

Insert type 총형공구 여유각 영향에 따른 베어링 Rubber Seal 금형의 가공성 평가

Li-Hai Li*, 김연술+, 김도형+, 양균의++, 문상돈+++

A Study on Machining for Bearing Rubber Seal Die

by Flank of Formed Insert Type Tool

Li-Hai Li*, Yeun-Sul Kim+, Do-Hyung Kim+, Gyun-Eui Yang++, Sang-Don Moon+++

Abstract

Formed insert type tool satisfy both the surface roughness and geometric accuracy, so that cutting edge of formed tool can duplicate final feature. For experiment, the formed tools with various clearance angles are machined. And the tools are evaluated with respect cutting force, flank wear and surface roughness to optimistic condition.

Key Words : Rubber Seal(러버실), Formed tool(총형공구), Flank(여유면)

1. 서론

오늘날 대부분의 제품은 고기능성을 요구하고 있으며, 더불어 소형화까지 요구하고 있다. 이러한 실정에 제품은 더욱 더 고정밀화 되어가고 있다. 고정밀도 기계 요소 부품의 경제성 있는 생산을 위해 성형에 의한 생산 방식이 요구되고 있다(1). 금형은 성형을 위한 필수적인 툴(tool)로 특히 밀리 스트럭처 범주인 수mm~수 μ m의 치수를 갖는 복잡한 형상의 고정밀 금형은 고정밀가공을 위한 연구가 필요

한 실정이다. 고속가공(High Speed Machining)이 고정밀 가공을 위한 방법으로 많은 관심을 받고 있다. 이러한 고속가공은 고정밀 가공에 적합하다는 것 이외에 생산성 향상을 가져오게 되어 경제적 측면에서도 많은 장점을 가지고 있다. 하지만 복잡한 기하학적 형상을 갖는 금형인 경우에는 그 형상을 정확히 표현할 수 있는 어떤 방법(tool)이 필요하다. 총형공구(formed tool)는 이러한 필요성을 만족시킬 수 있는 툴(tool)로 적합하며, 특히 언더컷(under-cut)을 고려하지 않아도 되는 장점이 있다.

* 발표자, 전북대학교 기계공학과 (llh110@hotmail.com)
주소: 561-756 전북 전주시 덕진동 1가 664-14
+ 전북대학교 대학원
++ 전북대학교 기계공학과
+++ 익산대학 산업설비제어과

본 연구는 고정밀 고무금형에 속하는 베어링 러버실(2) 금형 가공에 사용된 총형공구의 여유각(clearance angle)에 따른 가공성에 대한 연구이다. 각각의 여유각에 따른 절삭력과 절삭인의 마모정도를 측정 분석하였고 여유면과 가공면의 표면거칠기를 조사하여 총형공구의 가공성을 평가하였다.

2. 총형공구와 실험 장치

2.1 총형공구 제작

총형공구(formed tool)란 기어(gear), 나사(thread) 또는 브로칭(broaching)되어 제작되는 가공품과 같은 특정 형상을 갖는 제품을 가공하기 위한 특수절삭공구 중에 하나로 절삭인(cutting edge) 형상이 목적하는 형상과 같아 가공품의 형상표현이 용이한 특징을 갖는 공구를 말한다(3). 총형공구로 가공된 가공품의 형상정밀도는 일반 상용공구로 가공된 것에 비해 뛰어나며, 가공면에 커슁(cusp)이 남지 않아 표면거칠기 또한 양호하다. 총형공구의 형상설계는 가공될 제품의 형상에 기초하여 설계되기 때문에 상용공구에 비하여 절삭인의 길이가 긴 경우가 발생할 수 있다. 절삭인이 길어지면 큰 절삭력이 발생하게 되고 절삭인 파손에 이르게된다. 총형공구 설계 시 공구수명을 단축시키는 인자를 고려하여 절삭인의 형상을 설계하는 것이 가장 중요한 작업이다.

