

# STS316 금속분말을 이용한 금속분말 사출성형에서의 탈지 및 소결 공정에 관한 연구

## A Study on the Debinding & Sintering Process using STS316 Metal Powder of MIM

\*김명호<sup>1</sup>, 이동길<sup>2</sup>, 장경천<sup>3</sup>, 윤희석<sup>4</sup>, 정민관<sup>5</sup>

\*M. H. Kim<sup>1</sup>, D. G. Lee<sup>2</sup>, K. C. Jang<sup>3</sup>, H. S. Yoon<sup>4</sup>, M. G. Jung<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> 한국생산기술연구원 호남권기술지원본부, <sup>4,5</sup> 전남대학교 기계공학과

Key words : Metal Injection Molding, Debinding, Sintering, Gravity, Density

### 1. 서론

분말사출성형(PIM ; Powder Injection Molding)이란 금속 혹은 세라믹스 분말과 유기재료로 만들어진 결합제(Binder)를 혼합한 후 사출 성형법을 이용하여 성형을 하고 결합제를 제거, 최종적인 소결을 거쳐 금속 제품이나 세라믹스 제품을 제조하는 최신 분말 성형 기술을 말한다. 이는 단가공성 소재의 대량생산 기술로 복잡한 3차원 성형 부품의 양산이 가능한 방법으로 분말 야금기술과 정밀한 플라스틱 부품의 대량 생산 기술인 사출성형 기술이 접목된 신공정이다. 이러한 분말사출성형법은 사용 재료에 따라 금속분말 사출성형(MIM ; Metal Injection Molding), 세라믹 분말사출성형(CIM ; Ceramic Injection Molding) 등으로 분류되어 질 수 있다<sup>1), 2)</sup>.

분말사출성형은 일반적인 고분자 재료의 사출성형공정들에 혼합공정, 탈지공정 및 소결공정 등이 추가적으로 포함되는 기술로서 각 공정에 대한 기술이 확보되어야만 성공적인 분말사출성형 제품을 완성할 수 있는 복합적인 제조기술이다.

혼합공정 이전에 가장 중요한 기술적인 측면은 주어진 분말재료에 적합한 바인더 시스템을 선택하는 일로서, 적합한 바인더시스템의 선택은 사출성형공정에서 분말혼합체의 사출성형성과 탈지공정의 용이성 등이 고려되어야하며, 사출성형공정은 바인더의 선택, 혼합기술, 사출성형기술, 바인더 제거기술, 소결기술 등 복합적인 기술이 요구되고 있다.

분말사출성형 기술에서 대두되고 있는 가장 큰 문제점은 결합제를 제거하는 탈지공정에서의 시간이 너무 많이 소요되어 제품의 양산시 경제적인 손실을 가져오고 있다는 것이다<sup>3), 4)</sup>.

바인더를 제거하는 가장 일반적인 방법은 성형체를 서서히 가열하여 바인더를 열분해를 통하여 기화 증발시키는 것이다. 그러나 바인더를 가열 증발시켜보면 대부분의 바인더들이 낮은 온도에서는 서서히 증발하다가 어느 온도에 이르면 급격하게 증발하는 특성을 가지며 그 온도는 바인더에 따라 상당한 차이를 보인다. 바인더 제거과정 과정에서 발생하는 결합들은 비틀림이나 휘어짐에 의한 모양의 변화뿐만 아니라, 표면에 파인, 변색 그리고 내부 결합 등이 있다. 단순한 조성으로 된 왁스나 고분자 바인더는 좁은 온도범위에서 제거되기 때문에 성형체 파손의 가능성이 매우 많게 된다. 여러 가지 조성으로 된 바인더는 여러 단계로 제거되어 각 단계에서 잔류하는 바인더가 성형체의 유지를 도와주게 된다. 일반적으로 첫 번째 조성의 바인더가 제거될 때, 부피변화가 작게 일어나면 성형체의 비틀림을 최소화할 수 있다. 이러한 이유로 실제에서는 워킹(wicking), 승화, 용매추출법 등이 유용하게 쓰이고 있다<sup>2)</sup>.

따라서 본 연구에서는 가장 일반적으로 적용되고 있는 기존의 단일 열분해 탈지공정 전에 용매탈지를 실시하여 탈지공정 소요 시간 단축 및 금속분말 사출성형 프로세스에 대한 연구를 수행하고자 한다.

### 2. 실험

본 연구를 수행하기 위한 세부 프로세스는 Fig. 1과 같으며

금속분말사출을 위한 금속분말은 약 3 $\mu$ m 입자크기의 STS316 금속분말을 사용하였으며, 바인더로서는 PE, PW, SA 디부틸 부탈레이트 등을 사용하였다.

최종 소결 후 얻어진 제품의 평가를 위해 경도 및 인장시험을 실시하였고 비중을 측정하여 공정능력을 분석하였다.

