

PIM기술을 이용한 마이크로 기어 제조기술

Fabrication of Micro Gear by Powder Injection Moulding

*#고세현¹, 이원식¹, 손성호², 장진만¹, 서정식¹

*#S.H. Ko(shko@kitech.re.kr)¹, Wonsik Lee¹, S. H. Son², J. M. Jang¹, J. S. Soe¹

¹ 한국생산기술연구원 생산기반연구본부, ² 한국생산기술연구원 인천기술실용화본부

Key words : powder injection molding, micro gear, debinding, sintering

1. 서론

분말사출성형법(powder injection moulding)은 금속 또는 세라믹 분말에 고분자 결합제(binder)를 첨가하여 분말의 유동성 및 성형성을 향상시킴으로써 플라스틱과 같이 사출공정을 통해 부품을 생산할 수 있는 공정기술로서 복잡한 3차원 형상을 대량 생산할 수 있는 이점을 가지고 있어 자동차, 전자 및 기계 산업 등 많은 분야에서 활용되어지고 있다.

한편 현대산업에서는 소형화, 초정밀화를 추구하는 경향이 날로 높아지고 있음으로 인해 3차원 형상의 마이크로 부품을 제조하는 다양한 기술들이 개발되어지고 있다. 마이크로 부품제조 기술은 크게 기계적 가공에 의한 방법(micromachining)과 제조공정에 의한 방법(microfabrication)으로 구분되어질 수 있다. 기계적 가공에 의한 방법으로는 마이크로 방전가공(micro EDM), 마이크로 레이저 가공(laser micro machining), 마이크로 밀링/드릴링(micro milling/drilling), 마이크로 터닝/연삭(micro turning/grinding) 등이 있으며, 제조공정에 의한 방법으로는 마이크로 사출성형/분말사출성형(micro injection moulding/powder injection moulding), 마이크로 엠보싱(micro embossing), 3차원 프린팅(3D printing) 등의 방법을 들 수 있는데, 제조공정에 의한 방법은 대량생산이 가능함으로 인해 미래 산업에서의 개발 필요성은 계속적으로 증가하고 있다. 특히 마이크로 분말사출성형법은 복잡한 마이크로 형상의 부품을 다양한 재료로 제조하는 것이 가능함으로써 그 활용범위가 넓을 것으로 주목받고 있다.

마이크로 분말사출성형법은 크게 다음과 같은 4공정으로 구분되어질 수 있다. 1) 분말원료와 바인더를 혼합하여 피드스탁(feedstock) 제조, 2) 마이크로 금형 제조, 3) 분말사출, 4) 탈지/소결 각 공정은 모두 완성된 부품의 치수정밀도 및 특성 등에 영향을 미치게 되는데, 이 중에서 탈지 및 소결 공정은 완성된 부품의 기계적 특성을 크게 좌우하는 공정으로서, 탈지 및 소결 공정이 적합하지 않을 경우에는 치수정밀도가 저하될 뿐만 아니라, 충분한 밀도가 얻어지지 않음으로 인해 원 재료의 기계적 특성을 얻을 수 없게 된다. 탈지 및 소결 공정에서 제품에 영향을 미치는 인자는 승온속도, 탈지/소결온도, 분위기 등을 들 수 있으며, 각 인자들은 복합적으로 작용하여 소결체의 특성변화를 가져오게 된다. 탈지 조건이 적합하지 않은 경우에는 고분자 결합제가 충분히 제거되지 않게 되면 금속소결체의 특성을 저하시킬 수 있으며, 스테인레스 재질의 경우에는 내부식성을 저하시키는 것으로 보고되고 있다. 또한 탈지 시 승온속도가 너무 빠르면 탈지체에 변형이나 균열이 발생하기도 하므로 적절한 승온속도가 요구된다. 분말의 치밀화는 소결 시에 발생하게 되는데 충분한 온도와 시간이 주어지지 않으면 소결체의 밀도가 저하하게 되지만 과도한 온도와 시간이 주어지게 되면 치수정밀도가 저하되거나 재료의 일부 성분이 휘발되는 문제점을 보여주기도 하므로 적절한 조건을 선정해야만 한다.

