

소경 플랫엔드밀에 의한 미세홈가공에 있어서의 공구 손모특성 Wear Characteristics of Small Diameter Flat Endmill in Micro Grooving

**송영찬¹, 황주호¹, 박천홍¹

**Y. C. Song(ycsong@kimm.re.kr)¹, J. H. Hwang¹, C. H. Park¹

¹ 한국기계연구원 지능형생산시스템 연구본부

Key words : Small diameter flat endmill, Tool wear characteristics, Micro grooving

1. 서론

최근 의료관련부품을 시작으로, 광학부품, 정밀기기부품, 전자부품 등의 소형화, 경량화가 진척되고 있음에 따라, 미세하고 복잡한 형상의 홈가공의 수요도 급증하고 있다. 이러한 요구에 따라 방전가공, 연삭 및 연마가공에 비해 복잡하고 다양한 형상의 정밀가공의 실현이 유리한 엔드밀가공법을 마이크로화하려는 요구도 높아지고 있다. 한편, 공구직경이 작아질수록 원주속도 즉 절삭속도가 느려지므로, 적절한 절삭속도로 가공을 수행하기 위해서는 공구의 회전속도를 높이는 것이 필요하다. 가공능률의 측면에 있어서도 최근 고속회전 엔드밀링 가공이 주목 받고 있다. 한편, 회전수의 증가는 공구의 런아웃을 증가시켜 공구결손의 원인이 될 수도 있으며, 이러한 고속회전에 있어서의 공구날의 런아웃 억제에 관한 연구가 많이 수행되고 있다.

현재, 공구 성형기술의 진보에 따라, 높은 형상정도와 공구날 정도를 가진 공구직경 수십 마이크로의 플랫엔드밀까지 제작되어지고 있다¹. 하지만, 공구형상에 관해서는 대부분 마크로 엔드밀의 형상을 그대로 축소하여 제작되고 있으며, 마이크로 엔드밀가공에 있어서 적합한 공구형상에 관한 연구결과는 거의 보고되지 않고 있다.

본 연구에서는, 소경 플랫엔드밀의 공구날 손모를 억제하여 마이크로 엔드밀에 의한 미세홈가공 기술을 확립하는 것을 연구의 목적으로 한다. 본 논문에서는 고속회전주축을 탑재한 정밀가공기를 사용하여 소형 플랫엔드밀에 의한 홈가공을 수행하여 공구직경의 차이 및 회전속도의 차이에 대한 공구날의 손모특성의 차이를 검토한 결과를 보고한다.

2. 실험방법 및 조건

가공실험은 주축의 최고회전수 12 만 min^{-1} 의 초고속회전 정밀가공기를 사용하여 수행하였다. 현재, 고속회전엔드밀가공에 있어서 공구 선단부에서의 회전 런아웃의 억제가 큰 연구과제가 되고 있지만, 본가공기의 경우는 최고 회전수 12 만 min^{-1} 까지 3 μm 이내로 유지하고 있다.

실험은 Table 1의 가공조건으로 Fig. 1에 제시한 형상의 소경 플랫엔드밀을 사용하여 홈가공을 행하였다. 공구는 (Ti, Al)N 코팅의 초경엔드밀을, 피삭재료로는 플라스틱부품의 금형 재료로 많이 사용되고 있는 Pre-harden 강(NAK55)을 사용하였다. 공구직경에 의한 공구손모의 차를 검토하기 위하여 형상은 동일하고 직경이 다른 3 종류의 소경 엔드밀을 사용하여 실험을 수행하였다. 이때 엔드밀의 초기 손모상태를 고찰하기 위하여 홈가공 거리를 약 30 mm로 설정하였다. 또한 같은 회전수에서 공구직경이 달라지면 원주속도 즉 절삭속도가 변화하지만, 가능한 동일 런아웃 상태에서 실험을 수행하기 위하여 회전수를 동일하게 설정하였다.

Fig. 2는 가공전 엔드밀의 현미경사진으로 공구직경이 0.5 mm인 경우이다. 공구날이 매우 예리한 형상을 유지하고 있어 마이크로 레벨의 가공을 수행하기에 충분하다고 판단된다. 또한 공구 정면의 A부분의 확대사진으로부터 엔드밀의 선단으로부터 높이방향으로 약 20 μm 까지는 비틀림각과 경사각이 0도를 유지하고 있다. 본 실험에서는 이 부분만을 사용하여 홈가공 실험을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3-5는 홈 깊이 10 μm , 이송량 5.0 $\mu\text{m}/\text{tooth}$ 의 조건으로 공구직경이 다른 3 종류의 엔드밀을 사용하여 약 30 mm 길이의 홈가공을 행한 후, 가공면의 현미경사진, 가공면의 단면곡선, 가공 후의 공구날 현미경사진을 제시하고 있다.

