

고정밀 신관 부품의 MIM 공정에 관한 연구

A Research on the MIM Process of High-Precision Fuze Parts

서정화*

Jung-Hwa Seo

강경훈*

Kyeoung-Hoon Kang

Abstract

During the past two decades, Metal Injection Molding(MIM) has become a very competitive technology to fabricate small, precise and complex-shaped parts in large quantities. In this research, the applicability of MIM technology in the mass-production of the high precision fuze parts to save manufacturing cost was investigated. The water-atomized 17-4PH stainless steel powder, one of the best corrosion-resistant high strength materials, was injection-molded into real-shape fuze part and flat tensile specimens. The injection-molded parts were thermally debound in hydrogen gas flow without solvent extraction. Sintering of the debound parts was carried out in vacuum at temperatures ranging from 1150°C to 1370°C. The sintering behavior, mechanical properties, dimensional precision, corrosion resistance of the MIMed 17-4PH stainless parts were investigated. It was found that almost all the properties of the MIMed parts were comparable to those of the mechanically machined parts. Also, actual military field tests using both MIMed and mechanically machined fuze parts were performed as well and were found to be very successful.

Keywords : Metal Injection Molding(금속분말 사출성형), Powder Injection Molding(분말 사출성형), Vacuum Sintering (진공소결), Debinding(탈지), Fuze Part(신관부품), Feedstock(금속분말+바인더혼합물)

1. 서론

1980년대 이후 정밀 부품 및 소재 산업계에 일대 혁신을 일으키며 각광을 받고 있는 PIM(Powder Injection Molding : 분말사출성형) 공법의 일종인 금속분말 사출 성형(Metal Injection Molding)은 전통적인 분말야금 공법(P/M : Powder Metallurgy)에 정밀한 치수 및 형상 제

어를 할 수 있는 플라스틱 사출 기술(Plastics Injection Technology)을 융합한 공법이다. 이 공법에 의하면, 초경, 금속, 세라믹 등의 분말 소재를 원료로 사용하여 부품을 제조할 수 있을 뿐만 아니라 복잡하고 정밀한 3차원 형상을 갖는 소재를 후 가공이 거의 없이 대량 생산 할 수 있다. 또한 환경 친화적이고 기술집약적인 실 형상 제조(Net-Shape Manufacturing)기술로서 기존의 제조 공정대비 약 30~80%의 원가절감이 가능하다.

PIM 공정은 미세한 금속 또는 세라믹분말과 이들 분말의 유동성을 부여하기 위하여 다성분계의 고분자 결합제를 혼합하여 혼합체(Feedstock)를 만든다. 그리고

† 2012년 2월 13일 접수~2012년 5월 4일 게재승인

* 국방기술품질원(DTaQ)

책임저자 : 서정화(gumsizo@hanmail.net)

사출성형기를 이용하여 금형에 충전, 성형체를 제조한 후 결합제를 제거하고 분말만을 최종 소결하는 공정들로 구성되어 있다¹¹.

그러나 금속분말 사출성형의 경우 고상 소결만으로도 기존의 성형 및 소결공법인 분말야금공법보다 기계적 특성이 크게 향상되며 난가공성 소재 및 일반 주조공법 적용이 어려운 소재를 중심으로 대체하여 가고 있다. 이러한 이유에서 산업계에서는 흔히 기계가공, 주조, 정밀주조, 분말야금공법에 이은 제 5세대 가공기술이라고도 일컬어지고 있다. 적용분야로는 전자, 기계, 통신, 항공, 의료, 군수 산업 등 산업 전 분야에서 소형정밀부품을 생산하는 것이 가능하다는 특징을 갖고 있다.

또한 미국, 독일, 일본 등의 선진국에서는 분말 사출성형법을 이용하여 기존의 철계 및 STS 제품의 개발에서 벗어나 중합금(Heavy Alloy), 초경(WC-Co), 티타늄(Titanium), 자성재료 등의 난가공성 소재 기술 개발 및 생산에 박차를 가하고 있는 실정이다^{12~6}. 특히, 최근에는 동(Cu) 및 마그네슘 소재와 같은 비철계 정밀 부품의 개발뿐만 아니라 초소형 마이크로 부품의 개발에도 MIM 기술을 광범위하게 적용하고 있다^{17~9}.

한편 국내군수정밀부품의 상당부분을 차지하고 있는 철계 및 스테인레스계의 정밀부품은 대부분 기계절삭가공, 정밀주조 등의 공법으로 부품을 제조하고 있어 재료손실 과다, 가공공수 증대 등으로 국내 군수품 제조업계의 제조원가 상승, 국제경쟁력약화 등의 원인이 되고 있다. 따라서 보다 경제적으로 군수용 정밀부품을 제조할 수 있는 MIM 공법의 도입이 시급하다고 할 수 있으나 실제 군수부품의 개발에 대한 MIM 공정 연구 결과에 대한 보고는 거의 없는 실정이다.

특히 17-4PH 스테인레스강은 마르텐사이트(Martensite) 계 석출경화형(Precipitation-Hardening) 합금으로 고강도 합금 중 가장 내·부식성이 뛰어난 소재 중의 하나이다. 실제 MIM 공법으로 제조된 스테인레스 부품 중 17-4PH 스테인레스강은 STS 316L 소재와 함께 가장 광범위하게 사용되고 있으며 형상뿐만 아니라 기계적 특성과 내식성이 동시에 요구되는 의료용, 항공산업, 자동차산업, 군수산업 등 구조용 부품으로 17-4PH 스테인레스강이 많이 활용되고 있는 경향이다^{10~13}.

