삭에서는, 절삭 초기의 단계부터 마멸 형태의 변화가 나타난다.

Fig. 1(d)에서, 공구 경사면 끝에는 찰과의 흔적은 나타나지만 여유면에 비해 큰 마멸은 생기지 않고 있다. 또, Fig. 2에 절삭 거리 40m까지의 공구 여유면 마멸과 절삭 거리의 관계를 나타내었다. PCD공구를 이용하여 FRM⁽¹³⁾ 등의 고경도 섬유를 함유하는 난삭재를 절삭했을 때와 같은 양상으로, 절삭 초기부터 심하게 마멸되고, 그 후 절삭 거리가 길어짐과 함께 공구 마멸량도 증가해 간다.



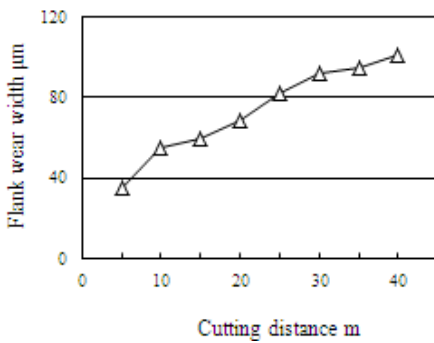
V=10m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm, workpiece: V50

Fig. 1 Optical micro photographs of tool wear progression in primary cutting

Fig. 3에 PCD 공구를 채용해서 내마멸 공구용 초경합금재를 절삭 거리 40m까지 초기 절삭을 행하였을 경우의 절삭 저항을 나타내었다.

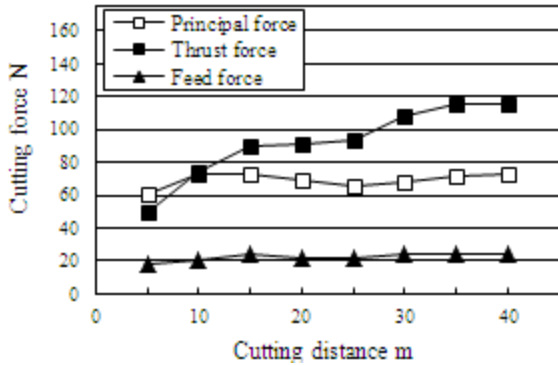
절삭 거리 20m으로부터 30m까지의 배분력 변화의 폭이 상대적으로 크게 나타나고 있다. 이때의 공구마멸 형태는 Fig. 1(b), (c)로부터 알 수 있듯이 절삭 날에 평행한 수평 마멸로부터 전방 여유면 경계부에서의 마멸 증가로 변화하고 있어, 마멸 면적의 증가에 따른 배분력이 커지고 있는 것으로 여겨진다.

또한, 절삭 초기의 단계에서는 주분력 및 이송분력에 있어서 특이한 경향은 나타나지 않았으나, 전반적으로는 열처리강 등 고경도 난삭재의 절삭 현상과 같이 배분력이 가장 큰 값을 나타



V=10m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm, work : V50

Fig. 2 Relation between flank wear width and cutting distance in primary cutting



V=10m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm, work : V50

Fig. 3 Relation between cutting force and cutting distance

Table 4 Specific cutting forces

V=10m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm, workpiece: V50

Cutting distance (m)	Principal force (GPa)	Thrust force (GPa)	Feed force (GPa)
10	7.3	7.5	1.61
20	6.9	7.7	1.62
30	6.8	10.9	1.88
40	7.3	11.6	1.84

내었다.

한편, 이 조건에서의 초경합금재의 절삭에 있어서 절삭 저항은, 절삭깊이나 이송이 작으므로 절대량으로서는 크지 않지만 비절삭저항의 값으로 계산하면, 이 값은 일반 강이나 일반 주철의 경우에 비교해 극히 큰 것을 알 수 있다.

즉, 비절삭 저항=절삭 저항 / (절삭깊이 × 이송)의 계산식으로 간단히 계산하면 Table 4와 같이 큰 값이 된다⁽¹⁴⁾.

