

총형공구를 이용한 고정밀 베어링 Rubber seal 금형가공에 관한 연구

김도형(전북대원), 김연술(전북대원), 이희관(전북대 TIC), 노상흠(전북대 TIC), 양균의(전북대 기계항공 시스템 공학부)

A Study on Mold Machining for Bearing Rubber Seal by Formed Tool.

D. H. Kim(CBNU), Y. S. Kim(CBNU), H. K. Lee(CBNU TIC), S. H. Roh(CBNU TIC), G. E. Yang(Mech. Eng. Dept. CBNU)

ABSTRACT

The formed tool is used to machine the unique shape of rubber seal for geometrical shaping and reduction of cutting time. The bearing rubber seal produced by hot press forming has complex geometry for the complex geometrical shape to prevent leakage of lubricant oil and influx of the dust effectively. Because it is difficult to machine the unique shape exactly by the conventional tool, the formed tool is used in machining mold of the seal. In this paper, It is performed for selection of the formed tool to investigate cutting edge wear, cutting force, and surface quality. Also, an efficient high precision machining is proposed on the experiment data.

Key Words : Rubber seal(러버설), Formed tool(총형공구), Tooling(툴링), CAI(Computer Aided Inspection)

1. 서론

베어링은 현대 기계산업의 주요 부품으로서 기계 장치의 효율적인 구동을 위한 고정밀 베어링에 있어서 윤활 오일의 누설과 외부로부터의 이물질은 차단하기 위한 베어링 러버설은 필수적이다. 이러한 고정밀 베어링에 사용되는 러버설은 일반적으로 러버설의 프레임(Frame)을 이루는 보강재와 밀봉역할을 하는 Lip으로 구성된다⁽¹⁾. 최종 러버설은 Hot press 성형에 의해 생산되기 때문에 금형 제작은 고정밀 베어링 러버설의 품질(형상 정밀도)에 가장 큰 영향을 미친다. 러버설의 형상은 각 부위마다 밀리 스트릭치 범위의 매우 복잡한 기하학적 형상을 가지기 때문에 금형 제작에 있어서 많은 어려움이 있다. 특히, 1개의 금형내에 다수의 캐비티를 갖는 경우, 선반에 의해 가공하게 되면 캐비티 별로 선반 주축의 회전중심을 셋팅해야 하기 때문에 코어와 캐비티 간의 위치 정밀도에 문제가 발생할 수 있다. 또한, 일반 상용공구인 볼 엔드밀(Ball endmill)이나 플랫엔드밀(Flat endmill)을 사용할 경우 러버설의 복잡한 기하학적 형상을 정확히 표현하기 어렵고 품질향상

을 위한 후처리 작업이 필요하게 된다⁽²⁾. 레이저가공, 방전가공, Etching등의 특수 가공등이 사용되기도 하지만 생산성과 경제적인 측면에서는 상당한 부담이 뒤따른다.

이에 본 연구에서는 러버설 형상과 같은 절삭인(Cutting edge)을 갖은 고정밀도의 총형공구(Formed tool)를 이용한 효과적인 금형가공 방법에 대해 연구한다. 총형 공구를 제작하여 금형을 가공함에 있어서 다른 여유각(Clearance angle)을 가지는 총형 공구에 대해 절삭력과 절삭인의 마모정도를 파악하여 분석하고 러버설 금형 가공을 위한 최적의 절삭조건을 찾는다. 그리고 그에 따른 효율적인 금형 가공방법을 제시한다.

2. 총형공구와 절삭조건

본 연구에서 사용된 총형 공구는 KORLOY사의 SPMN계열의 총형공구(Insert tip)로서 여유각도를 6°와 11°로 다르게 제작하여 절삭을 수행하고 절삭력을 측정하였다. 절삭력을 측정하기 위한 실험 장치의 개략도와 일격이 Fig. 1과 Table. 1에 나타나 있

고 실험에 사용된 총형 공구의 형상이 Fig. 2에 보여진다. 각각 다른 여유각을 가진 총형 공구를 제작 한 후 상용 소프트웨어인 INUS사의 Rapidform 2002와 CMM(Coordinate Measuring Machining)을 이용하여 총형 공구의 CAI (Computer Aided Inspection)를 수행하였다. 주절인(Cutting edge)의 여유각을 검사한 결과 각각 6.318° , 10.8° 로 공차에서 크게 벗어나지 않았다.

