

Fe-Cu-Sn계 압분체의 소결성 향상

김윤체

삼척대학교 금속공학과

Improvement in Sinterability of Iron-Copper-Tin Compact

Youn Che Kim

Department of Metallurgical Engineering, Samchok National University,
Smachok 245-080, Korea

(Received January 18, 2000)

Abstract In order to reduce the sintering temperature of iron based sintered parts, sintering properties of iron-copper-tin compact using iron-copper prealloyed powder were investigated at various temperatures in the range of 700~890 °C, and then the results were compared with those of the conventional iron-copper-tin compact using elemental powders. The using of prealloyed powder as a new process improved its sintering performance at lower temperature than elemental powder as the conventional process. The relative sintered density and radial crushing strength of the compact using prealloyed powder were higher than those of using elemental powder at all sintering temperature. For example, the radial crushing strength of the compact using prealloyed powder was about 50 kg/mm² at 700 °C, while that of the compact using elemental powder sintered at 890 °C was 43 kg/mm².

1. 서 론

금속분말을 제품의 형상으로 압축, 성형한 압분체에 기계부품으로서 필요한 기계적 및 물리적 특성을 부여하기 위한 소결은 그 온도가 낮을수록 소결로의 관리가 용이할 뿐만 아니라 소결품의 제조비를 크게 절감할 수 있다.¹⁾ 이와 같은 관점에서 Fe계 압분체의 소결온도를 낮출 목적으로 Fe분말에 Cu분말과 Sn분말을 첨가한 Fe-Cu-Sn계의 소결성에 관한 연구가 검토되었다.²⁻⁴⁾ 그 결과 900~950 °C의 비교적 낮은 온도에서 소결한 Fe-Cu-Sn계 소결체는 종래의 1150 °C에서 소결한 Fe-Cu계 소결체보다 양호한 기계적 특성을 얻을 수 있었다. 또 종래의 Fe에 Cu 및 Sn을 첨가한 혼합분말을 사용할 경우보다 Fe-Cu계의 합금분말에 소량의 Sn분말을 첨가한 혼합분말을 사용할 경우는 약 900 °C 이하의 낮은 소결온도에서도 양호한 기계적 특성을 보일 것으로 기대되었다.⁵⁾

따라서 본 연구에서는 수분무(water atomizing)법

으로 제조한 Fe-Cu계 합금분말에 Sn분말을 첨가한 Fe-Cu-Sn계 압분체의 소결온도에 따른 제성질의 변화를 종래의 Fe에 Cu 및 Sn을 첨가한 경우와 비교, 검토하되로서 그 소결성을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1. Fe-Cu계 합금분말 제조

표 1에 표시한 화학성분을 갖는 Fe scrap (SAE1008)과 순도 99.9%이상의 전기등을 고주파 유도로에서 용해한 다음, 용탕 온도 약 1600 °C에서 tundish에 tilting하여 수압 약 70bar, 수량 약 270 lpm로 수분무한 후, 탈수 및 건조하는 방법으로 Fe-Cu계 합금분말을 제조하였다. 이 경우, 합금의 조성은

Table 1. Chemical composition of raw material

Scrap (SAE1008)	Chemical composition (wt%)						
	C	Si	Mn	P	S	N	O
	0.030	0.02	0.20	0.012	0.008	0.007	0.002

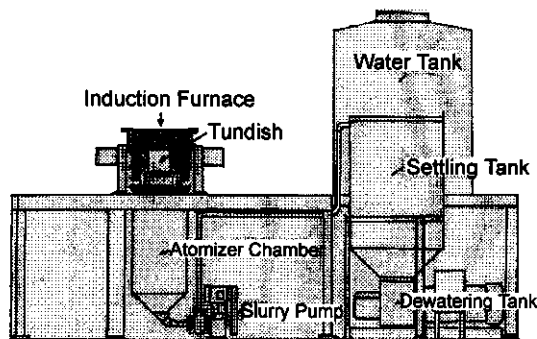


Fig. 1. Schematic depiction of water atomizing equipment.

