

WC 첨가 방법에 따른 Ti(CN)-Co/Ni 계 서멧트의 미세조직 및 특성변화

정태주* · 안선용^a · 안승수^a · 신명수^a · 김학규^a · 김경배^a · 오경식 · 이혁재
안동대학교 신소재공학부, "한국야금(주) 생산기술연구소

Microstructural Evolution and Properties in Ti(CN)-Co/Ni Cermets Depending on the Starting Material for Incorporation of WC

Tai-Joo Chung*, Sun-Yong Ahn^a, Seung-Su Ahn^a, Myung-Soo Shin^a, Hak-Kyu Kim^a,
Kyung-Bae Kim^a, Kyung-Sik Oh and Hyukjae Lee

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

^aDivision of Research and Development, Korloy Inc., Cheongju, Chungbuk 361-290 Korea

(Received March 30, 2007; Accepted April 18, 2007)

Abstract In the Ti(CN)-Co/Ni cermet, WC is an effective additive for increasing sinterability and mechanical properties such as toughness and hardness. In this work, WC, (WTi)C and (WTi)(CN) were used as the source of WC and their effects were investigated in the respect of microstructural evolution and mechanical properties. Regardless of the kinds of WC sources, the hard phase with dark core and bright rim structure was observed in the Ti(CN)-Co/Ni cermet under the incorporation of relatively small amount of WC. However, hard phases with bright core began to appear and their frequency increased with the increase of all kinds of WC source addition. The ratio of bright core to dark one in the (TiW)(CN)-Co/Ni cermet was greatest under the incorporation of (WTi)C compared at the same equivalent amount of WC. The mechanical properties were improved with the addition of WC irrespective of the kinds of sources, but the addition of (WTi)(CN) was less effective for the increase of fracture toughness.

Keywords : Ti(CN)-Co/Ni, WC, Dark core, Bright core, Mechanical properties

1. 서 론

절삭공구의 소재로는 주기율표상 IVa, Va, VIa족의 금속탄화물과 철족 금속이 주로 사용되는데, 금속탄화물은 경질상으로서 높은 경도를 부여하는 역할을 하며 철족 금속은 경질상을 결합시키는 역할을 한다. 이 중 WC-Co계를 초경합금이라 하며, Ti(CN)이 경질상, Co/Ni이 결합상인 조합을 좁은 의미에서 서멧트라 일컫는다¹⁻³⁾. 서멧트 공구재료는 상대적으로 인성이 취약해 강의 거친 절삭이나 단속절삭 응용에 제한받아 왔으며, 이에 따라 제2, 제3의 탄화물 첨가를 통한

특성 향상 및 이에 따른 미세구조 변화에 대한 연구가 지속되어 왔다^{4,11)}. 이러한 연구의 결과 현재는 고온 성능 및 인성이 향상된 Ti(CN)계 서멧트가 상용화되어 있으며 이는 다양한 종류의 탄화물을 함유하고 있다.

그중에서도 WC는 대부분의 상용 서멧트에 함유된 물질로 서멧트의 소결성을 개선하고 그 인성을 향상시키는 점에서 매우 중요한 첨가물로 알려져 있다^{4,8)}. WC 함유 화합물로는 WC와 같은 단순 탄화물외에도 WTiC, WTiCN 등 복합고용체 탄화물이 상용화되어 있으며, 실제로 초경합금의 제조에 사용되고

*Corresponding Author : [Tel : +82-54-820-5886; E-mail : tjchung@andong.ac.kr]

있다. 하지만, Ti(CN)계 서멧트에서 WC 단순 탄화물을 첨가하는 경우와 WTiC, WTiCN 등 복합합용체 탄질화물을 첨가하여 서멧트를 제조할 때 특성과 미세조직에 대한 비교 연구는 부족한 상황이다. 이에 따라 본 연구에서는 Ti(CN)-Ni/Co계 서멧트에서 WC 단순 탄화물을 첨가하여 제조하는 경우와 WC를 포함한 복합합용체를 첨가하여 제조된 각각의 경우에 대해 이의 미세구조 변화 및 특성 변화에 대해 고찰하였으며, 이로부터 제조방법에 따른 응용 가능성을 제안하고자 하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 $TiC_{0.5}N_{0.5}$, WC, WTiC, WTiCN, Co, Ni 원료분말을 사용하여 서멧트 합금을 제조하였다. 합금의 제조공정은 일반적인 분말야금 공정을 따랐으며, 본 연구에서는 WC, WTiC 그리고 WTiCN의 첨가량 변화에 따라 경질상인 (TiW)(CN)의 조성만을 변화시켰으며 결합상인 Co와 Ni의 함량은 각각 10 wt%로 고정하였다. 즉, WC, WTiC, 그리고 WTiCN의 첨가량 변화에 따라 $TiC_{0.5}N_{0.5}$ 의 함량을 조절하여 합금을 제조하였다. 본 실험에서 사용한 WTiC 원료분말의 W:Ti 비는 7:3 정도이며 WTiCN 원료분말은 약 5:5의 W:Ti 비를 가지고 있다. 이는 WTiC 및 WTiCN를 10 wt% 첨가하면 첨가된 WC 함량이 각각 7 wt%와 5 wt% 정도됨을 의미하는 것이다.

