

PIM기술을 이용한 마이크로 부품 성형기술

이원식^{1#}, 고세현², 장진만³, 김일호⁴

Manufacturing technology of micro parts by powder injection molding

W.S. Lee, S.H. Ko, J.M. Jang, I.H. Kim

Abstract

Manufacturing technologies of micro spur gear and micro mold by micro PIM were studied with stainless steel feedstock. For molding of gears, micro mold with gear cavity of 1.2 mm in diameter was produced by wire EDM. The proper injection pressure was selected to 70bar by observation and measuring of shapes and shrinkage of gears before/after sintering. For fabrication of micro mold, a tiny polymer gear was produced by injection into the mold. Then, 316L feedstock was again injected/compressed on the polymer gear and debinded together with polymer gear followed by sintering. As a result, another metal mold with gear cavity reduced to about 20% was fabricated and through repetition of this process chain, micro gear mold with cavity about below 800 um was finally obtained. In reduction of size by injection/compression molding, height of gear tooth was shrunk more and the effort for decrease of roughness of micro cavity were carried out ultrasonic polishing and as a result, the roughness in cavity decreased from 3-4 um to about 200 nm.

Key Words : micro Powder injection molding, micro gear, micro mold cavity, micro polishing, shrinkage

1. 서론

최근 들어 전자, 의료기기, 자동차 및 환경분야와 같은 산업전반에 걸쳐 부품의 다기능화와 더불어 소형화에 대한 필요성이 증대되고 있다[1~2]. 이에 대한 해결책으로 플라스틱을 포함하는 고분자재료에 비해 기계적 강도와 부식저항성과 같은 우수한 특성을 나타내는 금속 혹은 세라믹 재료를 이용한 소형부품(마이크로 부품) 제조에 대한 관심이 집중되고 있는 실정이다.

금속 혹은 세라믹 소재를 이용한 마이크로 부품의 제조는 마이크로 분말사출성형(micro Powder

Injection Molding, 마이크로 PIM), 마이크로 캐속조형(micro rapid prototyping, 마이크로 RP), 마이크로 엠보싱(micro Embossing), 마이크로 전주성형(micro Electroforming), 그리고 마이크로 가공(micro machining) 등과 같은 여러 가지 기술이 적용되고 있다. 이러한 기술들 중 마이크로 PIM기술은 기존의 플라스틱 사출성형기술과 분말야금기술이 혼합된 기술로서, 특히 소형 혹은 마이크로 부품을 제조하는데 있어 대량생산이 가능하고 생산원가 절감이 가능한 기술로서 마이크로 부품 제조를 위한 산업화가 유망한 기술 중의 하나이다 [3~5].

1. 한국생산기술연구원 에코공정연구부
2. 한국생산기술연구원 에코공정연구부
3. 한국생산기술연구원 에코공정연구부
4. 한국생산기술연구원 에코공정연구부
교신저자: 한국생산기술연구원 에코공정연구부,
E-mail: wonslee@kitech.re.kr

마이크로 PIM과 같은 복제가능기술들은 마이크로 몰드(mold)를 필요로 하고 있으며, 현재는 마이크로 (방전)가공과 식각(etching)기술을 이용하여 몰드를 제조하고 있으나 복잡한 형상을 가진 3차원 부품의 경우에는 제한이 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 마이크로 PIM기술을 이용하여 마이크로 기어 제조기술과 더불어 마이크로 몰드의 제조가능성에 대해 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

사출성형을 위한 원소재로는 4/μm 이하의 입도를 가지는 STS 316L분말과 고분자화합물로 구성된 피드스탁(feedstock)을 이용하였으며, 마이크로 몰드는 방전가공을 통해 10개의 이를 가지는 1.2mm 크기의 기어로 제조되었다.

마이크로 기어제조를 위한 실험에서는 피드스탁의 열분석(DTA/TGA)결과를 통해 사출온도는 180°C로 설정하였으며, 사출속도와 연계한 사출압력을 40~105bar까지 변화시켜가며 사출체의 형상관찰을 통해 최적의 사출압력을 도출하고자 하였다.

