

총형공구를 이용한 베어링 Rubber Seal 금형가공에 관한 연구

노상흠*, 이희관*, 김연술**, 김도형**, 양균의#

A Study on Die of Bearing Rubber Seal by Formed Tool

Sang-Heup Roh*, Hi-Koan Lee*, Yeun-Sul Kim**, Do-Hyung Kim** and Gyun-Eui Yang#

ABSTRACT

The formed tool is used to machine the geometrical shape of bearing rubber seal efficiently. The bearing rubber seal has complex geometry for the complicated 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 a rubber seal die. In this paper, It is performed to investigate machining characteristic of the formed tool; cutting edge wear, cutting force, and surface quality. Also, an efficient precision machining condition is proposed, and the inspection results of rubber seal with CAI are discussed.

Key Words : Rubber seal(러버실), Formed tool(총형공구), CAI(Computer Aided Inspection)

1. 서론

고정밀 베어링에 있어서 윤활 오일의 누설과 외부의 이물질의 차단하기 위한 베어링 러버실은 필수적이다. 이러한 고정밀 베어링에 사용되는 러버실은 일반적으로 러버실의 프레임(Frame)을 이루는 보강재와 밀봉역할을 하는 Lip으로 구성된다.¹ 러버실은 Hot press성형에 의해 생산되기 때문에 금형은 고정밀 베어링 러버실의 품질(형상 정밀도)에 가장 큰 영향을 미친다. 러버실의 형상은 각 부위마다 밀리 스트럭처 범위의 복잡한 기하학적 형상을 가지기 때문에 금형 제작에 있어서 많은 어려움이 있다. 특히, 1개의 금형내에 다수의 캐비티를 갖는 경

우, 기존 공정처럼 선반에 의해 가공하게 되면 캐비티 별로 선반 주축의 회전중심을 셋팅해야 하기 때문에 코어와 캐비티 간의 위치 정밀도에 오차가 발생할 수 있다. 또한, 일반 상용공구인 볼 엔드밀(Ball endmill)이나 플랫엔드밀(Flat endmill)을 사용할 경우 러버실의 복잡한 기하학적 형상을 정확히 표현하기 어렵고 품질향상을 위한 후처리 작업이 필요하게 된다.^{2,3} 레이저가공, 방전가공, Etching 등의 특수가공 등이 사용되기도 하지만 생산성과 경제적인 측면에서 상당한 부담이 뒤따른다.

이에 본 연구에서는 러버실 형상에 대응할 수 있는 고정밀도의 총형공구(Formed tool)를 이용한 효과적인 금형가공 방법에 대해 연구하였다.

접수일: 2003년 07월 04일; 게재승인일: 2004년 11월 14일

* 전북대학교 자동차 부품·금형 기술혁신센터

** 전북대학교 대학원

교신저자: 전북대학교 기계항공시스템공학부

Email: Geyang@moak.chonbuk.ac.kr, Tel: (063) 270-2322

총형 공구를 제작하여 금형을 가공함에 있어 서로 다른 여유각(Clearance angle)을 가지는 총형 공구에 대해 절삭력과 절삭인의 마모정도를 분석하여 총형공구의 특성을 파악하고, 조도와 치수측정을 통해서 가공된 금형을 평가하였다.

2. 총형공구 특성

본 연구에서 사용된 총형 공구는 KORLOY사의 SPMN계열의 고경도 금형가공용 Insert tip을 변형 가공한 것으로 여유각을 6°와 11°의 2종류로 제작하여 절삭을 수행하고 절삭력을 측정하였다. 여유각을 2종류로 제한한 것은 상용 Insert tip의 여유각이 11°로 절삭성 등이 검증된 것이고, 비교를 위해 여유각이 6°인 총형공구를 제작하여 2종류의 총형공구를 통해 특성을 분석하였다. 절삭특성을 분석하기 위한 절삭력 측정장치는 Fig. 1에서 보여지며, 이 실험장치의 규격은 Table 1과 같다. Fig. 2는 본 실험에서 사용된 총형공구의 형상을 보여준다.

절삭력은 건식 절삭조건에서 구하고, 가공경로는 Helix 가공경로를 사용하였다. Table 2는 실험에 사용된 피삭재인 NAK80의 기계적 특성을 보여준다. NAK80은 실제 리버실 금형에 사용되며 높은 경도와 양호한 가공성을 갖는다.