본 연구는 차세대 중기관총용(25mm) 고정밀 신관부품인 상부관을 17-4PH STS 소재를 이용하여 MIM 공법으로 제조하였다. 연구의 목적은 실 제작된 제품의 공정요소, 소결체의 조직 및 기계적 특성, 내식성, 치

수정밀도, 현장 적용 발사시험 등을 조사하여 향후 보다 경제적으로 군수산업용 정밀 부품을 생산하기 위한 MIM 양산공정 확보에 기초자료를 제공하는데 두었다.

2. 실험 방법

가. 분말특성

본 실험에서 사용된 17-4PH 스테인레스 분말은 고압수 분무(High Pressure Water Atomization)법으로 제조된 일본 Atmix 사의 PF-20F 모델의 분말로서 상세한 화학적 조성은 Table 1과 같으며 분말의 이론밀도는 7.74 g/cm³ 이다. 분말입자의 형상은 주사전자현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)으로 관찰하였으며 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서와 같이 금속분말 입자는 대부분 구형(Sphere)의 형상을 가지고 있으나 일부 띠줄(Ligamental)의 형상을 갖고 있는 것도 있었다. 분말입자의 크기 및 분포는 laser scattering 법으로 측정하였으며 평균입자의 크기는 8.2um 정도였으며 탭 밀도(Tap Density)는 4.21g/cm³ 이었다.

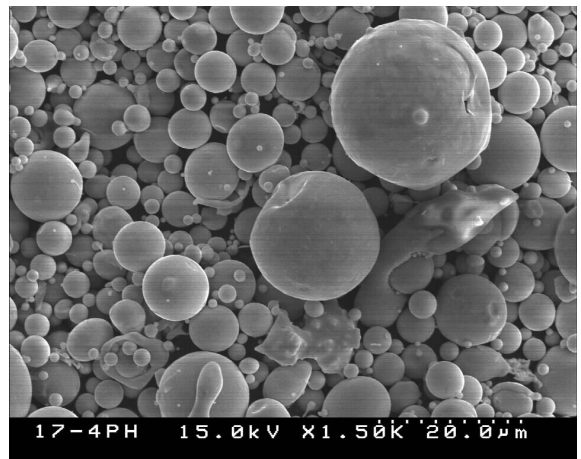


Fig. 1. SEM morphology of the 17-4PH stain-less steel powder in this study

나. 혼합체(Feedstock) 제조 및 사출성형

실험에 사용된 결합제(Binder)는 열가소성 다성분계로서 POM(Polyoxymethelene), PP(Polypropyelene), PW(Paraffin Wax), 스티어릭 산(Stearic Acid) 등으로 조합되어 있으며 결합제의 이론밀도는 0.95g/cm³ 이다. 사출성형용 혼합체의 분말충진율(S/L : Solid Loading)은

Table 1. Chemical compositions of the 17-4PH stainless steel powder

wt%	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Cu	Nb	O	Fe
Spec.	Max. 0.07	Max. 1.00	Max. 1.00	Max. 0.04	3.00~5.00	15.00~17.50	3.00~5.00	0.15~0.45	Max. 0.07	bal.
Atmix powder	0.051	0.81	0.83	0.015	4.23	15.72	3.27	0.31	0.36	bal.

체적 분율 50~65% 변화시키면서 최적의 충전율을 도출하였다. 17-4PH 스테인레스 분말과 바인더는 double planetary 형태의 혼련기를 사용하여 170℃에서 회전수 25rpm으로 1시간 혼련하였다. 제조된 혼합체는 냉각한 후 파쇄하여 금형 체결력 40ton-force 인 사출성형기(일본 Nissei 사, PN40 model)에서 평판형 인장시편(크기 : 3.65mm × 14.52mm × 78.95mm : 중간 넓이 7.56mm)으로 사출성형 하였다. 사용된 인장시편 사출성형조건은 각각 사출압력, 850kg-f/cm², 사출속도 5cm/sec, 노즐온도 185℃ 그리고 금형온도는 35℃ 이었다.

다. 금형 설계 및 제작

본 실험의 대상인 상부판(Upper Plate)은 25mm탄약용 신관부품으로 안전장전(Arming and Safety) 장치의 부품이며 그 단면을 Fig. 2에 나타내었다. 현재 이러한 정밀 신관 부품류는 환봉의 소재를 이용하여 기계 절삭 가공법으로 제조하고 있다. MIM용 신관부품 사출성형을 위한 금형 설계는 인장시편 실험으로 확보된 16~17% 범위의 수축율을 적용하였다. 게이트는 부품 바닥면에 직경 0.6mm 핀 포인트(Pin-Point) 게이트를 2개 적용하여 금형을 제작하였다.