특정 조성에 맞추어 원료분말을 칭량한 후 이를 WC-Co계 초경합금 볼과 함께, 알코올을 용매로 하여 48시간 동안 분쇄하였다. 혼합된 슬러리는 80°C에서 12 시간 건조하였으며, 건조 후에 응집체에 의한 소결성 저하를 막기 위해 125 mesh로 체가름하여 (TiW)(CN)-Co/Ni 합금의 혼합분말을 준비하였다. 혼합 분말은 약 100 MPa의 압력으로 일축성형하여 디스크 형태의 성형체를 준비하였다. 이러한 성형체는 상용 서멧트의 소결 온도 범위인 1500°C에서 1 시간 소결한 후 노냉하였다. 이때 소결시의 진공도는 약 5×10^{-2} mbar이었다.

제조된 각 합금의 밀도를 소결 후 Archimedes법으로 측정하였으며, 소결체 표면을 0.5 mm 이상 거칠게 연삭하고, 계속하여 6 μ m, 1 μ m 다이아몬드 연마제로 미세 연마하였다. 이렇게 연마된 시편을 광학

현미경으로 관찰하여 각 합금의 기공도를 ISO 4505 국제규격에 의해 나타내었다. 여기서 A type 기공은 10 μ m 이하의 기공을 의미하고, B type 기공은 10-25 μ m의 기공을 의미하고, C type은 유리탄소에 의해 기인되는 기공을 의미한다. 또한 A, B, C 뒤의 수치인 02, 04, 06, 08은 해당 크기의 기공함량이 0.02, 0.06, 0.2, 0.6 vol% 이하임을 의미하는 것으로 통상의 합금은 A02B02의 기공을 함유할 때 치밀화된 정상적인 합금으로 판단된다. 또한 각 합금의 미세조직을 주사전자현미경(SEM, Jeol, JSM-6300)의 반사전자 모드(BSE)에서 관찰하였다. 합금 내 탄소량, 질소량을 알아보기 위하여 탄소분석기(WC200, LECO, U.S.A.) 및 질소분석기(TC436, LECO, U.S.A.)를 사용하여 합금의 전체 탄소량(total carbon, TC) 및 전체 질소량(total nitrogen, TN)을 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.¹²⁾ 이때 가해진 하중은 490 N으로 하였으며, 하중시간은 15 초였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 $TiC_{0.5}N_{0.5}$ -WC-10Co/10Ni계에서 WC의 첨가량에 따른 미세구조 변화를 보여 준다. 그림 1의 (a)~(d)는 각각 0, 10, 20, 그리고 30 wt%의 WC가 첨가되었을 때 나타나는 미세구조이다. (a)와 같이 WC가 첨가되지 않은 경우는 회색으로 나타나는 각진 TiCN 입자들이 밝은 색의 Ni/Co 기지에 분산된 상태임을 알 수 있다. 즉 Ni/Co가 경질상인 TiCN의 결합상 역할을 하고 있다. (b)와 같이 WC가 10 wt% 첨가되면 경질상에 조도(contrast) 차이가 발생함을 알 수 있는데, 이는 core/rim 구조로 알려져 있다.⁴⁽¹⁰⁾ 경질상의 안쪽에는 보다 짙은 색의 영역이 존재하며 이를 통상 core라 부르는데, 이는 소결 중 용해되지 않은 TiCN입자로 추정된다. 반면 rim이라 불리는 외부의 열은 회색 부분은 core에 용해-재석출 과정을 통해 석출된 (TiW)(CN) 탄질화물이다. 첨가된 WC가 액상에 용해된 후 Ti(CN)과 함께 재석출된 것으로 이해할 수 있다. 이러한 형성 과정에 의해 core와 rim은 구성 원소에 있어 차이가 발생하며 보다 무거운 원소인 W를 다량 함유한 rim 부분이