STS 316L은 적당한 기계적 특성을 가지고 있으며, 내부식성이 우수함으로 인해 많은 산업분야에서 사용되어지고 있는데, 마이크로 부품의 경우에는 사용 중에 표면부식 등이 발생하게 되면 부품의 동작 특성 등에 현저하게 영향을 미칠 수 있기 때문에 마이크로 부품 등의 적용하기 위해서 적합한 재료이다.

본 연구에서는 STS 316L 재질의 마이크로 기어를 제작함에 있어서 탈지 및 소결 조건이 소결체의 형상 및 특성에 미치는 영향에 대해 분석을 하였다. 또한 소결체의 표면조도를 향상시키기 위하여 마이크로 폴리싱을 수행하였다.

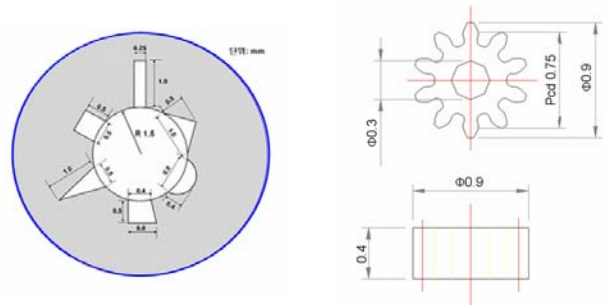
2. 실험방법

본 연구에서 평균입도(D₅₀) 2~4 μ m의 물 분사(water atomized) STS 316L 분말을 이용하여 Ceramo사에서 제조한 피드스탁을 사용하였으며, 이때의 STS 316L의 조성은 다음의 Table 1과 같다.

Table 1 Composition of 316L stainless steel powder (wt%)

Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	O	Fe
16-18	12-15	2-3	2 max	1 max	0.03max	0.005	Remainder

본 연구에서 두 가지 형상의 금형을 사용하여 탈지 및 소결의 영향을 고찰하였는데, Fig. 1의 (a)는 수축율 및 형상 변화를 관찰하기 위한 형상이며, Fig. 1 (b)는 이끝원 직경 0.9mm의 기어 금형이다.



(a) complex shape mould for test (b) mould of micro gear
Fig. 1 Schematic drawing of micro-PIM mould

분말사출공정 조건은 열분석(TG/DTA)결과를 통해 사출온도를 180 $^{\circ}$ C로 설정하였으며, 금형온도는 65 $^{\circ}$ C로 유지하고 사출압력 40 bar에서 사출을 수행하였다.

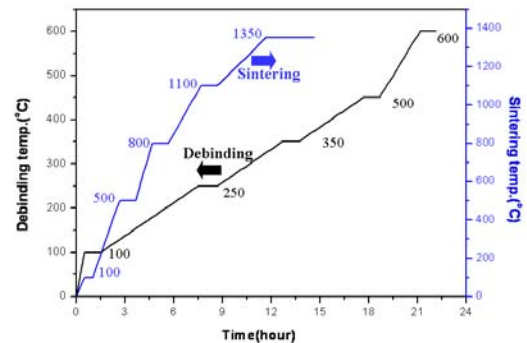


Fig. 2 Debinding and sintering program

탈지 및 소결 공정 시 사용한 승온 및 탈지/소결 조건을 Fig. 2에 나타내었다. 탈지 시에는 수소 가스 분위기에서 수행하였는데, 이 때 공급되어지는 수소의 양은 0.5L/min과 2.0L/min의 조건에서 탈지를 행하여 공급 수소가스의 양에 따른 탈지의 차이를 살펴보았다. 소결은 크게 두 가지 조건에서 수행하였는데, 첫 번째 조건은 아르곤 가스 1기압의 조건에서 가스를 계속적