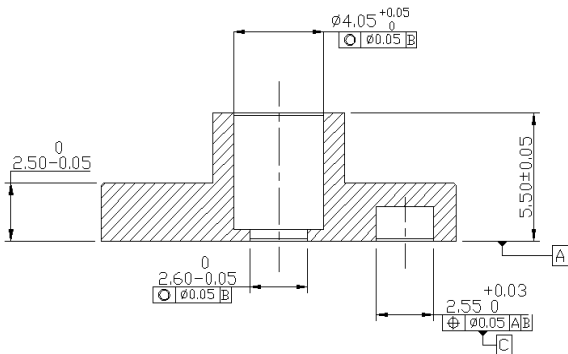


Fig. 2. Cross-section of the fuze part(upper plate) in this study

라. 결합제(binder) 제거

결합제 제거는 기존의 용매추출(Solvent Extraction) + 열분해(Thermal Decomposition)의 2단계가 아닌 열분해 탈지만으로 제거하였다. 본 실험에 사용된 바인더는 왁스 성분을 열분해 탈지만으로도 완전히 제거할 정도의 사출체 강도를 유지할 수 있는 특징을 갖고 있어 향후 양산공정에서 공정개선 및 원가경쟁력을 도모하고자 하였다. 사출 성형체의 열분해 탈지는 수평형 관상로의 수소분위기(유량 5 l/min)에서 평균 승온 속도 30℃/hr, 전체 공정 24시간 동안 실시하였으며 탈지전후의 무게를 측정하여 탈지율을 산출하였다. 또한 다음 공정인 소결공정에서의 취급을 용이하게 하고자 탈지체의 예비소결(Presintering : 850℃, 1hr 유지)도 동시에 실시하였다. Fig. 3에 본 실험에 사용된 결합제 제거 및 예비소결의 조건(Heat Pat-Tern)을 나타내었다.

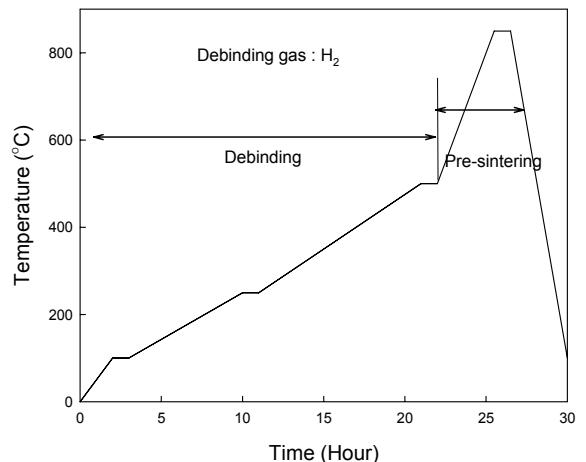


Fig. 3. Heat pattern for debinding and pre-sintering of the 17-4PH injected part

마. 진공 소결 및 기계적 특성, 정밀도 평가

탈지가 종료된 탈지체는 저진공 Ar sweeping 분위기

하에서 소결을 실시하였다. Ar sweeping은 10 l/min 송입하였으며 탈지체에 남아 있을 잔류 바인더를 소결로 외부로 sweeping하는 역할 뿐만 아니라 고온 진공 하에서 스테인리스 성분의 증발을 방지하는 목적으로 송입 하였다.

소결 구간 승온속도는 60°C/hr, 소결온도는 1150~1370°C 구간에서 각각 1시간 실시하여 소결거동을 조사하였으며 소결 중 진공소결로 내의 진공도는 1~3 torr 범위를 유지하였다. 소결체의 밀도측정은 아르키메데스 법, 인장시험은 Instron 850(head speed 10 mm/min)을 이용하여 상온에서 실시하여 인장강도 및 연신율을 측정하였다. 또한 소결체를 510°C의 진공에서 시효 열처리(Aging)를 하여 열처리 전후 강도 및 경도의 변화를 조사하였다. 그리고 소결체의 미세조직은 광학현미경(에칭액 : Marble's 용액)을 사용하여 관찰하였다. 또한 MIM으로 제작한 상부판의 형상검사 및 각 중요부위의 치수를 측정하여 치수정밀도를 산출하여 도면상의 정밀도 충족여부를 평가하였다.

바. 내식성(Corrosion resistance) 실험

MIM으로 제조된 상부판과 기계가공(I/M : Ingot Making)법으로 제조된 17-4PH STS 상부판과의 내식성 비교 실험을 위하여 전기화학적 부식시험을 진행하였다. 시험을 위한 전해질은 22% NaCl 용액을 사용하였다. 삼상전극을 Potentiostat(EG & G Potentiostat/Galvanostat Model : 273A, M352 Corrosion Software)에 연결하여 전기화학 실험 기법 중에서 cyclic potentiodynamic method를 이용하였으며 시험온도는 5~60°C, 스캔 레이트(Scan Rate)는 약 0.17m V/sec로 sweep하면서 공식

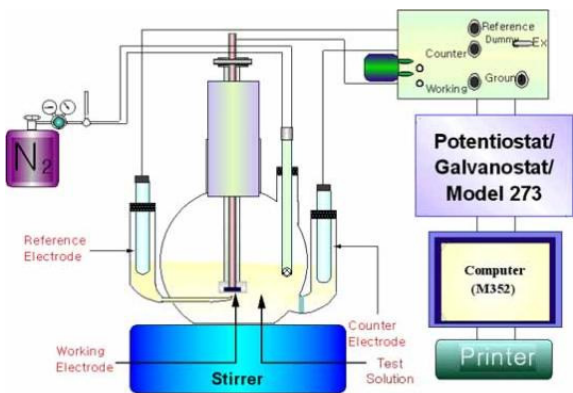


Fig. 4. Apparatus for electrochemical tests of the MIMed and I/M 17-4PH STS steel

전위(Ep : Pitting Potential) 및 재부동태 전위(Epp : Repassivation Potential)측정하여 내식성을 비교하였다. Fig. 4는 내식성 시험평가를 위해 사용된 장치이다.