Fig. 3에 제시한 모든 가공면에 있어서, 가공이 끝날때까지 10 μm 주기의 틀마크를 명확히 확인할 수 있다. 이 주기는 공구날당 이송량의 2 배 즉 1회전당 이송량과 일치한다. 2날 엔드밀에 의한 가공의 경우, 공구의 형상오차와 런아웃으로 인해 최종 가공면의 대부분은 2 날 중 1 날에 의해 형성된다. 이러한 사실로 고려해볼 때 본 가공실험은 진동 등의 별다른 문제없이 정상적으로 홈가공이 수행되었다고 판단되어진다.

이번 실험에 있어서 바닥면 기울기각이 2도인 엔드밀을 사용하였으며, 이 각과 이송량 5.0 $\mu\text{m}/\text{tooth}$ 로부터 계산되어지는 이송 방향의 이론적인 최대표면거칠기는 0.35 μm 가 된다. Fig. 4에 제시한 가공면 단면곡선을 살펴보면 이

Table 1 Experimental conditions

Tool	Material	Carbide coated by (Ti, Al)N
	Diameter	0.2, 0.5, 1.0 mm
	Number of tooth	2
Workpiece		NAK55 (HRC40)
Rotational speed		48000 min^{-1}
Depth of groove		10 μm
Feed rate		1.0, 5.0 $\mu\text{m}/\text{tooth}$
Cooling condition		No cooling

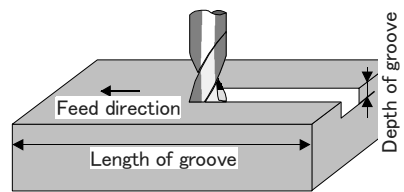


Fig. 1 Experimental concept

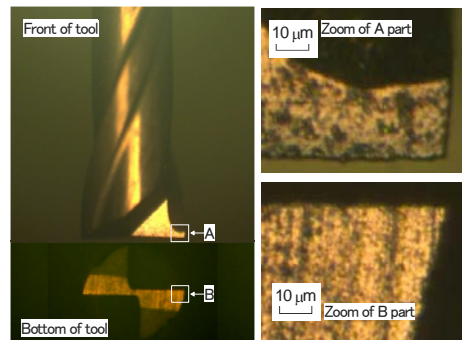


Fig. 2 Micro photograph of new square end mill of ϕ 0.5 mm

이론치에 근사한 표면거칠기를 나타내고 있음을 알 수 있다. 한편, Fig. 4(b)와 (c)의 공구직경 0.5 mm 와 1.0 mm 인 경우, 가공초기와 끝 부분까지의 표면거칠기의 변화가 거의 확인되어지지 않는 반면, Fig. 4(a)의 공구직경 0.2 mm 의 경우는 가공초기에 비해 끝 부분의 최대표면거칠기가 약 0.25 $\mu\text{mP-V}$ 커졌음을 확인할 수 있다. 이것은 공구직경 0.2 mm 의 경우, 공구날의 손모가 심해졌기 때문으로 판단되어진다. Fig. 5 에 나타난 가공 후의 엔드밀 공구날의 현미경사진으로부터, 공구직경이 작아질수록 공구날의 손모상태가 극심해지고 있으며, 공구날 형상의 유지가 곤란해지고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 6 은 공구직경 0.5 mm 의 경우에 있어서, 이송속도를 1.0 $\mu\text{m/tooth}$ 로 낮추어 가공한 후의 공구날 현미경사진이다. Fig. 6(a)로부터 공구날의 손모상태가 Fig. 5(b)의 이송속도 5.0 $\mu\text{m/tooth}$ 의 경우에 비교해 크게 변하지 않은 것으로 보여진다. Fig. 6(b)의 가공면 단면곡선을 볼 때 홈가공초기는 툴마크가 확인되어지고 있으나, 가공의 끝부분에서는 툴마크를 거의 확인할 수 없는 상태가 되어있다. 이것은 공구의 손모로 인해 가공표면에 대한 공구형상의 전사성이 악화되었기 때문으로 판단되어지며, 이송량을 줄이는 것이 공구손모의 억제 방법이 되지 않는 못하고 있음을 보여주고 있다.

본 홈가공 실험에서는 동일 회전수에서 가공을 수행하였으므로 공구날 런아웃의 변화는 크지 않은 것으로 생각되어진다. 또한, 절삭속도의 관점에서는 같은 회전수에서 공구직경이 작을수록 원주속도 즉 절삭속도가 낮아지기 때문에, 공구직경이 작을수록 열적 안정성도 높아진다고 할 수 있다. 하지만, 본 홈가공 실험에서는 반대의 결과를 나타내고 있다.