Fe-Cu계 평형상태⁶⁾로부터 Fe-8 wt%Cu가 되도록 용해 전에 원료를 배합하였으며, 수분무 후 합금분말의 환원을 용이하게 할 목적으로 소량의 탄소(carbon)를 첨가하였다. 합금분말 제조에 사용한 수분무 장치의 개요를 그림 1에 도시하였다.

전술한 방법으로 제조된 합금분말은 수분무시 생성된 산화물을 제거할 목적으로 이슬점(dew-point)이 약 -40°C 인 수소 분위기중 약 1000°C 에서 약 30분간 환원처리하였다. 환원처리 후의 합금분말은 환원처리시 소결현상으로 인해 분말입자들이 상호 응집되어 있어 밀링(milling)한 후 원료분말로 사용하였다.

2.2. 원료배합, 성형 및 소결조건

원료분말은 수분무 Fe-Cu계 합금분말을 주 원료분말로, 가스분무 Sn 분말[福田箔粉工業(株)製, Sn-At-200]을 첨가분말로 각각 사용하였다. 또 종래의 실험결과와 비교, 검토하기 위해 환원철분[川崎製鐵(株)製, KIP255M]을 주 원료분말로, 전해 Cu분[福田箔粉工業(株)製, CE-15], 가스분무 Sn 분말[福田箔粉工業(株)製, Sn-At-200]도 사용하였다. 주 원료분말의 화학성분을 표 2에 표시하였다.

분말의 입도는 주 원료분말을 -100mesh , 첨가분말 및 혼합용 분말은 모두 -350mesh 로 분급한 미분을 사용하였다. 분말의 배합조성은 표 3에 표시한바와 같이 Cu의 함유량을 7.20 wt%으로 일정히 하여 이

Table 3. Chemical composition of green compacts (wt%)

Sample	Raw material powder				Cu:Sn
	(Fe-7.20Cu)*	Fe	Cu	Sn	
(Fe-7.20Cu)-1.80Sn	Bal.	-	-	1.80	80:20
Fe-7.20Cu-1.80Sn	-	Bal.	7.20	1.80	

* Fe-Cu prealloyed powder

전의 결과³⁾로부터 Cu와 Sn의 배합비가 80:20가 되도록 주 원료분말에 첨가분말을 각각 혼합하였다. 각 혼합분말들은 압분 밀도비가 약 80%인 bearing type($\phi 6 \times \phi 12 \times 5\text{ mm}$)의 압분체를 성형압 3~4 tf/cm²으로 압축 성형하여 작성하였다. 이와 같은 방법으로 작성한 압분체는 이슬점(dew-point)이 약 -40°C 이고 유량이 약 0.7l/min인 수소기류 중에서 승온속도 약 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 $700\sim 890^{\circ}\text{C}$ 의 각 소결온도까지 가열하여 약 30분간 유지한 후, 냉각속도 약 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 실온까지 냉각시키는 방법으로 소결체를 작성하였다. 각 소결체에 대해서는 치수변화, 밀도비, 압환강도, 현미경 조직관찰, 미소부 X선회절(MDG) 등을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. Fe-Cu계 합금분말의 성질

제작한 Fe-Cu계의 합금분말의 외형과 그 단면조직을 그림 2에 나타냈다. 분말의 외형은 대체로 불규칙한 형상의 분말이 많았으며, 동일한 방법으로 제작한 순 Fe분의 외형⁷⁾과 큰 차가 없었으나 -325mesh 의 미분에는 구형분말[그림 2(A)]이 $+200\text{mesh}$ 의 분말에 비해 많이 관찰되었다. 단면조직은 일반 분말+야금용 수분무 철분 조직에 유사한 크기의 결정립이었으나 암회색(暗灰色)의 Fe-Cu 합금상⁸⁾인 다결정을 보였다. 또 수분무 후 환원처리시 냉각과정에서 석출된 것으로 사료되는 미세한 ϵ 상의석출물들이 주로 결정입내에 산재하였다. 한편, 합금분말의 미소경도는 약 180 Hv전후였으며, 이는 순철분의 80~100 Hv에 비해 다소 높은 정도치로써, 주로 Cu의 고용에 기인한 것