사. MIM 공법의 상부판 현장 적용 시험

실제 본 연구에서 MIM공법으로 제조된 17-4PH STS 상부판 부품의 현장 적용성을 확인하고자 안전장전장치의 걸림쇠 해제시험, 전기식 뇌관 기폭에 의한 슬라이더 장전시험, 65,000G 조건하에서 고충격 시험, 야외발사 공중폭발 성능시험 등을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

가. 혼합체(Feedstock)특성 및 분말 최적 충전율 (S/L : Solid Loading) 도출

Fig. 5는 혼합체의 17-4PH 스테인리스 분말의 충전율을 다르게 한 후 인장시험의 사출 성형체 밀도를 실제로 측정한 값과 혼합체 이론밀도를 비교한 값이다. 금속분말의 충전율(φ) 및 혼합체의 이론밀도(ρM)는 다음의 식 (1) 및 (2)에서 산출하였다.

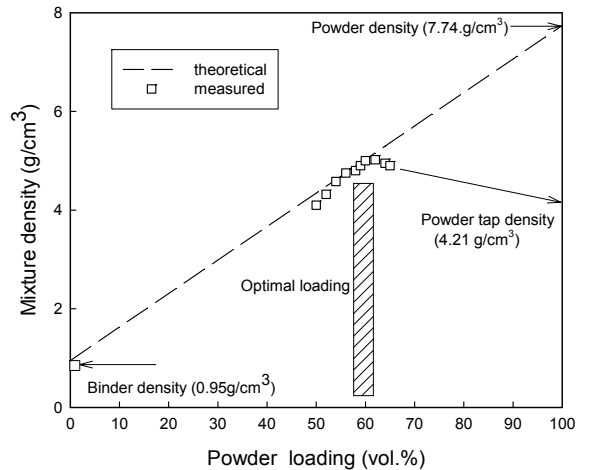


Fig. 5. Feedstock density as a function of volume percentage of 17-4PH STS powder

$$\phi(\text{vol.}\%) = \left(\frac{W_P / \rho_P}{W_P / \rho_P + W_B / \rho_B} \right) \times 100 \quad (1)$$

W_P, W_B : 분말 및 바인더의 무게 분율
ρ_P, ρ_B : 분말 및 바인더의 밀도

$$\rho_M = \phi \rho_P + (100 - \phi) \rho_B \} / 100 \quad (2)$$

그림에서와 같이 스테인리스 분말의 양이 증가할수록 이론밀도와 거의 일치함을 보이며 충전율 62vol.%까지는 증가를 보인 후, 그 후에는 감소하기 시작하였다. 이는 임계 충전율(Critical Loading)을 넘어서게 되면서 결합제 부족으로 인하여 기공이 생성되어 이론치보다 실제 밀도 값이 감소하게 된다. 본 실험에서는 최적의 분말충전율은 점성을 유지하기 위하여 임계 충전율 보다 약간 적은 60vol.%로 하여 기계적 특성 평가용 인장시편 사출 성형체와 상부판 사출체를 제조하였다. Fig. 6은 분말 충전율 60vol.%로 사출성형된 외부결함이 없는 건전한 형상의 인장시편 및 상부판 사출성형체의 외관을 보여주고 있다.



Fig. 6. Appearances of Injection-molded tensile specimen and fuze part

나. 소결 거동 및 소결체 기계적 물성평가

Fig. 7은 사출성형공정, 탈지공정, 그리고 최종소결공정 등 일련의 MIM 공정을 거친 상부판의 외관형상이다. 상부판은 3차원적인 수축에도 불구하고 형상의 변화는 전혀 없는 것을 확인할 수가 있었다.

Fig. 8은 진공소결 온도의 변화에 따른 17-4PH 스테인리스 소결체의 상대밀도 및 연신율의 변화를 나타내었다. 소결온도의 증가에 따라 상대밀도는 거의 직선적으로 증가하며 소결온도 1300℃ 이상에서는 거의 이론밀도(7.74g/cm³)의 99%에 도달하고 있는 것을 알 수 있다. 연신율 또한 소결 온도변화에 따라 1300℃ 부근에서 최고치를 보여주고 이후에는 급격히 감소하고 있으며 Fig. 12의 최대인장강도 결과와 동일한 경향을 보이고 있다.



Fig. 7. Appearances of injection-molded, thermally debound and finally vacuum sintered fuze part

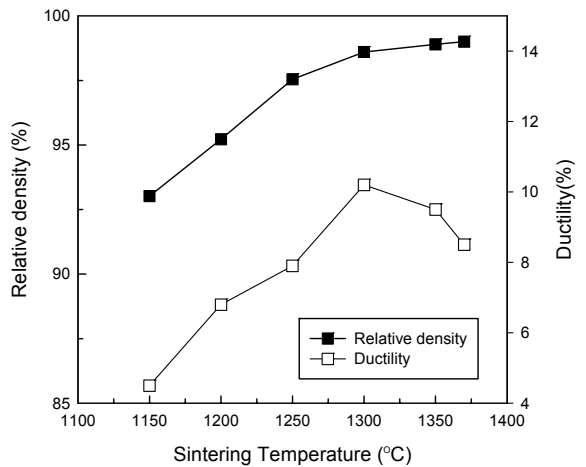


Fig. 8. Relative density and ductility of the MIMed 17-4PH sinter as a function of sintering temperatures

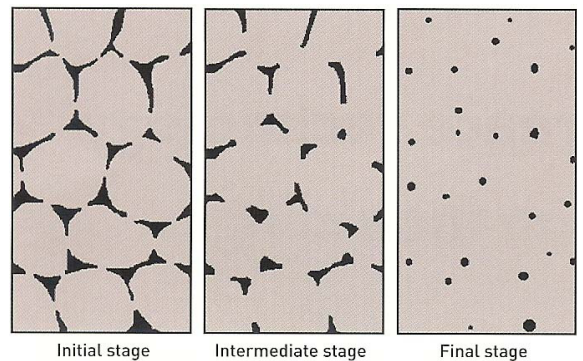


Fig. 9. Three stages of solid-state sintering

일반적으로 분말의 소결공정은 Fig. 9에서와 같이 기공의 형태와 분포를 기준으로 초기, 중기, 말기의 세 단

계로 나눌 수 있다^[14]. 초기(Initial Stage)는 분말입자들이 접촉하여 일종의 망구조(Network Structure)를 가지며 이 접촉부위에서 넥(Neck)이 형성되어 성장하는 단계이며 이러한 넥들의 성장과 결합에 의해 소결체는 하중지탱 능력을 가지게 된다.