절삭력 확보를 위한 가공시 노이즈 및 기타 환경 요인을 제거하기 위해 진식 절삭을 하고, 동일한 패턴으로 가공경로를 수립하였다.

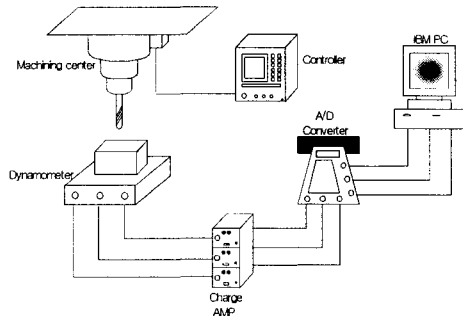


Fig.1. Schematic apparatus

Table. 1 Specifications of experimental apparatus

Machining Center	Vertical Type Spindle (max): 8000rpm
Tool dynamometer	Kistler 9257A Range : ± 5 kN Resolution : 0.01N
Charge amplifier	Kistler 5001 Resolution : 12bit

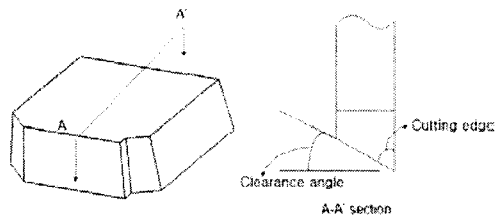


Fig. 2. Formed tool

실험에 사용된 피삭재는 실제 금형에 사용되는 KP4M으로서 적절한 열처리로 내부 잔류 응력이 제거되어 균일하고 높은 경도와 양호한 가공성을 가지고 있으며 진공 탈가스 처리(Vacuum degassing

process)가 되어 높은 청경도와 성분의 편식이 없는 재료이다. Table. 2는 이러한 KP4M에 대한 기계적인 성질을 나타낸다.

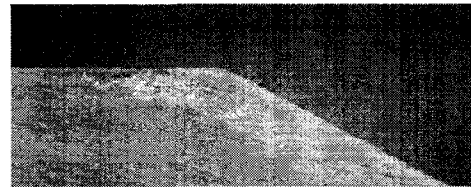
Table.2 The mechanical properties of KP4M

Specification	Value
Yield Point (kgf/mm^2)	65.80
Tensile Strength (kgf/mm^2)	75.90
Elongation (%)	> 15
Reduction of Area (%)	> 40
Impact Abs. Energy (Joule)	> 60
Surface Hardness (HRC)	28 ~ 34

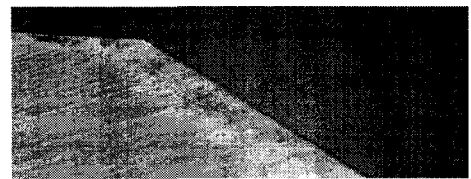
3. 총형공구 평가 및 최적화

3.1 절삭력과 공구마모

총형 공구도 일반 상용공구와 같은 원리로 절삭인이 예리할수록 절삭력은 적게 걸리지만^[46], 절삭인 선단부의 마모가 보다 빨리 진행된다.



(a) Clearance angle 6° formed tool



(b) Clearance angle 11° formed tool

Fig. 3. Wear shape of formed tool

서로 다른 여유각을 갖는 총형공구에 대하여 동일한 가공 조건하에서 가공을 수행하면서 관찰한 마모상태가 Fig. 3에 보여진다. 마모가 진행되기 시작하면서 여유각 11° 의 총형공구 선단 edge부위가 Fig. 3 (b)와 같이 먼저 마모가 시작된다.

공구 동력계를 이용하여 각각의 총형공구에 대하

여 번지 x, y, z 방향에 대한 절삭력을 측정하고, 여유각에 따라 절삭력의 크기를 비교한다. Fig. 4는 여유각과 가공길이에 따른 x 방향 절삭력을 나타낸다. Fig. 4의 (a), (c)는 마모가 진행되기 전의 x 방향 절삭력이고, 가공이 2092.3mm 진행된 후 얻은 (b), (d)는 가공 길이의 증가에 따라 마모가 진행되어 절삭력이 증가됨을 보여준다.