본 연구에서 사용된 총형공구는 상용 인서트팁(insert tip; TaeguTec, SEKN 1203 AFTN p30, 초경)을 재료로 하여 W-EDM(Wire- Electrical Discharge Machining)으로 제작하였으며, 여유각은 5가지(5°, 8°, 11°, 15°, 20°)로 제작하였다. 제작된 총형공구는 3차원 접촉식 측정기(CMM)를 사용하여 여유각(clearance angle)을 검사하였다. 검사결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Clearance angle (unit: °)

Design Spec.	5	8	11	15	20
Manufactured	5.163	8.217	11.227	15.461	20.357

2.2 실험 장치

절삭력(cutting force)은 절삭 현상을 이해하는 좋은 수단으로 많은 연구가 되어왔다(4)-(5). 절삭력은 정적인 절삭력과 동적인 절삭력으로 나뉜다. 정적인 절삭력은 임의의 시간동안 받아들여진 절삭력의 평균값으로 계산된다. 여유면이 점진적으로 마모되어 순간적인 변화를 나타내는 동적인 절삭력 보

다 높은 신뢰성을 가진다(6). 절삭력은 가공조건, 공구, 공작물, 공구마모 여부에 따라 달라진다. 공구마모에서 편차량이 달라지는 이유는 공구의 경사면과 여유면이 함께 마모되어 절삭력에 영향을 주기 때문이다.

Fig. 1과 Table 2는 절삭력 측정을 위한 실험장치와 공구동력계(dynamometer ; Kistler)의 규격을 보여준다. 가공 시 발생하는 진동 및 노이즈 등은 절삭력 획득에 오차를 유발시키는 요인이 된다. 이를 감소시키기 위해 건식절삭(dry cut) 조건하에서 절삭력을 획득하였다.

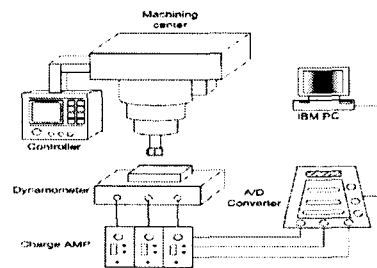


Fig. 1 Schematic apparatus

Table 2 Specifications of experimental apparatus

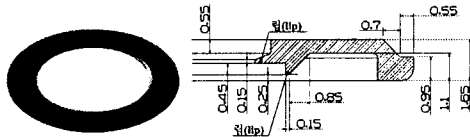
Items	Specification
Machining center	Vertical type Spindle(max): 8000rpm
Tool dynamometer	Kistler 9257A Range : ±5kN Resolution : 0.01N
Charge amplifier	Kistler 5001 Resolution : 12bit

실험에 사용된 피삭재는 실제 금형가공에 사용되는 초경면 성 정밀 플라스틱 금형강으로 변형이 적고 경면 연마성이 우수한 재료인 NAK80을 사용하였다. NAK80의 기계적 물성치는 Table 3과 같다.

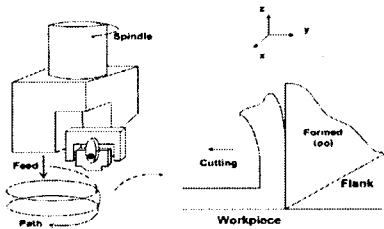
Fig. 2와 같이 베어링 러버실은 수백 μ m의 치수를 갖는 환(環)모양의 기하학적 형상을 가지고 있다. 이와 같은 형상을 고려하여 절삭조건은 스핀들(spindle) 300rpm, 이송속도(feed rate) 3mm/min으로 설정하였고, 가공경로를 helix형태로 하였다.

Table 3 Mechanical properties of NAK80

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



(a) Rubber seal



(b) Helical path

Fig. 2 Rubber seal and helical path

3. 절삭력 평가

러버실 금형은 다수의 동일 캐비티(cavity)로 이루어져 있다. 본 연구에서는 총 12개의 캐비티(가공거리: 66.73m)를 대상으로 실험하였다. 하나의 캐비티가 가공되는 동안 얻어진 절삭력은 가공형상과 가공경로 특성에 따라 X, Y축 절삭력은 상호 증가와 감소를 반복하는 주기적인 파형을 가지고 90°위상차를 가지게 된다. Z축 절삭력은 (+)값만을 갖게 된다. 따라서 X축과 Y축 절삭력은 동일함으로 X축 절삭력의 절대값을 평균하여 절삭력 분석에 이용하였다.

Fig. 3은 동일 캐비티를 가공하는 동안 시간에 따른 절삭력의 변화와 서로 다른 여유각에 따른 절삭력의 차이를 보여준다. 5가지 여유각 모두 절삭력이 증가함을 알 수 있다. 특히 여유각 5°, 8°인 경우에 절삭력 증가폭이 크게 나타났다. 11°는 절삭력이 가장 적고, 절삭력 변화폭 또한 가장 적어 안정한 절삭이 이루어지는 것으로 평가되었다.