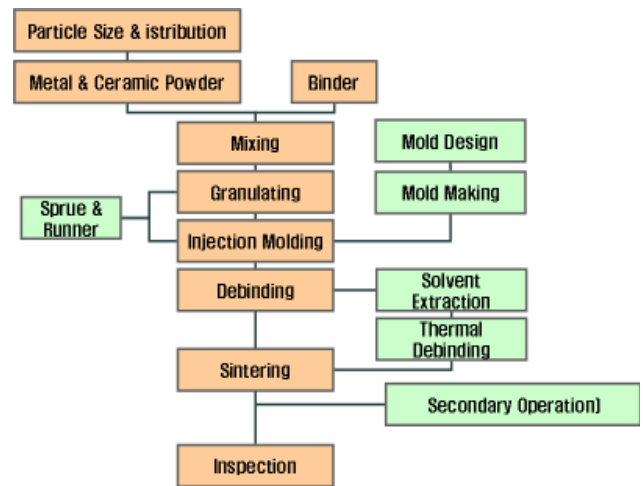


Fig. 1 Process for MIM research

Table 1. Applied schedule for debinding and sintering

Debinding		Sintering	
Temp.(°C)	Time(hr)	Temp.(°C)	Time(hr)
Room→250	2	450→700	3
250→Keep	3	700→1000	3
250→450	3.2	1000→Keep	1
450→Keep	2.3	1000→1400	13
450→250	2	1400→Keep	2
250→0	1	1400→1000	2

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 성형체 설계 및 금형제작

사출성형체에 대한 설계는 바인더를 제거하는 탈지공정 및 소결공정 중 제품의 수축이 필수적으로 발생되므로 수축률에 대한 고찰이 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 사출된 성형체의 소결에 의한 체적 수축률을 약 18.7%로 선정하여 바인더의 종류 및 혼합비를 조절하였으며<sup>5)</sup>. 이 수축률을 고려하여 사출성형체의 형상 및 치수(직경 4.2mm, 길이 18.0mm)를 최종적으로 결정하여 설계 및 이를 사출하기위한 2 Cavity 금형을 제작하였다.

#### 3.2 혼합 및 사출

STS316 금속분말과 바인더의 혼합은 62:38의 체적비율로 150°C에서 80분간 혼합하여 펠렛(Pellet)을 제조하였고, 유동 해석 후 Table 2와 같은 사출조건을 도출 및 적용하였다.

Table 2. Injection condition

Conditions	Values
1st Injection pressure & time	10.0 MPa & 3.0sec
2nd Injection pressure & time	9.5 MPa & 1.5sec
1st & 2nd injection speed	100% & 70%
Cooling and cycle time	30sec & 50sec
Temperature(H1/H2/H3)	110°C/170°C/240°C
Injection time/return time/pressure	0.5sec/0.2sec/10.0 MPa

3.3 용매탈지

용매탈지 공정에 사용한 용매는 노멀 헥산을 사용하였으며 일정한 온도유지를 위해 핫플레이트(hot plate)를 사용하여 40°C, 50°C, 55°C 조건에서의 약 1시간 가량 실시하여 중량차이를 관찰하였으며, 용매의 균일한 온도분포 및 열전달을 위해 교반기(stirrer)를 바닥면에 설치하여 지속적인 회전이 이루어질 수 있도록 하였다.

그 결과 Fig. 2 에 나타난 바와 같이 탈지 시작 후 약 10분 이내에서 전체 탈지되는 바인더양의 약 70%가 이루어지며, 시간이 지날수록 중량의 변화가 점차 감소하여 약 25분 이후부터는 그 양이 현저히 저하됨을 알 수 있다. 또한 용매의 온도가 높을수록 바인더의 탈지되는 속도가 현저히 높아짐을 알 수 있었다. 그러나 55°C에서 탈지한 시료 중 미세한 크랙이 발생하는 현상이 있었으므로 결과적으로 50°C에서 용매탈지 조건이 가장 적절하였다고 할 수 있다.

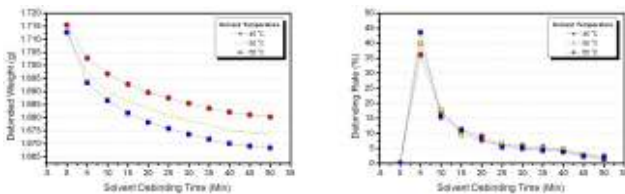


Fig. 2 Solvent extraction profile

3.4 2차 열분해 탈지

최적의 2차 열분해 탈지공정 시험을 위해 용매탈지된 시료를 이용하여 탈지 후 결함이 발생되지 않는 범위내의 몇 가지 스케줄을 적용하여 시험하였으며, 도출된 스케줄과 기존의 오랜 시간이 소요되었던 단일열분해 탈지와 비교를 해 본 결과 Fig. 3 과 같은 선도를 얻을 수 있었다.

