

## 기계적 합금화 공정 제어에 의한 산화물 분산강화 텅스텐 중합금의 미세조직 및 기계적성질

### Microstructure and Mechanical Properties of ODS Tungsten Heavy Alloys by Control of Mechanical Alloying Process

한국과학기술원 이경호\*, 차승일, 홍순형  
한국원자력연구소 류호진

#### 1. 서론

초미립 산화물 입자가 분산된 텅스텐 중합금은 우수한 고온강도를 갖게 되며 실제 관통실험에서 변형보다는 전단파괴를 일으키게 되어 self-sharpening 거동을 향상시키는 것으로 보고되었다[1]. 또한 미세한 산화물 입자가 액상소결 중에 텅스텐의 입자성장을 억제하므로 보다 미세한 텅스텐 결정립을 갖는 텅스텐 중합금을 얻는 효과와 함께, 기계적 합금화 공정을 통하여 텅스텐 입자의 미세조직을 초미립화 할 수 있으며, 산화물 입자의 균질 분산을 얻을 수 있다 [1, 2].

본 연구에서는, 관통자 재료로 응용하기 위한 산화물 분산강화 텅스텐 중합금을 기계적 합금화 및 액상소결 공정을 통해 제조하고, 미세조직 및 기계적성질을 평가하고자 하였다.

#### 2. 실험방법

본 실험에 사용된 분말은 텅스텐, 니켈, 철 그리고 PSZ, Ytria 산화물을 사용하였다. 텅스텐 중합금의 조성은  $94W-(6-x)(Ni,Fe)-xOxide$ , 텅스텐을 무게비로 94%로 고정하였고 니켈:철 비는 4:1로 설계하였다. 이와 같은 산화물 분산강화 텅스텐 중합금은 Planetary Mill 장비를 이용하여 기계적 합금화를 수행하였다. 기계적 합금화 공정으로는, 1단계 기계적 합금화 공정, 2단계 기계적 합금화 공정, 기계적 합금화 및 혼합 공정과 같이 3가지의 구별된 공정으로 진행하였다. 기계적 합금화된 분말은 수소분위기에서 액상소결을 통해 시편을 제조하였다. 미세조직 인자는 광학 및 주사전자현미경 사진을 통하여 측정하여 정량화 하였다. 인장시험은 ASTM E-8M 표준규격을 따랐으며, 상온에서  $6.67 \times 10^{-4}$ /s의 변형률 속도로 Instron 5583 장비를 통해 인장특성을 측정하였다. 또한 고온 압축시험으로 800°C에서 10/s의 변형률 속도로 Thermec-master 장비를 통해 고온 압축강도를 측정하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

기계적 합금화 공정으로 제조된 산화물 분산강화 텅스텐 중합금에서, 산화물은 텅스텐 결정립 내부와 바인더 상에 고르게 분산되었으며 액상소결 후 치밀한 미세조직을 얻었다. 산화물 분산강화 텅스텐 중합금의 기계적 합금화 공정에 따른 미세조직을 Fig. 1에 나타내었다. 또한 Fig. 2에 기계적 합금화 공정에 따른 산화물 입자 위치와 텅스텐/텅스텐 contiguity의 변화를 나타내었다. 1단계 기계적 합금화 공정에 비하여, 2단계 기계적 합금화 공정과 기계적 합금화 및 혼합 공정을 통하여 제조된 산화물 분산강화 텅스텐 중합금은 텅스텐 입자 내의 높은 산화물 분산도와 낮은 텅스텐/텅스텐 contiguity를 보이고 있다.

텅스텐 중합금의 상온 인장시험에서 변형은 주로 바인더상에서 발생하며, 텅스텐/텅스텐 계면, 텅스텐 결정립, 그리고 텅스텐/기지 계면이 파괴의 생성원으로 작용한다. 산화물이 분산강화되지 않은 텅스텐 중합금의 파면 관찰결과, 파괴가 텅스텐 결정립의 입내에서 그리고 바인더상의 파단에 의해 발생하였다. 그러나 산화물 분산강화 텅스텐 중합금에서는, 산화물 분산제가 존재하는 텅스텐/기지 계면 그리고 텅스텐/텅스텐 계면을 따라 파괴가 일어남을 확인하였다. 따라서 산화물 분산강화 텅스텐 중합금의 기계적성질 제어에 있어, 산화물 분산제의 위치와 텅스텐/텅스텐 contiguity는 가장 중요한 미세조직 제어 인자로 판단된다.

