

분말 사출성형법으로 제조된 T42 고속도 공구강의 소결거동

박동욱 · 김혜성 · 권영삼^a · 조권구 · 임수근 · 안인섭^{*}
국립 경상대학교 나노 · 신소재공학부 금속재료공학과, ^a(주)세타텍

A Study on the Sintering Behavior of T42 High Speed Steel by Powder Injection Molding (PIM) Process

Dong-Wook Park, Hye-Seong Kim, Young-Sam Kwon^a, Kwon-Koo Cho,
Su-Gun Lim, and In-Shup Ahn^{*}

School of Material Science and Engineering, GyeongSang National University, Jinju 660-701, Gyeongnam, Korea

^aCetatech, Inc, TIC 296-3, Younghun-myon, Sacheon, Gyeongnam, Korea

(Received January 30, 2012; Revised February 13, 2012; Accepted February 24, 2012)

Abstract Tool steels serve a large range of applications including hot and cold workings of metals and injection mouldings of plastics or light alloys. The high speed steels (HSS) are specifically used as cutting tools and wear parts because it has high strength, wear resistance and hardness along with appreciable toughness and fatigue resistance. From the view of HSS microstructure, it can be described as metallic matrix composites formed by a ferrous with a dispersion of hard and wear resistant carbides. The experimental specimens were manufactured using the PIM with T42 powders (50~80 vol.%) and polymer (20~50 vol.%). The green parts were debinded in n-hexane solution at 60°C for 8 hours and thermal debinded at an N₂-H₂ mixed gas atmosphere for 8 hours. Specimens were sintered in high vacuum (10⁻⁵ Torr) and various temperatures.

Keywords: T42 high speed steel, Debinding, Powder injection molding, Sintering

1. 서 론

고속도 공구강(high speed steel) 높은 경도와 인성이 우수하여 고속 절삭용 공구 소재로 많이 사용 되고 있다. 또한 산업의 기술고도화에 따른 산업현장에서 단순금형이 아닌 정밀가공, 내열성, 내마모성, 내피로성의 극한 환경에서 견딜 수 있는 금형재료를 선호하게 되면서 고속도 공구강의 필요성이 나타난다[1-3]. 공구강은 Fe를 기본으로 하고 있으며, Cr, Mo, W, Co, V, C등을 함유하고 있는 합금으로써 MC와 M₆C, M₂₃C₆등의 금속 탄화물이 Fe기지에 분산되어 강화시킨 합금이다. Cr은 입자성장을 억제하고 내산화성 및 내마모성을 향상시키는 역할을 하며, V는 강력한 탄화물을 형성하며, 결정립의 미세화 효과를 가져다 줄 수 있으며, Co는 용융점을 높게 함으로써 내열성을 증가시킬 수 있는 역할을 한다[4, 5].

최근에는 마이크로 부품을 제조하고자 하는 연구개발이 주목을 받음으로써, PIM(Powder Injection Molding)의 응용기술이 발전하고 있다. 현재까지는 마이크로 부품을 제조하는 원천 기술이 반도체 가공기술이나 마이크로 기계 가공기술에 크게 의존하고 있다. 하지만 상기에 언급한 가공기술은 수십 마이크로에서 수백 마이크로의 치수를 갖는 구조물 제조에 있어서 응용재료의 종류와 복잡한 형상의 대량생산에 한계가 있으므로 분말사출성형법의 연구가 더욱 추진되어지고 있는 상황이다[6].

분말사출성형법(powder injection molding)은 분말야금의 기술과 사출성형기술을 접목된 기술이며, 미세한 분말과 유동의 주체가 되는 결합제를 혼련하여 사출 성형 후, 사출체에서 결합제만 제거한 후, 분말만을 최종 소결하여 부품을 제조하는 것이다. 즉, 3차원 정밀부품의 제조가 가능하고 후가공이 거의 필요 없는 near-net-shape으로 대량

^{*}Corresponding Author : In-Shup Ahn, TEL: +82-55-772-1662, FAX: +82-55-772-1670, E-mail: ais@gnu.ac.kr

생산이 가능하므로 고부가가치 부품을 생산 할 수 있는 이점을 가지고 있다[7-9].