Table 2. Chemical analysis result of the main raw material powders

Main raw material powder	Chemical composition (wt%)							
		Fe	Cu	C	Si	Mn	P	S
Prealloyed iron-copper powder (Fe-7.20Cu)	Bal.	7.20	0.002	0.01	0.08	0.005	0.004	
Reduced iron powder KIP-255M	Bal.	-	0.01	0.02	0.21	0.055	0.007	

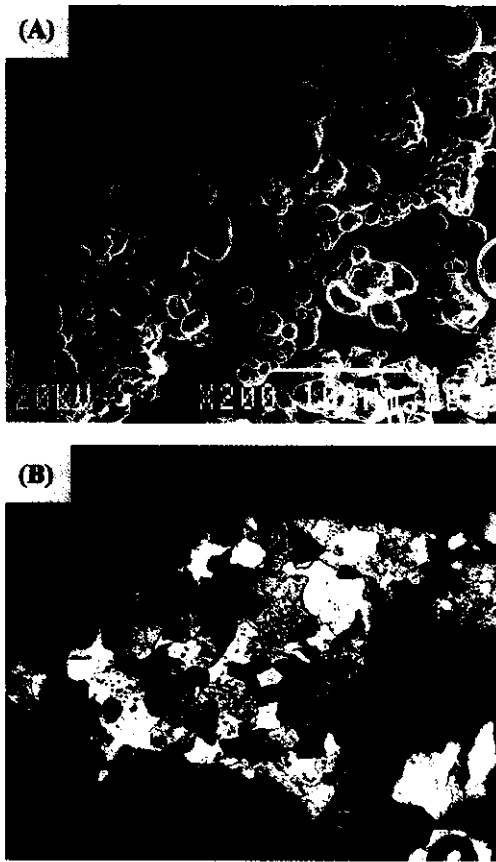


Fig. 2. SEM micrograph of external appearance(A) and optical micrograph of cross section(B) of Fe-Cu prealloyed powder.

으로 사료된다.

합금분말의 화학성분은 표 2에 표시한 바와 같이 Cu 성분을 제외한 불순물은 표 1에 표시한 원료 scrap의 성분보다 약간 적은 결과를 보였으나, 이는 주로 환원과정에서 개선된 것으로 사료된다. Cu 성분은 용해 전에 원료 scrap에 대해서 약 8 wt%가 되도록 배합하여 수분무하였으나 환원처리 후의 분말을 분석한 결과 약 7.20 wt%Cu로 감소하였다.

3.2. Fe-Cu-Sn계 소결체의 제성질

그림 3에 Cu 함유율이 약 7.20 wt%인 Fe-Cu계 합금분말에 Sn분말을 1.80 wt% 첨가한 Fe-Cu-Sn계 소결체의 제성질에 미치는 소결온도의 영향을 표시하였다. 또 이 경우와 동일한 화학조성이 되도록 Fe, Cu 및 Sn의 각 분말을 혼합한 즉 종래의 방법으로

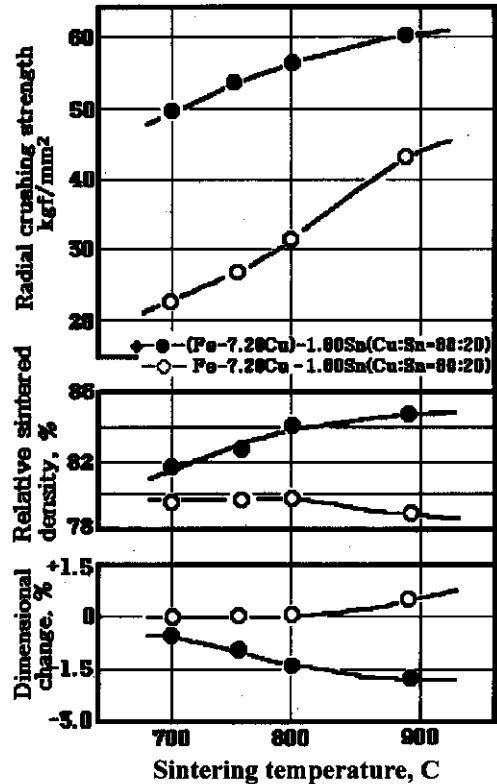


Fig. 3. Effect of sintering temperature on dimensional change, relative sintered density and radial crushing strength of Fe-Cu-Sn compact.