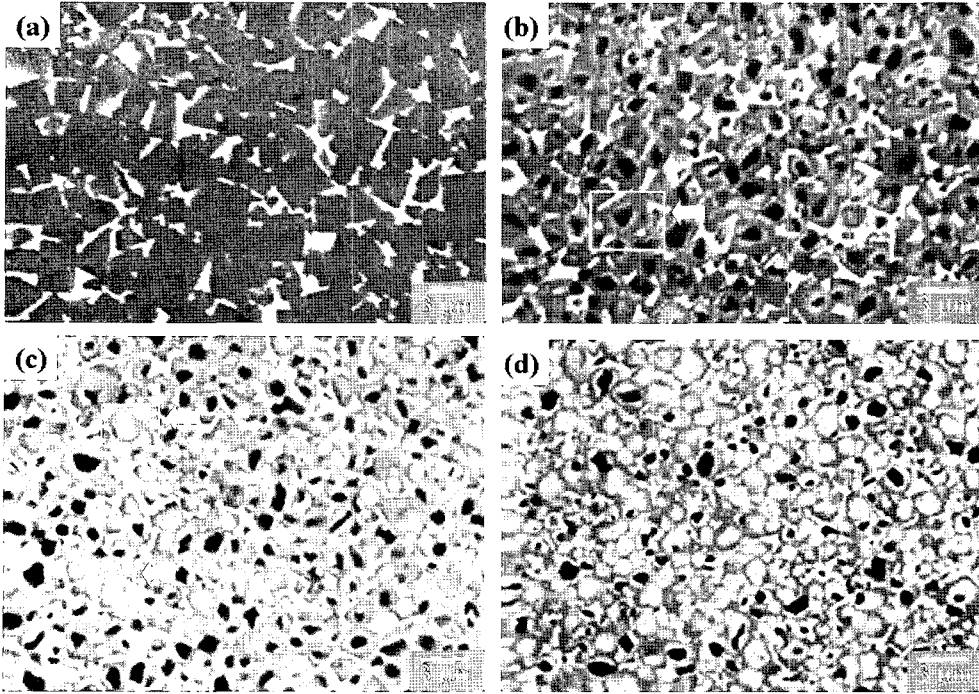


Fig. 1. SEM/BSE micrographs of the $TiC_{0.5}N_{0.5-x}WC-10Co-10Ni$ specimens (for $x =$ (a) 0, (b) 10, (c) 20, (d) 30 wt%) sintered at $1500^{\circ}C$ under vacuum for 1h.

BSE 모드에서 밝게 나타난 것으로 볼 수 있다.

TiCN계 서멧트의 core/rim 구조를 자세히 관찰하면 rim 부분에도 조도의 차이가 존재함을 알 수 있다(그림 1(b)의 화살표로 표시된 상자). 이를 각각 inner rim, outer rim으로 분류하며, inner rim이 outer rim 보다 밝은 색을 띄는데, 이는 상대적으로 무거운 원소가 다량 존재함을 의미한다. inner rim은 입성장 과정에서 outer rim에 비해 먼저 생성된 영역임이 자명한데, 이는 승온 과정 중 상대적으로 많은 양의 WC가 core의 표면에 흡착하여 생성된 영역이며, outer rim의 경우는 액상 형성 후 온도가 일정하게 유지될 때 액상을 통해 용해-재석출에 의해 형성된 결과로 알려져 있다.^{4,7)} 본 연구에서도 그림 1(b)에 화살표로 나타낸 바와 같이 몇몇 입자에서 이와 같은 미세구조가 관찰됨을 알 수 있었다. 그림 1(a)와 (b)를 비교하면 각진 형상을 갖던 Ti(CN) 입자가 WC의 첨가에 따라 점차 둥근 형상으로 변화함을 알 수 있다. 이는 W의 첨가로 Ti(CN)이 갖는 결정 방위에 따른 표면에너지의 이방성이 감소하였음을 의미한다.

그림 1(c)와 같이 WC를 20 wt% 첨가하면 그림 1(b)와 마찬가지로 어두운 core와 밝은 rim의 경질상이 다수 관찰되지만 두 가지 점에서 변화가 나타난다. 첫째는 입자의 형상이 보다 둥글게 변화한 점이며, 두 번째는 화살표로 표시한 바와 같이 일부 탄질 화물 경질상 입자에서 검은 core 대신에 밝은 core가 등장하는 것이다. 그림 1(d)와 같이 WC를 30% 첨가한 경우에는 이러한 변화가 더욱 두드러져 오히려 밝은 core를 가진 탄질화물 경질상이 다수를 차지하는 것으로 관찰되었다. 이와 같은 변화에 대해 첨가된 WC 중 용해되지 않은 일부가 입성장의 핵으로 작용하여 밝은 core가 나타났을 가능성이 있다. 그러나 제조된 시편에 대한 X선 분석결과 그림 1(c)는 물론 30 wt%의 WC가 첨가된 그림 1(d)에서도 WC상은 발견되지 않았다. 또한 WC가 통상 액상 내에서 각진 형상을 갖는데 반해, 그림 1(c)과 (d)에 보이는 밝은 색 core는 각진 형상을 갖지 않으므로 용해되지 않은 WC 입자가 남아있을 가능성은 희박하며, 이는 기존 연구와도 일치되는 결과로 판단된다^{5,6)}. 이러한 탄질화물 입자내 밝은 core 부분은 BSE 모