3.2 공구마멸 특성

3.2.1 공구마멸량에 미치는 절삭속도의 영향

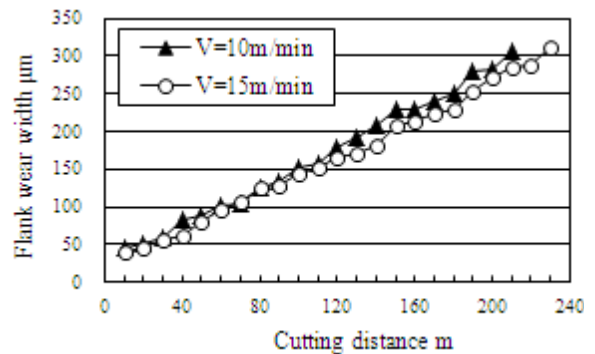
Fig. 4는 절삭 속도 10m/min 및 15m/min의 경우에 대해서 절삭 거리와 여유면 마멸 폭과의 관계를 나타낸 것이며, 절삭 거리에 거의 비례해서 공구마멸이 커지고 있다. 여유면 마멸 폭의 변화는 양쪽 모두 같은 경향을 나타내고 있어, 절삭 속도가 변화되어도 공구수명의 차이는 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.

한편, 본 실험에 있어서의 공구수명의 판정 기준은 여유면 마멸 폭으로 0.3mm으로 하고, 공구수명에 도달할 때까지 10m마다 측정을 하였다.

Fig. 4의 결과로부터 고능률절삭 조건의 관점에서 추정하면, 본 연구로 설정한 두 종류의 절삭속도 중에서는 15m/min가 적성하다고 판단된다. 한편, 이송 및 절삭깊이에 있어서도 Fig. 4의 선반 절삭 조건이 타당하다고 판단될 경우, 공구수명까지 가능한 절삭 거리는 약 230m이다.

3.2.2 공구마멸량에 미치는 피삭재 경도의 영향

경도가 다른 2종류의 초경합금재에 선반절삭에 있어서 절삭 거리 120m에서의 공구 여유면 마멸 형태에 대해 관찰한 하나의 예를 Fig. 5에 나타내었다. 마멸의 특징으로서 V30과 V50 모두 칩핑(chipping)은 확인되지 않았으나, 절삭 거리 120m의 단계에서는 V50에 비해 V30의 여유면 마멸량은 1.5배로 상당히 크게 나타났다.



V=10, 15m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm, workpiece : V50

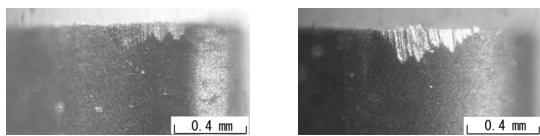
Fig. 4 Relation between flank wear width and cutting distance

피삭재의 경도차이가 공구수명에 미치는 영향을 알기 위해 초경합금재의 재종에 의한 절삭 거리와 공구마멸의 관계를 나타낸 실험결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에 있어서 절삭 거리 40m까지는 V30과 V50에 마멸 폭의 차이가 조금 있지만 완만하게 증가하고 있다. 이 절삭 거리이상에서는 피삭재 재종의 차이에 의해 마멸 성장의 속도차이가 커지고 있다. 이는 Table 2에 나타낸 피삭재 경도의 차이가 공구수명에 크게 영향을 미치는 것이라고 추측된다.

3.2.3 공구 마멸량에 미치는 이송의 영향

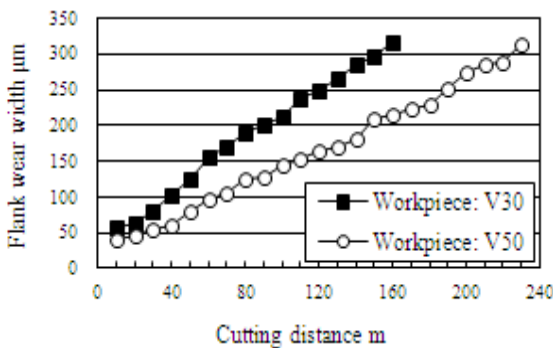
공구수명에 미치는 이송의 영향을 조사하기 위해서, 절삭 속도 15m/min, 이송 0.1 및 0.2mm/rev에 대해서 공구마멸의 광학 현미경 사진을 Fig. 7에 나타내었다. 이때의 절삭 거리는 40m이다. 그림으로부터, 비교적 안정된 마멸 상태가 되고 있지만, 이송이 0.2mm/rev로 증가하면 여유면 마멸은 1.4배 정도의 크기로 심하게 나타나고 있다.

