

고온압축 Glass Lens 성형용 초경합금(Co 0.5%)의 초정밀 절삭가공 연구 Study on Ultra-precision turning for Glass Lens molding Tungsten Carbide(Co 0.5%)

*김민재¹, 이준기¹, 김태경², 황연², 김혜정², #김정호²
*M.J.Kim¹, J.K.Lee¹, T.K.Kim², Y.Hwang², H.J.Kim², #J.H.Kim(kimhj@kopti.re.kr)
¹전남대학교 광공학협동과정, ²한국광기술원 초정밀광학연구센터

Key words : Ultra-precision turning, Chamfer diamond bite, Surface roughness(R_a)

1. 서론

Glass Lens는 광학적으로 뛰어난 특성으로 인해 고화소·소형 광학계를 중심으로 채용범위가 급격하게 증가하고 있다. 이러한 유리렌즈(구면)는 연삭·연마법으로 제작되어 왔으나 렌즈의 형상이 비구면인 경우는 고온압축성형(Glass Molding Press, GMP)법으로 제작하여 생산성 문제를 해결하였다. 고온압축성형법은 유리소재를 초경합금 금형에 넣고 가열후 압축 및 냉각하는 공정으로 원하는 형상의 유리렌즈를 제작할 수 있다.¹ 그러나 이러한 고온압축성형법 코어로 사용되는 초경합금은 고온경도가 우수하고 고강도로서, 물리적 성질이 안정되어 있지만, 소결경취성재료이기 때문에 지금까지는 초정밀 연삭가공(Ultra-precision grinding)후 연마(Polishing)공정으로 광학적으로 요구되는 최종 표면거칠기(R_a)를 달성하였다. 그에 비해 초정밀 절삭가공(Ultra-precision turning)은 연마공정의 생략이 가능함으로서 연삭가공에 비해 가공시간절감, 생산성향상, 고능률적 가공이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 고온압축 Glass Lens 성형용 초경합금의 초정밀 절삭가공 가능성을 연구하기 위해 Conventional(Rake angle -25°)의 단결정 다이아몬드 바이트를 사용하여 초경합금의 초정밀 절삭가공 후 가공면과 다이아몬드 바이트의 절삭날을 관찰하였고, 최적 바이트 형상 연구를 위해 유한요소해석(FEM)법을 사용하여 챔버(Chamfer)바이트 형태를 제안하였으며, 최적 챔버바이트를 사용하여 초경합금의 초정밀 절삭가공 후 Conventional 바이트 가공결과와 비교함으로써 제안한 챔버바이트의 설계검증과 최적 챔버바이트를 사용한 고온압축 Glass Lens 성형용 초경합금의 초정밀 절삭가공 가능성을 연구하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

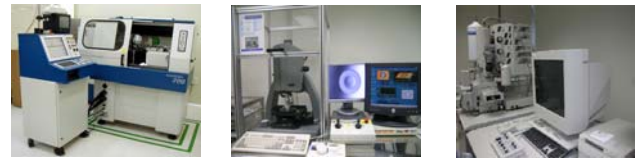
본 연구에서는 Table1의 Glass Lens 성형용 초경합금(Co 0.5%)의 초정밀 절삭가공을 위해 초정밀가공기(미국, Precitech社, Nanoform200)를 사용하였다. 초정밀가공기는 두 개의 유정압 안내면과 공작물을 고정시키는 공기정압 베어링 스피들로 구성되어 있다. 두 안내면은 각각 X축과 Z축으로 T 형태의 직교를 이루며 구동한다. X축의 중심부에 해당하는 안내면에 주축 스피들이 고정되어 회전하며, 안내면의 구동방향과 평행을 이루며 회전한다. Z축 구동안내면 위에는 공구대가 고정되어 다이아몬드 바이트를 설치할 수 있으며, 스피들 구동 방향과 수직방향으로 구동한다. 가공물의 최대허용가공직경은 Ø180mm이며, 초정밀가공기는 온도 22±1℃로 일정하게 유지되는 클린룸(Class 10,000)에서 운용되며, 진동에 의한 영향을 피하기 위하여 특수 설계된 제진대 위에 설치하였다.

Table 1 Characteristics of WC

Model	FB01	
WC (%)	99.5	
Co (%)	0.5	
Hardness	(HRA)	95
	(HV GPa)	24.0

Transverse rupture strength(GPa)	1.6
Young's Modules(GPa)	660
Coefficient of Thermal(x 10-6/K) Expansion	4.5
Density	15.4

초정밀가공기를 사용하여 가공된 초경합금의 표면거칠기와 가공면을 측정하기 위해 3차원 표면거칠기 측정기(미국, Zygo社, NewView5000), 주사전자현미경(일본, Hitach社, S-4700)을 사용하였다. Fig.1은 초정밀가공기, 3차원 표면거칠기 측정기, 주사전자현미경을 각각 나타낸다.



