

WC-TiC-Co 초경재료의 경도 해석 (Hardness of WC-TiC-Co Cemented Carbides)

한국과학기술원 이경호*, 차승일, 홍순형
한국기계연구원 김병기

1. 서론

본 연구에서는 WC-TiC-10Co 초경재료의 미세조직과 경도의 상관관계를 확립하고자 하였다. 이를 위해 WC/TiC 결정립 크기 비율, TiC 함량 및 WC 결정립 크기 변화에 따른 미세조직 및 경도의 변화를 분석하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 4.06 μ m, 1.33 μ m, 0.57 μ m 크기를 갖는 WC 분말, WC-10Co복합분말 (0.3 μ m, 나노텍), TiC 분말 (0.75 μ m, H.C.Starck) 및 Co 분말 (3 μ m, Aldrich Chemical Company Inc.)을 이용하여 WC-TiC-Co 초경합금의 제조하였으며, 이때 TiC 함량을 0wt.%에서 20.wt%까지 변화시켰다. 혼합된 분말은 350MPa의 압력으로 일축압축한 후 1375 $^{\circ}$ C에서 1시간동안 sinter-HIP 공정을 통해 소결체를 제조하였다.

WC-TiC-10Co 초경재료의 미세조직은 광학 현미경과 주사 전자 현미경을 이용하여 분석하였다. 광학 현미경은 초경합금의 단면 관찰을 통하여 기공도를 분석하였으며, 주사 전자현미경을 이용하여 구성상의 grain size, 부피비, 형상 및 분포를 분석하였다.

기계적 특성을 평가하기 위해 Micro Vickers Hardness 장비를 통하여 WC-TiC-10Co 초경재료의 경도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구를 수행한 결과, WC-TiC-10Co 초경재료의 미세조직은 4가지 상이 공존함을 확인하였다. WC-Co 초경재료는 WC상과 Co-W-C합금으로 구성된 바인더상으로 구성되는 반면, WC-TiC-10Co 초경재료는 WC상, TiC상, Co 바인더상 이외에 (Ti, W)C상이 존재하였다. 또한 TiC 함량이 증가함에 따라 (Ti, W)C 복합탄화물상 및 TiC상의 부피분율이 증가하는 경향을 보이고 있다. WC상의 부피비가 급격하게 감소하는 반면 (Ti, W)C 복합탄화물상의 부피비가 급격하게 증가함을 확인하였다. 또한 기공도가 1% 미만으로 제어됨을 확인하였다.

TiC 함량 변화에 따른 경도를 분석한 결과, TiC 함량이 증가함에 따라서 WC-TiC-10Co 초경재료의 경도는 증가하였다. WC-TiC-10Co 초경재료의 경도에 영향을 미치는 중요한 미세조직 인자로서는 대표적으로 WC, TiC grain size와 TiC, (Ti, W)C 부피비를 들 수 있다. WC grain size가 감소할수록, TiC, (Ti, W)C 부피비가 증가할수록 경도는 증가하였다.

WC-Co 초경합금의 경우, 경도를 WC 결정립 크기에 따라 Hall-Petch 관계식으로 도시할 수 있다. 이에 따라 식(1)과 같이 TiC가 함유되지 않은 WC-Co 초경합금 경도의 경향을 WC 결정립 크기에 의존하는 관계식으로 나타내었다.

$$H_{WC-10Co} = 1167.7 + \frac{468.5}{\sqrt{d_{WC}}} \quad (1)$$

그러나 WC-TiC-Co 초경합금의 경도는, WC 결정립 크기 이외에 TiC의 영향을 고려해야 하기 때문에 기존의 Hall-Petch 관계를 그대로 사용할 수 없다. 본 연구에서는 WC-TiC-Co 초경합금의 경도를 Dislocation Pile-up 모델을 이용하여 분석하였다. 다음 식(2)는 전위의 Pile-up 모델로부터 경도의 Hall-Petch 관계식을 얻기 위한 것이다.

$$(H_{app} - H_o) \left(\frac{d}{4r} \right)^{1/2} = H_c \quad (2).$$

WC-TiC-Co 초경합금의 경도를 예측하기 위하여, WC-Co 초경합금에서 WC가 TiC로 치환된 것으로 가정을 하고 이에 따른 보정을 위해 다음과 같은 혼합법칙이 사용되었다.

1. (Ti,W)C는 TiC와 같은 물성을 갖는다.
2. 식 (2)의 d는 WC 결정립 크기와 TiC 결정립 크기의 함수로 다음과 같이 결정된다.

$$d = \bar{d} = d_{wc}(1-f) + d_{tc}f$$

3. 식 (2)는 H_{wc} 와 H_{tc} 의 함수로 다음과 같이 결정된다.

$$H = H_{wc}(1-f) + H_{tc}f.$$

(f = TiC와 (Ti,W)C의 부피분율)

위의 가정들을 이용하여 WC-TiC-Co 초경합금의 경도 예측식을 구하면 다음과 같은 식(3)이 얻어진다.

$$H_{wc-tic-co} = (1167.7 + 148.4f) + (468.5 + 213f)d^{-1/2} \quad (3)$$

위에서 구한 이론적인 경도와 실제 측정값을 비교한 결과, 이론적으로 접근한 경도와 측정 경도는 비교적 잘 일치하는 것을 확인하였다. 그러나 WC의 결정립 크기가 미세한 경우 위의 예측식에서 예측한 것보다 WC 결정립 크기에 민감하게 경도가 증가함을 확인하였다. 이것은 초미립 WC-TiC-Co 초경합금에서는 TiC첨가에 의한 경도 증가 효과가 기존의 WC-TiC-Co 초경합금 보다 높으며, 미세구조적인 차이점으로 인한 변화일 것으로 예상되었다.

기존 WC-TiC-Co 초경합금의 경우는 미세조직상으로 WC결정립이 TiC(실제로는 Core-rim구조)결정립으로 치환되어진 미세구조를 가정하였다. 그러나 초미립 WC-TiC-Co 초경합금의 경우에는 Core-rim구조와 WC-Co구조가 독립적으로 존재하므로 WC-Co의 경도와 TiC의 경도의 혼합법칙에 의한 접근이 타당하다고 판단되어 다음과 같은 식으로 초미립 WC-TiC-Co 초경합금의 경도를 예측하였다.

$$\begin{aligned} H_{wc-tic-co} &= H_{wc-co}(1-f) + H_{tc}f \\ &= (1167.7 + 1382.3f) + \frac{468.5}{\sqrt{d_{wc}}}(1-f) \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)의 초미립 WC-TiC-Co 초경합금의 이론적인 경도와 실제 측정값을 비교한 결과, 이론적으로 접근한 경도와 측정 경도는 잘 일치하는 것을 확인하였다. 이와같은 결과에서, WC-TiC-Co 초경합금의 경도는 미세구조 차이에 의해서 결정립 크기에 따른 다른 접근이 필요하며 hardening 메커니즘이 다른 것을 확인하였다.