

## WC와 Co 원료 입자크기 변화에 따른 WC-Co계 초경합금의 특성 변화

정태주<sup>†</sup> · 안선용\* · 백용균

안동대학교 신소재공학부

\*한국야금(주) 생산기술연구소

(2004년 10월 15일 접수; 2004년 12월 8일 승인)

### Effect of Variation in Particle Size of WC and Co Powder on the Properties of WC-Co Alloys

Tai-Joo Chung,<sup>†</sup> Sun-Yong Ahn,\* and Yeong-Kyeun Paek

School of Materials Science and Engineering, Andong National University, Kyungbuk 760-749, Korea

\*Division of Research and Development, Korloy Inc., Chungbuk 361-290, Korea

(Received October 15, 2004; Accepted December 8, 2004)

#### 초 록

서로 다른 입자크기를 갖는 WC와 Co 분말 원료를 사용하여 WC-10 wt%Co 초경합금을 제조하였다. 이로부터 WC와 Co 원료 입자크기가 제조된 초경합금의 성질에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. WC 원료 입자크기가 클수록 제조된 초경합금의 파괴인성이 높고 경도는 낮게 나타나는데, 이러한 경향은 Co 원료 입자크기에 크게 영향 받지 않음을 알 수 있었다. WC 원료 크기의 영향 외에도 Co 원료 크기가 초경합금의 특성에 영향을 주는 것으로 밝혀졌는데, 동일한 WC 원료를 사용하여도 미세한 Co 원료를 사용할 경우, 보다 조대한 WC를 함유하여 인성이 우수한 초경합금을 제조할 수 있었다. 이로부터 Co 원료 입자크기가 초경합금의 미세구조 및 그 특성에 중요한 역할을 함을 알 수 있었다.

#### ABSTRACT

The effect of variation in particle size of WC and Co powder on the properties of WC-Co alloys was investigated. WC and Co powders having different particle sizes were used in the fabrication of WC-10 wt%Co composites. High hardness and low fracture toughness alloy was obtained with the decrease in WC particle size regardless of Co particle size. It was newly found in this investigation that the initial particle size of Co as well as WC had a great role in the microstructure and properties of WC-Co hard materials. The average grain size and fracture toughness of WC-Co alloys using same WC powder size increased and their hardness decreased with the use of relatively finer Co binder.

**Key words :** Particle size, Grain size, Hardness, Fracture toughness

#### 1. 서 론

써메트(cermet)는 일반적으로 세라믹(ceramic) 경질상과 금속(metal) 결합상으로 이루어진 복합체를 의미하는데, 절삭공구계에서는 원소주기율표 IVa, Va, VIa족의 금속 탄화물과 Fe, Co, Ni 등의 철족 금속으로 구성된 소결합금을 초경합금(hard metals, cemented carbides)이라 총칭한다. 이중 WC 바탕의 초경합금의 경우가 주된 공구재료로, 이는 높은 실온경도, 고온경도, 강도 등 기계적 성질이 탁월하고, 기타 물리적 성질이 안정하여 절삭공구, 내마모, 내충격 공구, 고온 고압용 부품 등 다양한 용도로 사용되

고 있다.<sup>1-3)</sup> 또한 절삭성능의 향상을 위해서 화학증착법(CVD), 물리증착법(PVD)에 의해 경질 세라믹층을 피복한 피복 초경합금(coated cemented carbides)이 응용되고 있다.

다양한 용도에 따라 초경합금의 종류도 Co 등의 금속 결합상량, WC 입자크기, Ti, Ta계 탄화물의 첨가 등에 따라 용도에 맞게 다양하게 존재한다.<sup>1-3)</sup> 이에 따라 WC 입자크기에 따른 초경합금의 특성변화에 대한 연구는 다양하게 이루어져 왔으며, 최근에는 특성 향상을 위해 미세한 입자크기의 초경합금 제조에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 나노 크기의 초경합금 제조에 미세한 입자크기의 Co 분말을 사용하는 것이 특성향상에 유리한 것으로 알려져 있다.<sup>4,5)</sup> 하지만 일반적인 초경합금에 있어서 Co 금속 분말의 입자크기가 초경합금의 중요특성인 경도, 인성, 자기적 성질에 미치는 전반적인 영향에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 이에 대한 연구는 용도에 맞

<sup>†</sup>Corresponding author : Tai-Joo Chung  
E-mail : tjchung@andong.ac.kr  
Tel : +82-54-820-5886 Fax : +82-54-820-6211

는 초경합금을 제조하는데 있어 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 초경합금의 기본인 WC-Co계에서 서로 다른 원료 입자 크기를 갖는 WC(0.8~6.1  $\mu\text{m}$ )와 Co(0.9~3.0  $\mu\text{m}$ ) 원료를 사용하여 초경합금을 제조하고, 이에 따른 미세구조 변화를 관찰하였으며, 경도, 파괴인성, 자기적 성질 등 초경합금의 기계적 특성 및 물리적 성질의 변화에 대해 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서 사용한 WC 분말은 입자크기가 서로 다른 분말로 이는 실제 초경합금 공구에 다양한 용도로 사용되고 있다. 그 평균 입자크기는 각각 0.8  $\mu\text{m}$ (Taegutec, Korea), 4.7  $\mu\text{m}$ (Taegutec, Korea), 6.1  $\mu\text{m}$ (Taegutec, Korea)이었다. 또한 Co 분말도 입자크기가 서로 다른 분말로, 평균 입자크기는 각각 0.9  $\mu\text{m}$ (OMG, U.S.A.), 3.0  $\mu\text{m}$ (Cobatech Co. Korea)이었다.