(a) Diamond turning machine (b) 3D surface measurement system (c) Scanning electron microscope
Fig. 1 Diamond turning machine and 3D surface measurement system and Scanning electron microscope

3. 실험 및 결과

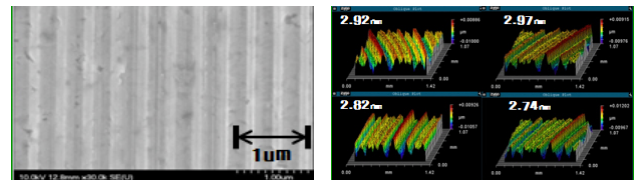
3.1 Conventional(Rake angle -25°)바이트 초정밀 절삭

고온압축 Glass Lens 성형용 초경합금의 초정밀 절삭가공 가능성을 연구하기 위해 Ge 등의 고경도 취성재료의 절삭가공에 사용되는 Conventional(Rake angle-25°)단결정 다이아몬드 바이트를 사용하여 Table2의 가공조건으로 초정밀 절삭가공 실험을 수행하였다.

Table 2 Ultra-precision turning condition

Work spindle speed (rpm)	Depth of cut (μm)	Feedrate (mm/min)	Cutting fluid
800	0.3	0.3	Air+극압류

Fig.2는 Conventional 바이트를 사용한 초정밀 절삭가공 후 가공면 관찰결과와 표면거칠기 측정결과를 각각 나타낸다.



(a) Measurement of machined surface (b) Surface roughness result of Surface [conventional] WC (Co 0.5%) [conventional]
Fig. 2 Measurement of machined surface and Surface roughness result of WC (Co 0.5%) [conventional]

가공면의 관찰결과 Feed mark가 두껍고, Feed mark 사이에 Line이 나타남을 관찰하였고, 표면거칠기의 측정결과 평균거칠기는 2.86nm값으로 나타나 Glass Lens 성형용 코어로서 사용 가능한 결과를 얻었지만, 다이아몬드 바이트의 절삭날을 측정한 결과 Fig.3에 나타난 바와 같이 플랭크마모(Flank wear)가 약 15 μm 관찰되어 초정밀 절삭가공 시 형상

정도를 확보하기 위한 보정공정의 어려움이 예상되므로 상대적으로 마모를 줄일수 있는 다이아몬드 바이트가 필요할 것으로 판단된다.

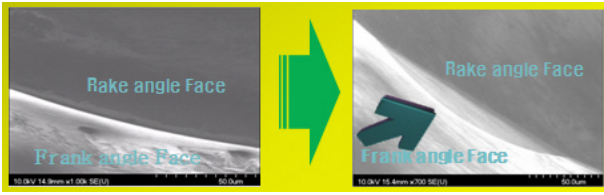


Fig. 3 Measurement result of Conventional bite cutting edge

3.2 Bite의 변형률해석 및 최적 Chamfer bite 제안

Glass Lens 성형용 초경합금의 초정밀 절삭가공시 Conventional bite 보다 높은 절삭날의 강도를 갖는 바이트 형태를 제안하기 위해 유한요소해석(FEM)법을 사용하여 Rake angle -25° , Flank angle 10° 로 고정한 후 다이아몬드 바이트 절삭날에 주절삭분력(Main cutting force) 10N/m, 배분력(Thrust cutting force) 4N/m 의 합인 합력(Resultant cutting force) 10.77N/m 부여하고, 3D 모델링한 다이아몬드 바이트의 사면체(Tetrahedron) Mesh 를 0.8mm, Local mesh size 를 0.007mm 로 설정하였다. 또한, 챔버(Chamfer)길이를 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5mm 로 변화하면서 CATIA R16 를 사용하여 변형률해석을 수행하였다. Fig.4 는 3D 모델링한 다이아몬드 바이트의 Meshing 작업모습과 고정조건부여 모습을 각각 나타낸다.

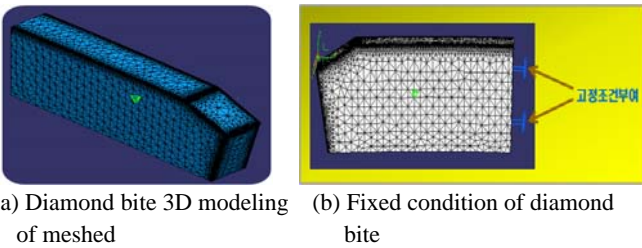


Fig. 4 Diamond bite 3D modeling of meshed and Fixed condition of diamond bite

챔버(Chamfer) 길이 변화에 따른 다이아몬드 바이트 변형률 해석결과 Fig.5 와 같이 챔버길이가 감소할 수록 다이아몬드 바이트의 변형률이 감소하는 경향성이 나타남을 알 수 있었고, 이러한 결과로 부터 Glass Lens 성형용 초경합금 초정밀 절삭용 최적 바이트 형태를 Fig.6 과 같이 제안하였고, 챔버길이는 가공조건을 고려하여 2~4 μm 로 설계하였다. Fig.7 은 본 연구에서 제안한 챔버바이트의 설계도면과 실제 제작된 얼라이드社의 최적 챔버(Chamfer)다이아몬드 바이트를 각각 나타낸다.