이와 같은 결과로서 2차 열분해 탈지는 기존 단일 열분해 탈지에 비교하여 그 소요시간이 약 32%의 수준인 약 14시간이 소요됨을 알 수 있었으며, 용매탈지에 소요된 시간을 고려하더라도 약 35% 미만인 15시간 정도가 소요됨을 알 수 있다.

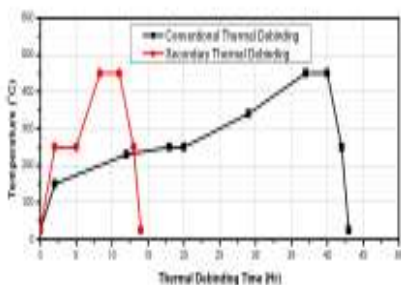


Fig. 3 Comparison of conventional method with secondary thermal debinding process

3.5 소결 및 평가

용매탈지 및 2차 열분해 탈지를 거친 성형체들을 수소 분위기 1,300°C에서 3시간 동안 소결을 실시하였다.

소결이 완료된 제품을 무작위 샘플링하여 비커스 경도계를

이용하여 총 30회를 시험한 결과 평균 556.1의 경도값을 나타내었으며, 인장시험 결과 약 477.3Mpa의 인장강도 값을 나타내었다. 소결을 거친 제품 중 Lot 별 40개씩 6회에 걸쳐 총 240개를 채취하여 시료에 대한 비중을 측정 및 통계적 분석 결과 전체적인 비중의 평균값은 7.55786으로 밀도로 나타내면 약 98.154%에 해당하며, 표준편차는 0.0122128로 나타났다. 측정된 비중값의 최소값과 최대값은 7.5097 및 7.5939로서 이를 밀도의 범위로 표현하면 약 97.529% ~ 98.622%이며, 중간값은 7.55785이었다. 구간별 개체수 분포에서는 비중이 약 7.55 ~ 7.57 사이에 대체적으로 많은 개체수가 분포되어 전체적으로 정규분포 형태를 보임을 알 수 있다. 따라서 일반적으로 STS316의 경우 7.7 정도의 비중으로 알려져 있으나 본 연구에서는 평균적으로는 약 98.154%를 나타내었다.

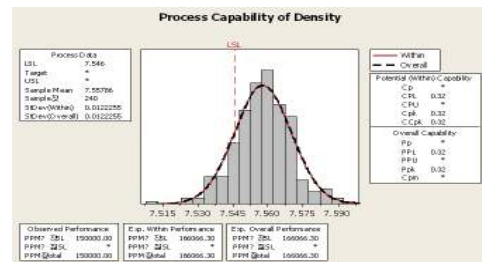


Fig. 4 Process Capability

4. 결론

본 연구에서는 가장 일반적으로 적용되고 있는 기존의 단일 열분해 탈지공정 전에 용매탈지를 실시하여 탈지공정 소요시간 단축 및 금속분말 사출성형 프로세스에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 직경 4.2mm, 길이 18.0mm의 사출성형체를 노멀 헥산 용매를 사용하여 40°C, 50°C, 55°C 조건에서의 용매탈지를 실시한 결과 탈지 시작 후 약 10분 이내에서 전체 탈지되는 바인더양의 약 70%가 이루어지며, 용매온도가 높을수록 탈지되는 속도가 높아지나 고온인 55°C에서는 일부의 제품에서 크랙이 발생하였으므로 50°C에서 용매탈지한 경우가 가장 우수하였다.
- 2) 2차 열분해 탈지는 기존 단일 열분해 탈지에 비교하여 용매탈지에 소요되는 시간을 포함하여 약 35% 미만인 15시간 정도가 소요됨을 알 수 있다.
- 3) 최종소결된 제품의 물리적 특성은 평균 556.1(HV 0.1)의 경도값과, 약 477.3Mpa의 인장강도 값을 나타내었다.
- 4) 최종소결된 제품의 비중측정 분석결과 전체적인 비중의 평균값은 7.55786으로 이를 밀도로 나타내면 약 98.154%에 해당하였으며, 표준편차는 0.0122128로서 정규분포를 나타내어 프로세스의 적정함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 구영덕, 김상철, 나도백, "금속분말사출성형", 심층정보분석 보고서, KISTI, pp. 4-34, 2002.
2. 황철진 외4인, 치과수술용 scaler 금형의 분말사출성형 CAE 해석설계, 한국분말야금학회:학술대회지, pp.47-49, 2005.
3. Christopher W. White, "Development of Filling Imbalances in Hot Runner Mold", ANTEC 99, pp. 3672 ~ 3676, 1999.
4. Brock Allen and Tomas Lacey, "The Affects of Shear Induced Imbalance on the Concentricity of Injection Molded Gears", ANTEC 2003, pp. 3757 ~ 3761, 2003.
5. 장경천, 지르코니아 슬리브의 품질향상과 불량률 감소를 위한 평가 및 기술지원, 한국생산기술연구원, 2005.