초경합금의 제조공정은 일반적인 분말야금 공정을 따랐다. 상기 서술한 WC, Co 원료 분말을 Co의 무게 비율이 10%가 되도록 각각 칭량한 후 이를 WC-Co계 초경합금 불과 함께 알코올을 용매로 하여 72시간 불 밀링하였다. 혼합된 슬러리는 80°C에서 12시간 건조하였으며, 건조 후에 응집체에 의한 소결성 저하를 막기 위해 125 mesh 체로 체가름하여 WC-10 wt%Co 혼합분말을 준비하였다. 혼합 분말은 약 100 MPa의 압력으로 일축성형하여 디스

크 형태의 프레스체를 준비하였다. 이러한 성형체는 상용 초경합금의 소결 온도 범위인 1400°C에서 1시간 소결한 후 노냉하였다. 이때 소결시의 진공도는 약  $5 \times 10^{-2}$  mbar 이었다.

소결체 표면을 0.5 mm 정도 거칠게 연삭하고, 6  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$  다이아몬드 연마제로 미세 연마한 후 이를 Murakami 용액을 이용하여 화학 부식한 후 SEM(SM-350, Topcon)과 광학 현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 이때 평균 입자크기는 미세조직 상에서 단선분석(linear intercept) 방법으로 측정하였다.<sup>6)</sup> 또한 초경합금의 입자크기 및 결합상인 Co내 금속 원소 고용량 등을 간접적으로 알아보기 위해 자기적 성질 및 탄소량을 측정하였다. 탄소분석기(WC200, LECO, U.S.A.)를 사용하여 합금의 전체 탄소량(total carbon, TC)을 측정하였으며, 포화자화 측정기(C60-25, SETARAM, France) 및 항자력 측정기(SJ-CM-2000, Sukjin, Korea)를 이용하여 초경합금의 자기적 특성을 측정하였다. 시편을 미세 연마한 후 Vickers Indentation(HRK-B, AKASHI, Japan)을 이용하여 압흔을 낸 후, 압흔 크기(2a)와 압흔 주위의 방사선 균열의 크기(2c)를 측정하여 경도 및 파괴인성치를 얻었다.<sup>7)</sup> 이때 가해진 하중은 490 N으로 하였으며, 하중시간은 15초이었다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 WC, Co의 원료분말 미세조직으로 제조사가 제시한 평균입경은 (a) 0.8  $\mu\text{m}$  WC, (b) 6.1  $\mu\text{m}$  WC, (c)