마이크로 몰드의 제조공정을 그림 1에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 먼저 기어형상의 몰드에 폴리머를 사출한 후 demolding된 폴리머 기어파트에 다시 피드스탁을 사출한 후 폴리머와 탈지/소결 공정을 통해 1차 몰드에 비해 작아진 몰드를 제조하는 공정을 반복 실시하여 마이크로 몰드를 제조하는 공정을 나타내고 있다.

사출성형 후 얻어진 그린 성형체(green part)는 피드스탁 내의 고분자화합물을 제거하기 위해 수소분위기 하에서 분당 1°C로 600°C까지 승온시켜 탈지처리를 실시하였으며, 이를 통해 얻어진 브라운 파트(brown part)는 진공분위기 하에서 1,300°C에서 소결을 실시하였다. 소결 후 표면특성향상을 위해 초음파연마를 실시하였으며, 주사전자현미경과 Image analyzer를 이용하여 소결 전/후 형상 및 수축을 측정을 실시하였다.

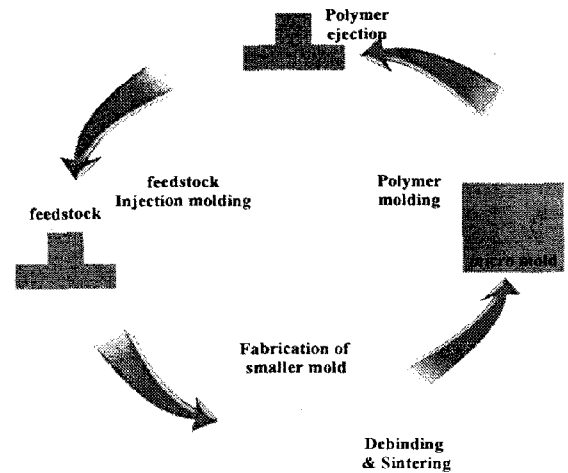


Fig. 1 Process chain to reduce size of mold.

3. 결과 및 고찰

3.1 마이크로 기어

그림 2는 본 연구에 사용된 피드스탁의 열분해 특성분석(DTA/TGA) 결과를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 피드스탁의 유동성을 최대화하면서 탈지 후 형상을 유지할 수 있는 온도범위는 170~190°C범위에 존재하고 있어 본 연구에서는 사출온도를 180°C로 설정한 후 사출압력에 따른 사출체의 형상을 관찰하여 최적의 사출압력을 결정하고자 하였다.

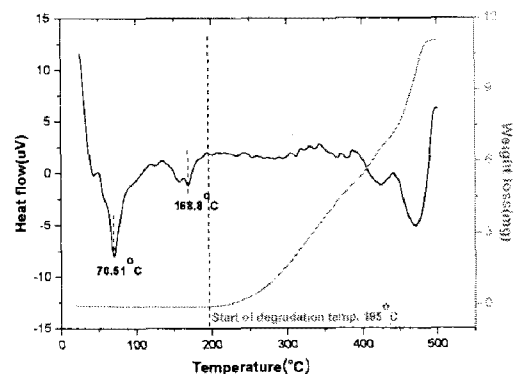


Fig. 2 DTA/TGA analysis of 316L feedstock used in this study.

그림 3은 적절한 사출압력구간으로 결정된 50~90bar사이로 설정하여 사출했을 때 마이크로 팁(tip)부분까지 완전한 채워짐(filling)이 이루어져 있으며 파손현상이 발견되지 않는 건전한 사출체의 형상을 나타내고 있다.

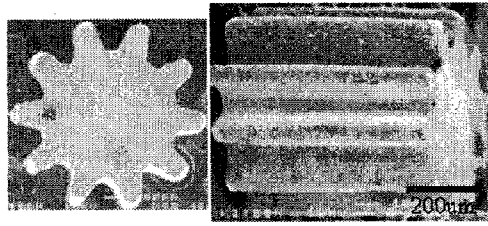


Fig. 3 SEM micrograph of gear debinded/sintered after injected at suitable pressure.