드에서의 조도분석으로 볼 때 그림 1(b) 등에서 관찰한 inner rim과 유사한 조성을 갖는 것으로 짐작된다. Inner rim이 소결 초기 Ti(CN) core에 표면에 형성될 때 조성차이에 따른 변형에너지가 발생하는데, 첨가한 WC의 함량이 많을수록 inner rim 형성에 따른 변형에너지 축적량이 증가한다. 변형에너지가 임계점을 넘어서면 inner rim이 core로부터 분리될 것이며 이렇게 분리된 inner rim은 추후의 용해 재석출 과정에서 core의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다^{6,7)}. 이로부터 탄질화물 입자내 밝은 core는 WC가 아니라 W가 풍부한 (TiW)(CN) 복합 탄질화물인 것으로 판단할 수 있었다.

그림 2는 $TiC_{0.5}N_{0.5}$ -10Co/10Ni계에 WTiC의 첨가량을 변화시킬 경우 미세구조 변화를 보여 준다. 그림 2의 (a)-(d)는 각각 10, 20, 30, 그리고 40 wt%의 WTiC를 첨가한 합금의 미세구조이다. 미세구조는 WC를 첨가한 경우와 유사하게 core/rim 구조를 갖는 탄질화물 경질상과 결합상으로 구성되었으며 특히 WTiC가 많이 첨가되었을 때 밝은 core를 갖는

경질상이 다수 출현하는 경향도 동일하였다. 하지만, WTiC를 첨가하면 WC의 경우와 달리 불과 10 wt%만 첨가하여도 일부 탄질화물에서 밝은 회색의 core가 발견되었다. 실제로 WC 함유량에서 유사한 20 wt% WC 함유 합금의 미세조직인 그림 1 (c)와 30 wt% WTiC 함유 합금의 미세조직인 그림 2(c)를 비교하면, WTiC를 첨가한 경우가 WC를 첨가한 경우보다 밝은 회색 core의 빈도는 높고 검은색 core는 적게 나타남을 관찰할 수 있었다. WTiC를 첨가할 때의 밝은 core는 WC를 첨가할 때의 밝은 core에 비해 비교적 어두운 조도를 갖는 것으로 관찰된다. WC를 첨가할 경우는 W가 매우 풍부한 inner rim 조성이 core로 작용하는 반면, WTiC 첨가 합금에서는 WTiC가 입방정 구조로 소결 중 용해되지 않은 첨가물 자체가 core로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 이때 W:Ti의 비율은 원료 성분에 의해 결정되므로, 이러한 조도 차이가 나타날 수 있는 것으로 짐작된다. WC를 첨가하는 경우와 마찬가지로 WTiC를 첨가할 때도 함량 증가에 따라 밝은 색 core의