으로 공급해 주면서 소결을 행하였으며, 두 번째 조건은 1050℃까지는 진공 중에서 소결을 행하고, 1050℃부터는 아르곤 가스를 압력 5torr가 되도록 유지하면서 승온 및 소결을 수행하였다. 소결 후에는 공학현미경과 주사전자현미경을 통해 표면 및 단면 관찰을 수행하였으며, 공구현미경을 이용하여 치수 변화를 살펴 보았다. 또한 소결체 표면의 성분분석은 EDX를 사용하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

탈지 및 소결 조건에 따른 수축률 및 형상변화와 표면 형상 등을 확인하기 위해 Fig. 1 (a)의 금형을 사용하여 탈지 및 소결을 행하였다. 먼저 0.5L/min 수소 가스 분위기에서 탈지를 하고 아르곤 가스 1기압에서 소결한 시편을 관찰해 본 결과, 표면형상은 양호한 결과를 보여주었으나 EDX분석결과 소결체 모서리 부위에서 5wt% 이상의 탄소 성분이 검출되어졌다. 이는 결합제 성분으로 첨가되는 고분자의 성분이 잔류하여 발생한 결과로 생각되어진다. 결합제의 성분은 수소 분위기에서 탈지할 경우, 수소와 고분자 성분이 반응하여 탈지를 용이하게 하므로, 수소의 공급량을 증가시키므로써 탈지 효과를 증대시키고자 하였다. 하지만 수소공급량을 2.0L/min으로 증가시켜 탈지를 행한 후, 아르곤 가스 1기압에서 소결한 시편을 관찰해 본 결과 동일하게 소결체 모서리 부분에서 탄소가 검출되어짐을 확인할 수 있었다. 탈지시의 수소공급량의 증가는 탈지 시에 잔류하는 탄소의 양 제거에 효과적이지 않음을 알 수 있었다.

소결 분위기에 따른 소결체의 양상 변화를 살펴보기 위해서 아르곤 가스 1기압에서 소결한 시편과 1050℃까지는 진공에서 소결하다가 1050-1035℃는 5torr의 아르곤 가스 분위기에서 소결한 시편을 관찰해 보았다. Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 형상적인 측면에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있었으며, 소결체의 모서리 부분까지도 건전한 형상을 유지하고 있음을 알 수 있다. 하지만 소결 표면을 고배율로 관찰해 본 결과, 두 시편은 Fig. 4와 같이 큰 차이를 보여주고 있는데, 아르곤 가스 1기압에서 소결한 시편은 치밀하고 매끈한 표면을 보여주고 있는 반면, 진공+5torr아르곤 분위기에서 소결한 시편의 경우에는 표면기공이 다수 관찰되어짐을 알 수 있었다. 시편 내부의 기공 분포를 알아보기 위해 소결한 시편의 단면을 연마한 후, 광학현미경으로 관찰해 본 결과, 진공+5torr아르곤 분위기에서 소결한 시편의 경우에는 약 1~2µm의 기공이 시편 전반에 걸쳐 보여지고 있으나, 아르곤 가스 1기압에서 소결한 시편은 기공의 밀도도 높았으며 5µm 이상의 다소 큰 기공도 관찰되어졌다. 이는 표면의 기공이 내부에 생긴 기공과 다른 기구에 의해 발생하였다는 것을 의미한다.

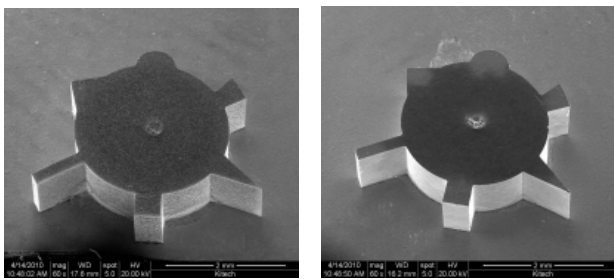


Fig. 3 Morphology of Sintered bodies

표면기공의 생성기구를 알아보기 위해 표면의 조성을 EDX로 분석한 결과, 아르곤 가스 1기압에서 소결한 시편은 원료분말과 유사한 조성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 하지만 진공+5torr아르곤 분위기에서 소결한 시편의 경우에는 Cr 조성이 약 10%를 나타내어, Table 1의 원료분말 조성과 비교하여 약 6~8%의 차이를 보여주었는데, 이는 소결 중에 표면의 Cr성분이 증발되어진 것을 나타낸다. 1100℃ 이상의 고온 진공분위기에서는 STS 316L의 경우 휘발성이 강한 Cr성분이 증발되어지는 현상이 보고되고 있으며, 본 실험에서 사용한 5torr Ar분위기에서도 표면에서의