Fig. 10은 분말 소결 기구^[15](Mechanism)를 보여주는 것으로서 분말의 소결과정은 크게 분말입자 결합(Neck Growth) 및 치밀화, 즉 기공의 수축에 의해서 이루어진다. 17-4PH 스테인레스 분말의 경우 1000°C 이하의 소결초기단계에서는 소결기구중 표면확산(Surface Diffusion)이 주를 이루기 때문에 치밀화에는 그렇게 기여하지 못한다. 소결 중기(Intermediate Stage)는 기공(Pore)의 형상이 나타나게 되는데 대부분 결정립계를 따라 연결되고 배열된 형태인 소위 관상형 기공(Channel Pore) 또는 열린 기공(Open Pore)을 나타나게 되며 입계확산(Grain Boundary Diffusion)이 넥 성장과 치밀화에 크게 기여하게 된다. 말기(Final Stage)에서는 기공이 결정립계 또는 내부에 독립적으로 존재하게 되고 소결체의 결정립성장이 일어나게 된다. 이렇게 독립된 형태의 기공을 폐쇄기공(Closed Pore)이라하는데 소결온도를 계속증가 하여도 완전히 없어지지 않으며 입자 과성장(Over Grain Growth)을 유발하여 기계적 특성을 저하 시킨다.

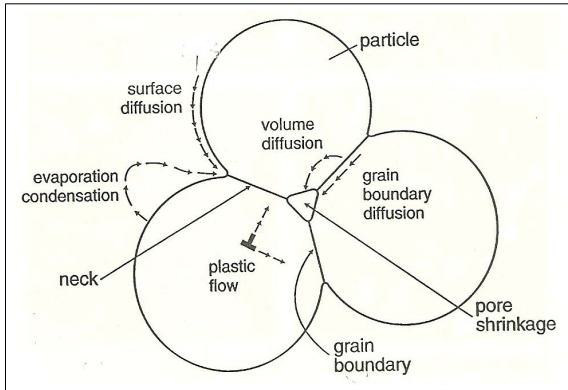


Fig. 10. A three-particle sketch of sintering showing several paths of atomic motion involved with particle bonding(neck growth) and pore shrinkage

본 연구에서의 17-4PH STS 분말 소결의 경우 1,000°C 이하는 소결초기, 1,000~1150°C는 소결중기 그리고 1200°C 이상은 소결말기로 나눌 수가 있다.

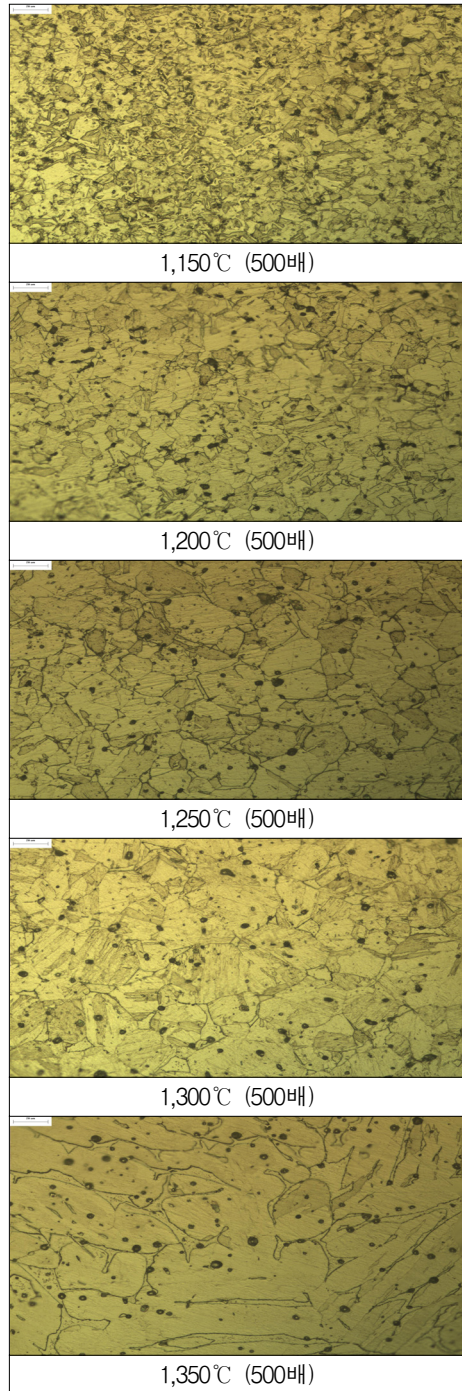


Fig. 11. Optical micrographs of the MIMed 17-4PH STS specimens sintered at various temperatures (Heat-treated at 510°C, Etchant : Marble's solution)

Fig. 11은 소결온도에 변화에 따른 17-4PH STS steel의 소결조직의 변화를 광학현미경으로 관찰한 것이다. 그림에서 같이 소결온도가 증가할수록 넥 성장 및 기공수축으로 인하여 치밀화 현상을 확연히 관찰 할 수 있다. 소결온도 1200℃, 1250℃ 경우는 소결과정 말기 단계에서 볼 수 있는 폐쇄기공이 입계 및 입내에 많이 분포되어 있음을 알 수가 있으나 소결 온도가 1300℃를 넘어 1350℃(상대밀도 약 99%)가 되면 기공은 대부분 결정립 내부에 존재하고 있으며 결정립은 급격하게 성장하여 입자가 매우 조대한 조직을 가지고 있음을 알 수가 있다. 따라서 광학 현미경 조직결과 및 아래의 기계적 물성 자료결과에 미루어 볼때 본 연구에서의 최적의 소결온도는 1300℃ 정도로 사료된다.