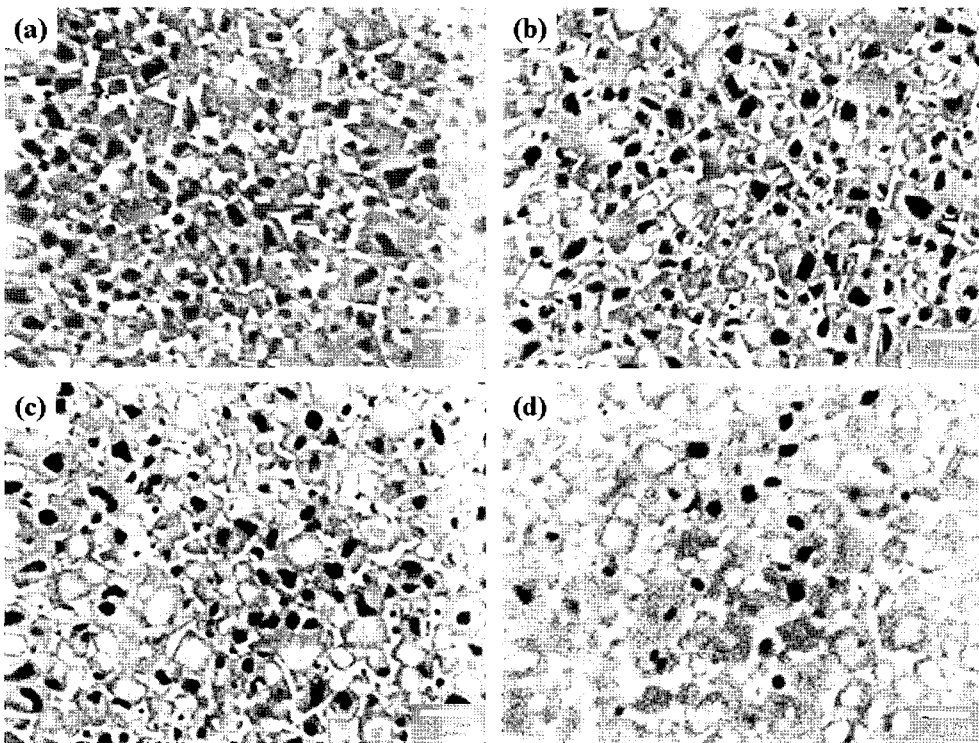


Fig. 2. SEM/BSE micrographs of the $TiC_{0.5}N_{0.5-x}WTiC$ -10Co-10Ni specimens (for $x =$ (a) 10, (b) 20, (c) 30, (d) 40 wt%) sintered at 1500°C under vacuum for 1h.

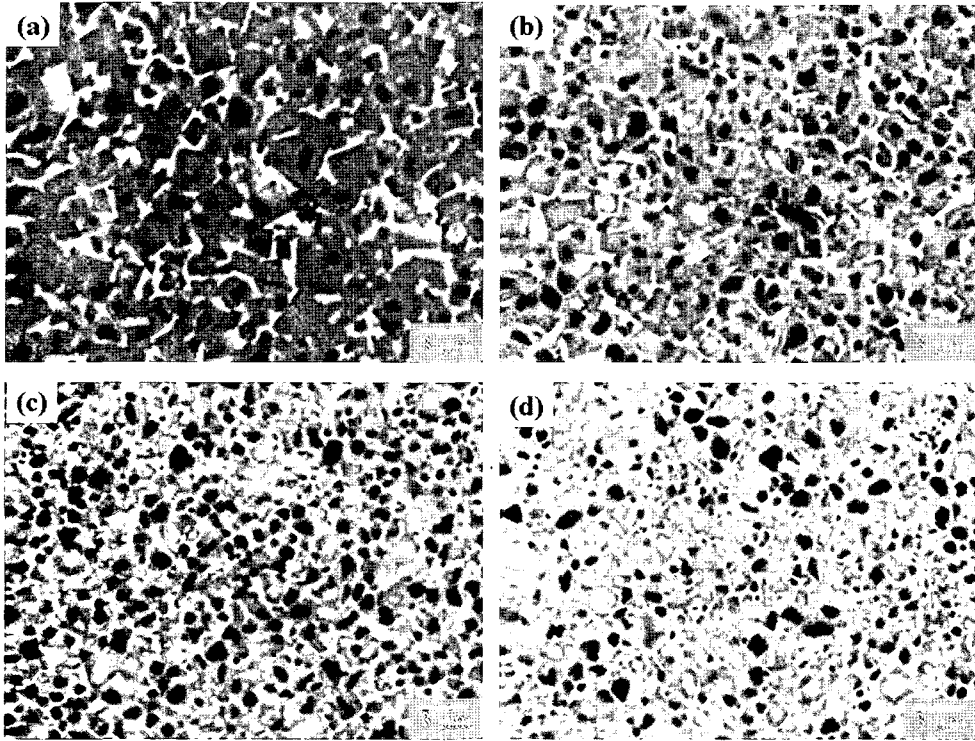


Fig. 3. SEM/BSE micrographs of the $TiC_{0.5}N_{0.5-x}WTiCN-10Co-10Ni$ specimens (for $x =$ (a) 10, (b) 20, (c) 40, (d) 60 wt%) sintered at $1500^{\circ}C$ under vacuum for 1h.

빈도는 증가한 반면 검은 TiCN core의 비율은 감소하였다.

그림 3은 $TiC_{0.5}N_{0.5-x}$ -10Co/10Ni계에 WTiCN의 첨가량을 증가시키면서 나타난 미세구조의 변화를 보여 준다. 그림 3의 (a)~(d)는 각각 10, 20, 40 그리고 60 wt% WTiCN이 함유된 합금의 미세구조이다. 전반적인 미세구조는 WC 혹은 WTiC 첨가 경우와 같이 core/rim 구조를 갖는 탄질화물 경질상 및 결합상으로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 하지만, WTiCN을 첨가하면 다른 첨가물과 비교할 때 경질상의 입성장이 억제되었다. 이는 합금 내 질소량이 많아질 때 탄질화물이 미립화된다는 연구결과와^{13,14)} 유사한 경향으로 WC 혹은 WTiC 대비 WTiCN의 첨가로 인해 질소가 다량 첨가되어 나타난 현상으로 판단되며, 실제 합금 내 질소량도 높게 관찰되었다.

