

**고주파 유도가열 소결장치와 펄스전류활성 소결장치에 의해 제조된  
WC-8wt.%Ni 초경재료의 소결 거동과 기계적 특성**  
Sintering Behavior and Mechanical Properties of WC-8wt.%Ni Hard Materials  
by Two Rapid Sintering Processes

진북대학교 정인균\*, 김환철, 손인진  
한국과학기술연구원 도정만

### 1. Introduction

WC계 초경재료는 높은 경도, 우수한 마모저항성, 낮은 열팽창계수 등의 우수한 특성으로 가공용 공구, 내마모 부품 및 금형 소재 등으로 널리 사용되고 있다. WC는 고용점 재료이므로 소결이 어려워서 일반적으로 Co 등의 금속결합제나 다른 카바이드(TiC, Mo<sub>2</sub>C 등)를 첨가하여 소결하고 있다. 그러나 결합제로 첨가된 Co 때문에 초경재료는 부식 및 산화저항성과 경도가 낮아진다. 한편 TiC를 첨가하였을 경우 경도는 비슷하나 인성이 현저하게 저하된다. 또한 WC/TiC 근처의 계면에서 탄소의 편석(segregation)에 의해 유발되는 pull out으로 인해 파괴 저항성 및 내마모성이 저하된다. WC-Ni 초경재료는 WC-Co계 합금에 비해 경도가 조금 낮으나, WC-Ni계 합금 고유의 특성인 비자성, 내식, 내열, 내산화성 등으로 인하여 성형 다이 및 공구 등에 사용될 수 있는 가능성이 많다. 또한 니켈은 코발트보다 값이 싸기 때문에 제조원가를 낮출 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 WC-Ni계 재료는 WC와 Ni의 젖음성이 좋지 못하기 때문에 기존의 소결방법으로 소결체의 제조시 상대밀도가 낮은 단점이 있다.

본 연구에서는 입자크기가 서로 다른 WC 원료를 선택하여 소결체의 WC입자크기를 조절하며 급속소결방법인 고주파유도가열 소결법(High-Frequency Induction Heated Sintering Method)과 펄스전류활성 소결법(Pulsed Current Activated Sintering Method)을 이용하여 입성장이 억제된 나노 상의 WC-8wt.%Ni 초경재료를 단시간에 제조하고자 한다. 급속소결방법은 기존의 소결방법에 비해 낮은 온도에서 빠른 소결이 가능하여 초기 분말 입자크기를 유지한 치밀한 재료를 제조할 수 있는 새로운 소결방법이 될 수 있다.

### 2. Experimental procedure

본 연구에서는 TeaguTec(주)에서 제조된 여러 가지 크기의 WC(순도 99.5%)분말과 Inframat사에서 제조된 0.06~0.08 $\mu$ m 크기의 Nickel(순도 99.8%)분말이 사용되었다. 초기 WC 입자 크기가 소결에 미치는 영향을 조사하기 위하여 0.5, 1.3, 2.4, 4.3 및 6.5 $\mu$ m 크기를 가진 다섯 종류의 분말이 사용되었다. 분말의 균일한 혼합과 분쇄를 위해 초경볼과 분말을 6:1의 중량 비로 혼합한 후, 에탄올을 용매로 사용하여 48시간동안 습식 볼밀링을 하였다. 혼합된 WC-8wt.%Ni분말 15g을 흑연 다이에 충전하여 고주파유도가열 소결장치와 펄스전류활성 소결 장치의 실린더 내부에 장착하고 약 40mtorr의 진공분위기로 만들었다(1단계). 기공이 없이 치밀한 최종 생성물을 얻기 위하여 10MPa/sec의 속도로 60MPa의 압력을 가하였다(2단계). 일정한 펄스된 전류 또는 고주파 유도전류를 흑연 다이와 시편에 가열하면서 디지털 광온도계(Pyrometer)로 흑연 다이의 표면온도를 측정하였다. 이때 LVDT(linear variable differential transformer)로 수축 길이변화를 관찰하면서 치밀화가 이루어질 때까지 펄스된 전류 또는 유도

전류를 가하였다(3단계). 마지막 단계로 시편을 상온까지 냉각하였다(4단계).

