

## 이온확산법에 의한 분말야금용 합금강분의 제조

윤성렬 · 한승희 · 나재훈 · 김창욱

광운대학교 화학공학과

### Manufacture of the Prealloyed Powder for Powder Metallurgy by the Ion-diffusion Process

S.R. Yoon, S.H. Han, J.H. NA and C.W. Kim

Kwangwoon University Department of Chemical Engineering 447-1, WolhyeDong, Nowon-Gu, Seoul 132

(1997년 8월 27일 받음, 1997년 12월 29일 최종수정본 받음)

**초 록** 순철분말에  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 를 이온확산시켜 부분확산합금강분으로 제조하고, Cu, Ni, Mo의 함량에 따른 성형성, 소결성, 기계적특성을 조사하였다. 연구결과 각각 Cu 1.50wt%, Ni 1.75wt%, Mo 0.50wt%일 때, 경도 및 인장강도는 우수하고, 수축률의 변화는 거의 없음을 알 수 있었다. 이러한 결과를 이용하여 Cu 1.50wt%, Ni 1.75wt%, Mo 0.50wt%가 함께 이온확산된 부분합금강분을 제조하여 특성을 조사하고, 스웨덴의 Höganäs사에서 수입되고 있는 부분합금강분 (distalloy AB<sup>®</sup>)과 성형성, 소결성 및 기계적 특성을 비교하여 분석한 결과 본 연구방법에 의해 제조된 것이 성형성이 우수하고, 소결치수의 변화가 거의 없었으며, 같은 소결밀도 및 소결온도 조건에서 인장강도는 15~20kg/mm<sup>2</sup>, 경도는 Hv20~30 더 크고, 열처리 하였을 때도 경도 및 인장강도가 좀 더 양호한 결과를 얻었다.

**Abstract** Cu, Ni, and Mo were ion-diffused into the pure steel powder in the aqueous solution of  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , and  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ , to form partial diffusion bond prealloyed steel powder. The mechanical properties, and compacting and sintering characteristics were investigated as a function of Cu, Ni and Mo contents. The results of the this research, it was found that the smallest change of size was observed, and the good degree of hardness and tensile strength was observed when 1.50wt%Cu, 1.75wt%Ni and 0.50wt%Mo was added each other. The powder metallurgy characteristics of partial diffusion bond prealloyed steel powder containing 1.50wt% of Cu, 1.75wt% of Ni and 0.5wt% of Mo were compared to those of distalloy AB<sup>®</sup> which was manufactured in Höganäs Corporation of Sweden. Partial diffusion bond prealloyed steel powder of this study had good degree of hardness and density, and its dimensional stability was same to that of pure steel powder. Under the same sintering density and temperature, the tensile strength of the ion powder from this research was 15~20Kg/mm<sup>2</sup> larger than that of distalloy AB<sup>®</sup>. also the hardness was larger in the magnitude of Hv20~30. When the powder metallurgy heat-treated, hardness and tensile strength were substantially increased.

### 1. 서 론

분말야금공정에 있어서 원료인 금속분말이 최종 생산품에 미치는 영향은 절대적이다. 즉, 소결체의 조성, 조직, 기계적 성질 등은 원료가 되는 금속, 합금, 금속화합물의 물리적, 화학적 성질 등에 의하여 결정된다. 따라서 금속의 조성 및 분말의 제조방법은 소결체의 특성에 크게 영향을 미치는데,<sup>1,2)</sup> 이러한 분말야금용 철분말의 제조에서 가장 유명한 방법은 스웨덴의 Höganäs사에서 순수한 산화철을 수소로 환원시켜 얻은 스펀지상의 철분말<sup>3,4)</sup>이었으며, 근래에는 용융철을 고압유체의 분사체에 충돌시키므로써 기계적으로 미세하게 분산시켜 분말로 응고시키는 분사법<sup>3,5)</sup>이 개발되었다. 또한, 철을 고압에서 일산화탄소와 반응하여 카르보닐철의 복합화합물을 형성한 후 다시 분해시켜 순도가 매우 높은 철분말을 제조하는 방법이<sup>6)</sup> 개발되었다. 그러나 순수 철분은 기계적 특성이 미약하여, 최근에는 prealloy powder 형태의 합금강분말이 강인(鋼韌) 부품용

으로 크게 주목되어 그 이용율이 높아지고 있다. 즉, 경도를 증가시키기 위하여 sugar carbon을 첨가하여 탄소강으로 만들거나 인성을 증가시키기 위하여 Ni, Cu분말을 혼합시켜 성형·소결시켜 사용하고 있다.<sup>7,8)</sup> 그러나 이러한 분말은 각 성분분말의 밀도차에 의한 편석(segregation)이 일어나 합금강의 조성이 균일하지 못할 뿐 아니라 소결과정에서 체적의 변화가 커서 정밀부품 제조에는 한계가 있다. 편석이 없는 prealloy powder를 얻기 위하여 일본의 Shiro Kohara와 Kiyohiko Tatsuzawa<sup>9)</sup>는 순철분에 무전해도금법을 이용한 Fe-Cu 및 Fe-Ni 복합분말을 형성하여 소결한 결과 기계적 특성이 향상되었다는 보고가 있으나 제조비용이 많이 들어 공업적으로는 사용되지 못하고 있다. 또한 Sherritt Gordern<sup>10)</sup>은 안트라퀴논을 촉매로 Ni용액에 고압의 수소를 주입시켜 Ni이온이 수소로 환원 침전되어 Fe-Ni, Al-Ni,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Ni 등의 복합분말이 제조될 수 있다고 하였으며, 이 복합분말은 분말야금용 특수부품의 생산에 활용되고 있다.

근래에는 소결부품의 고밀도화, 고강도화의 요구로부터 이들 합금강분(合金鋼粉)의 수요가 높게 되어 각종의 분말이 개발되고 있다.<sup>11)</sup> 특히, 통상의 소결온도에서 고강도가 얻어지는 부분합금강에 관심이 집중되고 있다. 일본 고베제강<sup>12)</sup>에서는 수분사법(水噴射法)으로 만든 순철분에 각각 Ni, Cu, Mo 분말을 확산시켜 압축성이 우수하고 고밀도, 고강도 부품제조에 적합한 부분합금강분을 제조하여 시판하고 있으며, 스웨덴의 Höganäs<sup>3-5)</sup>사에서도 이와 비슷한 부분합금강분을 제조 판매하고 있다.