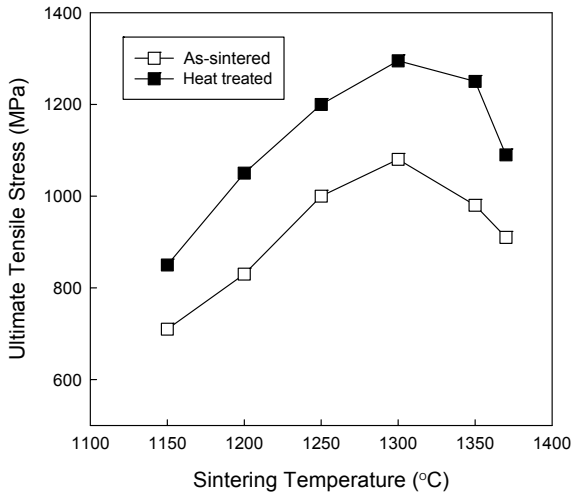


Fig. 12. Ultimate tensile strength of the MIMed 17-4PH stainless steel as a function of sintering temperatures

Fig. 12는 소결온도변화에 따른 최대 인장강도의 변화와 열처리영향을 보여주는 것이다. 17-4PH MIM 소결체의 열처리는 먼저 진공하에서 1050℃에서 1시간 동안 용체화 처리(Solution Treatment)를 한 후 진공에서 510℃에서 2시간 동안 시효(Aging)처리를 하였다. 17-4PH STS steel은 열처리 시 주로 구리의 석출(Copper Precipitation)로 인하여 강화되는 소재 이며 탄소함량에 따라 소량의 크롬 카바이드도 석출되어 소재 강화에 일부 기여 하는 것으로 알려져 있다. 그림에서와 같이 소결온도가 증가함에 따라 인장강도는 1200℃까지는 완만히 증가하다가 1200℃ 이후에는 인장강도

증가 급격히 증가하여 1300℃에서 최고값(1,295MPa)을 보이는 것을 알 수가 있다. 이는 소결온도 1200℃에서 폐쇄 기공이 존재하는 소결말기과정에 돌입 하였기 때문에 인장강도가 급격히 증가한다고 생각된다. 그러나 소결온도가 1300℃를 넘게 되면 인장강도가 오히려 낮아지게 되는 것을 볼 수가 있는데 이는 밀도가 이미 이론치에 가까워져 더 이상의 치밀화는 일어나지 않는 상태이다. 또한 광학 현미경 조직관찰에서도 확인되었지만 결정립의 과성장 때문에 전위이동이 상대적으로 용이하여 인장강도가 저하한 것으로 생각된다. Fig. 13은 17-4PH STS의 소결온도 변화에 따른 경도 및 열처리 영향을 나타낸 것이다. 강도와 달리 경도의 경우 특히 저온에서 소결한 경우일수록 열처리에 의한 경도의 증가가 두드러짐을 알 수가 있다.

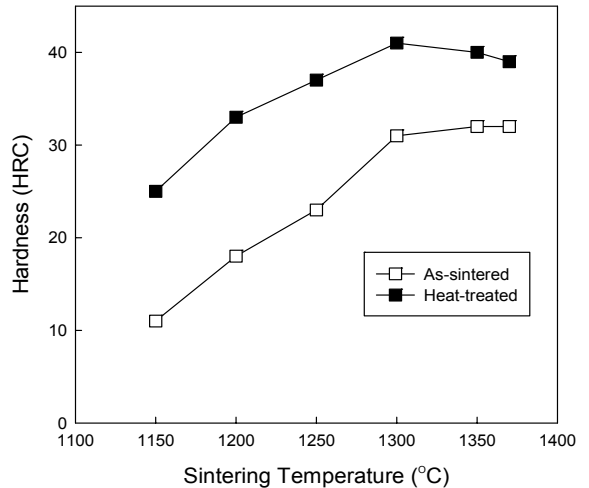


Fig. 13. Rockwell hardness of the MIMed 17-4PH stainless steel as a function of sintering temperatures

또한 1300℃ 이상 고온으로 갈수록 경도 저하가 강도만큼의 영향이 없는 것은 경도 특성상 결정립의 크기보다는 기지의 밀도와 석출물 성장에 영향을 받기 때문이라고 판단되며 이는 기존의 연구결과와 같은 경향을 보이고 있다^[16].

Table 2는 본 실험에서의 확보한 17-4PH STS 소결체의 기계적 물성(밀도, 강도, 연신율, 경도)과 기계 가공품(I/M : Ingot Making 제조)과의 물성을 비교하였다. 표에서와 같이 분말사출성형공법으로 제조된 17-4PH 스테인리스 소결체의 평균 물성이 연신율을 제외하면

기계가공품과 거의 동등한 정도(97% 이상)의 기계적 물성을 갖고 있음을 알 수가 있다.

