

## WC-Co 계 초경합금의 입자성장 기구에 관한 연구 (A Study of Grain Growth Mechanism in WC-Co Alloy)

인하대학교 유희수\*, 황선근

### 1. 서론

액상 소결로 제조되는 WC-Co 합금의 경우 (0001) 기저면과  $\{10\bar{1}0\}$  프리즘 면으로 둘러싸인 삼각프리즘 형태의 입자모양이 관찰되고, 뿐만 아니라 비정상 입자가 관찰된다. 특히 원료 분말이 미세할수록 그리고 소결 온도가 높을수록 비정상 입자성장은 가속화된다. WC 결정에서 dimension ratio( $R$ =삼각형의 변 길이/프리즘의 높이)는 정상입자의 경우 약 2에 가까우며, 비정상 입자의 경우 4 이상의 값이 관찰된다. 이러한 WC의 비정상 성장 기구를 설명하기 위한 이론<sup>(1-2)</sup>은 소결 초기에 조대한 입자 출현기구와 조대한 입자의 성장 기구가 있다. 조대한 입자 출현기구는 액상 온도 보다 낮은 온도에서  $\eta$ 상( $W_3Co_3C$ )이 생성되었다가 재 탄화될 때 그대로 조대한 입자로 되는 것이다. 조대한 입자의 성장 기구는 큰 입자들이 서로 만나서 합체를 일으키고 그 사이에서 용해와 석출반응으로 채워서 더욱 조대한 입자로 성장되는 것이다. 최근 Park<sup>(3)</sup> 등은 2차원 핵 생성 이론을 도입하여 비정상 조대화를 설명하였다. 그러나 위의 이론에서 조대한 입자의 출현은  $\eta$ 상에 기인한 것이 아닐 것이라는 비판<sup>(4)</sup>이 있으며, 합체에 의한 성장은 구형의 입자가 합체하여 그 사이에서 용해와 석출반응으로 설명하고 있지만 실제로 각진(faceted) 입자에서의 합체에 의한 설명은 부족하다. 또한 현재까지의 비정상 입자 성장을 설명하는 이론들은 비정상 입자의  $R$  값이 커지는 이유를 설명하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Monte-Carlo simulation을 사용하여 WC의 삼각프리즘 형성기구와 비정상 입자 성장에 대한 합체 모델을 제시하였고, 액상 소결한 WC-25wt.%Co 합금에서 관찰되는 비정상 입자에 적용하였다.

### 2. 입자성장 모식화 방법

본 연구에서 입자성장 모델은 액상 소결중 WC의 삼각프리즘 형성과 성장동안의 합체모델로 구성되었다. WC의 입자성장 모델은 고액 계면에서의 Jackson<sup>(5)</sup>의 원자 흡착 이론을 기초로 하였다. WC 결정은 각 결정면에 대한 원자 충전에 대한 이방성으로 인하여 다른 성장 속도를 가지며, 이를 Monte-Carlo simulation을 통하여 WC의 삼각프리즘으로 복원되는 과정을 확인하였다. 또한 비정상 입자의 출현과정은 WC 입자의 합체로 설명하였다. 입자성장 모델의 검증에 위해서 평균입도  $0.8\mu m$ 의 WC 분말을 사용하여 WC-25wt.%Co 합금을 액상 소결한 다음 SEM으로 미세조직을 관찰하고, 여기서 관찰되는 비정상 입자모양을 본 연구에서 상정한 입자성장 모델로 설명하였다.

### 3. 결과

#### WC의 삼각프리즘 형성 과정

결정성장에 대한 Jackson<sup>(5)</sup>의 이론에 의하면 결정성장속도는 고액계면에서 원자의 흡착과 탈착속도 차에 의해 지배된다. 즉 결정의 성장을 위해서는 탈착속도 보다 부착속도가 커야 한다. 원자의 부착속도는 액상에서 원자의 확산에 의하여 결정된다. 그리고 탈착속도는 원자와 계면을 결합하는 최인접 원자수에 의존하며, 최인접 원자수는 각 결정면에 의해 결정된다. 또한 결정성장을 위한 원자배열이 단순한 결정면일수록 복잡한 면보다 성장속도는 빠르게 된다. 따라서 본 연구에서는 단순 육방정 구조를 갖는 WC에 대하여 최인접 원자수와 원자배열방법을 결정성장의 중요 변수로 상정하였다. 이러한 변수를 통하여 Monte-Carlo simulation 프로그램을 작성하였다. 프로그램의 기본 알고리즘은 결정의 계면에 도착한 원자의 최인접 원