현재 국내에서는 자동차, 가전기기, 기계공업의 발전과 더불어 분말야금법에 의한 부품의 수요도 크게 증가되고, 국제경쟁력에 의한 품질향상의 요구도 점점 늘어나고 있기 때문에, 분말야금과 관련한 기술개발에 심혈을 기울이고는 있으나 분말야금에 이용되는 순철분은 전량 수입되고 있으며, 순철분을 수입한 제조회사에서는 C, Cu, Ni분말을 단순히 물리적으로 혼합한 prealloy powder를 만들어 사용하고 있는 실정이다. 특히, 고강도, 고밀도를 요구하는 부품 제조에 사용되는 고가의 부분합금분말 또한 순철분과 마찬가지로 전량 수입에 의존하고 있으나 이에 대한 연구 및 평가는 매우 미약한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 순철분말에 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>를 수용액으로 하여 이온확산시켜 부분합금강분을 제조하고 Cu, Ni, Mo의 함량에 따른 성형성, 소결성 및 기계적 특성을 조사하여 고밀도, 고강도의 소결부품 제조에 알맞는 이온확산 부분합금강분을 제조하고자 한다.

## 2. 실험 방법

부분확산합금강분의 기준이 되는 순철분은 스웨덴의 Höganäs사에서 제조 판매하는 ASC100<sup>9)</sup>과 일본 고베제강에서 제조 판매하는 MSA300<sup>12)</sup>을 사용하였으며, 이 순철분은 atomization법에 의하여 제조된 분말야금용 순철분이다. 이 연구에서 사용한 시약 및 시료의 성분 및 특성은 표 1에 나타내었고, 시편 제조 방법은 그림 1에 나타내었다.

그림 1과 같이 제조된 부분확산합금강분의 성형밀도 및 소결밀도는 MPIF(Metal Powder Industries Federation) standard 42에서 제시한 방법으로 측정하였으며 다음과 같은 식을 이용하여 밀도를 구하였다. 이 때 사용된 물의 밀도는 ISO3369를 이용하였다.

$$Density(\rho) = \frac{A\rho_w}{B - (C - E)} \quad (1)$$

여기서 A : the mass of the test piece in gram on the balance

B : the impregnated test piece in gram on the balance

C : the suspended test piece in gram on the balance

E : the mass of the suspended wire in gram on the balance

$\rho_w$  : the density of the water

수축율은 MPIF standard 44에 제시한 방법으로 측정하였으며, 식 (2)를 이용하여 구하였다.

$$Dimensional\ change(\%) = \frac{L_s - L_D}{L_D} \times 100 \quad (2)$$

여기서 L<sub>D</sub> : die cavity dimension

L<sub>S</sub> : sintered specimen dimension

인장강도( $\delta$ ) 또한 MPIF standard 10에 제시한 방법을 이용하였으며, 시편의 단면적을 A<sub>0</sub>, 시편이 파단할 때까지의 최대응력을 F라 하면, 식 (3)과 같다.

$$\delta = \frac{F}{A_0} \quad (kg/mm^2) \quad (3)$$

입도분포는 particle analyzer(Malvern, England)를 이용하였고, 경도는 micro vickers hardness tester(Wilson 200, USA)를 이용하였으며, 부분확산합금강분이 기존의 물리적인 혼합방법에 비하여 충전상태가 더욱 양호하다는 것을 확인하기 위하여 SEM(JSM 35CF, Japan)을 이용하여 확인하였다.

## 3. 결과 및 고찰

이온확산에 의한 입도분포의 변화

Cu 이온확산에는 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O수용액을 이용한 반응 메카니즘은 다음과 같다.

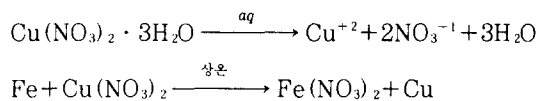


Table 1. Reagents and samples

종 류	품 명	성분 및 특성 (wt%)							제조회사
		C	Si	Mn	P	S	Fe	H <sub>2</sub> loss	
시 료	ASC100	0.01	≤0.005	0.22	0.01	0.12	balance	0.15	Höganäs (Sweden)
	MSA300	0.01	0.020	0.22	0.08	0.15	balance	0.20	Gohbe (Japan)
시 약	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O (Shinyo Pure Chemical, First Grade) Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 3H <sub>2</sub> O (Shinyo Pure Chemical, First Grade) (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O (Shinyo Pure Chemical, First Grade)								

● 스웨덴의 Höganäs사의 부분합금강분(distalloy AB<sup>®</sup>)의 성분함량에 관한 보고서에서 carbon의 함량이 0.6%일 때 성형성, 소결성 및 기계적 특성이 가장 우수한 것으로 발표되어 있다.

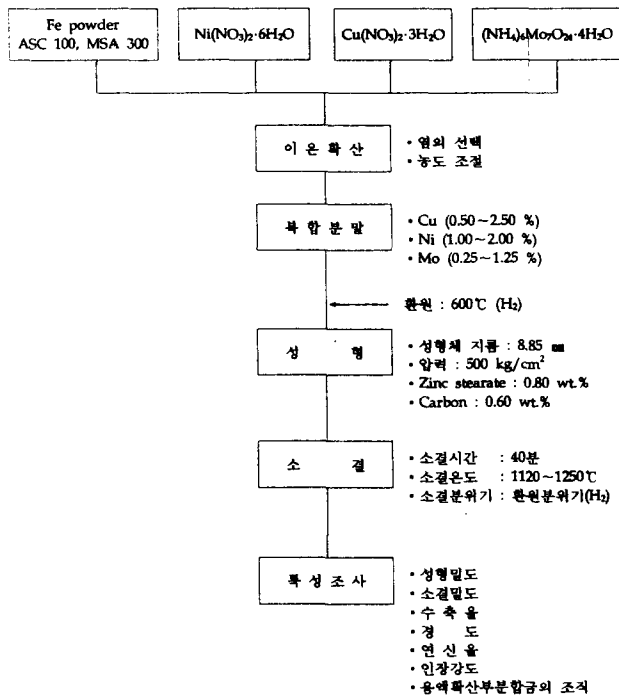
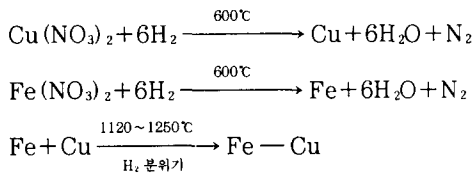


Fig. 1. Flow chart of preparing partial diffusion bond prealloy samples containing Cu, Ni, and Mo

이때 발열반응이 서서히 진행되면서 치환반응이 일어나 적갈색으로 변화되었고, 이러한 현상이 지나고 치환이 일어난 후, 치환에 의해 생긴 질산철을 환원로를 이용하여 600°C, 1시간동안 환원시켜 Fe-Cu부분확산합금강분을 제조하였으며 그 반응 메카니즘은 아래와 같다.