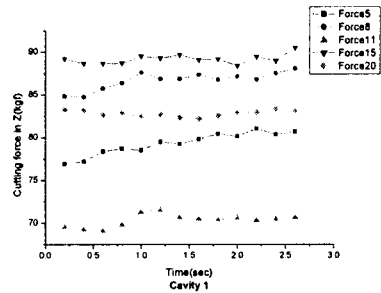
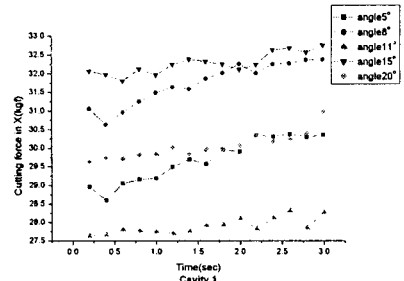


Fig. 3 Cutting force on X, Z direction

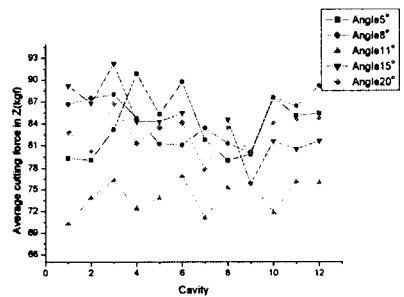
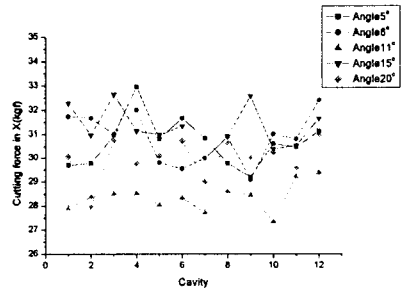


Fig. 4 Cutting force(Average) of the each cavity

Fig. 4는 각각의 12개 캐비티를 가공하는 동안 얻어진 X, Z축 절삭력이다. 각 캐비티별로 절삭력이 증가와 감소가 불규칙적으로 반복되는 것을 볼 수 있는데, 이것은 각 캐비티별로 가공되기 때문에 캐비티간의 절삭이 연속적이지 않은 이유인

것으로 판단된다. 전체적인 경향은 가공거리가 증가함에 따라 절삭력 또한 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 공구 마모와 표면거칠기

4.1 공구마모 평가

공구마모는 공구와 피삭재 사이의 상대적인 경도의 함수관계이며 경사면 또는 여유면의 수직응력과 관계하며 가공면의 가공 상태와 치수정밀도에 영향을 주는 인자이다(7)-(8). 일반적으로 공구수명은 여유면 마모(flank wear land)폭을 일정한 값으로 정한 후에 마모폭을 점검하여 결정된다(9). 하지만 일정한 여유면 마모폭으로 공구수명을 결정하는 경우는 여유각에 따라 치수정밀도에 영향을 미치는 정도가 달라지게 된다. 그래서 여유면 마모폭과 공구수명, 치수정밀도와의 관계를 알아보기 위해 여유각이 다른 5가지 공구로 동일거리를 가공한 후 공구마모 정도를 알아보았다.

여유면 마모폭(wear land)은 Fig. 5와 같이 여유면 마모 부위에서 A(H1a), B(H1b), C(H1c) 세 부분을 측정한 후 그 평균값(H1)으로 여유면 마모폭을 산출하였다. 여유면 마모폭(H1)은 Table 4에 보여지는 것처럼 큰 차이가 없었다. 하지만 여유면 마모폭이 가공물의 치수정밀도에 영향을 미치는 정도를 고려한 경우(H2 검사)에는 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 베어링 러버실 금형이 요구하는 치수정밀도인 $\pm 20\mu\text{m}$ 를 고려했을 때 15° 미만의 여유각을 갖는 총형공구가 베어링 러버실 금형가공에 적합함을 알 수 있다. 서로 다른 공구 췌기각(wedge angle)을 가졌음에도 불구하고 동일거리를 가공한 후에 여유면 마모폭은 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 공구 수명과 치수정밀도를 동시에 고려한 측면에서 여유각이 작은 공구가 유리하다는 것을 알 수 있다.