Fig. 8에 절삭 거리 80m의 시점에서의 여유면의 광학 현미경



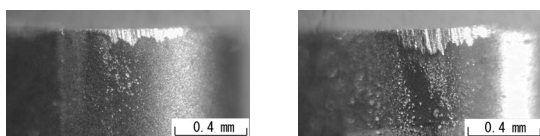
(a) Flank(workpiece: V50) (b) Flank(workpiece: V30)

L=120m, V=15m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm
Fig. 5 Optical micro photographs of tool wears



V=10m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm

Fig. 6 Relation between flank wear width and cutting distance



(a) Flank(f=0.1mm/rev) VB=101mm (b) Flank(f=0.2mm/rev) VB=145mm

L=40m, V=15m/min, t=0.1mm, workpiece: V30
Fig. 7 Optical micro photographs of tool wears

사진을 나타내었다. 이송 0.1 및 0.2mm/rev에 있어서, 공구마멸 형태는 수평마멸에서 전방 여유면 경계부 마멸의 증가로 옮겨가는 것은 같은 현상이지만, 절삭 거리 80m에서는 이송 0.2mm/rev에 있어서 여유면 마멸량, 특히 전방 여유면 경계부의 마멸량이 명확하고 크게 나타난다.

Fig. 9에 절삭 속도 15m/min, 이송 0.1 및 0.2mm/rev로 절삭했을 경우의 절삭 거리와 여유면 마멸 폭의 관계를 나타낸다. 두 가지 이송 모두 절삭 초기에서의 급격한 증가를 제외하면 직선적으로 증가하고 있다. 또, 이송 0.2mm/rev의 경우는 0.1mm/rev와 비교하여 공구수명까지 도달하는 마멸이 급격하게 증가한다.

이상의 사실로부터 공구수명의 관점에서 볼 때, 이송은 0.1mm/rev가 적절한 조건으로 판단된다.

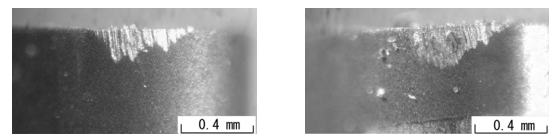
3.3 절삭저항 특성

3.3.1 절삭저항에 미치는 절삭속도의 특성

Fig. 10에 절삭속도 10 및 15m/min의 경우, 절삭 거리에 의한 절삭 저항의 변화를 나타낸다. 배분력에서는 다소의 편차가 있지만, 절삭 거리에 거의 비례해서 커지고 있다.

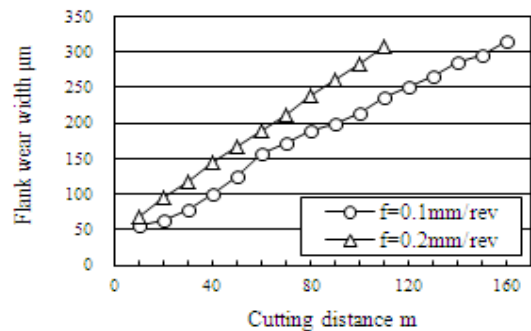
3분력 가운데 배분력이 다른 분력에 비교해서 큰 것은 초경합금재와 같은 고경도 난삭재의 절삭에 있어서의 큰 특징의 하나일 것이다.

Fig. 10과 같이 본 실험에서 행한 속도영역에서는, 절삭 거리 180m이상의 배분력에 있어서 절삭 속도 10m/min쪽이 조금



(a) Flank (f=0.1mm/rev) VB=189mm (b) Flank (f=0.2mm/rev) VB=238mm

L=80m, V=15m/min, t=0.1mm, workpiece: V30
Fig. 8 Optical micro photographs of tool wears