제작한 Fe-Cu-Sn계 소결체의 제성질도 병기하여 비교, 검토하였다.

먼저 Fe-Cu계 합금분말에 Sn분말을 첨가한 경우의 치수변화와 소결 밀도비는 소결온도가 상승함에 따라 수축하여 상승하였으며, 또 압환강도도 소결온도가 상승함에 따라 700 °C의 약 50 kgf/mm²에서 890 °C의 약 60 kgf/mm²로 향상되었다.

이에 비해 Fe, Cu 및 Sn 혼합분말의 경우, 치수변화와 소결 밀도비는 소결온도 약 750 °C까지는 거의 일정치를 보였으나, 약 800 °C 이상의 온도영역에서 팽창하여 밀도비가 저하였다. 또, 압환강도는 소결온도가 상승함에 따라 700 °C의 약 23 kgf/mm²에서 890 °C의 약 43 kgf/mm²로 향상되어 종전의 연구결과와 일치하였다.³⁾

즉 Cu함유율이 7.20 wt%인 Fe-Cu계 합금분말에 Cu : Sn비가 80 : 20이 되도록 Sn분말을 1.8 wt% 첨가한 소결체는 모든 소결온도에서 종전의 Fe, Cu 및

Sn의 혼합분말을 사용한 소결체보다 높은 압환강도를 보였으며 특히 원료분말의 첨가 방법에 따른 강도의 차이는 저온일수록 현저하였다. 예를 들면 소결 온도 약 700 °C에서 합금분말을 사용한 소결체의 압환강도는 약 50 kgf/mm²로서 혼합분말을 사용한 소결체의 압환강도 약 23 kgf/mm²의 2배 이상의 강도일 뿐만 아니라 그 최대치인 890 °C의 약 43 kgf/mm²보다 높다.

그림 4는 합금분말과 혼합분말을 사용한 각 소결체의 단면조직을 비교한 것이다. 합금분말을 사용한 경우(A)는 합금분말로 구성된 skeleton은 암회색(暗灰色)을 띄고 있으며, 그 결합부와 기공부 주위에는 Cu-Sn합금으로 추정되는 합금(백색부분)이 둘러 쌓인

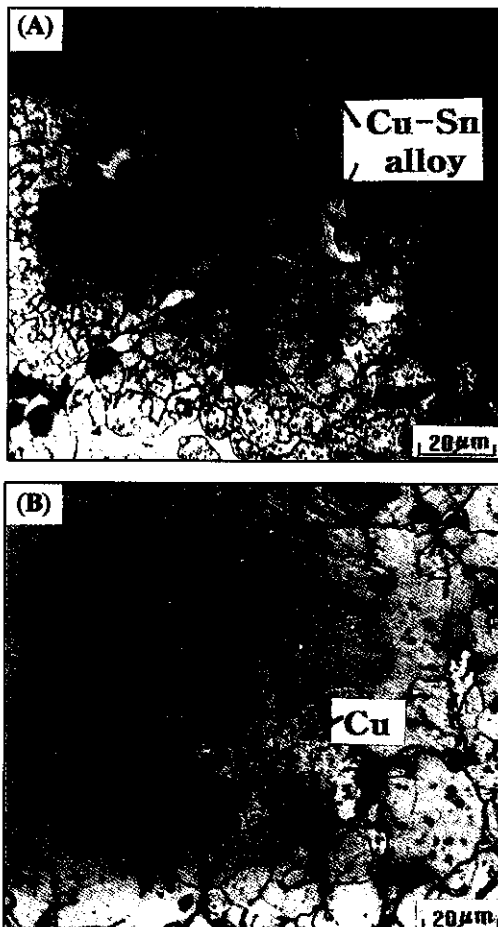


Fig. 4. Microstructure of Fe-7.20Cu-1.80Sn compacts sintered at 700°C for 30min. (A) used Fe-Cu prealloyed powder (B) used premixed powder.

