한국소성가공학회 2009년도 추계학술대회 논문집 pp. 41~44

마이크로 앤드밀링 공정에 의한 미소기어부품 금형 가공 기술연구

노진석[1]· 김병두[1]· 김재구[1]· 윤재성[1]· 제태진#

Manufacturing Technology for Micro Gear Mold Parts Using Micro Endmilling Process

J. S. Noh, B. D. Kim, J. G. Kim, J. S. Yoon, T. J. Je

Abstract

A multi-stage gear mold including gears of 2mm and 1.5mm diameter was designed and machined in this research for developing micro gear mold manufacturing technology with micro endmill. Mechanical shapes having differential micro teeth were analyzed to be formed as designed and processing conditions were optimized by analyzing machined surface chip and cutting force. Based on the results, a prototype of micro multi-stage gear mold was manufactured.

Key Words : Micro gear(마이크로 기어), Micro flat end-mill(마이크로 평 앤드밀), Cutting conditions(가공조건)

1. 서 론

마이크로 기어부품은 전통적인 시계산업으로부터 첨단 마이크로 로봇, 의료기기, 전자기기를 비롯한 초소형모터, 하모닉드라이브, 엑츄에이터 장치 등에 널리 적용되고 있다. 이러한 용도의 마이크로 기어부품은 주로 기계가공법과 MEMS 공정 등에 의해 제작된 금형을 이용하여 여러가지 성형법을 적용하여 제작된다.

기계적 마이크로 기어 금형의 제조방법은 MEMS 공정에 비해 고경도 소재를 가공할 수

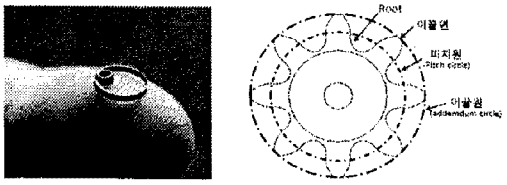


Fig. 1 Example shape of micro gear

있기 때문에 장점이 있지만, 앤드밀과 같은 가공 공구를 사용해야 하기 때문에 그림 1에 나타낸 것과 같은 미소 기어 치형의 정밀한 형상 가공에는 많은 문제점을 가지게 된다.

본 연구에서는 마이크로 앤드밀을 이용한 미소 기어 금형 가공기술 개발을 목표로 하여, 외경 2mm 및 1.5mm 기어가 조합된 성형 시험용 2단 기어 금형을 설계하고 시제품 가공 실험을 수행하였다. 기초가공 실험에서는 미소 치형의 크기에 따른 가공 형상 추종 상태가 분석되었고, 가공표면 칩 및 절삭력의 분석을 통하여 적정 절삭조건이 선정되었으며, 이를 토대로 미소 2단 기어 금형 시제품을 제작하였다.

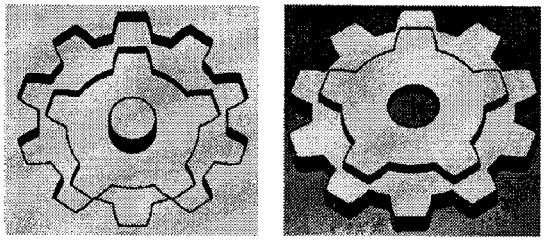
2. 마이크로 2단기어 금형의 설계

2.1 미소 기어부품 금형 설계

Fig. 2의 (a)는 2단 미소기어부품 금형을 가공하기 위한 설계형상이고 Fig. 2의 (b)는 (a)의 금형에서 사출했을 때의 상단 기어형상을 설계한 형상이다. 바깥쪽 큰 기어의 이끝원 크기는 약 2㎜이며 잇수는 10개이다. 안쪽 작은 기어의 이

1. 한국기계연구원 나노융합기계연구본부
교신저자: 한국기계연구원, E-mail: jtj@kimm.re.kr

끝원 크기는 약 1.5㎜이고 잇수는 5개이다. 큰 기어의 깊이는 0.1㎜이고 작은 기어의 깊이는 0.05㎜로 총 절삭깊이는 0.15㎜이다.



(a) (b)

Fig. 2 Design of two stage micro gear and mold

바깥쪽 기어와 안쪽 기어의 제원은 Table 1과 2와 같다.

Table 1 Specifications of two stage micro gear

Material	SUS316L	SUS316L
Module(M)	0.18	0.26
Number of teeth(Z)	10	5
Pitch diameter(D)	1.8㎜	1.3㎜
Outside diameter(D_0)	2㎜	1.5㎜

2.2 기초 가공실험을 위한 미소 치형 설계

2단 미소 기어부품 금형 가공을 위한 기초가공 실험으로 미소기어 치형을 설계하고, 커브 구간에 대한 마이크로 앤드밀의 추종 가공실험을 수행하여 당초 설계대로 기어 치형이 가공 되는지를 분석하고자 하였다.