V=15m/min, t=0.1mm, workpiece: V30

Fig. 9 Relation between flank wear width and cutting distance

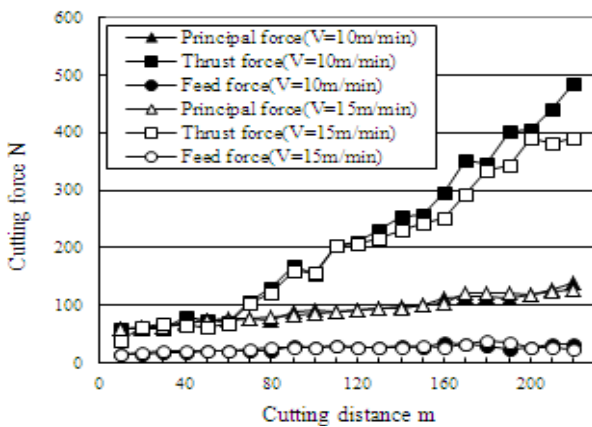
크게 나타나지만 전체적으로 3분력 모두 큰 차이는 보이지 않는다.

배분력에 대해서는 Fig. 4와 같은 경향으로부터, 공구 여유면 마멸량과 밀접하게 관계되어 있다고 생각된다. 절삭 거리가 길어지면 길어질수록 3분력 모두 증가하는 일반강철의 절삭 현상과는 달리, 초경합금재를 절삭할 경우에는 절삭 거리가 길어지면, 이송 분력이 오히려 감소하기도 하는 것을 알 수 있다.

3.3.2 절삭저항에 미치는 피삭재 경도의 영향

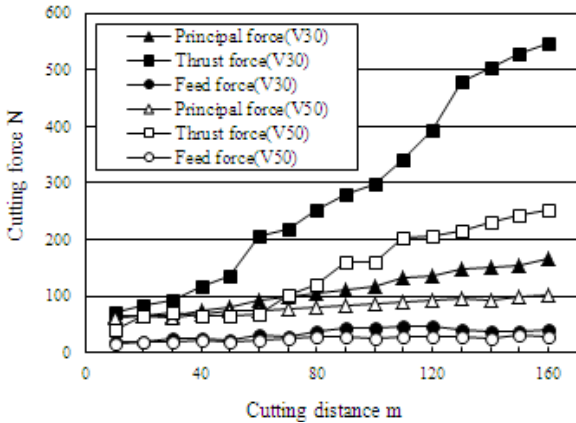
Fig. 11은 3.2.1과 3.3.1의 결과로부터 적절한 절삭 조건으로 확인된 절삭 속도 15m/min에 대해서, 절삭 거리에 의한 절삭 저항의 변화를 피삭재의 종류에 따라 측정한 결과이다.

절삭 저항은 피삭재의 경도가 높은 V30 및 낮은 V50에 있어서 3분력 모두 마멸의 진행과 함께 증가한다. 그러나 이송분력의 증가율은 배분력 및 주분력과 비교하면 작은 동시에 피삭재의 경도 차이에 의한 영향도 작다.



f=0.1mm/rev, t=0.1mm, workpiece: V50

Fig. 10 Relation between cutting force and cutting distance



V=15m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm

Fig. 11 Relation between cutting force and cutting distance

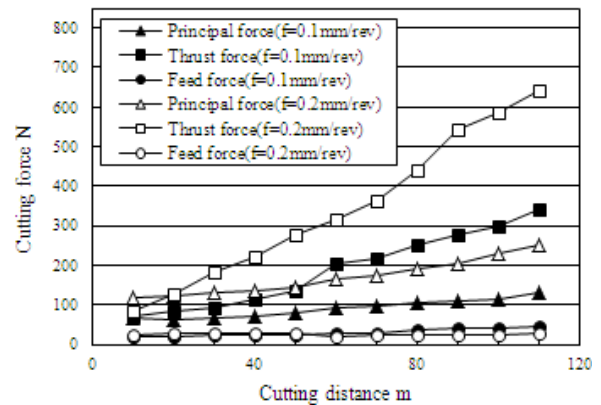
3.3.3 절삭저항에 미치는 이송의 영향

Fig. 12에 이송 0.1 및 0.2mm/rev의 경우, 절삭거리에 의한 절삭 저항의 변화를 나타내었다. 각 이송 모두 절삭거리에 거의 비례해서 절삭 저항이 커지고 있지만, 0.2mm/rev의 이송에 있어서의 배분력, 주분력이 현저하게 증대하는 경향을 나타낸다. 특히 배분력의 변동 폭은 절삭 시작 직후로부터 대단히 커지고 있어, 공구마멸을 촉진시키는 하나의 원인으로 판단된다.