Cr증발의 역제는 어렵다는 것을 보여주었다. 진공+5torr아르곤 분위기에서 소결한 시편의 단면에 대한 EDX로 line analysis를 행한 결과, Cr의 증발층은 표면으로부터 약 100µm 미만인 것으로 관찰되어졌다.

표면기공이 많았던 진공+5torr아르곤 분위기에서 소결한 시편이 내부기공은 도리어 적은 더 치밀한 조직을 보여준 이유는 다음과 같이 설명되어질 수 있다. 내부기공의 경우 원자들의 확산에 의해 기공들이 표면으로 이동하면서 치밀화가 진행되어 지는데, 소결 분위기가 진공 또는 감압 분위기일 경우에는 내부기공을 외부로 이동시키는 압력이 작용하여 내부기공 밀도가 저하되어질 수 있다. 소결 후, 두 시편의 수축률을 측정해본 결과, 진공+5torr아르곤 분위기에서 소결한 시편과 아르곤 가스 1기압에서 소결한 시편의 수축률은 각각 약 15.7%와 약 17.5%로서 진공+5torr아르곤 분위기에서 소결한 시편이 더 치밀하게 소결되어진 것을 보여주었다.

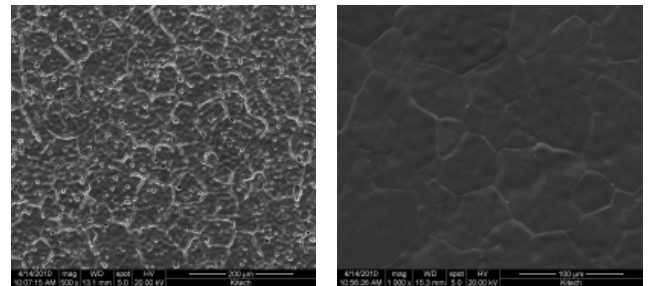


Fig. 4 Surfaces of sintered bodies

아르곤 가스 1기압에서 소결한 직경 0.9mm의 마이크로 기어 사진을 Fig. 5에 나타내었는데, 기어의 형상은 비교적 건전하게 보여주고 있음을 알 수 있다. 이상의 결과를 토대로 하여, 표면조도와 내부조직의 치밀화를 동시에 달성하기 위해서는 소결분위기에서 Cr휘발을 방지하면서 내부기공의 외부방출을 촉진할 수 있는 최적의 감압분위기 조절과 아르곤 가스 주입 온도의 최적화가 필요함을 알 수 있었다.

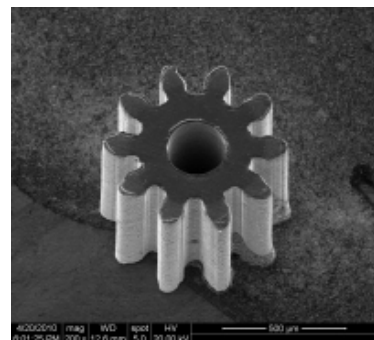


Fig. 5 Sintered body of micro gear

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. B.Y. Tay, L. Liu, N.H. Loh, S.B. Tor, Y. Murakoshi and R. Maeda, Mater. Char, 57, 80-85, 2006
2. B. Berginc, Z. Kampus and B. Sustarsic, Mater. in Tech., 40, 193-198, 2006
3. C.H. Ji, N.H. Loh, K.A. Khor and S.B. Tor, Mater. Sci. and Eng. A 311, 74-82, 2001
4. M. Imboby and K. Jiang, Microelectronic Eng., 87, 72-78, 2010
5. R. Mariappan, S. Kumaran and T. Srinivasa Rao, Mater. Sci. and Eng. A517, 328-333, 2009