

## WC-Co 합금계의 소결 중 치밀화 (Densification of WC-Co alloys during Sintering)

한국과학기술원 재료공학과 김영필, \*정석우, 강석중  
한국기계연구원 하국현, 김병기

액상소결(liquid-phase sintering)에서 치밀화(densification)는 재료내부의 기공들(pores)이 소멸되면서 진행된다. 치밀화를 설명하는 이론으로서 최근에 제안된 기공채움 이론(pore-filling theory)은 등근 입자계에서 제안되어 실험적 확인은 물론 전산모사까지 이루어졌다. 그러나 각진 입자의 경우는 기공채움에 의한 치밀화 현상이 아직 연구되어 있지 않다. WC-Co계는 대표적인 각진 입자계이다. 본 연구에서는 각진 입자계인 WC-Co계에서 소결 과정 중 밀도, 평균 입자 크기와 기공분포가 변하는 양상을 관찰하고 컴퓨터를 이용한 계산결과와 비교하여 WC-Co 계에서 기공채움 이론의 적용 가능성을 고찰하였다.

평균입도가 0.8~4.0  $\mu\text{m}$ 의 WC 분말(Taegu-Tech. Taegu, Korea)과 두 가지의 Co 분말이 사용되었다. 하나는 순도는 99.8%이며 입도 <2  $\mu\text{m}$ (Aldrich, Milwaukee, WI, USA)이고, 다른 하나는 입도 <5  $\mu\text{m}$ 이고 순도 99% 이상(HIGH PURITY CHEMICALS, Japan)의 제품을 사용했다. 성형체의 가스를 제거하기 위하여 450°C에서 1 ~  $3 \times 10^{-2}$  torr로 1시간 30분 동안 유지하고 950°C에서 1 ~  $3 \times 10^{-2}$  torr로 다시 1시간 30분 유지하였다. 소결은 1200 ~ 1400°C의 진공분위기(1 ~  $2 \times 10^{-2}$  torr)에서 이루어졌으며, 승온 속도는 전구간에서 10°C/min이었다. 1310°C 부근에서 액상이 형성되므로 1310°C 이하에서는 고상소결이 진행되고 이 온도 이상에서는 액상소결이 진행된다. 평균 입자크기, 기공크기 및 분포, 전체 액상량과 기공채움이 진행된 액상포켓의 크기를 분율을 Image analyzer(Inspector 2.1)를 통해 계산하였다.

동일한 성형밀도를 가진 두 소결체를 고상소결하면 1.8  $\mu\text{m}$  WC 시편이 4  $\mu\text{m}$  WC 시편보다 빨리 치밀화 되어 액상 형성 온도(약 1310°C) 전까지 8%의 상대밀도 차이를 보였다. 그러나 액상소결이 진행되면서 4  $\mu\text{m}$  WC 시편이 더 빠른 치밀화를 보였고 소결 온도인 1360°C에서 5분 소결 했을 때 상대밀도는 4  $\mu\text{m}$  시편이 오히려 높았으며 100% 상대밀도에 빨리 도달하였다. 즉, 액상소결이 시작될 때 승온 과정에서 고상소결이 많이 진행된 작은 입자 시편이 밀도가 높지만 액상소결이 진행되면서 큰 입자의 시편이 빠른 치밀화를 보여주고 있다. 초기 입자 크기, 유효 액상량, 액상 meniscus 반경을 각각 변화시켰을 때의 기공채움 이론으로 계산된 밀도 변화를 계산하였다. 그 결과, 기존 Kingery의 입자 편평화에 의한 치밀화 이론으로 설명될 수 없고, 기공채움을 가정하여 계산한 결과로는 설명 가능하였다.

고상소결 과정에서는 작은 입자가 빠른 치밀화를 보여주었다. 그러나 액상소결 과정에서는 큰 입자가 빠르게 치밀화 하는 경향을 보여주었다. 보통의 경우 고상소결 뿐만 아니라 액상소결에서 작은 입자가 치밀화가 빠를 것으로 예상하지만 실제 결과는 그렇지 않았다. 이는 치밀화 메커니즘이 고상소결과 액상소결에서 완전히 다를 것을 보여주는 것이다. 이 실험 결과는 입자성장과 액상의 역할을 고려하여 제안된 pore-filling theory로 계산한 결과로는 이 현상이 잘 설명된다. 또한 지금까지 등근 입자계를 대상으로 실험하고 모델링 되었던 pore-filling theory가 각진 입자계에서도 액상소결 중 주된 치밀화기구임을 의미한다.