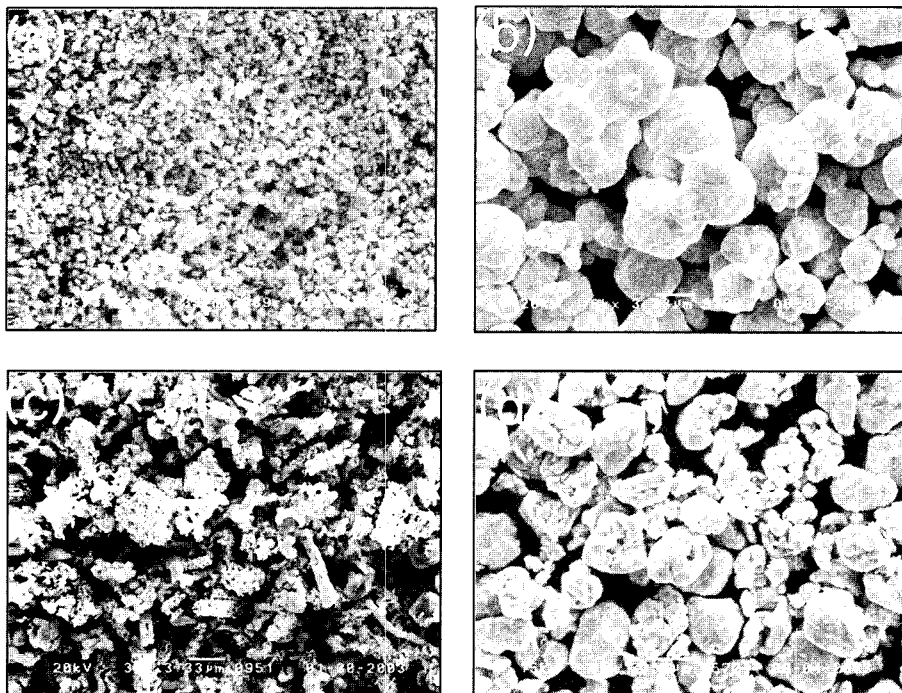
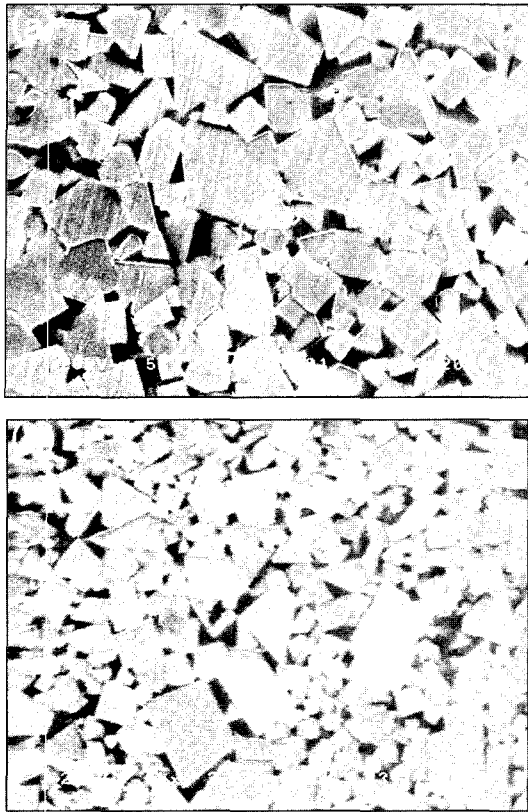
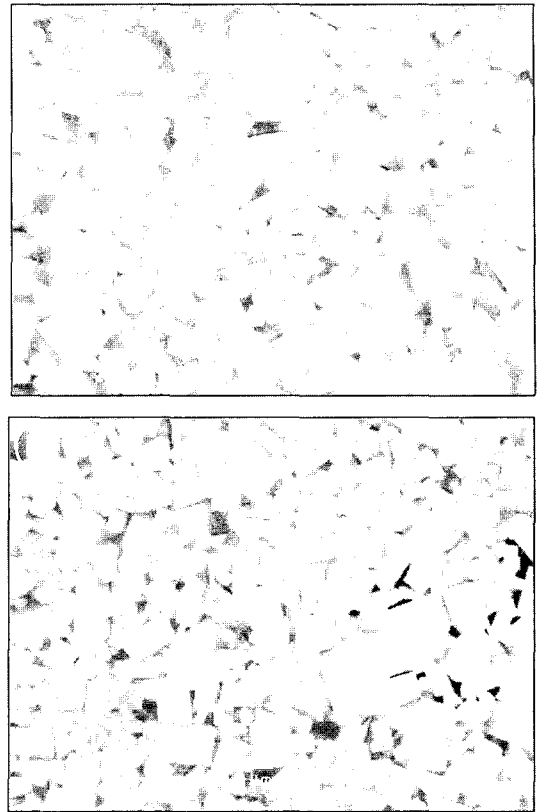


Fig. 1. SEM images of WC, Co raw materials. (a) 0.8  $\mu\text{m}$  WC, (b) 6.1  $\mu\text{m}$  WC, (c) 0.9  $\mu\text{m}$  Co, and (d) 3.0  $\mu\text{m}$  Co.



**Fig. 2.** Microstructures of the WC(6.1 μm)-10 wt%Co specimens sintered at 1400°C for 1 h in vacuum.  
(a) Co particle size is 0.9 μm and (b) 3.0 μm.



**Fig. 3.** Microstructures of the WC(4.7 μm)-10 wt% Co specimens sintered at 1400°C for 1 h in vacuum.  
(a) Co particle size is 0.9 μm and (b) 3.0 μm.

0.9 μm Co, (d) 3.0 μm Co로 원료분말에 대한 입자크기 및 형태를 보여준다. 4.7 μm WC 원료 분말도 6.1 μm WC 원료보다 그 입자크기만 작을 뿐 형상은 유사하게 관찰되었다. 탄화되어 제조된 WC 원료분말은 둥근 형태로 Fig. 2의 WC-Co 미세조직에서 나타나는 다각형 형태의 WC와는 다름을 알 수 있었다. 또한 0.9 μm Co는 미세한 구형입자가 약한 결합으로 긴 형상 혹은 다양한 형상으로 응집된 형태이지만, 3.0 μm Co는 비교적 강한 응집체가 형성되어 한 입자와 같이 둥근 형태로 형성되어 있음을 알 수 있었다.