따라서 Fig. 9와 대응해 보면 본 연구에서 설정한 두 가지의 이송 중에서는 0.1mm/rev가 적당한 것으로 판단된다. 한편, 이송분력에 있어서 이송의 영향은 거의 확인되지 않는다. 오히려 절삭 거리 80m 이상에서는 이송 0.2mm/rev 쪽이 작아지며, 절삭깊이의 정도가 이송분력에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

다음으로, 절삭저항에 대해서 절삭 거리와의 관계에 대해 고찰한다. 먼저, 이송 분력은 절삭 거리가 증가하여도 거의 변화되지 않고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 10에 피삭재 V50, 절삭 속도 15m/min, 이송 0.1mm/rev, 절삭깊이 0.1mm를 예로 들면, 절삭 초기(절삭 거리10m) 및 절삭 거리 230m에서의 여유면 마멸 폭은 Fig. 4로부터 각각 40mm, 312mm이었다. 이 여유면 마멸량과 여유각을 이용하여 기하학적으로 계산하면 절삭 초기에서 24mm 절삭 날이 후퇴하게 되어, 날끝 반지름이 0.8mm가 되므로 전방 여유면 경계부의 마멸은 이송 방향(Fig. 13의 왼쪽 방향)에 137mm 넓어지는 것으로 계산된다.



V=15m/min, t=0.1mm, workpiece: V30

Fig. 12 Relation between cutting force and cutting distance

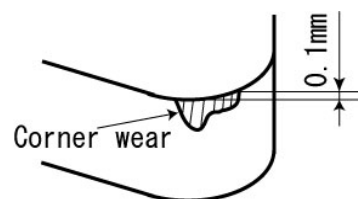


Fig. 13 Wear at cutting edge

Fig. 13에 나타내었듯이 평행 마멸의 절삭 날 선단에서의 기점을 절삭깊이 0.1mm으로부터 추정되는 지점(Fig. 13의 마멸 오른쪽 끝부분)으로 하면, 광학 현미경 사진으로부터 여유면 마멸부의 이송 방향으로의 확장은 134mm로 측정되어, 기하학적인 계산과 거의 일치하고 있다. 따라서 절삭 거리 230m에서는 공구 절삭 선단이 24mm 후퇴하고 있어, 절삭깊이 0.1mm에 대하여 24%만 감소하고 있는 것으로 되며, 이것이 이송분력의 감소로 연결되고 있는 것으로 판단된다.

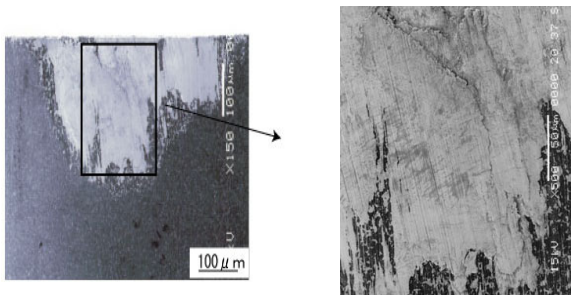
Fig. 12의 이송분력에 대해서 여유면 마멸 폭의 차이가 커지는 절삭 거리 80m 이상에서는, 마멸이 크게 나타나는 이송 0.2mm/rev쪽이 0.1mm/rev보다 이송 분력은 작아지고 있다.

주분력에 대해서는 마멸면에서의 마찰력 증가 때문에 마멸에 의한 절삭 날 선단의 후퇴량에 대한 영향은 작고, 더불어 경사면의 마멸이 거의 나타나지 않는 것으로부터 여유면 마멸의 증가와 함께 완만하게 증가하고 있다. 배분력에 대해서는 여유면 마멸 면적의 증가와 거의 비례하게 증가하고 있다. 이상의 사실로부터, 초경합금재의 절삭에서는 공구마멸 상태가 절삭저항에 큰 영향을 미친다고 생각된다.