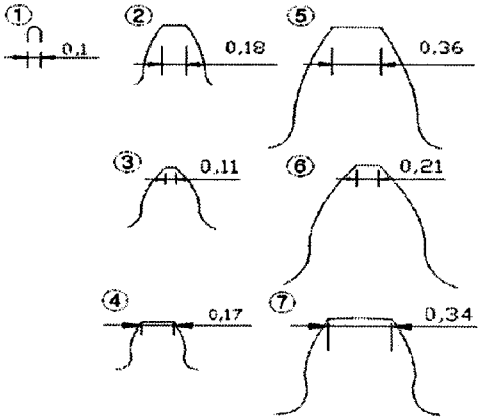


Fig. 3 Micro gear teeth shape for basic experiments

Fig. 3은 기초가공 실험을 위하여 각 기어 치형의 모듈과 압력각, 전위계수 및 둥글기 값들에 따라 다르게 설계된 치형 형상들이다. ①은 공구의 직경넓이와 같은 크기인 0.1mm이며 ②, ③, ④는 공구 직경의 크기로 가공 할 수 있는 이끝면의 가장 작은 크기와 ⑤,⑥,⑦은 그 크기보다 2배 큰 크기의 형상들이며, 곡선 형태도 서로 다르게 설계하여 가공시의 변화를 비교하였다.

3. 가공장치 및 실험방법

3.1 실험장치 구성도

미소 기어부품 금형 가공을 위한 시스템을 Fig. 4와 같이 구성하였다. 가공시스템은 X-Y-Z의 기본 3축으로 이루어졌으며, 최대 스트로크(stroke) 200×200㎜의 X-Y 에어베어링 스테이지 및 최대 100㎜의 스트로크를 가진 Z축 에어베어링 슬라이드를 가진 기본 3축 구조의 CNC 가공시스템이다. Z축에는 마이크로 앤드밀을 장착 할 수 있는 70,000rpm의 고정밀 에어스핀들이 부착되어 있다.

또한 공구 밀에는 0.002N의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치하여 가공 중 발생하는 절삭력을 실시간으로 감시 및 분석할 수 있도록 하였다.

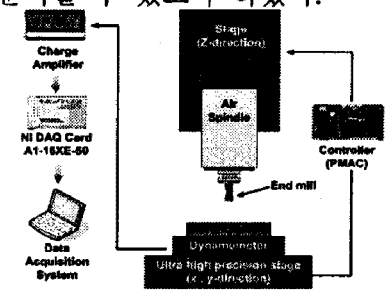


Fig. 4 Schematic of experimental set-up

3.2 공구 및 피삭재

Fig. 5는 본 실험에 사용한 SUS316L 소재의 미소기어부품 금형 가공을 위해 사용된 마이크로 앤드밀 형상이다. 날수 2개, 직경 0.1㎜, 유효날장 0.3㎜, 공구전체 길이 50㎜, 생크직경 6㎜이며, 표면 카바이드(carbide)코팅 처리된 평 앤드밀이다.

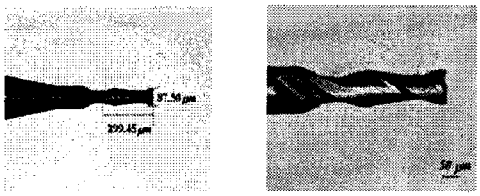


Fig. 5 Cutting tool (flat endmill Ø100 ㎛)

3.3 실험방법 및 조건

본 실험에 사용된 공구는 직경 0.1㎜며, 총 네 종류의 기어치형 중 첫 번째 치형은 공구 반경 0.05㎜의 형상과 다른 세 가지의 치형은 공구직경을 고려하여 이끝면의 넓이가 약 0.2㎜ 미만의

크기와 두 배 확대한 이끝면의 넓이로 어덴덤 크기와 둥글기에 차이를 두어 기초가공 실험을 수행하였다. Fig. 6은 미소 기어부품 금형 가공의 NC CAM 프로그램 작성을 통해 공구경로를 생성하여 시뮬레이션 하는 모습과 가공원리를 나타내고 있다. 또한 가공 공정에 대한 내용으로 1차 가공으로큰 기어의 1단 금형을 가공하고 난 후 2차 가공으로 2단 작은 기어 금형을 가공하게 된다. 소재는 저탄소강의 비중 7.98인 SUS316L을 사용하였으며, 소재의 크기는 15㎜×15㎜이다.

