

방전 소결법에 의한 구형 청동 분말의 소결성 연구 (Sinterability of Spherical Bronze Powders by Spark Sintering)

한국지질자원연구원 최국선*

1. 서론

전기에너지를 직접 이용한 금속분말의 소결법 중, 1960년대에 일본의 Inoue에 의해 개발된 방전소결법(spark sintering)은 낮은 압력하에서 분말에 고밀도의 직류와 교류를 통전시켜 입자간에 미세한 방전을 유도하여 분말간의 결합을 촉진하고 재차 높은 압력을 가하여 고밀도의 소결체를 얻는 방법이다. 이 기술의 실용화를 위해서는 고용량의 펄스전원 제작을 위한 특수 반도체 및 설계기술이 필요하므로 1980년대 후반에 이르러 비로서 상용시스템이 일본에 등장하였다.

한국에서는 일본과는 독자적으로 1988년 연세대학교 금속공학과에서 필자 및 이동희 교수에 의해 개발에 착수하여 1991년에 실험실 규모의 시스템이 완성되었으며, 이를 이용하여 구형 γ -TiAl 분말의 소결에 성공하였다. 이후 연구가 지속적으로 이루어져 1996년 필자에 의해 inverter type의 3000A급 방전 소결장치가 개발되어 전북대에 설치된 이래 현재까지 총 4대가 국내 보급되었다. 한편 일본(Sumitomo Coal Mining)에서 개발된 방전플라즈마소결(SPS) 시스템은 thyristor에 의한 ON-OFF 방식으로 국내에는 약 5기 이상이 설치·운영되고 있으며, 최근 일본에서도 inverter type의 시스템이 개발되고 있다고 알려져 있다.

위와 같은 배경하에 본 연구에서는 1996년 전북대에 설치된 22kHz DC pulse로 동작되는 3000A급 방전소결장치를 이용하여 구형 청동분말의 소결성을 평가함으로써 차후의 본격적인 방전소결 장치의 개발에 대한 기초자료를 수집하고자 하였다.

2. 실험방법

연구에 이용된 인청동 분말은 가스분무법으로 제조된 180~250 μ m 크기의 구형분말로서 Sn 함량이 11% 정도 함유되었다. 흑연 mold의 치수는 OD40×ID20×H40 mm이고, plunger는 OD20×H20mm인 원기둥형이었다. 소결은 진공하에서 분말에 1차압력($P_1=40$ kg)을 가하고 소정의 전류밀도로 통전하여 1초(1차시간 t_1)가 경과되면 자동적으로 소정의 2차압력(P_2)으로 신속히 승압하고 또 다시 120초(2차시간 t_2) 동안 통전과 가압을 지속시켜 소결을 완료하였다. 소결진행시 mold 표면의 온도변화를 측정하기 위해 optical pyrometer를 사용하였다. 시편의 소결에 따른 길이변화는 LVDT로 측정되어 소결중 전압, 전류, 온도의 변화와 함께 연속적으로 다중 디지털 기록계로 기록하였다.

본 실험에서는 통전소결시 소결성에 가장 큰 영향을 줄 것이라고 생각되는 20kHz의 DC pulse 전류(1200, 1400, 1600, 1700 및 1800 A)와 2차압력(400, 700, 1000, 1300 kg)을 달리하였다. 소결전의 탭밀도, 높이 그리고 소결후의 소결체의 무게, 높이 외경을 측정하였다. 이것으로부터 linear shrinkage, 상대밀도, 기공도 등 소결과정에 미치는 변수의 영향이 분석되었다. 또한 기공 폐쇄 및 치밀화 고장을 분석하기 위하여 SEM-EDX 분석을 추가하였다.

3. 결 과

- 1) 본 연구에서는 120초 이내의 짧은 시간 내에 이론밀도에 가까운 소결체를 얻을 수 있었으며, 이는 고주파 DC pulse 전류에 의한 활성화와 가압력에 의한 소성변형, 전류에 의한 활발한 물질 이동에 기인된 급속한 치밀화과정에 의한 것이다.
- 2) 120초간의 방전소결시 mold 표면에서의 최고도달 온도는 1800A에서 최고 681℃까지 상승하였으며 1900A 이상의 전류에서는 770℃ 이상 상승하고 소결체가 용해되는 현상이 일어나서 소결이 불가능하였다.
- 3) 실험조건에서 통전전류 1700A 이하, 가압력 1000kg 이하에서 neck의 생성 및 성장이 주로 발생하였으며 전류 및 압력이 높을수록 촉진되었다. 그 이상의 조건에서 급속한 치밀화가 진행되었으며 특히 통전전류 1700A와 압력 1000kg 이상에서는 상대 밀도 99.3% full density의 소결체를 제조할 수 있었다
- 4) 22kHz DC pulse의 전류를 이용한 방전소결시험(소결시간을 120초 고정)에 있어서 치밀화를 달성하기 위해서는 임계전류치와 임계압력이 존재하고 있음을 강력히 시사하고 있다.
- 5) 방전소결에서 활성화 정도를 높이고 소결시간을 길게두면 분말의 미세구조와 생산성이 감소하고 반대로 가압력을 높이면 급형의 수명 및 안정성에 문제가 생길 것이라고 예상할 수 있다. 따라서 원하는 물성을 얻기 위해서 상기 3개 parameter의 적절한 조정이 필요하다.

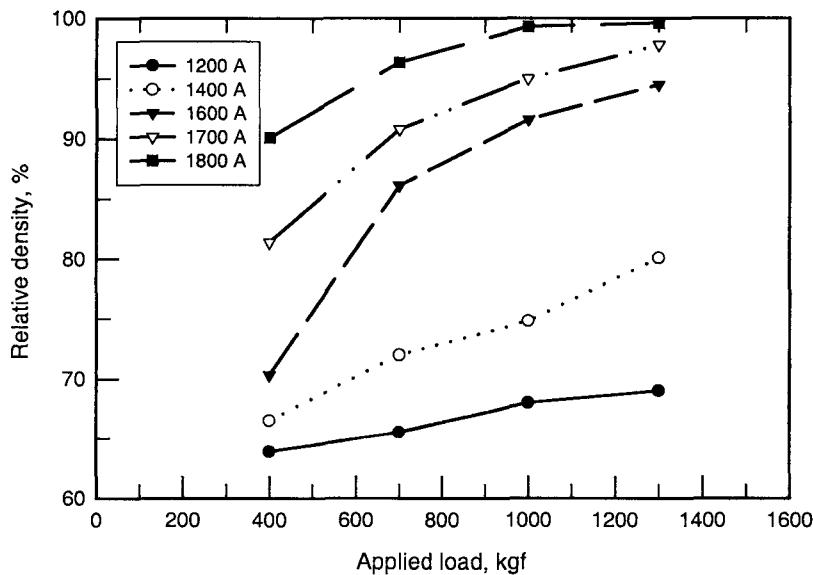


Fig. Variation of relative density with applied load(kgf) and current(A) during spark sintering(initial tap density = 61.1%).