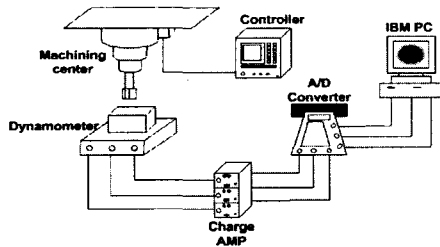


Fig. 1 Schematic apparatus

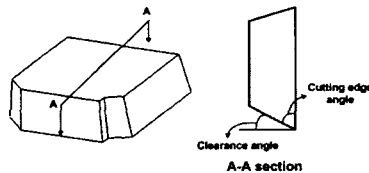


Fig. 2 Formed tool

Table 1 Specifications of experimental apparatus

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

Table 2 Mechanical properties of NAK80

Tensile strength (kg/mm ²)	Hardness (HRC)	Elongation (%)
132.9	40	8.9

리버실 금형의 형상은 Fig. 3과 같이 환(環)모양으로 가공되며, 이송은 z방향으로만 이루어진다.

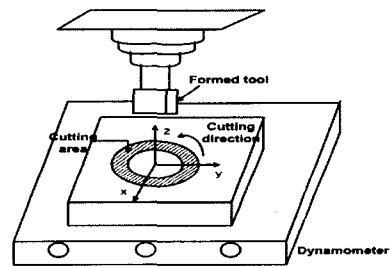


Fig. 3 Cutting direction

총형공구도 일반 상용공구와 같은 원리로 절삭인이 예리할수록 절삭력은 적게 걸리지만^{4,6}, 절삭인 선단부의 마모가 보다 빨리 진행된다. 2가지 여유각을 갖는 총형공구에 대하여 동일한 가공 조건 하에서 20,923mm의 동일 가공거리만큼 가공을 수행한 후 공구현미경(배율:x30)을 통해 관찰한 마모상태가 Fig. 4에 보여진다.

총형공구를 사용한 가공조건은 가공경로가 Helix 경로이며, 스피들은 300RPM, 이송속도는 3mm/min이다. 2가지 총형공구의 마모는 여유각을 이루는 선단 절인부위에서 가장 심하게 발생하여 Fig. 4와 같이 마모가 진행된다. 가공이 더 진행될수록 여유각이 11°인 총형공구가 여유각 6°인 총형공구보다 마모가 심각하게 진행되어 칩핑 및 파단이 먼저 발생하였다.



(a) Formed tool of 6°clearance angle



(b) Formed tool of 11°clearance angle

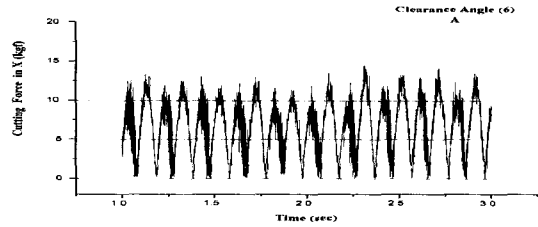
Fig. 4 Wears of formed tool

공구 동력계를 이용하여 각각의 총형공구에 대하여 먼저 x, y, z 방향에 대한 절삭력을 측정하고, 여유각에 따라 절삭력의 크기를 비교하였다.

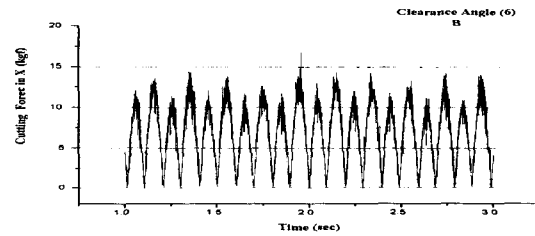
x 와 y 방향의 절삭력은 동일한 패턴으로 증가와 감소가 상호 교대로 동일하게 나타난다. Fig. 5는 여유각과 가공길이에 따른 x 방향 절삭력을 나타낸다. Fig. 5의 (a),(c)는 마모가 진행되기 전의 x 방향 절삭력이고, 가공이 20,923mm 진행된 후 얻은 (b),(d)는 가공 길이의 증가에 따라 마모가 진행되어 절삭력이 증가됨을 보여준다. 마모전 2가지 공구를 비교하면 여유각 11°가 절삭력이 작고 균일하여 여유각 6°의 것보다 절삭성이 좋음을 알 수 있다.