WTiCN의 경우도 첨가량이 증가하면 밝은 회색 core를 갖는 경질상이 많아지는 것으로 관찰되었다. 하지만 검은색 core를 갖는 경질상 대비 밝은 색 core를 갖는 경질상 비율은 WTiC를 첨가하여 제조

한 합금보다 WTiCN을 첨가하여 제조한 합금이 작은 것으로 관찰되었다. 실제로 WC 함유량에서 유사한 20 wt% WC 함유 합금의 미세조직인 그림 1(c), 30 wt% WTiC 함유 합금의 미세조직인 그림 2(c)와 40 wt% WTiCN 함유 합금의 미세조직인 그림 3(c)를 비교하면, WTiC를 첨가한 경우에 밝은 회색 core를 갖는 경질상 비율이 가장 큼을 알 수 있었다. 이는 WTiCN을 첨가한 합금의 경우는 합금내 질소량이 많아 WTiCN과 TiCN의 결합상내 용해가 모두 억제될 수 있을 것으로 생각되며, 이로 인해 밝은 WTiCN 뿐만 아니라 검은 TiCN core도 다량 존재하여 나타난 현상으로 판단된다. 이러한 밝은 회색 core는 inner rim 조성이 core로 작용하거나 첨가된 WTiCN이 core로 작용하여 형성되는 것으로 짐작된다. 이와 같은 WC 첨가 방법에 따른 미세조직 변화는 합금 탄소, 질소량에 의해서도 영향 받을 수 있으므로 이에 대한 연구 고찰은 향후 더 필요할 것으로 판단된다.

표 1에 WC를 첨가하여 제조한 합금의 밀도, 경도,

Table 1. The properties of $TiC_{0.5}N_{0.5-x}WC-10Co-10Ni$ specimens sintered at 1500°C for 1 h in vacuum.

WC content (wt%)	sintered density (g/cm ³)	porosity	Hv (kgf/mm ²)	K _{IC} (MPam ^{1/2})	TC (wt%)	TN (wt%)
x = 0	5.57	A06B04	1209	10.7	8.93	8.13
x = 5	5.83	A04B02	1317	8.2	8.69	7.32
x = 10	6.05	A02B02	1317	9.0	8.44	6.63
x = 15	6.31	A02B02	1336	10.3	8.18	6.02
x = 20	6.60	A02B02	1418	10.8	8.01	5.40
x = 25	6.90	A02B02	1443	11.4	7.83	4.75
x = 30	7.19	A02B02	1465	11.7	7.72	4.17

Table 2. The properties of $TiC_{0.5}N_{0.5-x}WTiC-10Co-10Ni$ specimens sintered at 1500°C for 1 h in vacuum.

WTiC content (wt%)	sintered density (g/cm ³)	porosity	Hv (kgf/mm ²)	K _{IC} (MPam ^{1/2})	TC (wt%)	TN (wt%)
x = 10	5.89	A02B02	1408	8.5	8.90	6.95
x = 20	6.25	A02B02	1387	10.1	8.72	5.71
x = 30	6.63	A02B02	1418	10.3	8.65	4.63
x = 40	7.06	A02B02	1535	11.0	8.62	3.73

기공, 파괴인성, 합금탄소량, 합금질소량 등 측정된 합금특성 값을 나타내었다. WC 함량이 많아짐에 따라 합금의 비중이 증가함을 알 수 있는데, 이는 TiCN 보다 WC의 이론비중이 크기 때문이다. 각 합금의 기공은 초경합금의 기공도 분포를 나타내는 ISO 4505 규격에 의해 나타내었다. 각 문자의 의미는 실험방법에 상세히 서술하였으며, 일반적으로 A02B02의 기공을 함유할 때 치밀화된 정상적인 합금으로 판단된다. WC가 포함되지 않은 합금은 A06B04로 양호하지 않은 기공 상태를 나타내나 WC가 함유되면 기공상태가 양호한 상태가 됨을 알 수 있으며, 10 wt% 이상의 WC가 함유되면 양호한 기공상태가 됨을 관찰할 수 있었다. 이는 WC가 TiCN계 서멧트의 적심성을 개선하여 결과적으로 소결 특성을 개선한다는 연구결과와도 일치되는 현상으로 판단된다.^{1,14)}