본 연구에서는 T42 고속도공구강 분말과 바인더(binder)를 이용하여 상기에 언급한 분말사출성형법으로 제조된 사출체를 탈지 및 진공소결온도에 따른 특성변화를 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 T42 고속도공구강 분말은 Epson Atmix Corporation(Japan)에서 수분사법(water-atomization method)제조된 것으로 그림 1에서 보여주는 바와 같은 분말을 사용하였으며, 10 μm 정도의 구형의 분말임을 확인할 수 있고, 분말의 조성은 표 1에 나타낸바와 같이 Fe를 주로 하고 W과 Cr, Co, V등을 함유하고 있다.

피드스탁(feedstock)은 T42 고속도공구강 분말과 바인더(PW, EVAPP, SA)를 160°C에서 2시간동안 두날혼합기(two blade mixing machine)를 이용하여 혼합하였고, 유압식 수직형 사출기를 통해 표 2와 같은 조건에서 사출체를

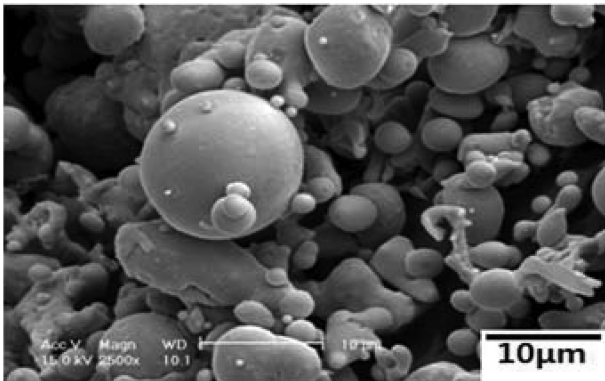


Fig. 1. Scanning electron microscope image of water atomized T42 HSS powders.

Table 1. Chemical composition of T42 HSS (wt% Bal. Fe)

Eliments	C	Cr	Mo	Co	V	W
wt%	1.27	4.18	3.5	9.5	3.36	9.59

Table 2. Table of injection conditions

Barrel temperature	155°C
Nozzle temperature	165°C
Pressure removal time	0.2 sec
Injection time	3 sec
Pressure maintain time	2 sec
Cooling time	20 sec
Intermediate pressure	10.5 MPa
Injection pressure	9.5 MPa
Mold temperature	Room temperature

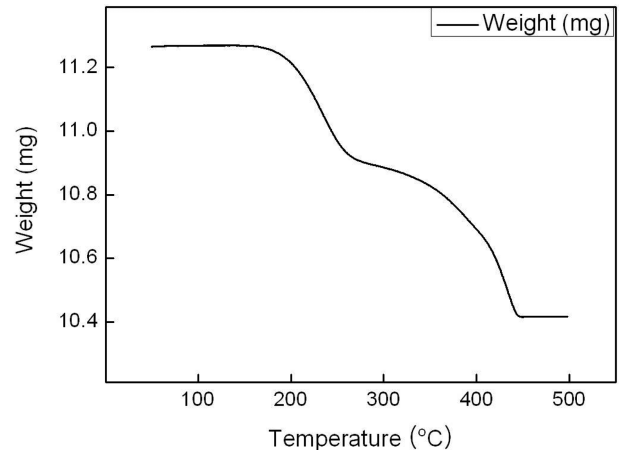


Fig. 2. TGA curve of solvent debinded specimen.

제조하였으며, 금형은 60°C의 항온수조를 이용하여 사출체의 충진을 강화하였다.

사출체는 60°C의 노멀-헥산(n-hexane)속에서 1시간 간격으로 무게(g)를 측정하여 wax계 바인더를 제거하였으며, 그림 2와 같이 TGA(Thermo-gravimetric Analyzer)분석을 통해 바인더의 무게감소가 일어나는 구간을 선정하였다. 따라서 질소-수소 혼합가스 속에서 2°C/min으로 260°C와 450°C에서 각각 4시간씩 열간탈지를 실시하였으며, 잔류 바인더의 제거와 취급이 용이하도록 900°C에서 예비소결을 진행하였다. 소결을 진행하기에 앞서서, 탈지공정에서의 바인더의 제거를 확인하기 위해 유기물의 성분 분석에 이용되는 FT-IR(Fourier transform-infrared spectrometry)를 이용하였다. 예비소결된 시편을 승온속도 10°C/min으로, 약 10^{-5} Torr의 진공속에서 소결하였다.