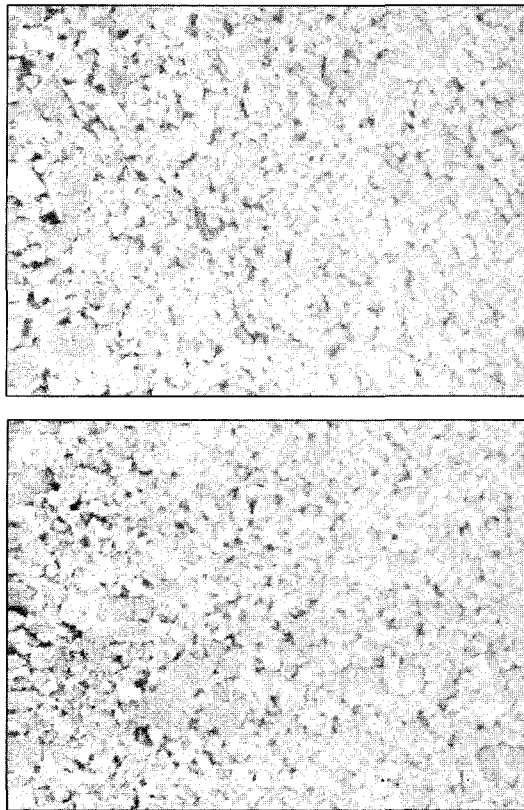
Fig. 2는 6.1 μm WC 원료분말을 사용한 WC-10 wt%Co 초경합금의 미세구조로 Co 분말의 입자크기에 따른 초경합금의 미세구조 변화를 보여 준다. Fig. 2(a)는 Co 원료 분말의 입자크기가 0.9 μm인 경우이고, (b)는 3.0 μm 입자 크기의 Co 원료분말을 사용했을 때 나타나는 미세구조이다. 이때 WC 평균 입자크기는 (a)는 5.1 μm, (b)는 4.5 μm로, 원료 분말 크기가 동일한 WC 원료 분말을 사용하여 초경합금을 제조했음에도 불구하고 WC의 입자크기가 서로 다른 미세구조가 관찰됨을 알 수 있었다. 이로부터 소결체에서의 WC 입자 크기는 사용된 Co 원료의 입자크기가 작을수록 크게 나타남을 알 수 있었다. 광학현미경

으로도 두 합금에 대해 동일한 미세조직을 관찰한 결과 합금의 카본량이 정상영역을 약간 초과하여 나타나는 유리 탄소상(free carbon)이 소량 존재함을 알 수 있었다.

Fig. 3은 4.7 μm WC 원료분말을 사용한 동일조성 초경합금의 미세구조로 (a)는 Co 원료 분말의 입자크기가 0.9 μm인 경우이고, (b)는 3.0 μm 입자크기의 Co 원료분말을 사용했을 때 나타나는 미세구조이다. 이 경우 WC 평균 입자크기는 (a)는 3.1 μm, (b)는 2.5 μm로 그 차이가 Fig. 2와 유사하게 나타나며, 본 미세구조 결과로부터도 Co 원료 분말 크기에 따라 소결체에서의 WC 입자크기가 변화됨을 관찰할 수 있었다.

Fig. 4는 0.8 μm WC 원료분말을 사용한 동일조성 초경합금의 미세구조로 (a)는 0.9 μm인 Co 원료 분말을 사용한 경우이고, (b)는 3.0 μm 입자크기의 Co 원료분말을 사용했을 때 나타나는 미세구조이다. 이 경우는 WC 평균 입자크기가 (a)는 1.7 μm, (b)는 1.5 μm로 Co 원료입자 차이에 따른 소결체의 WC 입자크기 차이는 Figs. 2, 3과 같이 크게 나타나지는 않았다.

Table 1에 제조된 초경합금의 비중, 경도, 포화자화량, 항자력, 합금탄소량, 파괴인성을 나타내었다. Table 1(a)는 WC 원료 분말의 입자크기가 6.1 μm인 경우, (b)는 WC



**Fig. 4.** Microstructures of the WC(0.8 μm)-10 wt% Co specimens sintered at 1400°C for 1 h in vacuum. (a) Co particle size is 0.9 μm and (b) 3.0 μm.

원료 분말의 입자크기가 4.7 μm인 경우이고, (c)는 0.8 μm 입자크기의 WC 원료분말을 사용하여 제조한 초경합금의

특성치이다. 비중은 WC 및 Co 원료분말 크기에 따라 거의 변화 없이 약 14.4 정도로 유사하게 나타났다. 이는 합금 조성이 90 wt% WC와 10 wt% Co로 일정해 이론밀도가 같은 합금으로, 원료분말의 입자크기에 무관하게 비교적 치밀한 소결체가 얻어졌음을 의미하는 것으로 판단된다. 이로부터 본 연구에서 치밀한 합금을 제조하는 데는 문제가 없었으며, 합금내 치밀화가 기타 합금특성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 짐작할 수 있다.