2가지 총형공구에 대해 동일한 절삭 조건에서 가공이 진행되면, 더 예리한 선단을 가지는 여유각 11°의 총형공구에서 마모가 더 빨리 진행된다. 초기 절삭력은 여유각 6°의 경우가 여유각 11°의 것보다 0.67kgf 크지만, 가공이 일정거리 20,923mm 이상 진행되면 반대로 여유각 11°의 총형공구가 여유각 6°보다 크게 나타났다. 이것은 가공이 진행됨에 따라 여유각이 큰 총형공구의 마모가 빠르고 많이 진행되기 때문인 것으로 분석된다. 여유각 6°인 경우 마모로 인한 평균 절삭력 증가량은 0.24kgf이고, 여유각 11°인 경우 1.78kgf이다. 따라

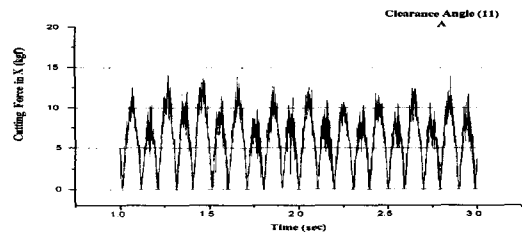
서, 가공거리가 긴 경우 마모에 따른 절삭력 증가량이 적은 여유각 6°인 경우가 더 유리하며, 내마모성이 강함을 알 수 있다.



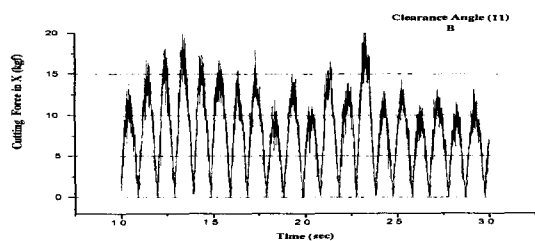
(a) Before wear(clearance angle 6°, avg:6.78kgf)



(b) After wear(clearance angle 6°, avg:7.02kgf)



(c) Before wear(clearance angle 11°, avg:6.11kgf)



(d) After wear(clearance angle 11°, avg:7.96kgf)