소결온도에 따른 소결체의 기계적 특성과 미세조직변화를 알아보기 위해 1200°C에서 1320°C까지 변화시켜서 소결을 실시하였다. 밀도는 아르키메스 원리(Archimedes' principle)로 측정하였다. 비커스경도기를 통해 경도를 측정하였으며, 2% nital 용액을 부식액으로 사용하였으며, 미세조직은 전계방출형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope)을 사용하여 관찰하였으며, 기지와 탄화물의 종류 및 분포를 관측하기 위해 X-선 회절 분석기의 타겟으로 Cu-K α 선을 사용하였으며, 주사속도를 2°/min로 하여 2 θ 값을 20°~90°의 범위로 XRD분석을 하였다.

3. 실험결과

탈지공정의 주목적은 사출체의 형상을 유지하면서 바인더를 완전히 제거하는 것이다. 먼저, 60°C의 노멀헥산을 이용하여 용매탈지를 실시하였으며, 그림 3과 같이 8시간

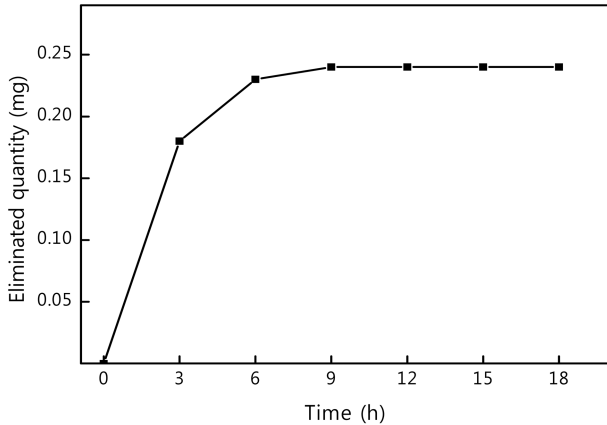


Fig. 3. Eliminated quantity according to the solvent debinding time in n-Hexane.

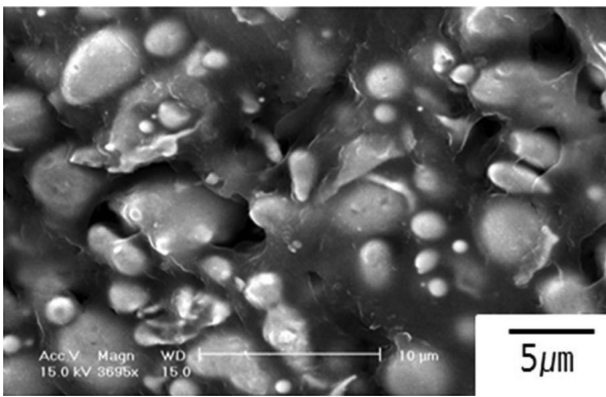


Fig. 4. SEM image of solvent debinded part for 8 hrs.

유지하였을 때 사출체의 무게가 더 이상 변화하지 않은 것으로 보아, 왁스계 바인더가 모두 제거된 것으로 판단되었다. 용매탈지가 끝난 사출체의 표면을 그림 4에서 보여 주고 있다. 왁스계 바인더의 제거로 인해 작은 기공들이 관찰되었다. 이 기공들은 시편의 표면적을 증가시키고, 바인더가 쉽게 제거될 수 있는 통로 역할이 되어 열간탈지 단계에서 바인더의 제거가 원활하도록 돕는다. 용매탈지 후 열간탈지와 예비소결이 함께 진행되었는데, 이때 C, H, N, O로 구성된 바인더의 제거를 보다 빠르고 원활하게 하기 위하여 질소, 수소 1:1 혼합가스분위기에서 열간탈지와

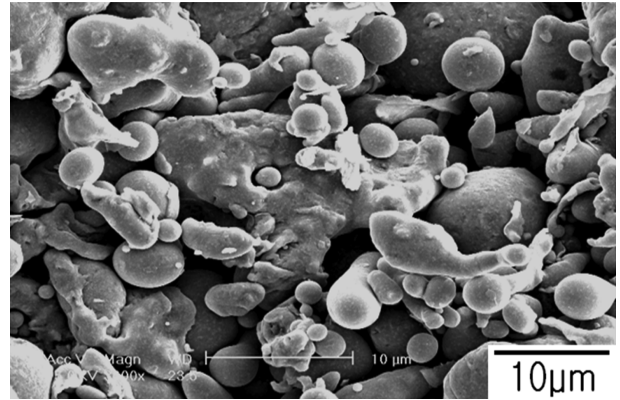


Fig. 5. SEM image of thermal debinded part.