자수가 4 이하이면 탈착되고 그 이상이면 흡착되는 것으로 하였다. 그림1은 단위정으로부터 출발한 입자가 삼각프리즘으로 복원되는 과정을 도시하였다. 즉 C 원자가 계면에 도착했을 경우 최인접 원자수가 큰  $(\bar{1}010)$ 면에서만 흡착되고 나머지 면에서는 탈착된다. 이러한 결과로 WC 결정이 삼각프리즘 형태로 복원되면 더 이상의 입자 성장이 일어나지 않는다. 따라서 WC 결정이 조대화를 위해서 다른 성장기구가 필요하며, 이를 위해서 합체모형을 제시하였다.

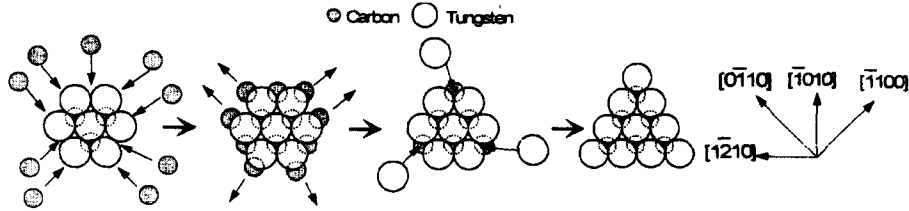


Fig. 1 Model of a formation sequence of a WC triangular prism from a unit cell. Only one layer of W atoms and that of C atoms are shown. Led by the anisotropic growth rate, the end result of growth of grain is a triangular prism.

#### 삼각프리즘 WC 합체에 의한 조대화 과정

그림2에서 프리즘면( $\bar{1}100$ )과 프리즘의 모서리( $(1\bar{1}00)$ )가 만났을 경우 C 원자가 쉽게 부착할 수 있는 자리가 출현하게 되므로 결정은 계속해서 성장하여 초기의 삼각프리즘보다 4배의 크기로 성장하게 된다. 액상소결동안 고상의 입자들은 서로 접촉하여 입계를 이루고 서로 misorientation 관계를 갖는다. 이 중에서 그림2와 같은 조건(misorientation angle  $< 10^\circ$ )에 맞

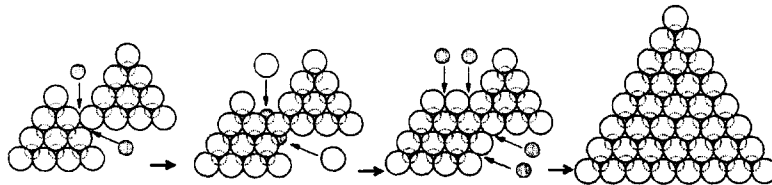


Fig. 2 Coarsening of WC by coalescence of triangular prism planes.

는 입자들은 합체가 가능하며 이에 따른 합체확율을 Courtney와 Lee<sup>(6)</sup>의 방법과 Monte-Carlo simulation에 의한 방법으로 계산하였다. 두 프리즘 입자간의 misorientation angle( $\theta$ )에 대한 합체확율은 다음식과 같다:

$$P_c \cong \frac{1}{160} \theta (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

이와 같이 합체에 의한 입자성장은 소결체의 미세조직에서 관찰할 수 있으며 본 모델로 설명이 가능하였다.

#### 4. 결론

이상의 성장모델 및 미세조직 관찰로부터 결정면의 이방성 성장속도로 인하여 WC 결정은 삼각프리즘 모양으로 형성되며, 두 프리즘간의 합체는 비정상 입자출현의 중요한 원인이었다.

#### 5. 참고문헌

1. J. Gurland, Trans. AIME, 194 (1952), 1051-1056.
2. K.Y. Eun, Ph.D. Thesis, KAIST, Korea, 1983.
3. Y.J. Park, N.M. Hwang and D.Y. Yoon, Metall. Trans. A, 27A (1996), 2809-2819.
4. J. Gurland, Trans. AIME, 200 (1954), 285-290.
5. K.A. Jackson, J. Cryst. Growth, 3/4 (1968), 507-517.
6. T.H. Courtney and J.K. Lee, Metall. Trans. A, 11A (1980), 943-947.