Ni, Mo이온확산의 경우도 같다.

그림 2는 MSA300 순철분의 입도분포와 MSA300 순철분에 1.00wt% Cu이온을 치환반응에 의하여 부분확산시켜 합금화 시켰을 때 감소한 입도분포를 비교하여 입도분포 변화의 차이를 나타낸 것이다.

이것을 종합 비교하면 순철분에 비하여 이온확산된 Fe-Cu합금분말의 입도분포가 전체적으로 감소되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 현상으로 보아 구리이온에 의하여 철분의 표면이 산화되어 철이 이온으로 되면서 서로 확산혼합되기 때문이라 생각된다.

또한 사진 1의 (a), (b)는 MSA300 순철분과 순철분에 Cu 1.00wt%를 이온확산시켜 환원로를 이용하여 600°C, 1시간동안 열처리하여 부분합금화시킨 입자를 2000배로 확대한 SEM사진이며, 치환에 의하여 부분확산된 Cu입자가 순철분에 존재하고 있는 것은 그림 3의 EDX의 조성비로 확인할 수 있었다. 이와 같은 현상으로 보아 순철분에 Cu염을 수용액으로 하여 치환반응시킬 때 철분의 표면이

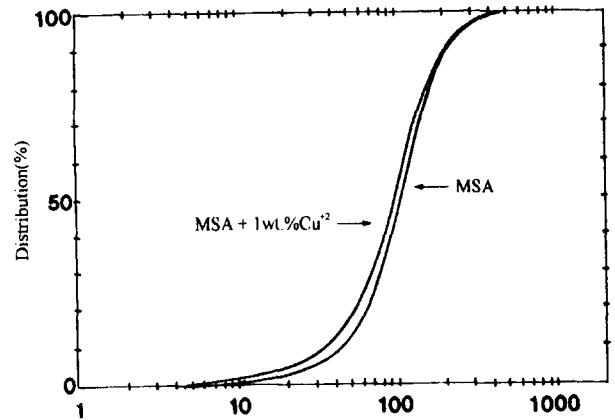
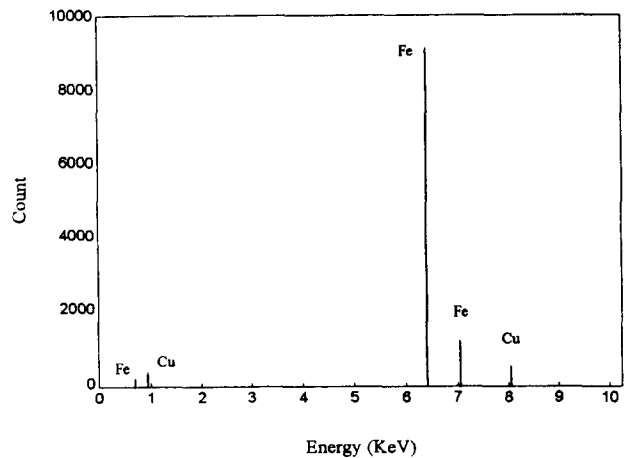


Fig. 2. Change of particle size by Cu ion diffusion



PEAK LISTING		
	Energy	Element
1	0.692	Fe
2	0.936	Cu
3	6.404	Fe
4	7.051	Fe
5	8.048	Cu

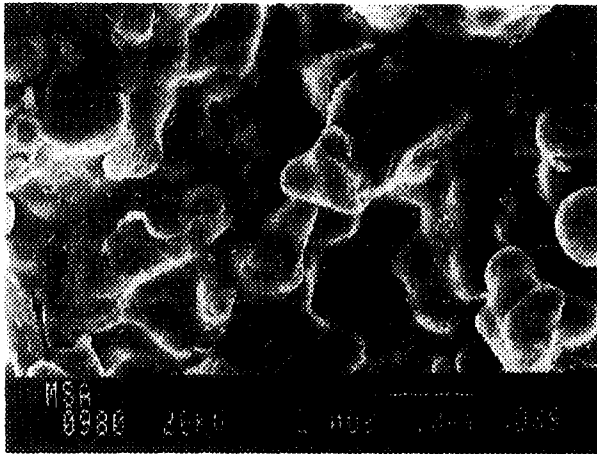
Fig. 3. Composition ratio of Cu ion diffused particles in MSA300 by EDX

일부 용해하여 입도가 감소함을 알 수 있었고 일반적으로 분말의 입자가 미세할수록 소결성이 우수해지므로 이 연구에서 실험한 부분확산합금강분은 사용된 순철분말 보다 입도가 감소될 뿐 아니라 부분확산된 합금강분에 부착된 Cu 금속의 입도는 더욱 미세하고, 균일하게 부착되어 있으므로 편석이 거의 나타나지 않을 뿐 아니라 성형성 및 소결성이 우수하리라 예측되었다.

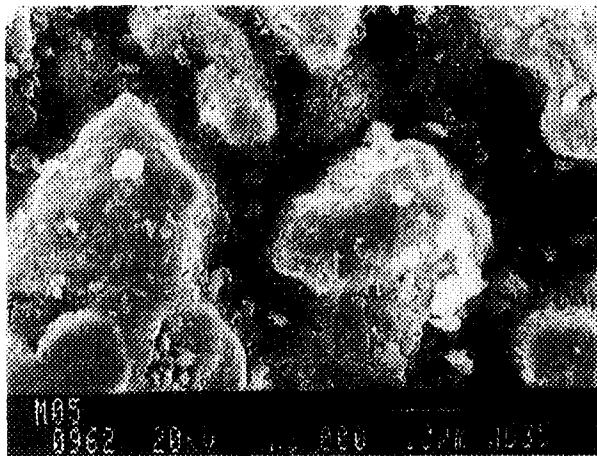
위와 같은 방법으로 실험했던 Ni와 Mo의 경우도 Cu의 경우와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Cu함량에 따른 소결체의 물리적 특성변화

그림 4은 ASC100과 MSA300에 Cu를 물리적으로 혼합한 prealloy와 MSA300에 Cu를 이온확산시켜 제조한 합금강분의 Cu함량에 따른 기계적특성을 나타낸 것이다.