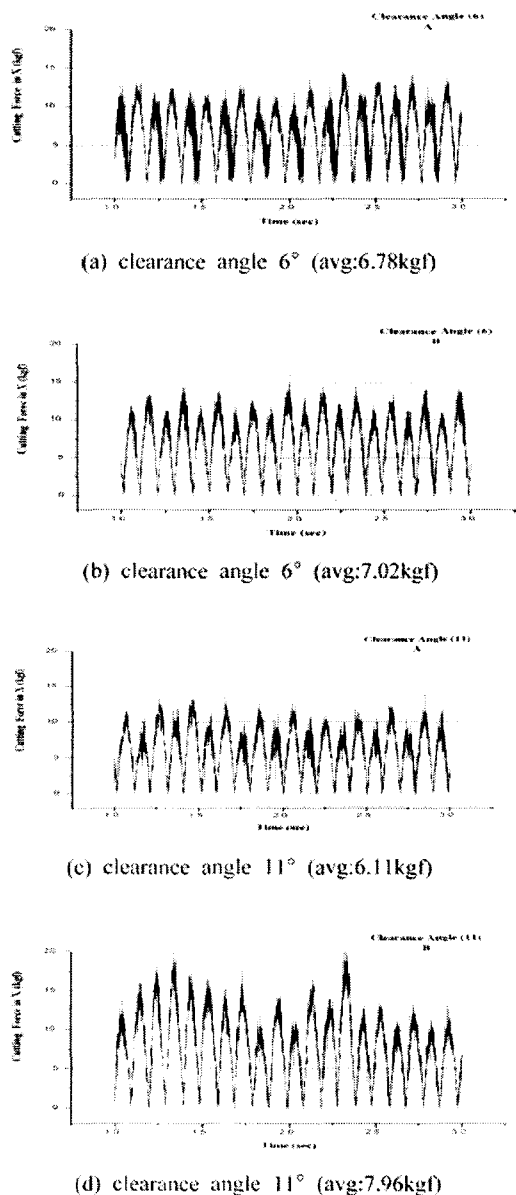


Fig. 4. Cutting force

두 가지 총형공구에 대해 동일한 절삭 조건에서 동일하게 가공이 진행되면, 더 예리한 선단을 가지는 여유각 11°의 총형공구에서 마모가 더 빨리 진행된다. 따라서 초기 절삭력은 6°의 경우가 11°의 것보다 0.67kgf 크고 가공이 어느 일정거리 이상되어 마모가 진행되면 반대로 11°의 총형공구가 6°보다 크다. 여유각이 6°인 경우 마모로 인한 평균 절삭력 증가량은 0.24kgf이고, 11°인 경우 1.78kgf이다. 따라서 황삭시에는 공구 마모와 절삭력의 증가량이 적은 여유각이 6°인 경우가 더 유리하다.

3. 2 표면 조도

서로 다른 여유각을 가지는 총형 공구를 사용하여 동일한 조건하에서 가공을 수행한 후, 각각의 공구에 대해 가공 길이에 따라서 표면 조도를 측정하여 가공성을 평가한다.

가공길이가 길어짐에 따라 공구의 마모로 인해 칩의 형상과 조도가 달라진다⁶⁾. 다수의 케비티를 가지는 금형의 경우 Fig. 5의 환(環)모양의 형상이 반복적인 패턴으로 가공된다. 따라서 하나의 케비티에서 가공 표면의 정도는 그림과 같이 네 부분(a,b,c,d)의 조도값의 평균값으로 평가된다.

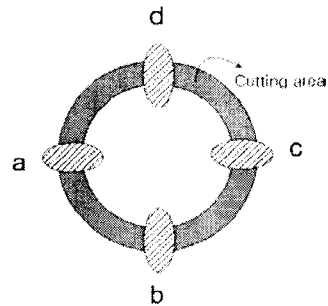


Fig. 5. Surface roughness

Table. 3. Roughness of the each cutting (Unit: μm)

clearance angle	6°	11°
Roughness (Ra)	2.93	2.69

Table. 3은 다른 여유각을 가진 총형공구를 사용하여 가공을 수행하고, 각각의 케비티 평균조도를 산출한 것이다. 인성이 높은 재료인 KP4M의 특성상 표면 조도가 크게 나타났다. 초기 2~3개의 케비티 가공 후 조도가 향상되는 경향을 보였다.

금형 가공시 여유각 11°의 경우 공구의 마모진행이 빨라 절삭력 증가량이 크지만, 표면조도를 고려할 때는 정삭 가공에 유리하다.

4. 가공경로 생성 및 가공

실제 다수의 캐비티를 갖는 러버실 금형의 가공을 위해 러버실 각 부위의 형상에 적합한 여러 종류의 총형공구가 필요하다. Fig. 6은 실제 러버실 금형에 사용되는 총형공구의 형상들이다.