각 합금의 경도변화를 보면, 먼저 WC 원료분말의 크기에 따라 큰 경도 값의 차이가 나타남을 알 수 있다. 즉 0.8 μm의 WC 원료를 사용한 초경합금의 경우 비커스 경도 값이 1485 kgf/mm<sup>2</sup> 정도의 높은 경도를 나타내는 반면, 6.1 μm의 WC 원료를 사용한 초경합금의 경우는 그 경도 값이 약 1285 kgf/mm<sup>2</sup>으로 낮은 경도 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 WC, Co가 주재료인 초경합금의 경우 합금의 경도는 Co량이 적을수록, 그리고 WC 입자크기가 작을수록 높게 나타난다는 앞서의 연구결과들과 잘 일치하는 결과이다.<sup>1-3)</sup> 이러한 점을 이용하여 다양한 용도로 사용되는 초경합금을 재료의 용도에 맞게 설계하는 것으로 알려져 있다.

WC 원료 입자크기의 영향 외에도 Co 원료 입자크기에 따른 합금의 경도 변화를 관찰할 수 있었다. 6.1 μm의 WC 원료를 사용한 초경합금의 경우, 3.0 μm의 Co 원료와 함께 제조된 합금이 0.9 μm의 Co 원료로 제조된 합금보다 높은 경도 값을 나타내는 것으로 관찰되었다. 이는 Fig. 2에서 관찰한 미세구조에서 3.0 μm의 Co 원료와 함께 제조된 초경합금의 경우가 0.9 μm의 Co 원료로 제조된 초경합금의 경우보다 WC 입자의 크기가 작게 나타난 점과

**Table 1.** The Properties of WC-10 wt%Co Specimens Sintered at 1400°C for 1 h in Vacuum

(a) WC particle size is 6.1 μm

Co particle size	Specific gravity	H <sub>v</sub>	K <sub>IC</sub>	TC	4πσ	H <sub>c</sub>
0.9 μm	14.39	1257 ± 20	15.1 ± 0.5	5.64	181	101
3.0 μm	14.43	1313 ± 10	11.4 ± 0.2	5.61	180	137

(b) WC particle size is 4.7 μm

Co particle size	Specific gravity	H <sub>v</sub>	K <sub>IC</sub>	TC	4πσ	H <sub>c</sub>
0.9 μm	14.44	1333 ± 10	12.7 ± 0.4	5.63	180	124
3.0 μm	14.45	1363 ± 10	11.1 ± 0.1	5.68	175	144

(c) WC particle size is 0.8 μm

Co particle size	Specific gravity	H <sub>v</sub>	K <sub>IC</sub>	TC	4πσ	H <sub>c</sub>
0.9 μm	14.39	1496 ± 10	9.1 ± 0.5	5.64	185	201
3.0 μm	14.38	1473 ± 10	8.7 ± 0.4	5.66	178	214

H<sub>v</sub>: Vickers hardness (kgf/mm<sup>2</sup>), K<sub>IC</sub>: fracture toughness (MPam<sup>1/2</sup>), TC: total carbon (wt%) in alloy, σ: magnetic saturation (G · cm<sup>3</sup>/g), H<sub>c</sub>: coercive magnetic field (kA/m).

일치하는 결과로 판단된다. 이로부터 6.1  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료를 사용하여 제조된 초경합금의 경우 Co 원료의 출발 입자크기가 클 경우, 최종적으로 WC 입자크기가 작아져서 높은 경도 값이 나타남을 알 수 있는데, 이러한 경향은 4.7  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료로 제조된 초경합금의 경우에서도 유사하게 나타났다. 하지만, 0.8  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료로 제조된 초경합금과 같이 WC의 원료 출발 입자크기가 작을수록 그 차이가 미미한 것으로 관찰되었다.

합금내 함유된 전체 탄소량(TC)의 경우는 WC 및 Co 원료 크기에 따른 연관성 없이 대부분의 합금에서 약 5.61~5.68 wt%로 나타났다. 또한 광학현미경으로 관찰한 결과 4.7  $\mu\text{m}$ 의 WC와 3.0  $\mu\text{m}$ 의 Co로 제조된 초경합금과 0.8  $\mu\text{m}$ 의 WC와 0.9  $\mu\text{m}$ 의 Co로 제조된 합금을 제외한 대부분 합금에서 유리 탄소가 관찰되었다. 합금 탄소량과 유리 탄소의 관련성은 본 연구에서는 뚜렷이 나타나지는 않았는데, 이는 본 연구에서 관찰된 합금탄소량 범위가 0.07 이하로 매우 작고, 탄소량 분석에서도 나타날 수 있는 약간의 오차로 인해 관찰된 합금 탄소량과 유리탄소와는 큰 연관성이 없게 나타난 것으로 판단된다. 하지만 이러한 결과들로부터 본 연구에서 제조한 합금의 경우 많은 합금이 유리 탄소를 함유하고 있고, 유리 탄소를 함유하지 않은 합금의 경우에도 WC+Co 이상영역의 고탄소 영역에 해당하는 합금임을 짐작할 수 있을 것이다.