제조한 WC-8wt.%Ni 초경재료의 상대밀도는 아르키메데스법으로 측정하였다. CuK $\alpha$  타겟을 사용하여 20~80°의 범위에서 4°/min의 속도로 40kV의 전압과 30mA의 전류로 X-ray 회절시험을 실시하여 소결상을 관찰하였다. 생성물의 기계적 성질을 조사하기 위하여 6 $\mu$ m와 1 $\mu$ m의 다이아몬드 페이스트로 시편을 연마하였다. 연마된 시편을 비커스 경도계를 이용하여 30Kgf의 하중으로 15초간 유지하여 압흔을 형성한 후 경도와 파괴인성값을 계산하였다. 연마한 시편은 Murakami 용액으로 수 분 동안 에칭(etching)하여, EDAX가 장착된 주사전자현미경(SEM)으로 시편의 미세조직 관찰과 성분분석을 실시하였다. 초경합금의 기계적 성질에 영향을 주는 요소인 WC입자의 크기와 평균자유행로는 조직사진으로부터 선형분석법에 의해 결정하였다.

### 3. Summary

급속소결방법인 고주파유도가열 소결법과 펄스전류활성 소결법을 이용하여 습식 볼밀링으로 혼합한 WC-8wt.%Ni분말에 60MPa의 압력과 고주파유도가열장치의 경우 전체 용량(15kw)의 90%에 해당하는 고주파출력을, 펄스전류활성 소결장치의 경우 2800A의 펄스전류를 가하여 치밀한 소결체를 2분이내의 짧은 시간에 제조하였다. WC 초기입자크기가 증가함에 따라 제조된 소결체의 입자크기와 평균자유행로는 증가하였다. 또한 WC 결정립 크기가 증가함에 따라 경도는 증가하였으며, 파괴인성은 감소함을 알 수 있었다. 0.5 $\mu$ m의 분말을 60MPa의 압력하에서 고주파유도가열 소결법에 의해 얻어진 소결체의 파괴인성과 경도는 각각 1813kg/mm<sup>2</sup>와 8.9MPa·m<sup>1/2</sup> 이었고, 펄스전류활성 소결법에 의해 제조된 소결체의 경도와 파괴인성은 각각 1839kg/mm<sup>2</sup> 및 8.5MPa·m<sup>1/2</sup> 이었다.

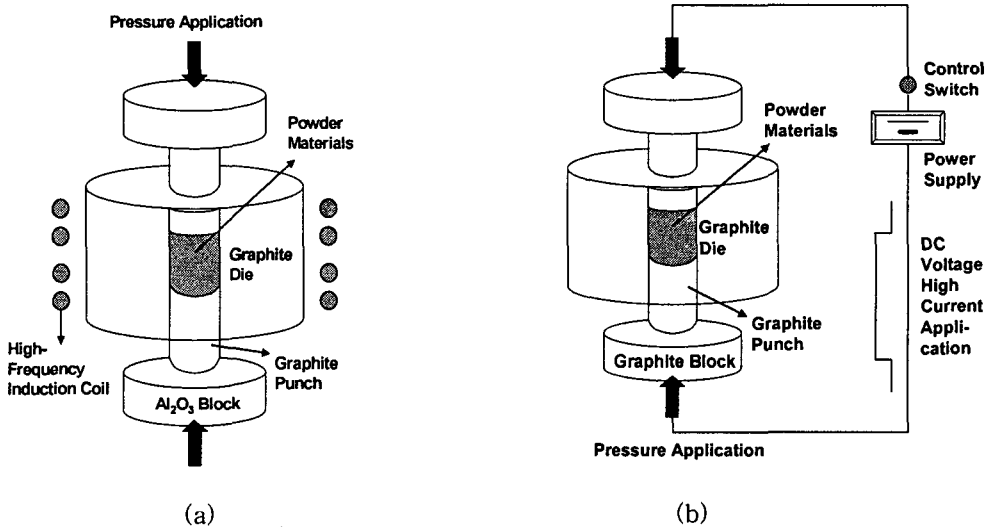


Fig. 1. Schematic diagram of apparatus for (a) High-Frequency Induction Heated Sintering and (b) Pulsed Current Activated Sintering.