Table 2. Comparison of mechanical properties of the MIM and I/M 17-4PH stainless steels

	MIM(1300°C) As-sintered	MIM(1300°C) Sinter+HT	I/M+HT (H-925)
밀도(g/cm ³)	7.65	7.65	7.74
인장강도(MPa)	1,080	1,295	1,310
경도(HRc)	30	41	42
연신율(%)	10	10	12

다. MIM 소결체 내식성 시험 특성

Fig. 14는 MIM으로 제조된 상부판과 기계가공(I/M : Ingot Making)법으로 제조된 17-4PH STS 신관부품의 22% NaCl 용액 내에서의 전기화학적 부식시험결과를 보여주는 것이다.

공식전위(Pitting Potential)는 분극(Polarization)곡선에서 귀한(Noble)방향으로 전위를 인가 시에 특정 전위에서 갑자기 전류 밀도 값이 상승하는 전위 값을 말하는 것으로서 이 값이 산화(Anodic)방향으로 위치할 경우 보다 높은 내식성을 가진다고 할 수 있다. 그림에서와 같이 시험온도(5~60°C) 전 구간에서 MIM 부품과 기계가공 부품은 거의 유사한 공식전위 값을 보여주고 있다. 따라서 MIM으로 제조된 상부판도 기계가공품과 유사한 내식성을 가진다고 할 수 있다. 또한 본 시험의 결과는 MIM으로 제조된 stain-less steel의 내식성연구를 진행한 Wohlfromm의 연구결과^[17] 와도 거의 일치하고 있다.

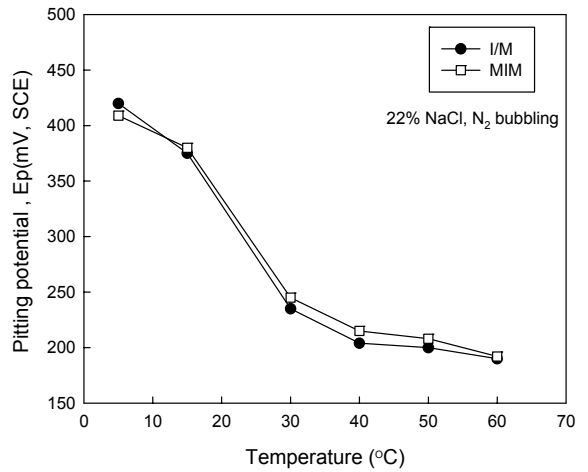


Fig. 14. Pitting potentials vs. temperature of MIM and I/M 17-4PH stainless steels

라. 상부판 소결체의 치수 정밀도 평가

Table 3은 Fig. 6과 같이 최종 제조된 상부판의 중요부위 치수를 평균 3회 이상 측정하여 Fig. 2의 도면 규격과 비교 평가한 것이다. 표에서와 같이 MIM으로 제조된 상부판의 치수정밀도는 ±0.3% 이내를 보여주고 있으며 치수 공차뿐만 아니라 진원도, 동심도 등의 기하공차도 모두 도면규격을 만족시키는 정밀도를 보여주고 있다. 또한 MIM 특성상 작은 부위의 정밀도가 상대적으로 큰 부위 보다 높은 것을 알 수가 있다.

마. 상부판 현장 적용 시험결과

Table 4는 MIM 공법으로 제조된 17-4PH STS 상부판과 기타 신관부품을 조립하여 안전장전장치의 걸림쇠 해제시험, 전기식 뇌관 기폭에 의한 슬라이더 장전

Table 3. Dimensional measurements of the MIMed 17-4PH fuze part(단위 : mm)

부 위	도면 규격	측정치			측정 평균	정밀도	측정 방법
		시료1	시료2	시료3			
5.50부 (전장)	5.45~5.55	5.485	5.515	5.519	5.506	±0.30%	Micrometer
2.50부 (단차부)	2.45~2.50	2.481	2.479	2.470	2.477	±0.20%	Micrometer
φ4.05부 (내경)	φ4.05~4.10	4.085	4.064	4.081	4.076	±0.22%	3차원 측정기
φ4.05부 (동심도)	0.05	0.023	0.025	0.028	0.025	3/100mm	3차원 측정기
φ2.55부 (진원도)	0.05	0.018	0.015	0.016	0.016	2/100mm	3차원 측정기

시험, 65,000G 조건하에서 고충격시험, 야외에서 공중 폭발 성능시험 등을 실시한 결과를 요약한 것이다.

Table 4. Summary of the test results of the MIMed 17-4PH STS fuze parts

시험항목	목적	규격	결과
걸림쇠 해제시험	MIM 부품 걸림쇠 해제여부	최소 7,000rpm 이상	정상 해제
슬라이드 장전시험	전기식뇌관(K593) 기폭에 의한 슬라이드 정상장전	슬라이드 정상장전 (화염공 정열)	정상 장전
고충격 시험	고충격 시험 전/후의 MIM 부품 변형 여부	65,000G 고충격하에서 치수 및 형상 변형 확인	시험전, 후 변형 없음
성능시험	공중폭발 기능 확인	공중폭발 기능 (150m 지점)	정상 작동

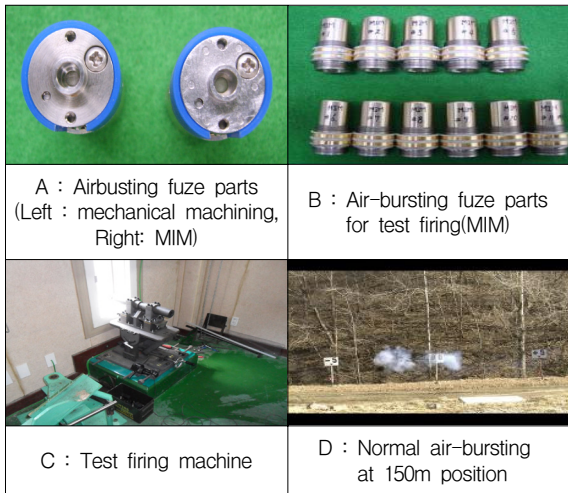


Fig. 15. Photographs showing the field test firing of the 25mm air-bursting shell equipped with MIMed fuze parts

