초미립 초경 합금의 기술 개발 현황 및 전망

김 병 기
한국기계연구원 분말재료그룹

1. 서 론

초경 합금은 높은 경도를 가지는 카바이드와 인성을 가지는 금속의 혼합물로서 인성이 높은 고속도강계 재료와, 고온 경도가 높은 세라믹계 재료의 중간 성질에 위치하므로(그림 1), 공구 재료에 중요한 특성인 경도와 어느 정도의 인성을 함께 가지고 있기 때문에 현재 가공용 공구, 내마모용 부품 및 금형 소재 등으로 널리 사용되고 있으며, 최근에는 반도체 산업, 전자 산업 및 정밀 공업의 발전으로 이들이 사용되는 환경이 복잡·다양화되면서 고성능의 초경 재료가 요구되고 있다. 특히 공구의 가장 중요한 특성인 경도, 항절력 및 내마모성을 향상시키기 위하여 초경 합금의 카바이드 입자를 미세화 시키는 연구가 오랫동안 진행되어 현재는 약 0.4~0.6 μm정도 입자를 가진 WC초경 합금이 개발되어 산업화 되어졌으며 또한 최근에는 새로운 제조 방법에 의해 0.1 μm 보다 미세한 초경 합금이 개발되어 국내·외에서 현재 양산화가 추진되고 있으며, 수 년내에 실용화되어

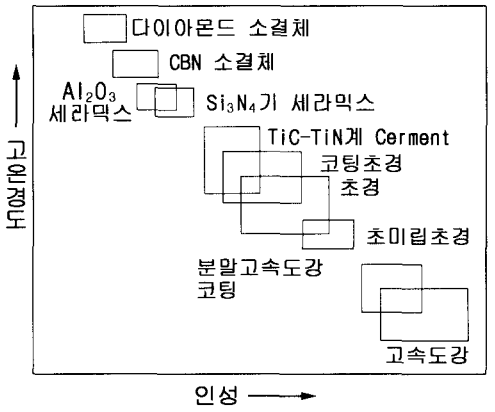

그림 1. 각종 경질 재료

질 전망이다. 따라서 본 글에서는 현재 관심이 고조되고 있는 초미립 초경 분말의 현황에 대하여 현재까지 개발된 초경 합금과 함께 제조 공정, 응용 현황 및 앞으로의 전망에 대하여 기술하고자 한다.

2. 초경 합금의 특성

초경 합금은 사용 목적에 따라 특별히 요구되는 특성이 있기는 하나 일반적으로 초경 합금 공구는 경도가 높고, 내마모, 내열성이 커야하고, 정밀도를 유지해야하는 공통된 성질이 요구된다. WC/Co계에서 기계적인 성질은 주로 Co량, WC입도 및 탄소량에 의존되는데 Co량이 증가할수록 경도는 지속적으로 감소하지만 항절력은 약 20wt% Co에서 최대치를 나타내고 있다(그림 2). 또한 WC입자가 미세할수록 그리고 탄소량이 증가할수록 경도와 내마모성은 증가되나 유리 탄소량이 많으면 조직 중에 흑연을 석출시키는 결과가 되어 강도를 현저하게 감소시키고 또한 O, N의 고용되어 있으면 취화되어지기 쉽다. 재료의 구조를 평가하기 위한 중요한 변수인 mean free path(WC 입자사이의 Co의 두께)는 Co량과 WC입자 크기에 의존하는데 mean free path가 감소함에 따라 경도는 증가되고 또는 항절력은 증가하다가 약 0.4 μm입도 정도에서 최대치를 나타낸다.

초미립 초경 합금은 보통 입도의 초경 합금에 비하여 대단히 미세한 WC 결정립 조직을 가지고 있으며, Co와의 결합 강도도 높기 때문에 여러 가지 우수한 특성을 가지고 있다. 그림3은 일반 초경 합금과 화학적 방법에 의해 제조된 초미립 초경 합금의 전자 현미경 조직을 비교한 것으로서 일반 초경합금의 WC입경은 약 1.5~2 μm을 나타내고 있는 반면 초미립 초경 합금은 약 0.08~0.1 μm을 나타내고 있다. 초미립 초경 합금은 일반 초경 합금보다 높은 경도