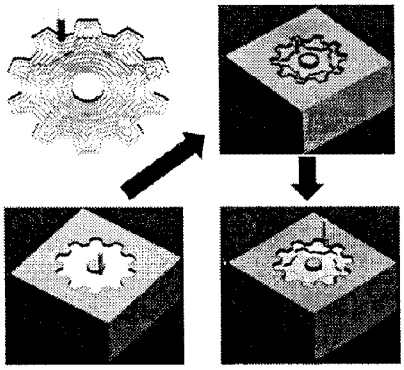


Fig. 6 Tool path generation and machining method

Table 3는 2단 미소기어부품 금형가공을 위한 절삭조건으로써, 기초가공 실험을 통하여 적정 절삭 조건을 선정하였다. 회전속도는 50,000rpm으로 고정시켜 놓고 이송량과 깊이를 변경하며 공구가 파손되지 않고 형상정밀도를 높이기 위한 실험을 통해 아래와 같은 조건으로 선정하였다.

Table 3 Cutting conditions

Tool diameter(μm)	100
Spindle revolution(rpm)	50,000
Feed rate(mm/min)	20
Plunge feed(mm/min)	10
Feed per tooth(μm)	0.1
Depth of cut(μm)	2.5

Fig. 7은 미세가공 시스템의 스핀들에 마이크로 앤드밀 공구를 장착하여 가공하는 모습이다.

Fig. 7 Micro endmilling system for experiments

4. 실험결과 및 고찰

4.1 기초가공 실험

Fig 8은 회전수 50,000rpm, 이송속도 10㎜/min, 절삭깊이 5㎛로 가공한 기어의 치형 결과이다. Fig. 3에서 설계한 것과 가공된 결과의 치수를 비교한 결과 ①번의 이끝면의 설계치수는 100㎛, 가공치수는 100.34㎛이었다. ②번 설계치수는 180㎛, 가공치수는 177.52㎛이었고 ③번 설계치수는 110㎛이며, 가공치수는 111.92㎛이었다. ④번 설계치수는 170㎛이고, 가공치수는 165.94㎛로 설계한 치형과 거의 일치하였고, 양호한 형상으로 가공됨으로써 형상정밀도를 확인할 수 있었다.

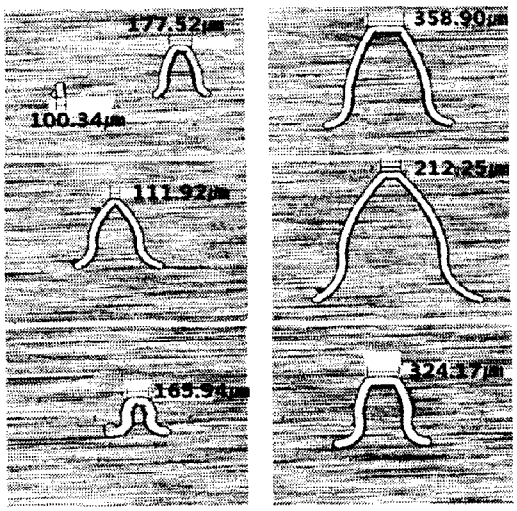
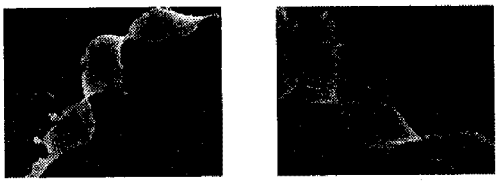


Fig. 8 Machined surface of micro gear teeth

Fig. 9는 치형 ①, ② 가공시 발생한 칩의 사진이다. 연속형 칩이 배출되었으며, 칩 배출도 원활히 이루어짐을 알 수 있었다. ③번과 ④번 치형 역시 Fig. 9의 결과처럼 거의 유사한 연속적인 칩이 배출되었다.