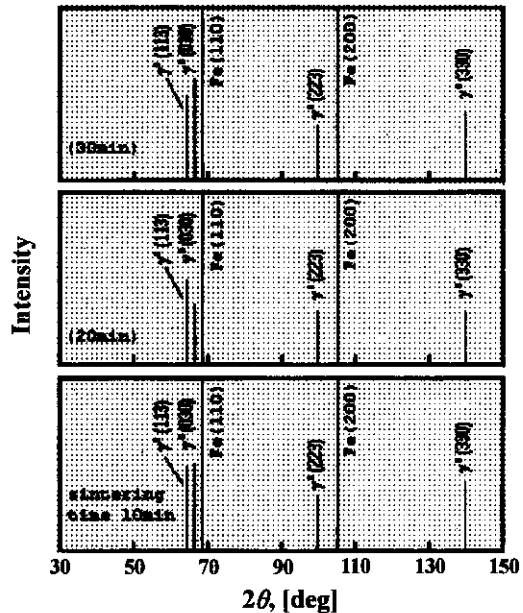


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of (Fe-7.20Cu)-1.80Sn compacts sintered at 700°C for 10, 20 and 30min.

조직을 보였다. 이에 비해 혼합분말을 사용한 경우 (B)는 순 Fe분으로 구성된 skeleton은 회색을 띄고 있으며, 그 분말간에는 Sn과 미 반응한 전해동분(백색부분)이 잔재한 조직을 보였다.

그림 5는 합금분말을 사용한 소결체의 단면조직[그림 4의 (A)]중의 백색부분 즉 Cu-Sn 합금부 주위를 미소부X-선회절장치(PSPC-MDG)로 분석한 결과이다. 이 결과에 의하면 이 합금 상은 Cu-Sn 계의 γ 상였으며, 이는 약 520 °C 이상의 고온 영역에서 존재하는 γ 상이 급냉으로 변태한 준안정상⁹⁾이다. 이 γ 상은 소결시간 10분에서도 이미 출현한 점으로 보아 그 합금의 농도는 Cu-40 wt%Sn 정도이거나 그 이상의 Cu-rich 상일 것으로 사료된다.

Fe-Cu계 합금분말을 사용한 소결체가 낮은 소결온도에서도 높은 압환강도를 보였던 것은 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉 Fe-Cu계 합금분말에 Sn분말을 첨가한 Fe-Cu-Sn계 압분체를 가열하면, 먼저 용점이 가장 낮은 Sn이 그 용점 약 232 °C에서 액상이 되어 가열온도의 상승과 더불어 skeleton을 구성하고 있는 Fe-Cu계 합금분말 표면을 wetting하게 된다. Sn액상의 Fe와 Cu 고상 표면에 대한 wettability는 연구보고에 의하면,^{4,10)} Sn액상의 Fe고상 표면에 대한 접촉각 θ 는 400 °C이상에서는 약 30 °이하이며,