WC 함유량이 증가할수록 합금의 경도가 증가함을 볼 수 있는데, 탄화물 자체로는 WC가 TiCN보다 경도가 낮지만, WC의 첨가에 따라 소결성이 개선된 점 및 입자가 미세화된 효과에 기인한 것으로 판단된다. 파괴인성의 경우도 WC가 함유되지 않은 경우를 제외하면 WC 함유량에 따라 우수해지는 결과를 나타내었다. WC 첨가량이 30 wt%로 증가할 때까지 기계적 특성이 향상되었지만, 실제 절삭상황에서는

WC의 내마모, 내화확성이 TiCN에 대해 열세이므로 절삭성능이 우수한 재료 선택에는 30 wt%보다 작은 범위에서 적정량의 WC가 존재할 것으로 판단된다. 합금 내 탄소량과 질소량의 경우는 WC 함량이 증가할수록 합금탄소량과 질소량 모두 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 WC가 TiCN보다 작은 탄소량 및 질소량을 함유하기 때문이다.

표 2에 WTiC를 첨가하여 제조한 합금의 밀도, 경도, 기공, 파괴인성, 합금탄소량, 합금질소량 등 합금 특성을 나타내었다. 각 합금의 기공은 WC 첨가 합금과 같이 ISO 4505 규격에 의해 나타내었다. WTiC가 첨가된 경우도 이의 첨가가 없는 경우보다 기공이 양호한 것으로 보아 WTiC도 TiCN계 서멧트의 소결 특성 개선에 효과적인 것으로 여겨진다. 소결 특성의 개선과 함께 경도 및 파괴인성 값도 비교적 우수해지는 것으로 관찰되었다. 이러한 현상도 WC의 경우와 같이 WTiC가 첨가됨에 따라 소결특성의 개선 등으로 치밀한 조직을 갖기 때문일 것이다. 합금탄소량 및 질소량의 경우 WTiC가 첨가됨에 따라 감소하는 것으로 관찰되었는데, 이 또한 WTiC의 탄소, 질소량이 TiCN 보다 작기 때문이다.

표 3에 WTiCN을 첨가하여 제조한 합금의 밀도, 경도, 기공, 파괴인성, 합금탄소량, 합금질소량 등 합금 특성을 나타내었다. WTiCN이 첨가된 경우도 첨가

Table 3. The properties of $TiC_{0.5}N_{0.5-x}WTiCN-10Co-10Ni$ specimens sintered at 1500°C for 1 h in vacuum.

WTiCN content (wt%)	sintered density (g/cm ³)	porosity	Hv (kgf/mm ²)	K _{IC} (MPam ^{1/2})	TC (wt%)	TN (wt%)
x = 10	5.79	A04B02	1317	8.4	8.57	7.47
x = 20	6.00	A04B02	1317	7.8	8.23	6.97
x = 30	6.23	A02B02	1397	8.4	7.88	6.60
x = 40	6.49	A02B02	1397	8.6	7.55	6.06
x = 50	6.76	A02B02	1379	8.0	7.13	5.72
x = 60	7.07	A02B02	1379	8.5	6.77	5.20

되지 않은 경우 보다는 기공률 평가에서 양호한 것으로 보아 WTiCN도 서멧트의 소결 특성 개선 효과가 있는 것으로 여겨진다. 하지만 WTiCN의 경우는 비교적 많은 양인 30 wt%를 첨가하여야 A02B02의 양호한 기공특성을 갖는 것으로 관찰되었기 때문에 WC나 WTiC에 비해서는 소결성 개선에 효과적이라 할 수는 없었다. 이로부터 질소함량이 많은 TiCN계 서멧트의 경우는 소결특성 개선을 위해 보다 많은 양의 WC가 필요함을 알 수 있었다.

WTiCN의 경우도 WC와 유사하게 첨가량의 증가에 따라 경도 및 파괴인성 값이 비교적 우수해지는 것으로 관찰되었다. 이러한 현상도 WTiCN 첨가에 따른 소결특성의 개선의 영향이 큰 것으로 판단된다. 하지만 40 wt%의 WTiCN 첨가된 합금의 경우 파괴인성은 8.6 MPam^{1/2}으로 WC를 기준으로 할 때 유사한 양을 첨가한 경우인 TiCN-20wt%WC-Ni/Co 혹은 TiCN-30wt%WTiC-Ni/Co 합금의 10.3~10.8 MPam^{1/2}보다 작았다. 이는 경질상의 미립화로 균열 굴절(crack deflection)과 같은 인성 향상 기구의 효과가 작게 나타난 결과로 판단된다. 인성의 경우와 달리 합금 경도 값은 WTiCN을 첨가하여도 WC나 WTiC를 첨가한 경우와 유사한 것으로 관찰되었다. 통상 미세한 경질상은 경도 개선에 효과적인 것으로 알려져 있으나 질소 함량이 높은 TiCN계 서멧트 합금의 경우에는 미세한 기공들이 존재할 확률이 높아 경도 측면에서 부정적 영향을 초래할 수 있어 나타난 현상으로 생각된다. 이와 같이 WC의 첨가 방법에 따라 상이한 미세구조를 갖는 서멧트 합금을 제조할 수 있음을 알 수 있었으며, 이에 따른 절삭성능 비교 연구도 흥미로운 것으로 판단된다. 이는 상용 서멧트 합금 제조에 기본이 될 수 있는 연구로, 향후 절삭성능에 적합한 서멧트 미세구조를 이해하고 설