Fig. 5 Cutting force of formed tool

3. 러버실 금형 가공계획과 가공경로

금형 가공을 위해 실험에 사용된 NC code가 Fig. 6에 보여진다. 총형공구로 가공이 이루어질 경우 가공 경로는 z방향으로 헬릭스(Helix) 가공을 하게 된다. 따라서 가공이 시작되기 직전 급속한 절삭력이 공구에 작용되지 않도록 가공면에 근접하는 0.2mm 거리에서 이송속도를 감소시켜 가공면에 접근시킨다.

```

...
...
T OO
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. 6 NC code for rubber seal die

다수개의 복잡한 형상의 캐비티를 갖는 러버실 금형의 가공을 위해 러버실 각 부위의 형상에 적합한 다수개의 다양한 총형공구가 필요하다. Fig. 7에 러버실의 형상과 러버실 금형 가공에 사용되는 다양한 형상의 총형공구들이 보여진다. 또한 각 형상 부위의 특징상 공구 마모가 신속히 진행되는 총형공구의 경우 Fig. 7에 보여지는 것처럼 다수개의 같은 형상의 총형공구가 필요하다. 공구의 마모가 신속히 진행되는 부위에는 동일형상을 가진 다수개의 총형공구를 사용하고, 공구 마모정도가 가공 치수에 영향을 미치지 않는 부분에서는 하나의 공구를 사용하여 효율적인 가공을 수행하였다.

러버실 형상과 총형공구의 마모를 고려하여 각 총형공구의 소요수 등을 파악하여 가공경로를 생성하는 가공계획을 수립하였다. 또한, NC 데이터 생성에서는 서브모듈을 활용하여 각 종류의 총형공구 가공경로를 지정하여, 메인모듈에서 호출하는 방식으로 가공경로를 모듈화하여 효율성을 높였다.

다수의 캐비티를 갖는 러버실 금형의 가공시 초

기에 생성되는 캐비티 형상과 마지막으로 생성되는 캐비티 형상간에 공구 마모로 인한 오차가 발생하고 공구가 파손될 우려가 있다. 따라서 금형 가공시 피삭재에 적합한 가공조건과 적시 공구교환을 수행하도록 서브모듈을 작성하였다. 이상과 같은 가공조건으로 실제 가공된 상형과 하형의 베어링 러버실 금형이 Fig. 8에 보여진다.

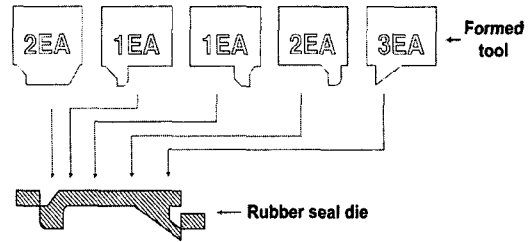


Fig. 7 Formed tools and rubber seal die

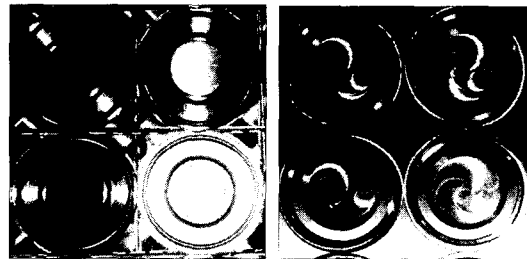


Fig. 8 Shape of rubber seal die

4. 러버실 금형 평가

4.1 표면조도 검사

베어링 러버실은 핫프레스 방식으로 성형되기 때문에 금형가공면의 표면조도가 러버실 표면에 반영되기 때문에 경면에 근접한 가공면을 필요로 하며 총형공구를 사용한 가공면 표면조도는 만족할만한 품질을 제공할 수 있다.

가공길이가 길어짐에 따라 공구의 마모로 인해 칩의 형상과 표면조도가 달라진다.^{7,8} 다수의 캐비티를 가지는 금형의 경우 Fig. 9의 환(環)모양의 형상이 반복적인 패턴으로 가공된다. Rubber Seal 금형 가공시 생산성을 위해 하나의 금형에 다수의 캐비티를 가공한다. 표면 조도를 산출하기 위해 하나

의 캐비티에서 Fig. 9와 같이 4부분(a,b,c,d) 조도의 평균값으로 평가한다. Table 3은 하나의 금형내에서의 각각의 캐비티 금형면조도이다. 표면조도의 측정시 컷오프길이(cut-off length)는 0.5mm이다. Table 3의 평균 표면조도에서 알수 있듯이, 총형공구를 이용한 러버실 금형가공에서 경면(0.2 μ m)의 금형면을 얻을수 있었다.

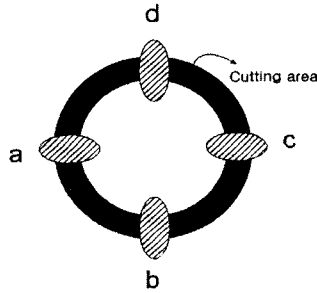


Fig. 9 Measuring position of surface roughness

Table 3 Roughness of cavities (unit: μ m)

Cavity	a	b	c	d	avg
1	0.26	0.24	0.25	0.20	0.237
2	0.23	0.26	0.27	0.24	0.25
3	0.24	0.28	0.27	0.21	0.25
4	0.28	0.27	0.25	0.24	0.26
5	0.22	0.22	0.25	0.28	0.243
6	0.29	0.25	0.24	0.27	0.263

4.2 CAI를 활용한 치수검사

Fig. 10의 코노스코픽(Conoscopic) 원리^{9,10}를 이용한 비접촉식 측정기를 활용하여 베어링 러버실의 CAI(Computer Aided Inspection)를 수행하였다. 러버실 치수검사를 위해서 비접촉식 데이터를 활용할 경우 변형없는 단면형상 데이터를 획득할 수 있다. 또한, 러버실은 크기가 작고 형상이 복잡하여 고정밀 비접촉식 측정장비가 적합하다고 판단되었으며, 측정 데이터는 상용 소프트웨어인 INUS사의 Rapidform 2002를 이용하여 러버실의 치수검사를 수행하였다. 러버실 측정 및 검사는 러버실의 성형 수축률 계산과 가공오차 정정 등에 활용되도록 피드백하여서 러버실 치수오차를 20 μ m 공차이내로

유지하였다.

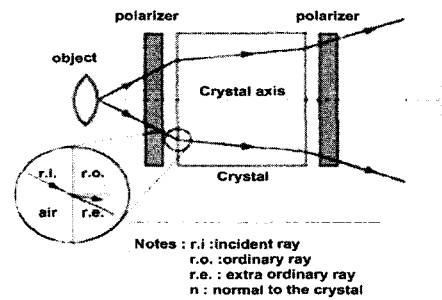
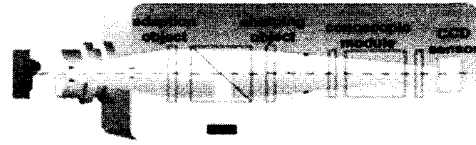