예비소결을 진행하였다.

열간탈지에서의 온도 구간은 TGA 분석하여 250°C, 480°C에서 사출체의 무게가 감소하는 구간에서 구분된 것이며, 각 구간에서 1시간씩 유지시간을 증가 시키면서 최적의 유지시간(4시간)으로 정하였다. 그림 5와 같이 열간탈지 후 피드스탁(feedstock)을 관찰하였는데, 그림 4와 비교했을 때, 탈지가 거의 이루어진 것을 확인 할 수 있었으며, 900°C에서 예비소결을 통해 이웃하는 금속분말이 결합하여 형태를 유지하고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

탈지공정이 모두 끝난 후, 그림 6에서 탈지 여부를 확인 하기 위하여 FT-IR분석을 하였다. 그림 6(a)는 사출체의 분석 결과이며, 약 2800~3000 cm^{-1} 파장의 범위에서 피크(peak)를 관찰 할 수 있는데, 이는 탄소와 수소의 단일결합 또는 이중결합을 통해 결합된 유기물에 대한 피크이다 [10]. 그림 6(b)는 용매탈지 후 분석결과이며, 피크의 크기가 점차 감소하였고 그림 6(c)와 같이 열간 탈지공정이 끝난 후 피크는 거의 나타나지 않은 것으로 보아 바인더는 대부분 제거된 것으로 판명되었다. 그림 6(c)에서 보는바와 같이 미세한 잔류 바인더의 존재가 확인 되었지만, 이는 고온 진공 소결시 완전히 제거될 것이라고 판단되었다.

T42 고속도공구강의 소결시 소결온도의 영향에 따른 조직변화와 기계적 특성을 연구하기위해 10^{-5} Torr의 고진공로에서 온도를 변화시켜서 소결을 진행하였다. 그림 7은

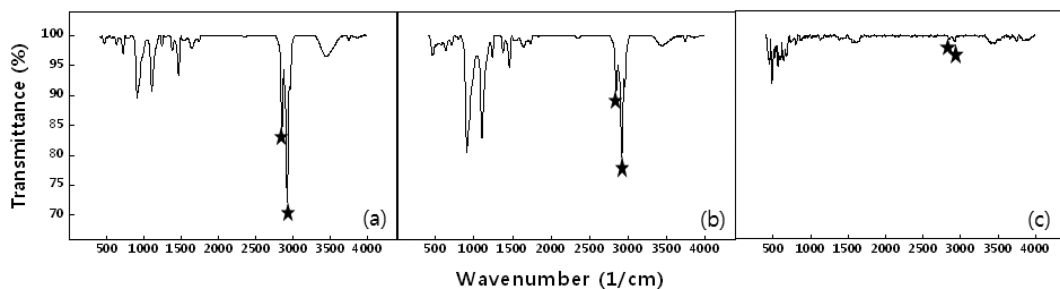


Fig. 6. Result of FT-IR analysis for (a) green part, (b) solvent debinded part and (c) thermal debinded part.

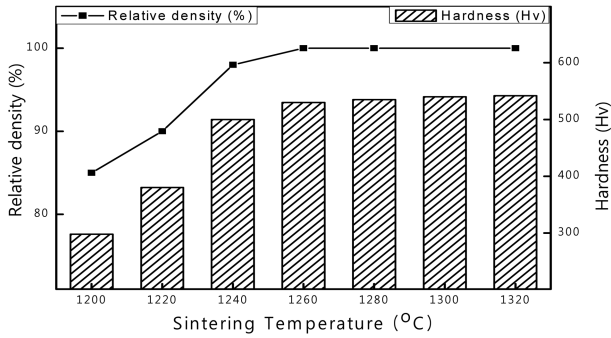


Fig. 7. Relative density and hardness of sintered specimens at different sintering temperatures.