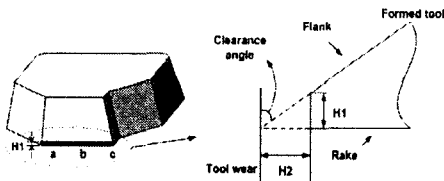
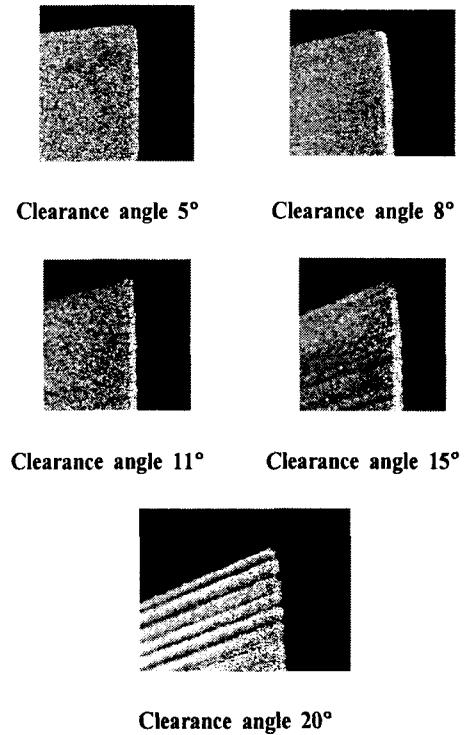


Fig. 5 Tool wear of formed tool

Table 4. Tool wear of formed tool(wear land, unit: μm)

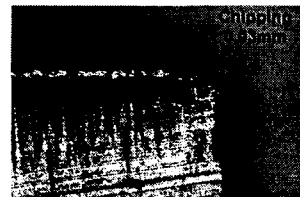
Clearance Angle($^\circ$)	5	8	11	15	20
Wear land(H1)	84	80	90	93	80
H2	0.7	11	17	24	29

Fig. 6은 5가지 서로 다른 여유각을 가지는 총형공구의 동일거리(83.409m)를 가공한 후, 공구현미경(배율 : $\times 30$)을 사용하여 측정된 여유면 선단의 마모 상태가 보이며 Fig. 7은 여유각 15° 와 20° 인 경우에 경사면 방향으로 측정된 마모 상태를 보여준다. 15° 와 20° 모두 chipping이 발생한 것을 볼 수 있다.

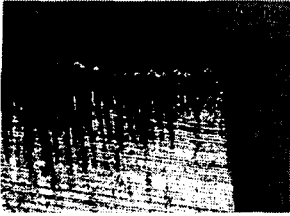


Clearance angle 20°

Fig. 6 Tool wear



(a) Rake wear 15°



(b) Rake wear 20°

Fig. 7 Tool wear

4.2 표면거칠기 평가

5가지의 서로 다른 여유각을 갖는 총형공구를 이용하여 동일한 가공조건과 동일 가공거리를 가공한 후 가공면의 거칠기를 측정하여 총형공구의 가공성을 평가하였다. 가공이 진행됨에 따라 동일한 가공조건하에서도 가공길이가 길어짐에 따라 공구의 마모로 인해 칩의 형상과 표면조도가 달라짐을 알 수 있다. 또한 서로 다른 여유각과 여유면의 거칠기에 따라 가공면의 거칠기가 달라짐을 알 수 있다. 러버실 금형처럼 다수의 캐비티를 갖는 금형은 첫 번째 가공된 캐비티와 마지막에 가공된 캐비티의 치수와 조도가 공구마모로 인해 차이가 발생하면 제품 품질에 영향을 미치게 된다. 이 때문에 각 캐비티의 거칠기를 평가하였다.

각 캐비티에서 가공면의 거칠기는 Fig. 8에 보여지는 바와 같이 네 부분(a,b,c,d)을 측정한 후 평균값을 산출하여 평가하였다.

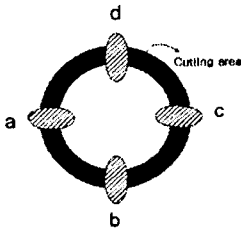


Fig. 8 Roughness of rubber seal die

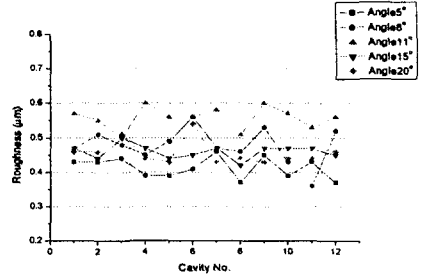


Fig. 9 Roughness of the each cavity

Fig. 9는 러버실 금형의 각 캐비티별 가공면 거칠기를 서로 다른 여유각에 따라 보여준다. 가공거리가 증가함에 따라 표면거칠기는 큰 변화를 나타내지 않았다.