(a) MSA300 (×2000)

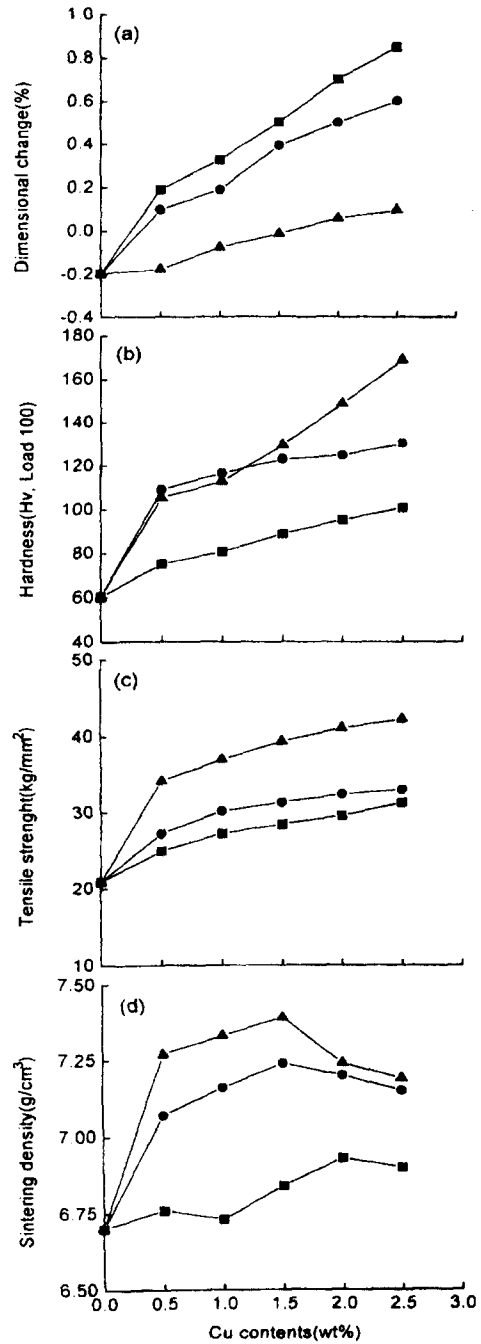


(b) MSA300-Cu 1wt% (×2000)

Photo 1. Photographs of MSA300 particles(a) and Cu ion diffused particles(b) by SEM

그림 4의 (a)는 Cu함량에 따른 die 치수에 대한 소결치수의 변화량을 나타낸 것으로 순철분인 ASC100, MSA300의 소결체는 약 0.18% 정도 감소하였으나 Cu의 함량이 증가됨에 따라 소결치수가 증가되어 1.50wt% Cu를 첨가시킨 ASC100, MSA300 prealloy의 소결치수는 각각 0.38%, 0.53% 증가하였고 2.50wt%를 첨가시킬 때 각각 0.64%, 0.83% 증가되었다. 그러나 본 연구에서 만든 부분확산합금강분의 소결체의 경우 Cu의 함량이 증가됨에 따라 소결체의 치수가 증가되나 증가율이 ASC100, MSA300에 비하여 매우 작았으며 Cu 1.50wt%를 첨가하였을 경우 소결체의 치수가 금형치수와 동일하였으며, Cu 2.50wt% 첨가하였을 때 치수의 증가율은 0.12% 정도였다. 이러한 현상은 본 연구에서 만든 부분확산합금 소결체는 치수변화가 매우 안정하므로 금형 설계 및 정밀제품의 제조에 커다란 효과가 있음을 확인하였다.

그림 4의 (b), (c)는 Cu함량에 따른 경도 및 인장강도의 변화를 나타낸 것으로 소결체의 경도 및 인장강도는 Cu의 함량이 증가할수록 커짐을 알 수 있었으며, 본 연구에 의한 부분합금강분의 소결체의 경도 및 인장강도가 더욱 우



Sintering Temp. : 1120°C

Sintering time : 40min

Carbon : 0.6wt%

Zinc stearate : 0.8wt%

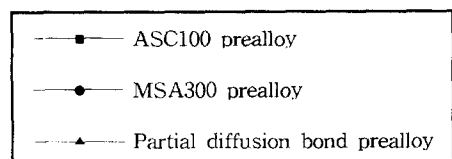


Fig. 4. Mechanical properties changes with the Cu contents

수하였다. 특히 경도특성에서 순철의 소결체의 경도가 Hv62에서 Cu함량이 증가함에 따라 월등하게 증가되었으며, 본 연구에서 제조한 부분확산합금강분의 소결체의 경우 경도가 Hv165로써 ASC100 및 MSA300 prealloy보다 경도가 2배정도 증가하였고, 순철분의 소결체에 비하여 3배정도로 증가하였다. 이러한 현상은 물리적 혼합에 의한 합금화 보다 부분확산에 의한 합금이 더욱 치밀하고 균일하기 때문이라 생각된다.

그림 4의 (d)는 Cu함량에 따른 소결밀도의 변화를 나타낸 것으로 소결체의 밀도는 Cu가 1.5wt%까지는 증가되다가 그 이상에서는 감소하였다. 이러한 현상은 Cu의 밀도가 Fe의 밀도 보다 커서 Cu의 첨가량이 증가될수록 밀도가 증가되나 Cu 1.5wt%이상에서는 치수의 증가로 인한 부피의 팽창으로 인하여 밀도가 감소된 것이라 예측된다.

이와 같이 Cu의 함량에 따른 물리적특성을 비교하여 볼 때 경도, 인장강도가 크면서도 치수변화가 거의 없는 Cu 1.50wt%의 첨가가 가장 효율적이라 판단되었다.