3.4 공구 마멸면 관찰

앞 절에서 공구 여유면 마멸 상태가 절삭저항에 주는 영향에 대해서 말했지만, 여기서는 그 마멸면의 관찰을 행하였다. 가장 마멸이 심했던 피삭재 V30을 절삭속도 15m/min, 이송 0.2mm/rev, 절삭깊이 0.1mm의 절삭조건으로 절삭 거리 120m까지 절삭하였을 경우, SEM에 의한 관찰 결과를 Fig. 14에 나타낸다. Fig. 14(a)는 여유면 마멸부 전체이며, Fig. 14(b)는 그 일부를 확대한 것이다. Fig. 14(b)에서 검게 나타난 부분은 절삭 방향에 마찰된 흔적으로 여겨지며, 그 부근에서 공구의 결손은 생기지 않고 초경합금재에 포함되어 있는 고경도 WC 입자에 의한 찰과에 의한 마멸이 명확하게 일어나고 있다.

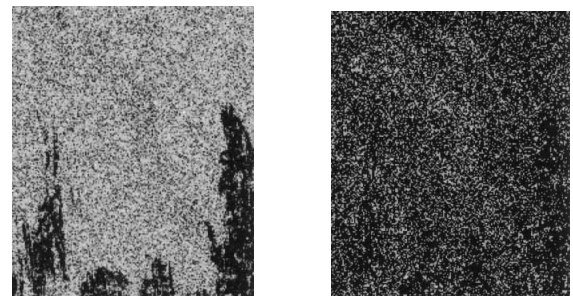
한편, SEM관찰(Fig. 14(a))에서는 큰 부착물이 확인되었으며, 그 부착물에 대해 에너지 분산법(EDS)에 의한 성분 분석을 하였다. 성분 분석을 한 마멸부의 범위는 Fig. 14의 (b)이며,



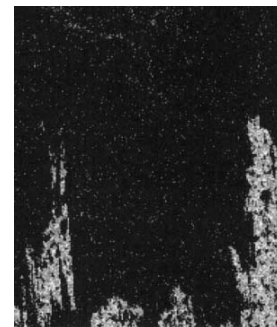
(a) SEM observation of tool wear (b) EDS area
 V=15m/min, f=0.2mm/rev, t=0.1mm, workpiece: V30
 Fig. 14 SEM observations of tool wear

그 결과를 Fig. 15(a), (b), (c)에 나타내었다. 여기서 백색인 영역에 성분이 존재하고 있는 것을 나타내고 있다. Fig. 15(a)와 같이 텅스텐이 부착물 전역에 존재하고 있으며, 이 부착물이 초경합금인 것으로 판명되었다. 또, Fig. 15(b)로부터 코발트는 부착물이 존재하는 영역뿐만 아니라 마멸부 전역에 산재되어 있다. 또, 이 관찰 영역에는 소결 다이아몬드의 구성 요소도 포함되어 있음을 Fig. 15(c)로부터 알 수 있다.

이송 0.1mm/rev에서의 공구마멸부 사진을 Fig. 16에 나타내었다. Fig. 16(a)에서, 사각으로 표시된 지역에 대해서도 EDS에 의한 성분 분석을 했지만, 0.2mm/rev의 경우와 거의 같은 성분결과를 얻을 수 있었다. 그러나 부착물의 존재 면적은 0.2

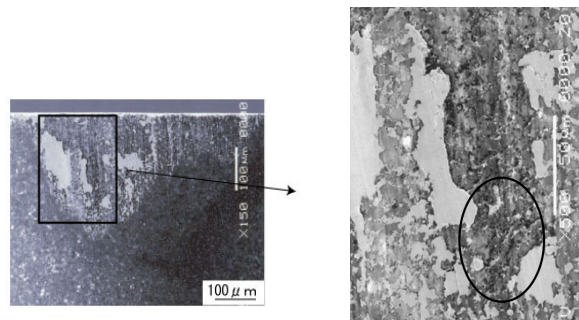


(a) Component of tungsten(W) (b) Component of cobalt(Co)



(c) Component of carbide(C)

V=15m/min, f=0.2mm/rev, t=0.1mm, workpiece: V30
 Fig. 15 Component analysis of tool wear surface by EDS