이에 반해 그림에는 나타내지 않았지만, 사출 압력이 너무 낮은 경우 에는 마이크로 기어의 tip 부분까지 완전한 filling이 이루어지지 않았으며, 사출압력이 너무 높은 경우에는 filling이 이루어지기는 했으나 얇은 tip부분에서의 부분과손이 발생하였다. 이는 너무 높은 압력으로 인해 분말과 바인더가 분리되는 편석(segregation)현상에 기인하는 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 먼저 사출압력을 50~90bar사이의 압력으로 설정한 후 실험을 진행하였으며 이후 치수측정을 통한 수축을 변화의 관찰을 통해 사출압력을 결정하고자 하였다.

Table 1 Analysis of dimension at each area of sintered gear with injection pressure, comparing to that in green part.

	50bar			70bar			90bar		
	Green part	Sintered part	Reduction rate	Green part	Sintered part	Reduction rate	Green part	Sintered part	Reduction rate
1	1204.41	937.57	22%	1200.23	961.97	22%	1203.84	964.88	20%
2	796.61	641.67	19%	801.38	659.23	18%	803.91	658.99	18%
3	407.8	295.9	27%	398.85	302.74	23%	399.93	305.89	24%
4	118.1158	87.35333	26%	122.905	98.874	20%	125.1742	92.99607	26%

표 1은 적정사출압력으로 결정된 50~90bar사이의 압력에 따른 green body와 사출체간의 수축율 변화를 나타내고 있다. 마이크로 기어의 치수측정은 크게 4부분으로 나누어 측정하였다. 즉, 마이크로 기어의 외경(No. 1), 기어의 내경(No. 2), 기어 치 높이(No. 3), 그리고 기어치 tip부분의 내경(No. 4)으로 나누어 측정을 실시하였다. 표에서 알 수 있듯이 각 부분에서의 수축율은 조금씩의 차이를 나타내고 있으며, 특히 기어치의 높이, 즉 외경과

내경의 차에 있어서는 그 수축율이 크게 나타남을 알 수 있다.

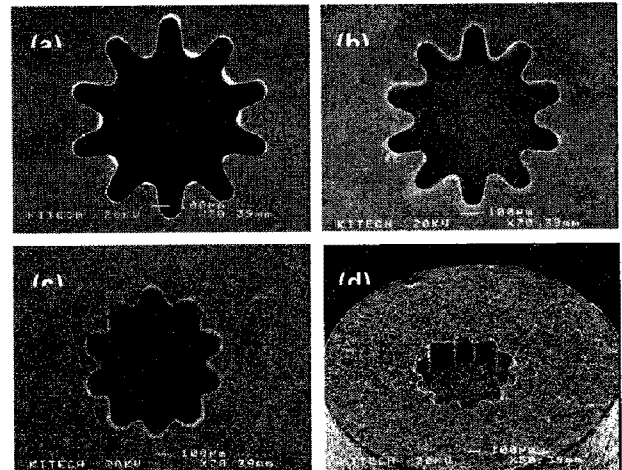


Fig. 4 Variation of the size of the mold cavities with process chain. (a) is the master mold cavity, (b) the cavity after the 1st chain, (c) and (d) are the micro mold cavity of about 0.8 mm in size after twice process chain

이는 사출공정에 있어 얇은 tip부분까지의 완전한 filling이 이루어지지 않았음을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 사출압력 70bar의 경우에는 다소간의 차이가 있으나 기타 압력과 비교하여 수축율의 차이가 미미한 것으로 나타내고 있음을 알 수 있다. 결과적으로, 본 실험에 있어서의 최적의 사출압력은 70bar로 사료된다.

3.2 마이크로 몰드

그림 4에 각 공정단계별로 제조된 마이크로 몰드의 형상을 나타내고 있으며, 2번의 반복공정을 거친 후의 몰드 크기는 약 0.8mm를 나타냄을 알 수 있다(그림 4(c) and (d)). 그림 4(c)에서 알 수 있듯이, 2번의 반복공정을 거친 후 마이크로 몰드의 경우 최초 기계가공된 몰드와는 다소 상이한 형상을 나타냄을 알 수 있다. 즉, 전체적인 몰드의 크기(외경)는 비교적 동일한 비율로 수축하는 반면 내경의 경우에는 공정이 진행됨에 따라 수축율이 감소하고 이에 따라 이의 크기 수축율 또한 함께 커짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 그림 5에서 알 수 있듯이, 전체적인 몰드의 수축방향은 안

쪽으로 발생하지만, 산(gear inner tooth)부분의 수축 방향은 양쪽(안쪽과 바깥쪽)으로 발생하면서 생긴 결과라 사료된다.