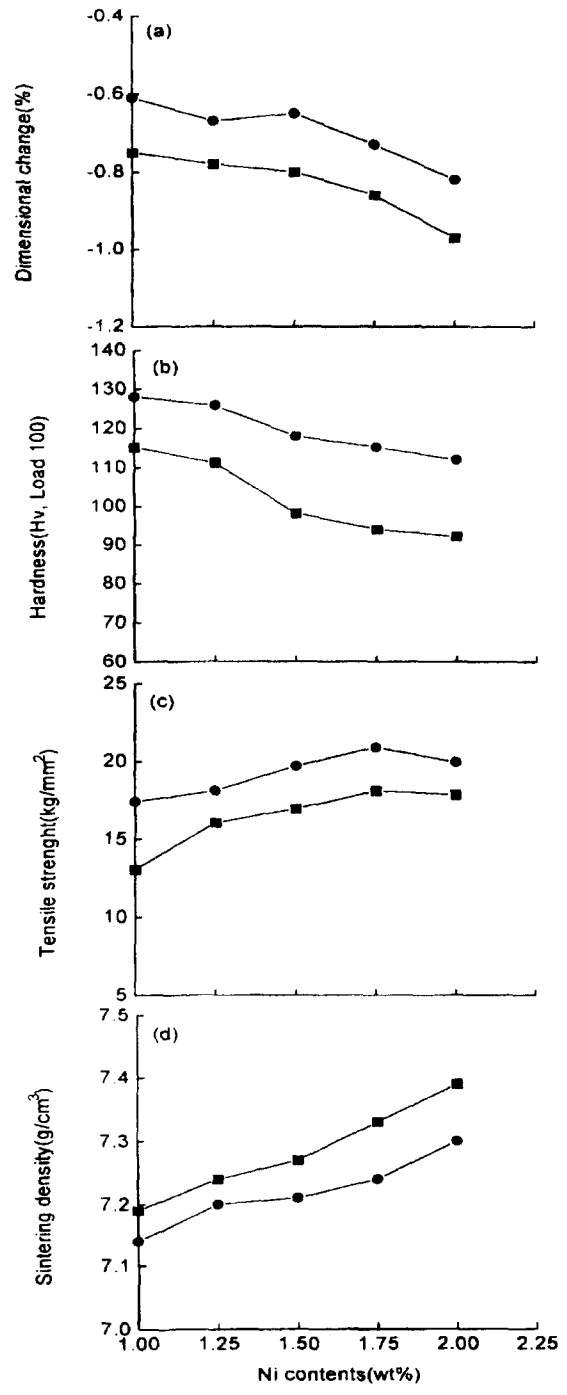
**Ni함량에 따른 소결체의 물리적 특성변화**

그림 5의 (a)는 Ni함량에 따른 소결체의 치수변화를 나타낸 것으로 1.00wt%를 첨가시킬 때 급격히 치수가 감소하였으며 그 이상일 때 약간씩 치수가 감소하는 현상을 보였다. 즉, 1.00wt%-MSA 부분확산합금강분의 소결체의 치수가 0.8%로 감소한데 비하여 1.00wt%-MSA prealloy 소결체는 0.6% 감소하였다. 이와 같이 부분합금강분의 소결체가 수축이 더 크게 일어나는 이유는 물리적 혼합에 의한 혼합체 보다 부분확산합금강분의 소결에서 합금화가 잘 일어나기 때문이라 생각된다.

그림 5의 (b)는 니켈함량에 따른 경도변화를 나타낸 것으로 경도특성은 Ni함량이 1.00wt%까지는 증가하였으나 그 이상의 함량에서는 다소 감소하는 현상이 나타났으며 1.50wt% Ni-MSA prealloy의 소결체인 경우 Hv125에 비하여 1.50wt% Ni-MSA 부분확산합금강분의 소결체의 경우 Hv95정도로 감소하였다. 이러한 현상으로 보아 prealloy보다 부분확산합금강분의 소결이 더욱 잘 일어나고 합금화가 잘 진행되어 인성이 큰 Fe-Ni합금성분이 증대되었기 때문이라 생각되며 이러한 합금화 현상은 1.00wt% 이상에서는 모두 잘 일어남을 알 수 있었다.

그림 5의 (c)는 Ni함량에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것으로 인장강도는 역시 Ni의 함량이 증가할수록 증가되었으며 Ni-MSA prealloy보다 Ni-MSA 부분확산합금강분의 소결체가 약간 감소하는 현상은 부분합금강분의 소결이 prealloy의 소결보다 더 잘 진행되어 Fe-Ni합금의 특성이 더욱 커지기 때문이라 예상된다.

그림 5의 (d)는 Ni함량에 따른 소결밀도의 변화를 나타낸 것으로 Ni함량이 증가할수록 밀도는 향상되었다. 즉, Ni-MSA prealloy 소결체에서 밀도는 Ni함량이 증가함에 따라 6.9g/cm<sup>3</sup>에서 7.27g/cm<sup>3</sup>로 증가되었으며, Ni-MSA 부분확산합금강분의 소결체는 7.18g/cm<sup>3</sup>에서 7.29g/cm<sup>3</sup>로 증가되었다. 이러한 현상은 Ni함량이 많을수록 소결성이 우수함을 알 수 있었으며, 특히 Ni-MSA prealloy보다



Sintering Temp. : 1120°C  
 Sintering time : 40min  
 Carbon : 0.6wt%  
 Zinc stearate : 0.8wt%

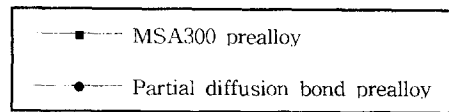


Fig. 5. Mechanical properties changes with the Ni contents

Ni-MSA 부분합금강분의 소결체의 밀도가 큰 것으로 보아 소결이 더욱 잘 일어나기 때문이라 생각된다.