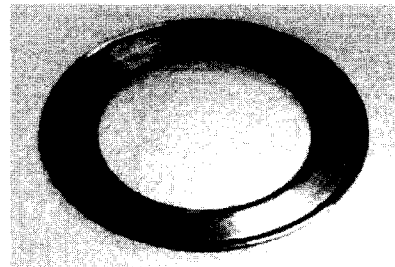


Fig. 10 Measurement principle



(a) Rubber seal



(b) Scan data

Fig. 11 Scan data of rubber seal

Fig. 11(a)는 핫프레스 방식으로 성형한 러버실이며, CAI를 위해 획득한 비접촉식 측정데이터는 Fig. 11(b)에 보여진다. 러버실의 기하학적 형상 특징으로 인해 부위별로 다른 수축률이 나타날 수 있다. 따라서 제품의 정밀한 검사 후 보정을 거쳐 수축률을 고려한 피드백 데이터로 1-2회 추가적인 가공과정을 거치면 만족할만한 치수공차내에서 금형을 가공할 수 있다.

러버실의 형상 특징상 수개의 단면을 측정하여 얻어진 단면형상으로 전체 형상을 생성할 수 있다. Fig. 12는 성형된 베어링 러버실을 비접촉식 방법으로 측정된 후의 데이터를 분석하여 치수를 추출한 것으로서 성형하고자 하는 러버실의 설계 치수 공차내에서 제품이 성형되었다.

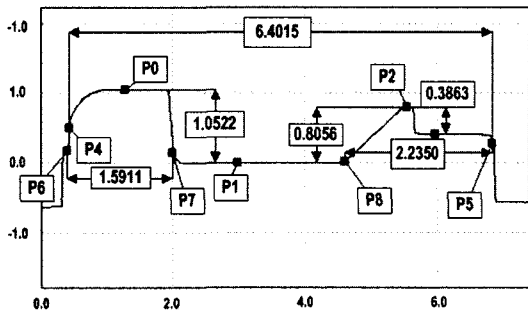


Fig. 12 Dimension inspection of rubber seal

5. 결론

총형공구의 특성과 이를 이용해 가공된 금형과 베어링 러버실에 비접촉식 측정방법에 의한 CAI를 활용하여 고정밀 베어링 러버실 금형을 가공하였다. 총형공구의 여유각에 따라 절삭성과 마모가 다르게 진행되므로 다수개의 캐비티를 갖는 러버실 금형의 경우 총형공구 형상, 여유각, 마모와 소요 공구수 등의 가공계획을 공구별 NC 데이터 모듈화를 통해 효율적으로 가공방법을 수립하였다. 또한, 러버실 금형의 가공표면과 치수검사를 통해서 수축률을 고려하였으며, 이를 통해 설계 치수 공차를 만족하면서 경면(0.2 μ m)의 표면을 갖는 러버실 금형 가공을 수행할 수 있었다.

후기

본 논문은 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. Kim, C. K., Jeon, I. K., Shim, W. J. and Kim, C. E., "A Study on the Contact Force and Temperature Distribution of Lip Seals," J. of KSME, Vol. 18, No. 6, pp. 1559-1566, 1994.
2. Lee, K. W., Noh, S. D., Sheen, D. M. and Hahn, H. S., "NC Code Post-Processor Considering Metal Removal Rate," J. of KSPE, Vol. 17, No. 5, pp. 116-123, 2000.
3. Kim, H. C., Lee, H. K., Huang, J. C., Kong, Y. S. and Yang, G. E., "A Study on Machining Electrode for LED Mold with Shaped End-Mill," J. of KSPE, Vol. 19, No. 10, pp. 187-194, 2002
4. Kang, M. C., Kim, J. S., Lee, D. W., Kim, K. H. and Ha, D. G., "Machinability Evaluation according to Variation of Endmill Shape for High Speed Machining," J. of KSPE, Vol. 19, No. 5, pp. 133-138, 2002.
5. Kim, J. S., Lee, D. W., Jeong, Y. H., Kang, M. C., Lee, K. Y., Kim, K. G. and Kim, S. W., "Advanced Machining Technology for Die Manufacturing," J. KSPE, Vol. 17, No. 4, pp. 48-68, 2000.
6. Ko, T. J., Jeong, H. and Kim, H. S., "Selection of Machining Inclination Angle of Tool Considering Tool Wear in High Speed Ball End Milling," J. of KSPE, Vol. 15, No. 9, pp. 135-144, 1998.
7. 서남섭, "기계공작법," 동명사, pp. 622-641, 1998.
8. Kim, J. H. and Kim, H. S., "A Study on Optimal Design of Face Milling Cutter Geometry(II)," J. of KSME, Vol. 18, No. 9, pp. 2225-2233, 1994.
9. Weber. and Tobias, "Conoscopic 3D measurement system," Sensor Review, Vol. 20, No. 3, pp. 202-205, 2000.
10. Kim, W. S. and Ko, S. L., "Development of Effective Measurement Method for Burr Geometry," J. of KSPE, Vol. 2, No. 6, pp. 81-87, 2003.