

Fe - Cu - C 계 성형체의 소결중 치수변화에 관한 연구
 (A Study on the Dimensional Changes During Sintering
 of Iron - Copper - Carbon Compacts)

대우중공업주식회사 고 정

Fe-Cu-C계 소결합금은 강도/가격비가 높아 자동차를 비롯한 가정용 및 산업용기계부품의 제조에 가장 널리 사용되고 있다. 이 합금은 C에 의한 강화와 Cu에 의한 석출경화효과외에 소결과정중의 Cu-rich 천이액상에 의한 Interparticle Bonding을 향상시키고 기공을 구형화하는 소결촉진효과도 기대할수 있다. 기계부품에 대한 높은 치수정밀도가 요구되면서 이 합금의 소결치수거동에 관한 관심이 증대되었고, 특히 Fe 또는 Fe-C에 첨가된 Cu에 의한 소결과정중의 치수팽창(Swelling)현상이 연구의 초점이 되어왔다. 본 연구에서는 Fe-Cu-C계 합금의 분말특성 및 주요 제조공정변수가 소결치수변화에 미치는 영향을 조사하고 그 Mechanism을 고찰하였다.

실험에 사용된 각 분말들의 특성은 Table 1과 같다. 칭량된 분말은 Turbula Mixer에서 20분간 혼합하였고, 유압프레스를 사용하여 직경이 12.5mm인 실린더형상으로 성형하였다. 성형체는 550℃에서 60분간 Delubing하고 1120℃에서 60분간 50%H₂/50%N₂ 분위기중에서 소결하였다. 치수변화율은 성형체와 소결체를 측정된 치수로부터 계산하였다. 소결의 초기단계에서 형성된 액상이 치수변화에 미치는 영향을 살펴보기위해 액상이 형성되기 직전과 형성되기 직후의 온도에서 상온까지 Quenching하여 미세조직을 관찰하였다. 또 Vertical Type의 Dilatometer를 이용하여 소결의 전 Cycle중의 치수변화를 1분간격으로 측정하였다.

Element	Grade	Vendor	Fabrication	Mean Particle Size (μm)	BET Surface Area (m^2/g)	Oxygen Content (%)
Fe	A1000B	Hoeganaes	Water-atom.	68	0.10	0.088
	A1000C	Hoeganaes	Water-atom.	89	0.065	0.077
	P100	Pyron	Hydrogen-red.	69	0.22	1.26
	D63	Pyron	Hydrogen-red.	96	0.15	0.64
Cu	2000	Alcan	Gas-atomized	3.3	0.38	-
	635	Alcan	Water-atom.	14	0.12	-
	301	Alcan	Water-atom.	29	0.26	-
	150RXH	SCM	Hydrogen-red.	59	0.29	-
Graphite	1651	Southwest	Synthetic	8	-	-

Table 1. Characteristics of iron, copper, and graphite powders used in the study.

Atomized 철분말을 사용한 성형체는 소결중 팽창하였고 Reduced 철분말을 사용한 성형체는 수축하였다. Atomized 철분말을 사용한 경우에는 Fe 또는 Fe-C에 Cu첨가량을 증가시킴에 따라 6%Cu까지는 치수팽창율이 거의 직선적으로 증가하였고 그 이후에는 10%Cu까지 완만하게

증가하였으며, Reduced 철분말을 사용한 경우에는 Cu의 첨가가 치수변화에 큰 영향을 미치지 않았다. Atomized 철분말을 사용한 경우에 Graphite는 Cu에 의한 치수팽창을 크게 억제하여 Fe-10%Cu는 약 3.5%가 팽창한 반면 Fe-10%Cu-0.8%C은 약 0.7%가 팽창한 것으로 나타났으며 C첨가량이 증가할수록 팽창율이 감소하였다. Cu분말은 입도가 커질수록 성형체의 치수변화가 감소시키는 것으로 나타났다. 분말의 Oxygen Content도 치수변화에 영향을 미치는데 Oxygen Content가 높을수록 Atomized 철분말의 경우에는 치수팽창을, Reduced 철분말의 경우에는 수축을 각각 증가시키는 것으로 나타났다. 소결온도가 높을수록 또는 유지시간이 길수록 치수변화는 감소하였고, 소결분위기도 치수변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fe-Cu 또는 Fe-Cu-C합금 성형체의 승온과정중 Cu의 용접근처에서 액상이 형성되는데 Dihedral Angle이 매우 작은 이 액상이 Grain Boundary로 침투함으로써 Volume팽창을 초래한다. Reduced 철분말을 사용한 경우에는 철분말내에 다량으로 존재하는 Micropore내로 Capillary Force가 작용하여 액상이 우선적으로 침투함으로써 액상의 형성이 치수변화에 영향을 미치지 않는 것으로 밝혀졌다. 또한 분말의 비표면적이 높을수록 Grain Boundary로 침투하는 액상의 양이 감소하여 치수변화에 영향을 덜 미치게 된다. Graphite는 소결초기의 승온과정중에 철입자 내부로 확산되어 Combined Carbon으로 되며 고체상의 Dihedral Angle을 증가시켜 액상의 Grain Boundary 침투를 억제하므로 결과적으로 치수팽창을 억제하며, 원래의 Graphite Site가 Extra Pore로 남게되므로 역시 액상의 침투경로를 제공하게 된다. Cu의 입도가 작을수록 Fe입자들 사이에 균일하게 분산되므로 Cu-rich 액상이 Fe내로 고용되기전에 Grain Boundary로 침투하는데 필요한 경로가 짧아지게되어 결과적으로 큰 치수팽창을 초래한다. 분말중의 산화물은 소결분위기뿐만아니라 Graphite에 의해서도 환원되므로 Fe내로 고용되는 Carbon의 양을 감소시키고 Reduced 분말에서는 Microporosity를 증가시켜 간접적으로 치수변화에 영향을 미치게 된다. 높은 소결온도는 Solid-state Diffusional Transport를 촉진시켜 액상에 의한 치수팽창을 어느정도 보상하게 되며 소결시간을 늘리는 것도 같은 효과를 가져온다.