마이크로 PIM공정을 이용한 마이크로 부품의 제조공정에 있어 가장 큰 문제점 중의 하나로 표면 거칠기를 들 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 표면거칠기의 향상으로 위해 초음파 연마 공정(ultrasonic polishing)을 적용시켜 마이크로 부품 및 몰드의 표면특성을 향상시키고자 하였다. 그 결과 사출 및 소결직후 약 3~4 μ m의 거칠기를 나타낸 표면이 약 200nm까지 향상되는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 그림 5에 나타내었다.

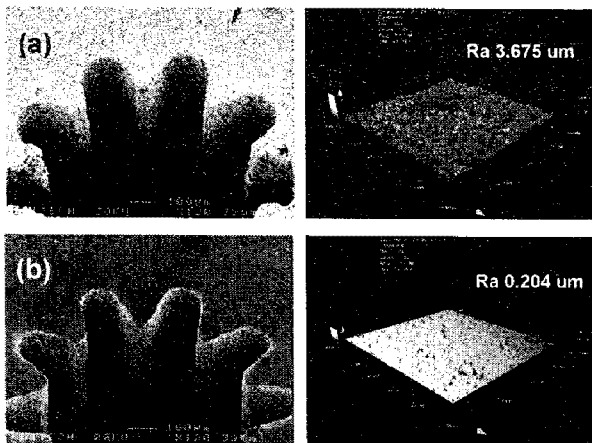


Fig. 5 Comparison of surface roughness of mold cavity before and after micro polishing.

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 PIM공정기술을 이용하여 마이크로 기어를 제조하는데 있어 사출압력이 사출체의 형상과 수축율에 미치는 영향에 대해 고찰하였으며, 이와 더불어 마이크로 PIM기술의 마이크로 몰드의 제조기술로의 적용가능성에 대해 조사하고자 하였다.

(1) 마이크로 PIM공정에 있어 과도하게 높거나 낮은 사출압력의 경우에는 과도한 압력에 따른 부분적인 파손 혹은 낮은 압력에 따른 불완전한 filling으로 인해 불건전한 형상의 사출체가 나타남을 확인할 수 있으며, 각 영역에서의 수축율을 함께 고려하였을 때 본 연구에 있어서의 최적압력은 약 70bar로 사료된다.

(2) 마이크로 PIM공정을 이용하여 최초 1.2mm에서 0.8mm까지 몰드의 크기를 감소시킴으로써 마이크로 몰드의 제조 가능성을 확인할 수 있었다.

(3) 초음파 연마공정을 이용하여 마이크로 부품의 현장적용의 문제점 중의 하나인 표면거칠기를 최초 약 3~4 μ m의 거칠기를 약 200nm까지 향상시킬 수 있었다.

참고 문헌

- [1] B.Y. Tay, L. Liu, N.H. Loh, S.B. Tor, Y. Murakoshi and R. Maeda: Mater. Char. 57(2006)
- [2] V. Piottter, W. Bauer, T. Benzler and A. Emde: Microsyst. Tech. Vol. 7 (2001) 99
- [3] Z.Y. Liu, N.H. Loh, S.B. Tor, K.A. Khor, Y. Murakoshi, R. Maeda and T. Shimizu: J. Mater. Process Tech. Vol. 127 (2002) 165
- [4] T. Gietzelt, O. Jacobi, V. Piottter, R. Rupecht and J. Hausselt: J. Mater. Sci. Vol. 39 (2004)
- [5] Z.Y. Liu, N.H. Loh, S.B. Tor, K.A. Khor, Y. Murakoshi and R. Maeda: Appl. Phys. A 83 (2006) 31
- [6] Micro Process Engineering; O. Brand, G.K. Fedder, C. Hierold, J.G. Korvink and O. Tabata(Eds.), WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany (2006)