각 합금의 파괴인성 변화를 보면, 먼저 WC 원료분말의 크기에 따라 파괴인성치의 차이가 나타남을 알 수 있다. 6.1  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료를 사용한 초경합금의 파괴인성치가 0.8  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료로 제조된 합금의 파괴인성치보다 매우 크게 나타났다. 이로부터 입자크기가 큰 WC 원료를 사용한 초경합금의 경우 입자크기가 작은 WC 원료를 사용한 경우보다 파괴인성치가 높은 값을 나타냄을 알 수 있는데, 이는 WC, Co가 주재료인 초경합금의 경우 합금의 파괴인성은 경도와 반대 경향으로 WC 입자크기가 클수록 높게 나타난다는 연구결과들과도 잘 일치하는 결과이다.<sup>1-3)</sup>

WC 원료 입자크기의 영향 외에도 Co 원료 입자크기에 따른 파괴인성 변화를 관찰할 수 있었는데, 6.1  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료를 사용한 초경합금의 경우, 0.9  $\mu\text{m}$ 의 Co 원료로 제조된 합금의 파괴인성치가 3.0  $\mu\text{m}$ 의 Co 원료로 제조된 합금보다 높게 나타났다. 이러한 경향은 4.7  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료로 제조된 초경합금의 경우에서도 유사하게 나타나지만, 0.8  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료로 제조된 초경합금과 같이 WC의 원료 출발 입자크기가 작을수록 그 차이가 작게 나타나는 것으로 관찰되었다. 이는 앞서의 경도변화에서 관찰되었던 경향성과 일치하는 점들로 Co 원료의 크기에 따라 합금제조 후에 WC 입자의 크기가 달라지기 때문에 나타나는 경향으로 판단된다.

Table 1에 초경합금의 자기적 성질이 나타나 있는데, WC-

Co 초경합금은 Co가 자성물질로 자기적 특성을 나타내며 이러한 자기적 특성치로부터 결합상내 금속원소 고용 및 WC 입자크기 등 간접적인 정보를 알 수 있다.<sup>8,9)</sup> 포화자화량은 초경합금의 결합상인 Co에 고용되는 원소 중 탄소보다 금속원소의 양에 따라 달라지는 값으로, W 금속의 고용량이 많아지면 포화자화 값은 작아진다. 항자력 값은 WC 입자크기가 작아짐에 따라 크게 나타나며, 또한 Co 결합상에 고용되는 금속원소와도 관계있는 것으로 알려져 있다.

WC 및 Co 원료의 입자크기에 따라 포화자화량은 175~185, 항자력은 101~214의 변화가 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 항자력의 변화가 포화자화량에 비해 큰 것은 포화자화량의 경우 결합상 내 W, C의 고용량에 따라 주로 영향 받는 반면, 항자력의 경우 그외에도 합금내 WC 입자크기에 의해서도 크게 영향 받기 때문으로 판단된다. 즉 본 연구에서 제작한 합금의 경우 Co량은 10 wt%로 일정하고 합금내 탄소량도 5.61~5.68로 큰 변화가 없으므로 포화자화량은 큰 변화를 나타내지 않는 반면, 항자력 값은 WC 원료 입자의 크기가 6.1~0.8  $\mu\text{m}$ 로 그 변화 폭이 큼으로 그에 따라 항자력 값도 큰 차이를 나타내는 것으로 판단된다. 실제로 6.1  $\mu\text{m}$ 의 WC를 원료로 사용한 합금의 경우 항자력 값은 101~137인 반면 0.8  $\mu\text{m}$ 의 WC 경우에는 201~214로 두 종류의 합금에서 WC 입자크기에 따라 항자력 값이 큰 차이를 나타냄을 알 수 있다.

6.1  $\mu\text{m}$ 의 WC 원료를 사용한 초경합금의 경우 포화자화량이 180~181 정도로 일정한데도 항자력 값이 101~137로 Co 원료의 크기가 클수록 크게 나타나는 것으로 관찰되었다. 이 경우 Co 원료 입자크기에 따른 합금 모두에서 유리탄소상이 관찰되었으므로 결합상내 탄소 고용량은 최대값에 가까울 것으로 생각된다. 또한 금속 W 원소의 고용량은 최소가 될 것이므로, 합금종류에 무관하게 결합상내 금속 원소의 고용량은 거의 일정할 것으로 기대된다. 이에 따라 포화자화량은 유사하지만, 주로 합금내 WC 입자의 크기에 의해 영향 받는 항자력의 차이는 크게 나타나는 것으로 판단된다. 이러한 항자력 값의 변화로부터 Co 원료크기가 클 경우 같은 종류의 WC 원료를 사용하여도 합금내 WC 입자크기가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 살펴본 미세구조나 경도변화로부터 알 수 있었던 결과와 일치되는 경향이다.