또한 Fig. 15는 야외발사 성능시험에 사용된 기계 가공 신관부품(좌) 및 MIM으로 제조된 신관부품(우)의 외관(그림-A), 발사시험용 공중폭발탄 신관 부품 10개(그림-B), 발사시험용 총기(그림-C) 그리고 150m 지점에서 정상적으로 기폭되어 공중폭발 되는 장면을 보여

주는 것이다. 따라서 상기의 시험결과로 향후 정밀 신관부품 제조 시 기계가공법을 대신하여 MIM 공법으로 양산적용이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서 25mm 탄약용 고정밀 신관부품인 상부관을 17-4PH 스테인리스 소재를 이용하여 분말사출성형 공법으로 제조 후 상용화 가능성에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

가. 분말사출성형공법으로 정밀도 $\pm 0.3\%$ 이내, 소결밀도 7.60g/cm^3 의 이상, 최대 인장 강도 $1,290\text{MPa}$, 경도 40 HRC 이상의 고정밀, 고밀도, 내식성의 스테인리스 신관 부품을 제조하는 공정 기술 자료를 확보하였다.

나. 또한 걸림쇠 해제시험, 슬라이드 장전시험, 고충격 시험 등의 실험실테스트와 야외 발사성능시험 등을 통하여 본 연구의 MIM 신관부품이 기계가공법으로 제조된 신관 부품과 동일한 기능을 갖고 있는 것을 확인할 수가 있었기 때문에 향후 양산 적용 성공률이 높을 것으로 판단된다.

다. 본 연구에서 확보된 사출성형공정, 탈지공정 기술, 소결공정기술 등의 MIM 요소기술은 향후 MIM 공법 적용시 국내 군수부품 제조업계의 원가절감, 공정개선, 기술경쟁력강화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] R. M. German and A. Bose, "Injection Molding of Metals and Ceramics", MPIF, pp. 13~17, 1997.
- [2] L. J. Prakash, "Powder Injection Molding of Cemented Carbides", Powder Injection Molding International, Vol. 1, No. 3, pp. 17~24, 2007. 9.
- [3] "Company Advertisement : Zhuzhou Lukes Metal Powder Product Co., Ltd.", Powder Injection Molding International, Vol. 3, No. 2, p. 6, 2009.
- [4] David Whittaker, "Advances in the Metal Injection

- Molding of Titanium”, Powder Injection Molding International, Vol. 5, No. 3, pp. 47~53, 2011.
- [5] Bernald Williams, “Injection Molding Opens up Opportunities for High Performance NdFeB Magnets”, Powder Injection Molding International, Vol. 3, No. 1, pp. 41~43, 2009.
- [6] Branislav Zlatkov, “The Processing of Advanced Magnetic components by PIM”, Powder Injection Molding International, Vol. 3, No. 3, pp. 41~50, 2009.
- [7] Lye-King Tan, “MIM Technology Set to Transform the Design and Production of Heat Sinks”, Powder Injection Molding International, Vol. 1, No. 4, pp. 27~30, 2007.
- [8] Martin Wolff, “Looking to the Future : Magnesium Powder Injection Molding”, Powder Injection Molding International, Vol. 2, No. 2, pp. 63~65, 2008.
- [9] Andreas Ruh, “Progress of Two-Component Micro Powder Injection Molding(2C-MicroPIM)”, Powder Injection Molding International, Vol. 5, No. 1, pp. 68~70, 2007.
- [10] Bernald Williams, “Powder Injection Molding in the Medical and Dental Sectors”, Powder Injection Molding International, Vol. 1, No. 1, pp. 12~19, 2007.
- [11] La Salle, “Microstructure and Mechanical Properties of Aqueous Based Binder Metal Injection Molded 17-4PH Stainless Steel for Aircraft Engine Components”, Proceedings of the International Conference on Powder Metallurgy & Particulate Materials by MPIF Part 6, pp. 19~26, 1999.
- [12] Georg Schlieper, “Leading German Manufacturer Works to Develop the Market for MIM in the Automotive Sector”, Powder Injection Molding International, Vol. 1, No. 3, pp. 37~41, 2007.
- [13] “North America Focus : A Closer Look at Award Winning MIM Products from North America”, Powder Injection Molding International, Vol. 1, No. 3, p. 32, 2007. 9.
- [14] Georg Schlieper, “Sintering and Furnace Technology for MIM”, Powder Injection Molding International, Vol. 3, No. 1, pp. 21~24, 2009.
- [15] R. M. German and A. Bose, “Injection Molding of Metals and Ceramics”, MPIF, pp. 225~228, 1997.
- [16] P. V. Muterlle, M. Zendron, “Influence of Carbon Content on the Micro-structure and Tensile Properties of the 17-4PH Stainless Steel Produced by MIM”, Powder Injection Molding International, Vol. 2, No. 4, pp. 56~59, 2008.
- [17] H. Wolromm, “Corrosion Resistance of MIM Stainless Steels”, Proceedings of the International Conference on Powder Metallurgy & Particulate Materials by MPIF Part 6, pp. 27~34, 1999.