계하는데 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

TiCN계 서멧트에 WC를 첨가하면 합금의 소결성이 개선될 뿐만 아니라 경도, 파괴인성 등 기계적 성질도 향상된 공구재료를 제조할 수 있음을 확인하였다. WC를 첨가한 서멧트 경우 경질상이 TiCN의 검은 core와 (TiW)(CN)의 회색 rim으로 구성된 전형적인 core/rim 구조를 나타내었다. WC 첨가량이 증가함에 따라 밝은 core를 갖는 경질상이 관찰되었는데, 이는 소결초기에 TiCN core 주위에 생겼던 inner rim들이 모상으로부터 분리된 후 core로 작용하여 생성된 미세조직으로 판단되었다.

WC 대신 WTiC 혹은 WTiCN 복합화합물을 첨가할 경우도 WC와 유사하게 복합 화합물의 첨가량에 따라 소결성과 함께 경도, 파괴인성 등 기계적 성질이 개선되었다. 하지만, 복합화합물을 첨가하는 경우는 WC에 비해 보다 작은 함량을 첨가하여도 밝은 core를 가진 경질상을 형성시킬 수 있었다. 이렇게 WC를 도입하는데, 다양한 종류의 첨가제와 첨가범위를 활용함으로써 서멧트 재료의 미세조직 및 특성 조절에 활용할 수 있음을 알 수 있었다. 옅은 회색 core를 갖는 경질상은 WTiC, WTiCN 등 고용화합물 첨가량에 따라 증가하였는데, 이는 원료로 첨가된 WTiC, WTiCN등이 inner rim 조성과 함께 core로 작용할 수 있어 나타난 현상으로 판단되었다. WTiCN을 첨가할 경우에는 상대적으로 미립의 경질상이 얻어졌으며 이로 인해 제조한 서멧트의 파괴인성 값은 WC 혹은 WTiC를 첨가한 경우에 비해 비교적 낮은 것으로 나타났지만 경도에서는 큰 차이가 관찰되지 않았다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 안동대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. P. Ettmayer, H. Kolaska, W. Lengauer and K. Dreyer: *Int. J. Refract. Met. & Hard Mater.*, **13** (1995) 343.
2. S. Zhang: *Mater. Sci. Eng. A.*, **163** (1993) 141.
3. T.-J. Chung, S.-Y. Ahn and Y.-K. Paek: *J. Kor. Ceram. Soc.*, **42** (2005) 171.
4. J. Zackrisson and H.-O. Andren: *Int. J. Refract. Met. & Hard Mater.*, **17** (1999) 265.
5. S.-Y. Ahn and S. Kang: *Scripta Mater.*, **55** (2006) 1015.
6. S.-Y. Ahn and S. Kang: *J. Am. Ceram. Soc.*, **83** (2000) 1489.
7. S.-Y. Ahn, S.-W. Kim and S. Kang: *J. Am. Ceram. Soc.*, **84** (2001) 843.
8. S.-Y. Ahn and S. Kang: *Int. J. Refract. Met. & Hard Mater.*, **19** (2001) 539.
9. S.-Y. Ahn and S. Kang: *J. Kor. Ceram. Soc.*, **35** (1998) 1316.
10. J. K. Yang and H.-C. Lee: *Mater. Sci. Eng. A* **209** (1996) 213.
11. W.-T. Kwon, J.-S. Park and S. Kang: *J. Mater. Proc. Tech.* **166** (2005) 9.
12. D. K. Shetty, I. G. Wright, P. N. Mincer and A. H. Clauer: *J. Mater. Sci.*, **20** (1985) 1873.
13. H. Suzuki, K. Hayashi, H. Matsubara and K. Tokumoto: *Jap. Soc. Powder and Powder Met.*, **30** (1983) 106.
14. S. Kinoshita, M. Ueki and H. Suzuki: *Jap. Soc. Powder and Powder Met.*, **41** (1994) 152.
15. M. Ueki: *Jap. Soc. Powder and Powder Met.*, **40** (1993) 743.