이러한 Ni의 함량에 따른 소결체의 여러 특성으로 보아 치수변화의 안정성, 경도 및 인장강도 변화에 따른 Fe-Ni의 합금화 및 밀도의 증대로 인한 소결성을 종합적으로 판단할 경우 Ni의 함량을 1.75wt% 첨가시킬 때 가장 효율적이고 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

Mo함량에 따른 소결체의 물리적 특성변화

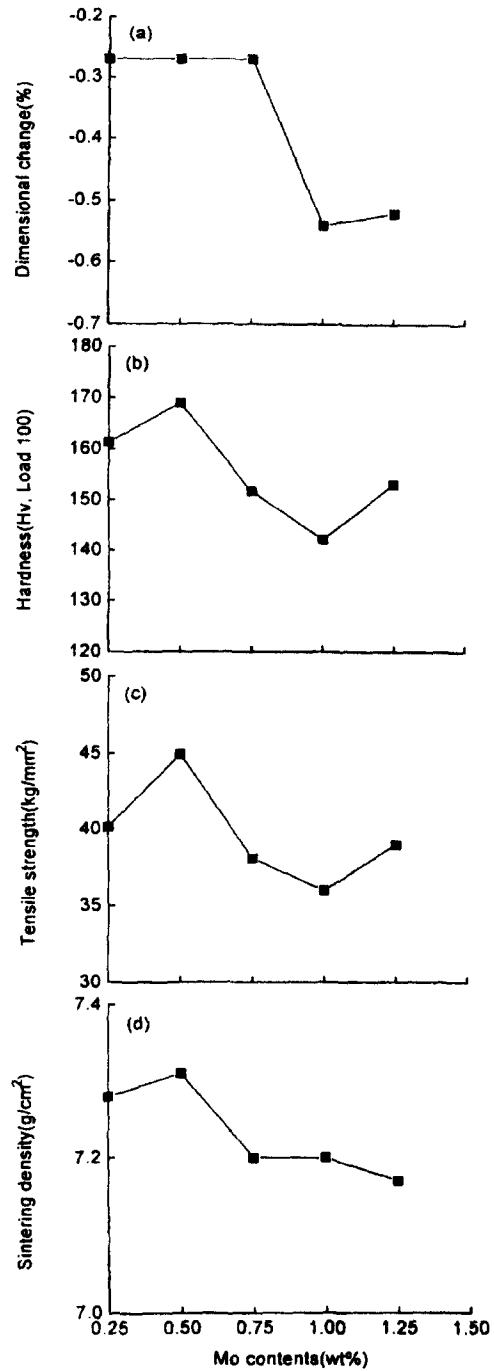
그림 6의 (a)는 Mo함량에 따른 소결체의 치수변화를 나타낸 것으로 Mo의 함량이 증가할 때 치수변화가 0.75 wt%까지는 0.25% 수축이 일어났으나 1.00wt%일 때는 급격히 감소하여 0.6%까지 수축되었다. Mo함량에 따른 경도의 변화를 나타낸 그림 6의 (b)를 보면 경도는 순철분에 비하여 급격히 증가하여 Mo 0.50wt%일 때 Hv170까지 증가하다가 그 이상에서는 오히려 감소하였다. 이러한 현상으로 보아 Fe에 Mo를 합금화 시킬 때, 확산 및 물질이동에 의한 합금화는 Mo가 0.50~0.75 wt% 이상에서는 합금화되지 않기 때문이라 생각되며 그 이상의 Mo첨가는 합금화가 이루어지지 않고 다만 혼합되어 있는 상태이기 때문에 치수가 급격하게 감소되고 경도 역시 감소된 것이라 예측된다.

그림 6의 (c)는 Mo함량에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것으로 인장강도 역시 Mo함량이 0.50wt%일 때 가장 크고 그 이상에서는 감소되는 현상으로 보아 Fe-Mo합금에서 Fe가 Mo를 함유할 수 있는 양은 0.50wt%가 최대가 된다는 것을 비교 확인할 수 있었다. 또한 그림 6의 (d)는 Mo함량에 따른 소결밀도의 변화를 나타낸 것으로 0.50wt%일 때 7.32g/cm<sup>3</sup>가 가장 크고 그 이상에서는 감소됨을 알 수 있었다.

이러한 Mo의 첨가량에 따른 소결체의 특성으로 보아 분말야금법에 이용할 수 있는 Mo의 함량은 0.50wt%가 최대임을 확인하였다.

Fe-Cu-Ni-Mo 부분합금강분의 소결체의 물리적 특성변화

그림 7은 순철(MSA300)에 Cu 1.50wt%, Ni 1.75wt%, Mo 0.50wt%를 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>염의 수용액으로 이온확산시킨 후 600℃, 1시간 동안 환원로에서 환원 및 확산시킨 Fe-Cu-Ni-Mo 부분확산합금강분과 스웨덴 Höganas사에서 수입되고 있는 부분합금강분(distalloy AB<sup>®</sup>)의 특성을 비교 검토한 것이다. 소결온도는 1080℃에서 1240℃까지 40℃간격으로 소결하였다. 그림 7의 (a)를 보면 소결치수는 1080℃에서는 약간 증가되었으나 1120℃부터는 점점 치수가 감소하였으며, 치수의 변화는 Fe-Cu, Fe-Ni, Fe-Mo합금강분에 비하여 크지 않았으며 특히 본 연구에서 제조한 합금강분은 1120℃에서 성형체에 대한 소결체의 수축율이 0에 가까웠고 distalloy AB<sup>®</sup>의 경우에는 1200℃에서 수축율이 0에 가까웠다. 따라서 본 연구에 의한 부분확산합금강분은 통상의 소결온도에서 고밀도, 고강도의 소결품을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 그림 7의 (b)는 소결온도에 따른 경도변화를 나타낸 것으로 경도변화는 1080℃부근에서 Hv200정도로