산화물 분산강화 텅스텐 중합금의 기계적 합금화 공정에 따른 연신율을 Fig. 3에 나타내었다. 기계적 합금화 및 혼합 공정을 통해 제조된 산화물 분산강화 텅스텐 중합금은 다른 기계적 합금화 공정에 비하여 가장 높은 연신율을 보이고 있다. 이는 기계적 합금화 공정 제어를 통한 산화물의 텅스텐 입자 내로의 분산 그리고 낮은 텅스텐/텅스텐 contiguity에 의한 효과임을 확인하였다.

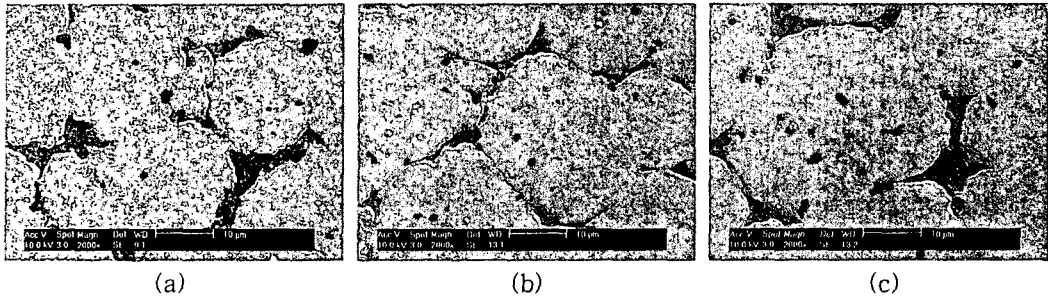


Fig. 1. The microstructure of 94W-4.56Ni-1.14Fe-0.3PSZ tungsten heavy alloys sintered at 1485°C for 1 hr from the powders prepared by (a) one-step mechanical alloying process, (b) two-step mechanical alloying process and (c) mechanical alloying and mixing process.

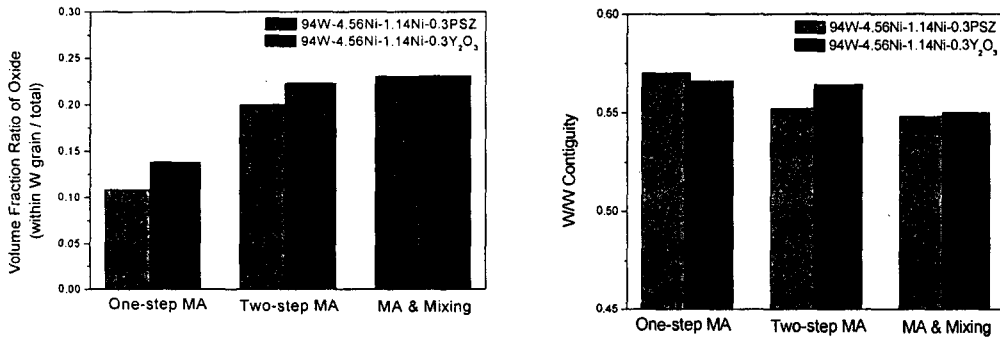


Fig. 2. The variation of (a) volume fraction ratio of oxide dispersoids within tungsten grains to total oxide dispersoids and (b) tungsten/tungsten contiguity with varying the mechanical alloying process. The oxide dispersion strengthened tungsten heavy alloys were sintered at 1485°C for 1hr.

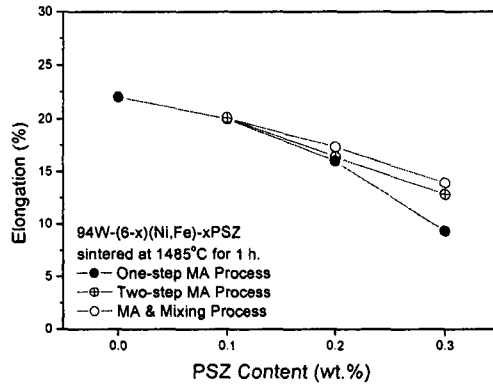


Fig. 3. The elongation of oxide dispersion strengthened tungsten heavy alloys sintered at 1485°C for 1hr with various oxide content.

#### 참고문헌

1. H. J. Ryu and S. H. Hong, *Mat. Sci. and Eng. A*, **363(1-2)**, (2003) 179
2. H. J. Ryu, S. H. Hong and W. H. Baek, *J. Mat Proc Tech. A*, **63**, (1997) 292