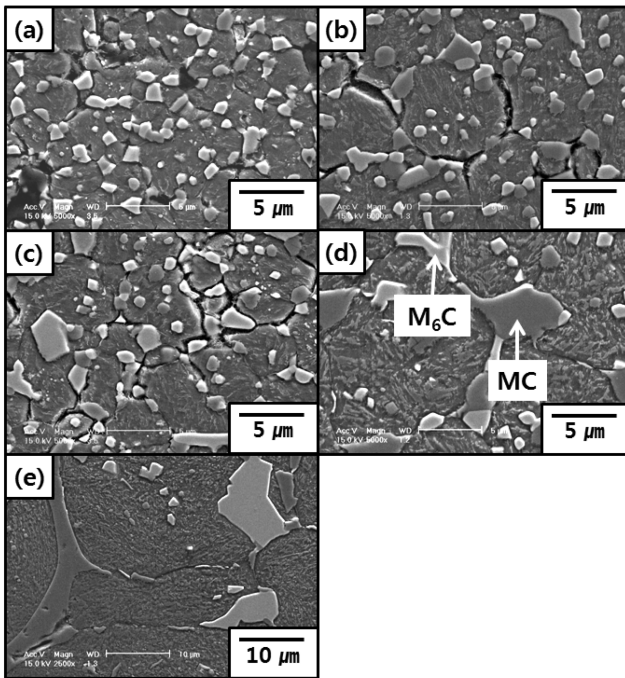


Fig. 8. SEM images of sintered part at vacuum : (a) 1220°C (b) 1240°C, (c) 1260°C, (d) 1280°C, and (e) 1320°C.

각 소결온도에 대한 상대밀도와 경도값을 나타낸 그래프이다. 아르키메데스 원리를 이용하여 상대밀도를 측정하였으며, 각각의 소결온도에서 상대밀도는 온도 증가에 따라 85에서 100%까지 증가하였다. 온도가 상승 할수록 밀도가 증가하는 것을 확인 할 수 있었고, 1260°C의 소결온도부터는 full-density에 도달하는 것을 관찰 할 수 있었다.

경도값 역시 밀도 그래프와 거의 동일하게 상승하는 것을 확인 할 수 있었다. 1260°C에서 550 Hv의 높은 경도값을 얻을 수 있었으며, 온도증가에 따른 경도값은 1260°C 이후부터는 크게 증가하지 않았다. 이는 액상소결과정에서 기공이 소멸되는 과정과 비례하며, 더욱이 결정립(grain)의 크기와 기지(matrix)내의 탄화물(carbides) 크기 및 분포와 관계가 된다고 사료되어진다. 따라서 그림 8의 고진공 소결시 소결온도에 따른 조직사진을 분석한 결과

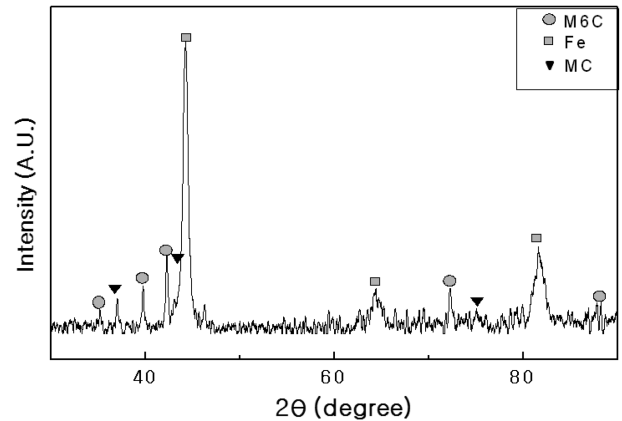


Fig. 9. XRD pattern of sintered specimen in vacuum at 1260°C.