5가지 모두 가공면의 거칠기는 경면(Ra 1.6μm이하)의 가공면을 얻을 수 있었다. Fig. 9에 보여진 결과는 건식절삭으로 가공된 가공면의 거칠기로 절삭유를 사용하여 가공이 이루어질 경우 더욱 양호한 가공면을 얻을 수 있을 것이다.

5. 결론

총형공구 여유각에 따른 절삭력과 공구마모, 가공품의 표면 거칠기를 분석하여 총형공구를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 5가지 여유각(5°, 8°, 11°, 15°, 20°) 중에서 5°와 8°인 경우에 큰 절삭력 증가폭을 나타냈다. 또한 가공거리가 증가함에 따라 절삭력 증가량도 가장 컸다. 이와 반대로 11°의 경우에는 절삭력과 절삭력 증가량이 가장 작았다.

2) 여유면 마모(H1)에 따른 공구의 길이마모(H2)는 여유각 20°인 총형공구에서 29μm로 가장 컸으며, 여유면 마모(H1)는 15°의 경우가 가장 컸지만 그 차는 아주 작았다. 여유면 마모는 공구 뺨기각(wedge angle)의 크기에 따라 큰 영향을 받지 않고 가공거리에 영향이 큰 것으로 판단된다. 공구 수명과 치수정밀도를 동시에 고려한 측면에서 여유각이 작은 공구가 유리하다는 것을 알 수 있었다.

3) 가공면의 표면거칠기는 가공거리가 증가함에 따라 큰 변화폭을 보이지 않았으며 5가지 여유각 모두 경면(Ra 1.6μm이하)의 가공면을 얻을 수 있었다.

베어링 러버실 금형 가공을 위해 총형공구 여유각을 선정할 경우 치수정밀도 측면에서는 15°이하로 여유각이 적을수록 적합했다. 하지만 안정적인 절삭을 위해 절삭력 변동폭을 고려한 경우 11°의 경우 가장 안정적인 절삭력을 보였다. 종

합적으로 5가지 여유각 중에서 11°의 여유각이 가장 적합한 것을 알 수 있었다. 또한 총형공구를 통해 경면의 가공면을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

- (1) Nam-sun Cho, 2000, "21C Milli-structure manufacturing technology," Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol.40, No.11.
- (2) In-Ki Jun, Woo-Jeon Shim, In-Hyeok Choi and Chung-Kyun Kim, 1993, "Experimental Study on the Contact Force of Rubber Seal for a Ball Bearing," K.S.L.E., Vol. 9, No. 1, pp. 32~37.
- (3) Hyung-Chan Kim, Hi-Koan Lee, Jing-Chung Huang, Young-Sik Kong and Gyun-Eui Yang, 2002, "A Study on Machining Electrode for LED Mold with Shaped End-Mill," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 19, No. 10, pp. 187~194.
- (4) G. Parakkal., R. Zhu., S.G. Kapoor., R.E. DeVor., 2002, "Modeling of turning process cutting forces for grooved tools," Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, pp. 179~191.
- (5) I.N. Tansel., T.T. Arkan., W.Y. Bao., N. Mahendrakar., B. Shisler, D. Smith., M. McCool., 2000, "Tool wear estimation in micro-machining. part I: tool usage-cutting force relationship," Machine tools & Manufacture, Vol. 40, pp. 599~608.
- (6) Jae-Woong Youn, Kwon-Yong Lee, Soo-Cheol Lee and Jong-Geun Choi, 2001, "Detection of Tool Wear using Cutting Force Measurement in Turning," Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 10, No. 1, pp. 1~9.
- (7) J. wang, C.Z. Huang., W.G. Song., 2003, "The effect of tool flank wear on the orthogonal cutting process and its practical implications," Materials Processing Technology, Vol. 142, pp. 338~346.
- (8) H. Zhao., G.C. Barber., Q. Zou., 2002, "A study of flank wear in orthogonal cutting with internal cooling," WEAR, Vol. 253, pp. 957~962.
- (9) Young-II Kim, 1994, "System Development for Automatic Tool Wear measurement," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 11, No. 6, pp. 185~199.