(a) SEM observation of tool wear (b) EDS area
 V=15m/min, f=0.1mm/rev, t=0.1mm, workpiece: V30
 Fig. 16 SEM observations of tool wear

mm/rev와 비해 작고, 성분 분석을 한 영역인 Fig. 16(b)에는 찰과된 상처를 입어진 흔적과 더불어 타원형으로 표시된 부분에 박리와 같은 흔적(검은 반점 부분)을 볼 수 있었다. 다시 말해 이 지역에 마찰되어 부착되어 있었던 초경합금재가 존재하고 있는 것으로 보아 절삭 과정에서 박리되었다고 여겨진다. 따라서 공구의 마멸 생성 기구로서는 고경도 WC에 의한 찰과 마멸과 더불어 초경합금재의 탈착의 되풀이에 의한 마멸이 발생하는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에 있어서, V30과 V50 2종류의 내마멸 공구용 초경합금재를 다이아몬드 소결체(PCD: Poly Crystalline Diamond)공구로 선반절삭을 행하여 절삭 조건의 변화에 있어서의 절삭 거리에 의한 절삭 특성에 대해서 조사하고, 공구 마멸 기구와 절삭저항의 특성에 대해서 고찰했다. 주된 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 일반적인 강철이나 주철의 절삭에 비해 절삭저항의 3분력의 추이가 달리 나타났다. 즉, 배분력>주분력>이송분력의 순서대로 큰 값을 나타내었다.
- (2) 고능률절삭 조건의 관점으로서 추정하면, 본 연구에서는 적절한 절삭속도가 V=15m/min, 이송은 0.1mm/rev라고 판단된다. 이 경우, 공구수명까지 가능한 절삭 거리는 약 230m이었다.
- (3) V30과 V50을 선반절삭 할 경우, 기존의 연구와 달리 공구의 마멸 생성 기구로서는 고경도 WC에 의한 찰과 마멸과 더불어 초경합금재의 탈착의 되풀이에 의한 마멸이 발생하는 것을 알 수 있었다. 증가가 매우 급격히 나타났다.
- (4) 실험을 한 절삭깊이 0.1mm의 조건에서는, 이송분력은 이송 속도의 영향을 대부분 받지 않고, 마멸에 의한 공구 날 끝 후퇴에 의해 낮아지는 경향이 나타났다.
- (5) 여유면 마멸부에 초경합금 성분이 부착되고 있음을 확인할 수 있었다.

References

(1) Suzuki, H., 1989, *Cemented Carbides and Sintered Hard Materials*, Maruzen Co. Ltd., Tokyo, p. 33.

(2) Serope, K., 1984, *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Addison-Wesley, Boston, p. 525.

(3) Heo, S. J., Kang, J. H., and Kim, W. I., 1993, "A Study on the High Efficiency Grinding of WC-Co," *KSME(A)*, Vol. 17, No. 3, pp. 721~730.

(4) Heo, S. J., Kang, J. H., and Kim, W. I., 1993, "Study on Ultra-precision Grinding Condition of WC-Co," *KSPE*, Vol. 10, No. 1, pp. 42~51.

(5) Heo, S. J., Wang, D. H., and Kim, W. I., 1995, "Surface Grinding of Tungsten Carbide for High Quality Using Diamond Wheel," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 4, No. 3, pp. 12~24.

(6) Heo, S. J., 1996, "A Study on the Internal Grinding of Tungsten Carbide Materials to Improve the Machining Performance," *KSPE*, Vol. 13, No. 6, pp. 52~58.

(7) Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1997, "Cutting Data Files," *Technical Research Institute*, Tokyo, Japan, 95-0323.

(8) Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1997, "Cutting Data Files," *Technical Research Institute*, Tokyo, Japan, 95-0325.

(9) Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1997, "Cutting Data Files," *Technical Research Institute*, Tokyo, Japan, 95-0298.

(10) Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1988, "Cutting Data Files," *Technical Research Institute*, Tokyo, Japan, 86-097.

(11) Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1995, "Cutting Data Files," *Technical Research Institute*, Tokyo, Japan, 92-0298.

(12) Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1997, "Cutting Data Files," *Technical Research Institute*, Tokyo, Japan, 95-0321.

(13) Hanasaki, S., Fuziwara, J., and Miyamoto, T., 1990, "Study on Cutting Mechanism of Fiber Reinforced Metals (1st Report)," *Japan Society of Precision Engineering*, Vol. 56, No. 12, pp. 2225~2230.

(14) Usui, E., 1988, *Cutting & Grinding*, Kyoritsu, Tokyo, p. 21.