Sintering Temp. : 1120℃

Sintering time : 40min

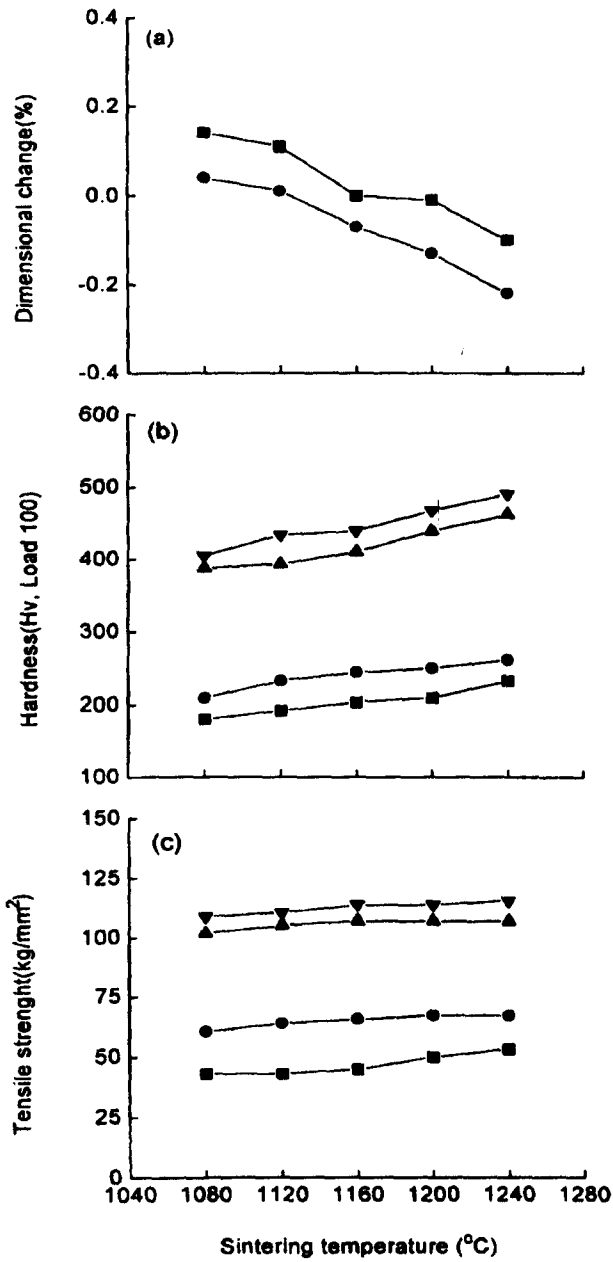
Carbon : 0.6wt%

Zinc stearate : 0.8wt%

■ Partial diffusion bond prealloy

Fig. 6. Mechanical properties changes with the Mo contents

나타났으며, 그 이상의 온도에서는 조직이 더욱 치밀해질 뿐, 경도의 증가는 별로 크지 않았다. 같은 소결 온도에서



Sintering time : 40min  
Carbon : 0.6wt%  
Zinc stearate : 0.8wt%

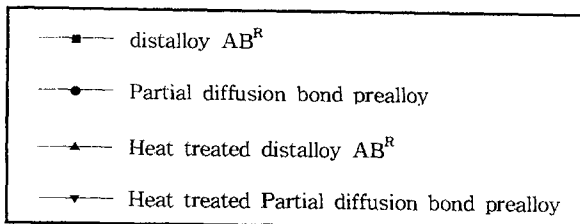
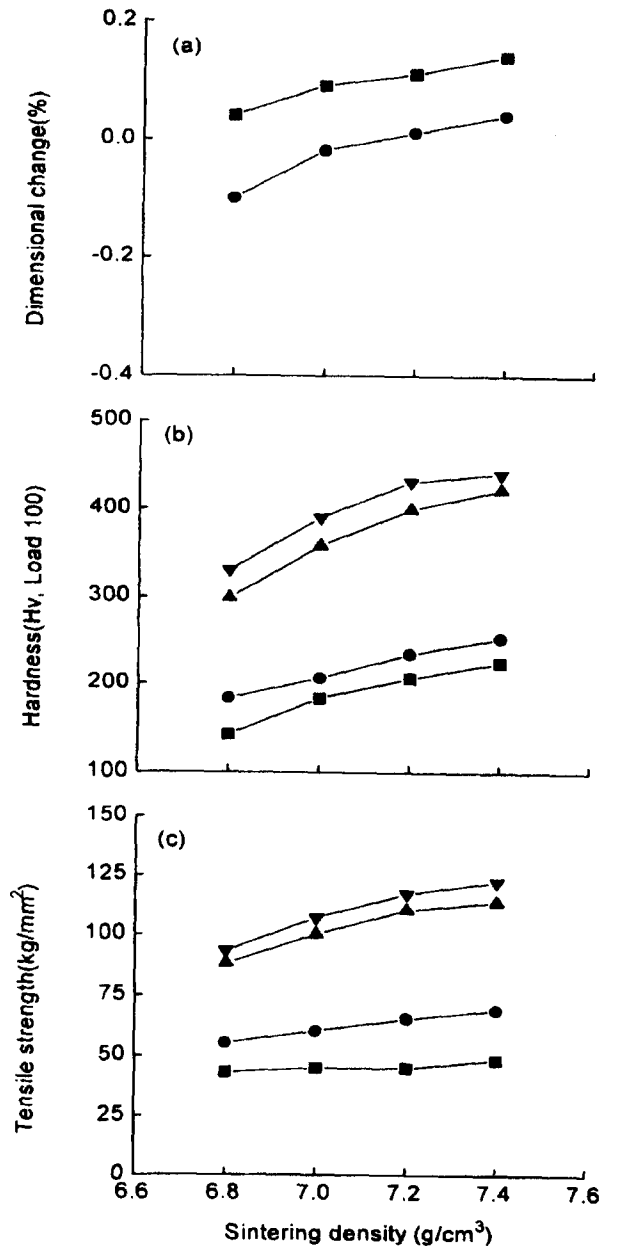


Fig. 7. Mechanical properties changes with the sintering temperature

경도의 크기는 distalloy AB<sup>®</sup> 보다 본 연구에서 제조한 소결체가 Hv20~30 정도 더 컸다.



Sintering Temp. : 1120°C  
Sintering time : 40min  
Carbon : 0.6wt%  
Zinc stearate : 0.8wt%

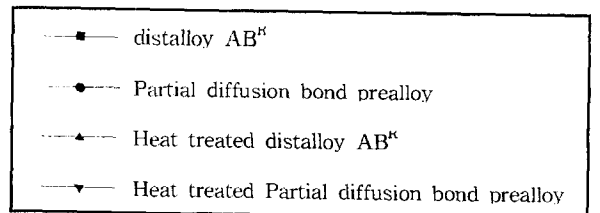


Fig. 8. Mechanical properties changes with the sintering density

그림 7의 (c)는 소결온도에 따른 인장강도변화를 나타낸 것으로 전술한 경도와 유사한 경향을 보이고 있는 바, 소결 온도 변화에 따른 인장강도의 차이는 별로 크지 않았으며,