, 그림 8(a)를 보면 1200°C에서 소결한 경우 탄화물이 주로 조직 입계에 분포하는 모습을 관찰하였고, 기공의 존재를 인해 낮은 밀도와 경도를 가진다는 것을 확인 할 수 있다. 이후 소결온도가 상승할수록 기공의 수는 줄어들고 밀도가 증가하면서 치밀화되는 것을 볼 수 있었다. 그림 8(b)는 1240°C에서 소결한 시편의 조직사진이며, 완전 치밀화가 일어났고 입계에 탄화물 또한 낮은 소결온도에서 소결한 시편보다 커졌지만 입내의 탄화물의 석출이 조금씩 일어나고 있으며, 경도가 가장 높은 1260°C의 소결온도에서는 입내의 탄화물의 석출이 가장 많이 일어났고, 분포 또한 가장 균일한 것을 확인 할 수 있었다. 반면 소결온도가 더 증가하였을 경우 탄화물과 결정립의 크기 증가를 보여주고 있으며, 그림 8(e)와 같이 입계에 연속적으로 분포하고 있다. 1300°C보다 높은 소결온도에서는 액상의 과다출현으로 인해 시편의 형상이 함몰되는 것을 관찰하였다. 1260°C까지는 결정립(grain)과 탄화물(carbides)의 낮은 크기변화가 나타났으며, 온도가 그 이상 증가할 때 그 크기변화는 급속히 증가하는 것을 관찰 할 수 있었다. 경도와 비교했을 때 경도가 가장 높은 1260°C에서 기지내의 탄화물의 석출량이 가장 많은 것으로 판단되어지며, 온도가 더욱 상승할수록 기지내의 탄화물이 입계로 이동하여 조대한 탄화물을 형성하는 과정을 확인 할 수 있었다. 또한 1260°C이후에는 경도의 변화가 미비한 것으로 보여주고 있다. 이는 결정립의 크기가 증가할수록 경도의 이와 같이 1260°C이상에서의 T42 고속도 공구강 소결은 액상소결 메카니즘으로 치밀화가 일어났으며, XRD패턴을 분석한 결과, 석출물은 V가 추가 되는 MC 탄화물과 W가 추가 되는 M₆C 탄화물임을 확인 할 수 있었다. 그림 9는 1260°C에서 소결한 T42 고속도 공구강의 XRD 패턴을 보여주는 것으로 MC 및 M₆C 탄화물 외에는 다른 석출상은 나타나지 않은 것을 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 분말 사출성형법을 이용해 T42 고속도공구강을 원하는 사출체를 제작하여 탈지 및 소결공정을 거쳐 공업적으로 유용하도록 탈지조건과 소결조건을 확립하여 소결을 진행 할 수 있었다.

1) 최적의 열간 탈지조건은 260°C와 450°C에서 각각 4시간씩 행하였을 때, 잔류 바인더량은 2~3%였다.

2) 소결온도 1260°C에서부터 소결체는 액상소결 메커니즘을 통해 완전 치밀화가 되었으며, 550 Hv의 높은 경도를 얻을 수 있었다. 따라서 소결온도변화에 따라서 결정립의 크기와 탄화물(MC, M₆C)이 석출함으로써 경도가 증가 되었다.

감사의 글

연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

[1] S. Gimenez, C. Zubizarreta, V. Trabadelo and I. Iturriza:

- Materials Science and Engineering A, **480** (2008) 130.
- [2] Z. Y. Liu, N. H. Loh, S. B. Tor and K. A. Khor: Materials Characterization, **49** (2003) 313.
- [3] T. M. Torralba, J. M. Ruiz-Roman, L. E. G. Cambronero, J. M. Ruiz-Prieto and M. Gutierrez-Stampa: Journal of Materials Processing Technology, **64** (1997) 387.
- [4] Z. Y. Liu, N. H. Loh, K. A. Khor and S. B. Tor: Materials Letters, **45** (2000) 32.
- [5] B. Sustarsic, L. Kosec, M. Henko and V. Leskovsek: Vacuum, **61** (2001) 471.
- [6] S. W. Kim, S. S. Ryu and E. R. Baek: J. Kor. Powd. Met. Inst., **11** (2004) 179 (*Korean*).
- [7] H. Asgharzadeh, E.-S. Lee, W.-J. Park, J.-Y. Jung and S.-H. Ahn: Journal of the Korean Inst. of Met. & Mater., **35**, (1997) 784.
- [8] V. Trabadelo, S. Gimenez and I. Iturriza: Materials Science and Engineering A, **499** (2009) 360.
- [9] A. Simchi: Materials Science and Engineering A, **403**, (2005) 290.
- [10] C. K. Son: M.S. Thesis, The Debinding and Sintering Behaviors of W-4.9Ni-2.1Fe MIM Part, Hanyang University, Seoul (1999) 5.