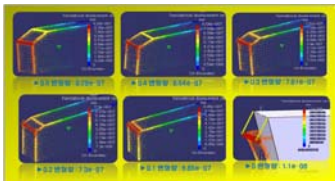


Fig. 5 Analysis result of diamond bite simulation

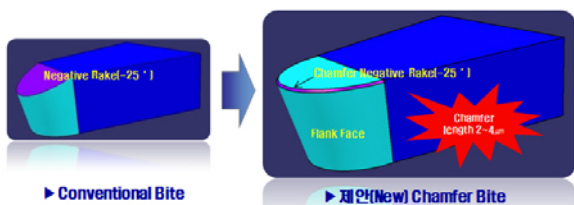
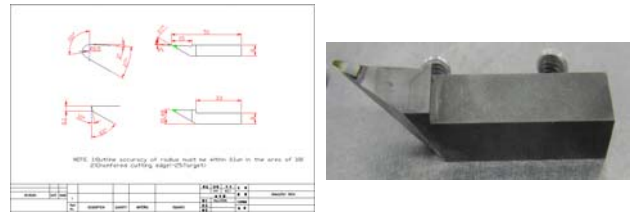


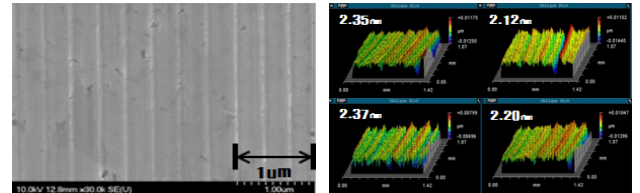
Fig.6 3D modeling of suggestion chamfer bite



(a) Geometry of chamfer diamond bite (b) Photo of chamfer diamond bite
Fig. 7 Geometry and Photo of chamfer diamond bite

3.3 최적 챔버(Chamfer)바이트 초정밀 절삭

유한요소해석(FEM)법을 사용하여 다이아몬드 바이트 변형률 해석결과 제안된 최적 챔버 바이트를 사용하여 Glass Lens 성형용 초경합금을 Table2 의 가공조건으로 초정밀 절삭가공을 수행하였다. Fig.8 은 초정밀 절삭가공 결과이며, 가공면 관찰결과 Feed mark 만 나타남을 관찰하였고, 표면 거칠기 측정결과 평균 2.26 nm이었다.



(a) Measurement of machined Surface [chamfer] (b) Surface roughness result of WC(Co 0.5%) [chamfer]

Fig. 8 Measurement of machined surface and Surface roughness result of WC(Co 0.5%) [chamfer]

Fig.9 은 초정밀 절삭가공 전/후의 챔버 다이아몬드 바이트 절삭날의 측정결과이며, 플랭크마모(Flank wear)가 약 2 μm 정도 발생함을 관찰하였다.

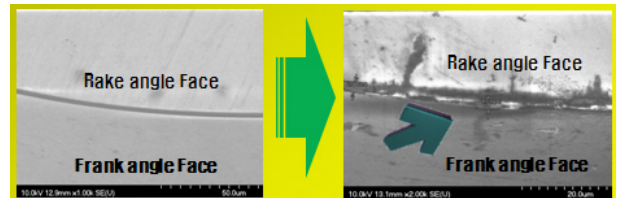


Fig. 9 Measurement result of Chamfer bite cutting edge

4. 결론

본 연구에서는 Glass Lens 성형용 초경합금(Co 0.5% 함유)의 초정밀 절삭가공 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Conventional(Rake angle- 25°)의 바이트로 초경합금의 초정밀 절삭가공 후 표면거칠기 측정결과 평균 2.86 nm의 값을 확인하였으나, 절삭날의 플랭크마모(Flank wear) 약 15 μm 의 발생으로 마모를 줄일수 있는 바이트의 적용을 위해 시뮬레이션을 통한 최적 챔버(Chamfer) 바이트를 제안/설계 하였다.

2. 최적 챔버(Chamfer)바이트를 사용하여 초경합금의 초정밀 절삭가공한 결과 Conventional 바이트에 비해 플랭크마모 약 7.5 배감소, 표면거칠기 0.6 nm향상, 플랭크마모의 감소로 인한 가공면 향상을 확인하였으며, 이러한 결과로 부터 Glass Lens 성형용 초경합금의 초정밀 절삭가공 가능성을 제한함으로써 성형유리렌즈의 생산공정에 적용할수 있을것으로 예상된다.

참고문헌

1. H-J Kim., D-H Cha., J-K Lee., and J-H Kim., "Fabrication and Optical Evaluation of Bispaheric Glass Lenses for 3 Megapixel Camera Phone Module" ICAMD., Thu-DEV-26. 2007