Cu고상 표면에 대한 θ 는 약 300°C이상에서는 30°이하이다. 따라서, Sn액상의 Fe-Cu계 합금 고상에 대한 θ 값도 약 400°C이상에서는 약 30°정도로 추정되므로 그 wettability도 상당히 양호할 것으로 기대된다. 한편 금속의 확산계수는 예를 들면 약 700°C에서는 Sn의 α -Fe중의 확산계수는 약 $3.82 \times 10^{11} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 매우 낮으나 Sn중의 Cu 확산계수는 $3.47 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{s}$ 로 매우 높다.¹¹⁾ 또 Fe-Cu계의 평형상태에 의하면, 공석온도 850°C이하에서는 α -Fe중의 Cu의 고용도는 약 1.0%이하이기 때문에 이 온도영역에서는 Fe-Cu계 합금분말중의 Cu는 대부분 석출하게 될 것이다. 따라서 Fe-Cu계 합금분말에 Sn분말을 첨가한 Fe-Cu-Sn계 압분체를 가열하면, 먼저 Sn이 그 용점 약 232°C에서 용융되어 액상이 되나 약 400°C이상에서 skeleton을 구성하고 있는 Fe-Cu계 합금분말의 표면에 wetting하게 된다. 또 약 700°C까지의 가열과정에서 Fe-Cu계 합금분말은 그 표면에 과포화로 석출된 Cu가 Sn액상으로 용해되어 Cu-Sn계 액상이 형성되나 이 액상은 표면장력에 의해 skeleton의 neck부위에 존재하게 된다. 또, Cu-Sn계 액상의 형성과정 즉 합금분말 내부에 과포화로 석출된 Cu가 Sn에 합금화 되는 과정에서 Cu의 이동은 합금분말 내부에 많은 공격자점을 형성하게 되어 소결을 촉진시키게 된다. 그 결과 Fe-Cu계 합금분말로 구성된 skeleton은 수축하여 밀도비가 향상되게 된다. 따라서 소결체는 약 700°C의 매우 낮은 소결온도에서도 수축하여 밀도를 향상시킬 뿐만 아니라 neck부의 강도가 Cu-Sn합금으로 보강되어 높은 압환강도를 보인 것으로 사료된다.

4. 결 론

Fe계 소결체의 소결온도를 저하시킬 목적으로 Fe-Cu계 합금분말에 소량의 Sn분말을 첨가한 Fe-Cu-Sn계 소결체의 제성질과 비교, 검토하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Fe-Cu계 합금분말에 Sn을 첨가한 (Fe-7.20Cu)-1.80Sn계 압분체를 약 700°C에서 30분간 소결한 소결체의 압환강도는 약 50 kg/mm²였으며, 890°C에서 30분간 소결한 소결체의 강도는 약 60 kg/mm²였다.

2. 종래의 방법인 혼합분말을 사용한 Fe-7.20Cu-1.80Sn계 압분체를 약 700°C에서 30분간 소결한 소결체의 압환강도는 약 23 kg/mm²였으며, 890°C에서 30분간 소결한 소결체의 강도는 약 43 kg/mm²였다.

이상의 결과로부터 Fe-Cu계 합금분말을 사용한 경우는 종래의 경우보다 약 200°C나 낮은 약 700°C의 저온 소결에서도 보다 양호한 기계적 성질을 얻을 수 있으며, 이는 Fe계 압분체와 Cu계 압분체를 동일한 소결로에서 관리할 수 있다는 이점이 있다.

감사의 글

본 논문은 1999년도 삼척대학교 학술연구비에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 粉末冶金工業會: 粉末冶金工業の省資源エネルギー對策調査報告書, (1975), 45.
2. S. K. Barua, D. A. Ainsworth and D. A. Robins: Metallurgia, **80** (1969) 87.
3. 金胤彩, 渡邊尙: 粉体および粉末冶金, **32** (1985) 111.
4. 金胤彩, 渡邊尙: 粉体および粉末冶金, **33** (1986) 306.
5. 渡邊尙, 金胤彩, 岩律修: 特許, 公告番號 特公平7-91615
6. 日本金屬學會: 金屬データブック, (1984) 463.
7. 김윤채: 열처리학회지, **1** (1996) 62.
8. 渡邊尙: 鑄物報告, **18** (1966) 28.
9. ASM: Metals Handbook(8th), Vol. 8, 299.
10. 金胤彩, 渡邊尙: 粉体および粉末冶金, **33** (1986) 127
11. L. A. Gilifaco, 北田譯: 入門結晶中の原子の擴散, 共立 (1980), 178.