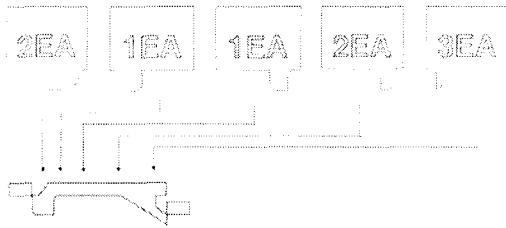


Fig. 6. Formed tools and Rubber seal

```

...
...
T O O
G0 G17 G40 G49 G90
G54 G90 G1 F300
G1 X 0. Y 0. Z 50.
S300
M03
G00 Z 2.000 F200
G00 z 0.2 F3
G01 Z-0.3 F3
G04 P200.
G01 Z5.0 F200
M30
    
```

Fig. 7. NC code for cutting

총형 공구를 이용하여 다수의 캐비티를 갖는 러버실 금형의 가공시 초기에 생성되는 캐비티 형상과 마지막으로 생성되는 캐비티 형상간에 공구 마모로 인한 오차가 발생하고 공구가 파손될 우려가 있다. 따라서 금형 가공시 금형 재료에 적합한 가공조건을 찾아야 한다. NC code를 생성할 때 실제 현장에서의 가공조건보다 안정한 조건으로 생성한 NC code를 생성한다.

총형공구로 가공이 이루어질 경우 가공 경로는 z 축으로부터 가공물에 직접 접근하여 헬릭스(Helix) 가공을 하게 된다. 따라서 가공이 시작되기 직전 급속한 절삭력이 공구에 작용되지 않도록 가공면에 근접하는 0.2mm 거리에서 Feed를 충분히 감소시켜 가공면에 접근시킨다. 또한 금형의 가공성 향상을 위해 Dwell coder(공구일시정지; G04 P200)를 사용하였다. 실험에 적용된 가공조건은 Fig. 7에 나타나 있다. Fig. 8은 실제 가공된 러버실 금형이다.

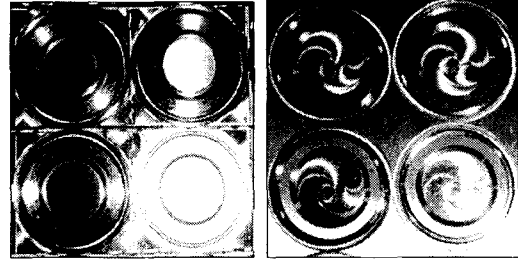


Fig. 8. Mold of rubber seal

4. 결론

러버실 금형 가공을 위해 서로 다른 여유각을 가진 총형공구를 제작하고, 각각의 총형 공구를 사용하여 실제 금형에 사용되는 재료인 KP4M을 이용하여 가공을 수행하였다. 절삭력, 공구마모, 표면조도를 고려할때.

- 1) 여유각 6° 인 경우, 절삭력의 증가량과 공구 마모가 적어 황삭 가공시 유리하고,
- 2) 여유각이 11° 인 경우에는 절삭력의 증가량이 크고 공구마모가 빨리 진행되지만 표면조도를 고려할 때 정삭 가공에 적합하다.
- 3) 공구마모와 표면조도를 고려하여 총형공구 형상에 따라 2개 이상의 동일 총형공구 선정이 필요하다.

참고문헌

1. 김정균, 전인기, 심우진, 김중역 "립질의 접촉력 및 온도분포 해석에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제18권, 제 6호, pp. 1559-1566, 1994.
2. 이기우, 노상도, 신동복, 한형상 "'절삭부하 예측을 통한 NC코드 후처리시스템' 한국정밀공학회지, 제 17권 제 5호"pp. 116-123, 2000.
3. 장명창, 김정석, 이득우, 김광호, 하동진"'고속가공용 엔드밀 형상변화에 따른 가공성 평가" 한국정밀공학회지, 제 19권 제 5호"pp. 133-138, 2002
4. 김정석, 이득우, 정용호, 장명창, 이기용, 김경준, 김석원 "'금형의 고정도·고능률 가공기술" 한국정밀공학회지, 제 17권 제 4호"pp. 48-68, 2000.
5. 고태조, 정훈, 김희술 "'고속 불엔드밀링에서 공구마모를 고려한 공구의 가공경사각 선정." 한국정밀공학회지, 제15권, 제9호, pp. 135-144, 1998.
6. 서남집 "'기계공작법" pp. 622-641 동명사, 1998.