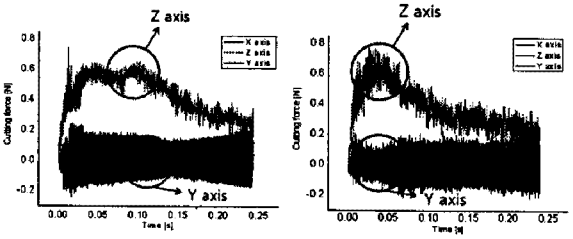


(a) ① machined chip (b) ② machined chip

Fig. 9 Comparison of chip formations

Fig. 10은 기어 치형 가공시 발생한 절삭력을 나타내며 Fig. 10(a)는 기초가공 실험 중 ②에 대한 절삭력이다. 표시된 바와 같이 가장 크게

나타난 파형이 Z 축을 나타내며 절삭력의 크기는 약 0.7N 이내의 적은 힘이 발생함을 알 수 있었다. Fig. 10(b)는 2단 미소 기어부품 금형의 치형을 가공한 절삭력으로 Z 축의 절삭력 역시 (a)에서와 같이 0.7N 이내의 적은 절삭력을 확인 할 수 있었으며 아래의 굵게 표시된 부분은 Y축에 대한 절삭력으로 약 0.2N 이내로 그리 큰 힘은 받지 않았다.



(a) (b)

Fig. 10 Comparison of cutting force

Fig. 11은 본 논문에서 실험하고자 하는 2단 미소 기어부품 금형의 치형을 설계하여 기초가공 실험을 수행한 결과이며, Fig. 8의 기어 치형에 대한 기초가공 실험 결과를 토대로 가공 조건은 ①, ②, ③, ④의 치형 가공에서와 같은 조건으로 가공하였다. Fig. 11의 가공 결과 역시 설계한 치수에 거의 일치하는 패턴형성 상태를 확인 할 수 있었다.

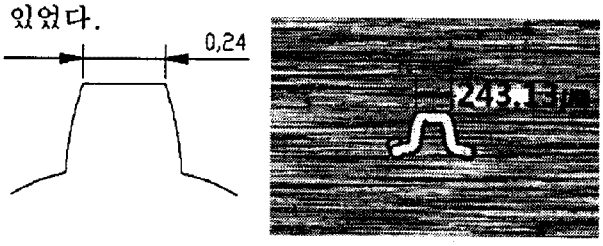
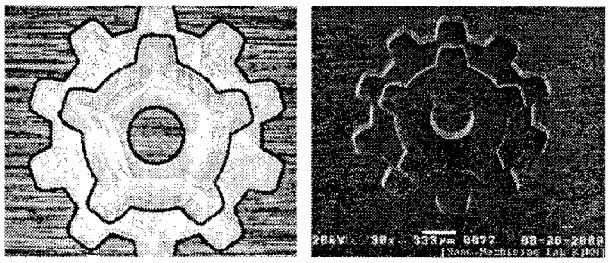


Fig. 11 Machined teeth shape of micro gear mold

4.2 미소 기어부품 금형 가공실험

Fig. 12는 2단 미소 기어부품 금형에 대한 가공 결과이다. Fig. 12(a)는 공구현미경을 통하여 배율 50배로 확대하여 측정한 금형 사진으로 정밀하고 양호한 형상으로 가공되었음을 확인할 수 있었다. Fig. 12(b)는 SEM 장비를 통하여 가공결과를 배율 30배로 측정한 사진이며, 공구현미경으로는 단면 형상만을 볼 수 없기 때문에 SEM 장비를 통해 가공된 소재를 경사시켜 측정하여 절삭깊이와 전체적인 형상을 3차원으로 확인할 수 있었다. 또한, 본 실험을 통하여 공구의 크기에 따라 미세하고 정밀한 마이크로 부품 가공에 대한 유용성을 확인할 수 있었다.



(a) (b)

Fig. 12 Machined micro gear

5. 결 론

본 연구에서는 마이크로 앤드밀 공구를 이용하여 SUS316L 소재의 미소기어부품 금형 가공시의 기어 치형 곡선에 대한 형상을 가공함으로써 마이크로 기어 가공에 대한 가능성을 확인 할 수 있었으며, 마이크로 부품인 3차원 가공시 공구의 안정성을 고려한 가공조건을 확립할 수 있었다.

절삭깊이를 step당 10μm로 2단 미소 기어부품 금형을 가공시에는 파손되었으며 5μm의 절삭깊이로 가공하는 것이 공구의 안정성을 실험을 통하여 확인 할 수 있었다.

이러한 마이크로 앤드밀 가공기술을 이용할 경우 마이크로 부품, 금형 부품 등 다양한 마이크로 구조물을 효율적으로 제조할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 주관 전략기술개발사업 "마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반 기술개발"의 결과로써 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] K. Sawada, T. Kawai, H. Terashima, "Ultra-high precision Machining Technology of Micro Structure", The Sixth International Micromachine Symposium, pp.199-202, 2000.9-10.

[2] 김태호, 김성욱, 이승수, 김민주, 전언찬, 2003, "범용 공작기계를 활용한 미세 기어 가공에 관한 연구", 한국기계가공학회논문집, pp. 156~161