상기 서술한 결과들로부터 WC 원료 입자크기를 선택함에 따라 초경합금 제조 후의 합금내 WC 입자크기를 조절할 수 있음을 알 수 있었다. 이는 공구재료의 중요한 성질인 경도 및 파괴인성을 Co량의 변화 외에 WC 입자크기로 조절할 수 있음을 의미한다. 즉 WC 입자 크기가 클수록 동일한 Co량에서 파괴인성이 크고 경도가 낮은 합금을 제조할 수 있음을 의미한다.<sup>1-3)</sup> 또한 이러한 합금 특성에 중요한 인자인 WC 입자크기 등은 항자력 등 자

기적 특성치로부터도 간접적으로 확인할 수 있음을 확인할 수 있었다.

또한 원료로 사용되는 WC의 입자크기 외에 Co의 입자크기도 합금특성에 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 동일한 WC 원료를 사용하여도 Co 원료의 입자크기가 작을수록 초경합금내 WC의 입자크기를 크게 제조할 수 있는 것으로 관찰되었다. 이러한 Co 원료 입자크기의 영향은 사용하는 WC 원료의 입자크기가 미세한 경우보다 클수록 그 영향이 크게 나타남을 알 수 있었다. Co 원료크기의 미세화에 대한 연구는 주로 나노 크기의 초경합금을 제조하기 위해 발전되어 왔다. 즉 원료 입자의 미세화로 인해 소결온도를 낮출 수 있고 이에 따라 초미립 초경합금을 제조하는데 유리한 것으로 알려져 있다.<sup>4,5)</sup> 하지만 본 연구로부터 이러한 초미립 합금에서의 영향 외에도 일반적인 초경합금에 있어서 Co 원료의 미립화가 WC 입자크기가 조대한 합금을 제조하는데도 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 이러한 조대입자 합금은 내충격용 재료로 많이 사용되는데, 이를 위해 일정 크기 이상을 갖는 WC 원료분말을 사용하여 초경합금을 제조하지만 그 제조법이 용이하지는 않은 것으로 알려져 있다. 이 경우에도 본 연구결과가 합금을 설계하는데 있어 유용한 참고자료 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

Co 출발원료의 입자크기에 따른 초경합금의 특성변화는 소결 후 제조된 WC 입자크기의 변화에 기인됨을 알 수 있었는데, 초경합금의 소결 후 WC 입자크기 차이는 소결 전 WC 입자크기의 차이 혹은 소결과정에서의 입성장 차이에 의해 나타날 수 있을 것으로 생각된다. WC 출발원료의 입자크기 차이가 소결 후 초경합금의 WC 입자크기 차이를 유발하고 이에 따라 초경합금의 특성치가 변화하는 점에 대해서는 본 연구 결과에서 확인할 수 있었다. 즉, 원료 입자크기가 큰 WC를 사용하여 초경합금을 제조할 경우 소결 후 WC 입자크기가 커서 높은 파괴인성치와 낮은 경도 값을 갖는 초경합금을 제조할 수 있는 것으로 관찰되었는데, 이로부터 WC 원료 입자크기에 따라 초경합금 특성치를 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 Co의 원료 입자크기에 따라 소결과정도 변화할 것으로 판단되는데, 이는 주로 고상 소결인 소결 초기 단계에서 변화가 나타날 것으로 생각된다. 즉 소결 초기 단계에서는 Co 원료 크기의 미세화가 치밀화를 촉진시키는 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 입성장이 주로 나타나는 액상 소결 단계 혹은 소결 유지 온도에서는, Co 입자크기만 다르고 조성이 같고 소결온도가 같은 본 실험의 경우에는 큰 영향은 없을 것으로 판단된다. 즉 Co 출발 원료의 입자크기가 다른 경우에도 조성이 같고 소결온도가 같은 본 연구에서는 액상 소결시 입성장 차이에 의한 소결 후 WC 입자 크기의 변화는 매우 작을 것으로 판단된다.

따라서 Co 출발원료 입자크기에 따른 초경합금의 특성 변화는 초경합금 제조과정 중 피할 수 없는 밀링공정에서 나타나는 결과로 판단된다. WC-Co계 초경합금을 밀링할 경우 밀링 중 나타나는 충격 및 응력에 의해 금속상인 Co의 변형 현상이 일어날 수 있고, 이러한 변형에 의해 밀링 중 Co 금속이 WC 입자를 둘러쌀 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>10,11)</sup> 이러한 현상이 일어나면, WC를 둘러싸고 있는 Co가 충격을 완화할 수 있어 밀링 중 WC 입자의 미세화 현상은 감소할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같이 Co 원료 입자가 미립일 경우에는 밀링 중 Co가 WC 입자를 둘러싸는 현상이 용이하게 일어날 수 있어, 밀링 중 WC 입자의 미세화를 최소화하여 조대한 WC 입자를 갖는 초경합금을 용이하게 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