같은 소결온도에서 distalloy AB<sup>®</sup>보다 본 연구에서 제조한 소결체가 15~20kg/mm<sup>2</sup>가 더 큼을 알 수 있었다. 또한 distalloy AB<sup>®</sup>의 소결체와 본 연구의 부분확산합금강분의 소결체를 로(爐) 중에서 프로판가스와 공기를 적절히 혼합하여 불완전연소시켜 850~950℃로 가열하여 가스침탄 열처리를 하여 본 결과 경도가 Hv400~450정도로 거의 2배 정도 증가하였으며 인장강도 역시 2배정도 증가함을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 순철의 침탄에 의한 탄소강보다 Cu, Mo를 함유한 합금강의 침탄효과가 더욱 우수함을 알 수 있었다. 특히 열처리에 의한 고경도의 소결부품을 얻을 수 있는 현상은 고밀도, 고강도의 특성과 함께 더욱 우수하고 품질이 향상된 소결부품을 제조할 수 있을 뿐 아니라 성형성이 순철분과 비슷하면서도 평상의 소결온도에서 소결할 수 있다는 점으로 보아 보다 경제적이고 우수한 품질을 갖는 소결부품을 얻을 수 있어 이에 대한 공업적 제조에 크게 기여되리라 확신되었다.

그림 8은 1120℃, 40분간 소결시킬 때 소결체의 밀도에 따른 여러 가지 소결특성을 나타낸 것이다. 밀도의 조절은 성형을 할 때 성형압의 변화로 밀도를 증가시켰다. 그림 8의 (a)를 보면 밀도가 6.8의 소결체는 치수가 감소하였으며 밀도가 증가될수록 약간 증가되었으나 밀도의 차이에 비하여 치수의 변화가 거의 없었으므로 치수가 정밀한 부품제조에 매우 효과적임을 알 수 있었다. 또한 그림 8의 (b)를 보면 경도 역시 밀도가 클수록 증가되었으나 밀도의 변화에 큰 영향을 받지 않았다. 또한 인장강도를 나타낸 그림 8의 (c)를 보면 경도의 경우와 유사한 경향을 보였다. 이러한 현상으로 보아 밀도가 7.0~7.2일때의 특성이 가장 양호함을 확인할 수 있었으며, 일반 철계의 6.8~7.0의 밀도를 갖는 철계의 밀도를 크게 벗어나지 않으므로 통상의 소결로 및 통상의 철계 성형기를 사용하면서도 우수한 특성을 갖는 소결체를 얻을 수 있다는 장점을 확인하였다.

본 연구에서 제조한 Fe-Cu-Ni-Mo 부분확산합금강분의 소결특성과 Höganäs사에서 수입한 부분확산합금강<sup>24)</sup>(distalloy AB<sup>®</sup>)을 비교분석하여 본 결과 Mo의 함량은 0.50wt%로 서로 같았으며, Cu의 함량은 2.30wt%, Ni의 함량은 1.50wt%로 거의 비슷하였으나 어떠한 방법으로 부분확산 시켰는지는 확인할 수가 없었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 시행한 Cu, Ni, Mo 수용액의 이온확산 및 치환에 의한 부분확산합금강분의 제조 및 성형 소결특성에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 순철분말에 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O의 염을 이용하여 이온확산시킨 결과 균일한 확산이 이루어졌으며, 입도분포가 감소됨을 알 수 있었다.

2) Cu, Ni, Mo염의 수용액으로 Fe분말을 부분확산시키고 600℃에서 환원시켜 소결하여 제조된 부분확산합금강분은 편석이 전혀 일어나지 않아 물리적으로 혼합한 prealloy보다 경도 및 인장강도가 우수하였다.

3) 부분확산합금강에서 Cu 1.50wt%가 첨가되었을 때 경도 및 인장강도가 우수하면서 치수의 변화가 없었고, Ni 1.75wt%가 첨가되었을 때 소결 및 Fe-Ni의 합금화가 잘 일어났으며, Mo 0.50wt%까지 철이 함유되었고, 경도가 Hv173으로 가장 컸다.

4) Fe-Cu 1.50wt%-Ni 1.75wt%-Mo 0.50wt%의 부분확산합금강분을 제조하고 특성을 조사한 결과 성형성이 우수하고 통상의 소결온도에서 소결할 수 있었으며, 소결치수가 매우 안정하고 소결밀도가 7.00일 때 경도가 Hv 230 정도였으며, 열처리한 후의 경도는 Hv400정도로 대단히 양호한 결과를 얻었다.

5) Höganäs사의 distalloy AB의 부분확산합금강분의 특성에 비하여 본 연구제품이 치수가 더욱 안정하고 낮은 소결온도에서 소결이 가능하고 강도가 우수하였다.

#### 참 고 문 헌

1. R.L. Sands, "Practice and application in powder metallurgy", CRC press, pp. 117~136, 1966
2. H.H. Hausner, "Hand book of powder metallurgy chemical publication", New York, 1973.
3. "Iron powder NC100.24 report", Höganäs corporation, PM 78-1, 3, 85-2
4. P. Lindskog, "The effect of phosphorous additions on the tensile, fatigue, and impact strength of sintered steels based on the sponge iron powder and high-purity atomized iron powder", Powder metallurgy, Vol. 16, No. 32, 1973
5. D.J. Hodkin, J.S. Pollock and W. Sutcliffe, Powder metallurgy, Vol. 19, No. 1, 1976
6. S. Kachi, "Recent trends of powder metallurgy production and research in Japan", Mordern developments in powder metallurgy, Vol 1, pp. 125~143, 1966
7. N.C. Kothar, "Effect of nickel addition copper alloys prepared by P/M", Mordern developments in powder metallurgy, Vol 7, pp. 585~596, 1973
8. J.M. Copus and A. Maaref, "Influence of copper and carbon levels on the heat-treatment and properties of high purity iron powder", Mordern developments in powder metallurgy, Vol 8, pp. 61~74, 1973
9. Shiro Kohara and Kiyohiko Tatsuzawa, "메기 분말을 이용한 Fe-Cu압분체의 소결현상", 일본금속학회, 1982
10. 문인형, 윤덕용, 이방식, "분말야금학", 희중당, pp 37~39, 1994
11. P.J. Anderson and J.S. Hirschhorn, "Use of additives to improve the machinability of sintered steels", Mordern developments in powder metallurgy, Vol 10, pp. 477, 1977
12. 新戶製鋼, "アトメル 技術資料", 300M 編