플랫엔드밀에 의한 홈가공의 경우, 원호의 내경 부분이 가공면이 되므로, 공구경이 작아질수록 곡률반경이 작은 내경 부분을 가공하는 것이 된다. 따라서, 기계의 이송정도, 엔드밀의 비주기적인 런아웃 등으로 인해 공구 반경방향의 미소한 변동이 생길 때, 이에 의해 공구날과 피삭재료가 간섭하는 각도가 공구직경이 작아질수록 커진다. Fig. 7 은 공구반경방향의 미소한 변동에 대한 공구날과 피삭재료와의 간섭각을 나타내고 있다. 이러한 관계가 공구직경이 작아질수록 공구 손모가 심해지는 큰 원인의 하나로 생각되어진다.

4. 결론

이상에서 공구직경 1 mm 이하의 소경 플랫엔드밀의 손모특성을 비교하기 위하여 길이 약 30 mm 의 홈가공을 수행하였다. 그 결과, 공구의 런아웃이 동일한 조건에서 공구직경이 작을수록 공구결손이 발생하기 쉽다는 것을 알 수 있었다. 그 원인의 하나로 공구직경이 작아질수록 공구의 런아웃, 기계의 이송정도 등에 의한 공구방향의 미세한 변동이 엔드밀 날끝에 미치는 영향이 커지기 때문으로 판단되어진다. 따라서 마이크로 홈가공을 수행하기 위해서 소경 플랫엔드밀을 사용할 경우 공구날의 강도를 높일 수 있는 새로운 공구날 형상의 설계가 필요하다고 생각되어진다.

참고문헌

1. U. Matuoka, S. Anzai, I. Takahashi, "The Beginning of Cutting," 공업조사회(일본), P146, 2003

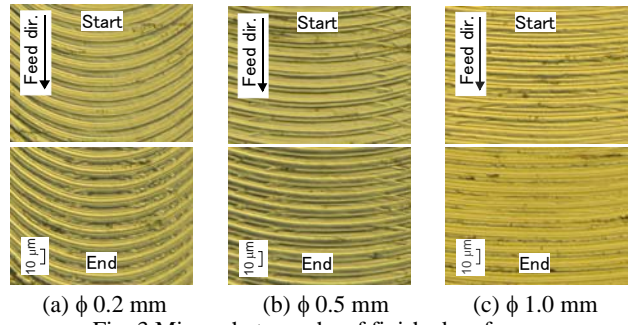


Fig. 3 Micro photographs of finished surface

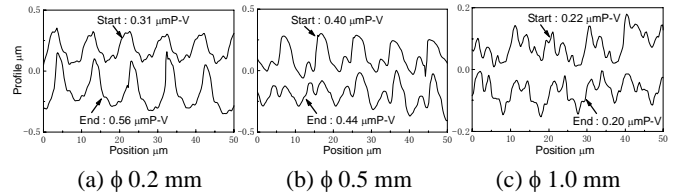


Fig. 4 Profiles of finished surface

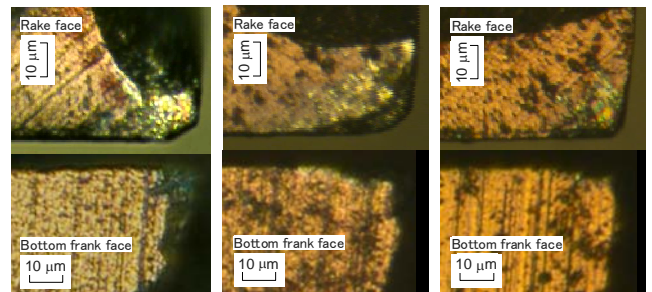


Fig. 5 Micro photographs of end mill after cutting

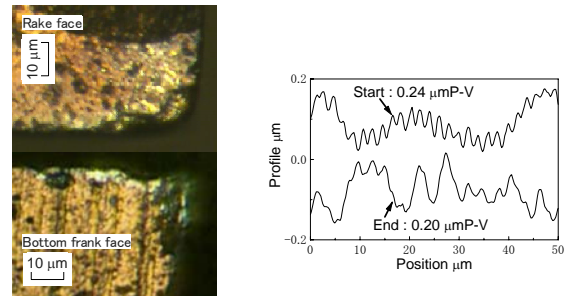


Fig. 6 Machined results with end mill of ϕ 0.5 mm at depth of groove of 10 μm and feed rate of 1.0 $\mu\text{m/tooth}$

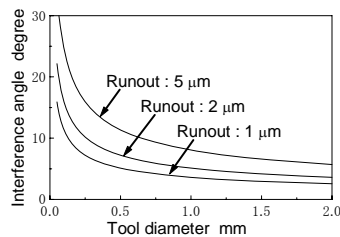


Fig. 7 Interference angle of tool edge by radial error