하지만 Co 원료 크기가 클 경우는 Co 변형에 의해 WC 입자를 둘러싸는 현상이 고르게 나타날 수 없게 되고 이에 따라 WC 입자 상호간 혹은 불과의 충격 및 응력에 의해 WC 원료의 미세화가 나타나, 동일한 원료 크기의 WC를 사용하여도 소결 후 제조된 초경합금내 WC 입자크기는 작아지는 것으로 판단된다. Co 원료 크기에 대한 초경합금 특성치 변화는 원료 크기가 큰 WC를 사용할 경우에 크게 나타났다. 이는 WC 원료 크기가 작을 경우에는 Co 원료 크기가 큰 경우에도 WC 입자가 Co를 변형시키며 그 안으로도 WC 입자가 포획되는 현상이 나타날 수 있으므로 그 영향이 작아질 수 있기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

입자크기가 서로 다른 WC 원료를 선택함에 따라 초경합금 제조 후의 합금내 WC 입자크기를 조절할 수 있고, 이로부터 WC 입자 크기가 클수록 동일한 Co량에서 파괴인성이 높고 경도가 낮은 합금을 제조할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 Co 원료 입자크기에 크게 영향 받지 않음을 알 수 있었다. 또한 합금특성에 중요한 인자인 WC 입자크기 등은 자기적 특성으로부터도 간접적으로 확인할 수 있었다.

또한 원료로 사용되는 WC의 입자크기 외에 Co의 입자크기도 합금특성에 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 즉, 동일 WC 원료를 사용할 경우 Co 원료크기가 작으면 WC 입자크기가 큰 초경합금이 동일한 조건에서 제조됨을 알 수 있었다. 이러한 Co 원료 입자크기의 영향은 사용하는 WC 원료의 입자크기가 미세한 경우보다 클수록 그 영향이 크게 나타남을 알 수 있었다.

Co 원료크기의 미세화는 소결온도를 낮추어 초미립 초경합금을 제조하기 위해 주로 연구되어 왔지만, 본 연구로부터 이러한 영향 외에도 미립의 Co 원료를 사용하여

초경합금을 제조하면 합금내 보다 조대한 WC 입자로 인해 파괴인성이 우수한 초경합금을 제조하는데도 유리함을 알 수 있었다. 일정 크기 이상을 갖는 WC 입자를 포함한 조대입자 합금은 내충격용 재료로 많이 사용되는데, 이의 제조를 위해 합금을 디자인하는데 있어 본 연구결과가 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 2002년도 안동대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다. 또한 본 연구에 대해 많은 협조를 해주신 한국야금(주) 관계자 여러분과 신명수씨께 감사드립니다.

### REFERENCES

1. H. E. Exner, "Physical and Chemical Nature of Cemented Carbides," *Inter. Metals Reviews*, **24** [4] 149-73 (1979).
2. H. Suzuki, M. Sugiyama, and T. Umeda, "Effect of the Carbon Content on Properties of WC-10%Co Alloy," *J. Jpn. Inst. Metals*, **28** [2] 55-8 (1964).
3. F. V. Lenel, *Powder Metallurgy Principles and Applications*; pp. 383-400, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1980.
4. D. F. Carroll, "Processing and Properties of Ultrafine WC/Co Hard Materials," *Proc. of the 14th Inter. Plansee, Conf.*, Vol. 2 compiled by G. Knerringer, P. Rodhammer, and P. Wilhartiz, pp. 168-82, Metallwerk Plansee, Austria, 1997.
5. D. F. Carroll and C. L. Conner, "Processing of Superfine WC Powders into High Quality WC/Co Materials," *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials-1997*, compiled by R. A. Mckotch and R. Webb, Metal Powder Industries Federation, p. 12/61-74, Princeton, New Jersey, 1997.
6. J. H. Han and D. Y. Kim, "Analysis of the Proportionality Constant Correlating the Mean Intercept Length to the Average Grain Size," *Acta Metall. Mater.*, **43** [8] 3185-88 (1995).
7. K. Niihara, R. Morena, and D. P. H. Hasselmann, "Evaluation of  $K_{IC}$  of Brittle Solids by the Indentation Method with Low Crack-to-Indent Ratios," *J. Mater. Sci. Lett.*, **1** 13-6 (1982).
8. P. Walter and H. Grewe, "The Dependence of Coercive Force upon Microstructure in Technical Hard Metal Alloys," *Powder Metallurgy Inter.*, **3** [4] 180-82 (1971).
9. S. Sundin and S. Haglund, "A Comparison between Magnetic Properties and Grain Size for WC/Co Hard Materials Containing Additives of Cr and V," *Inter. J. Refract. Met. Hard Mater.*, **18** 297-300 (2000).
10. G. P. Angelus, Da Silva, N. F. Da Silva, and U. U. Gomes, "Effect of Milling Technique on the Dispersion, Sintering and Hardness of WC-Co Hard Metals," *Inter. J. Powder Metallurgy*, **37** [6] 57-66 (2001).
11. S. J. Mashl, D. W. Smith, G. H. Becking, and T. E. Hale, "Attritor Milling of WC + 6% Co : Effects on Powder Characteristics and Compaction Behaviour," *Inter. J. Refract. Met. Hard Mater.*, **8** [1] 32-40 (1989).