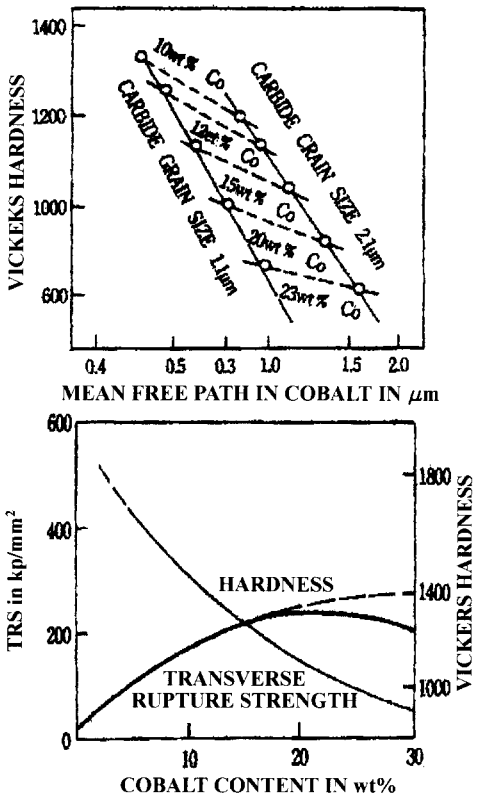

그림 2. 초경 합금의 Co 량, WC 입도 및 mean free path에 따른 기계적 특성 변화.

값을 나타내며 특히 포물선 형식으로 급격히 증가함을 나타낸다(그림 4). 또한 초미립 초경 합금은 같은 경도의 일반 초경 합금보다 높은 강도와 인성을 가지고 있는 것으로 나타나는데 그 이유는 입자 미세화에 의한 강화 효과 뿐이 아니라 Co상과 WC 입자가 균일하게 분산되어 있는 효과에 기인된다.

3. 초경 합금의 개발 현황

초경 공구는 1930년경에 미국 G.E.사와 일본의 Tungaloy사로부터 초경 합금이 개발되어 상품화되기 시작한 이후로 현재 WC-Co, WC-TiC-Co, WC-TiC-TaC-Co의 3계열 합금이 초경 공구의 주류를 이루고 있으며, 고인성과 고강도의 특성을 가지는 초경 합금을 제조하기 위하여 WC 입자 크기를 미세화하는 많은 연구가 진행되었다.(표 1)

미립 초경 분말 제조에 대한 본격적인 연구는 경우 1960년도부터 시작하여 1967년 Dupont사에 의하여 미립 WC/Co 초경 분말이 제조된 이후 0.9 μm크기의 WC-Co-Cr_3C_2, 0.7 μm 정도의 크기를 갖는 WC-Co-(TaC,Cr_3C_2), WC-Co-(Ta, Nb)초경 합금이 잇따라 개발되었고, 1984년 직접 침탄법에 의하여 0.36~0.57 μm정도의 입도를 가지는 미립 초경 분말이 개발되었다. 현재는 약 0.5~0.6 μm 입자의 초경

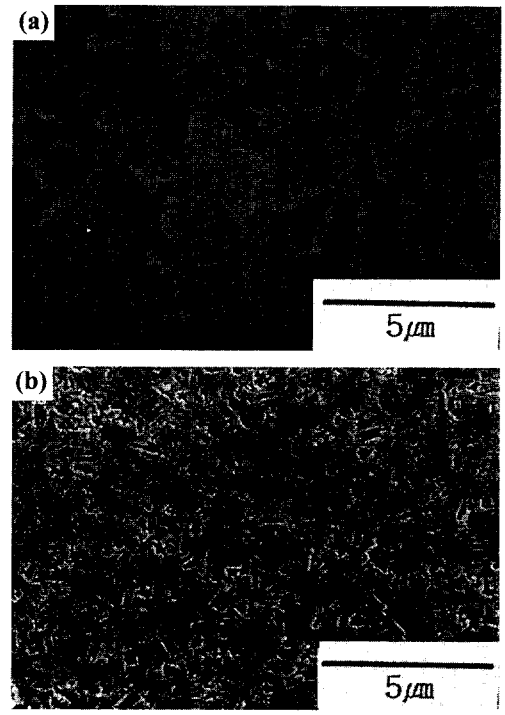

그림 3. 초미립 초경 합금과 일반 초경 합금의 소결 조직 비교; (a) 상용 초경 분말, (b) 초미립 초경 분말.

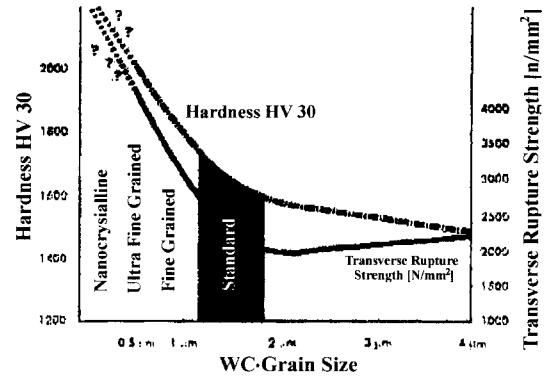

그림 4. 초미립 초경합금의 기계적특성.

표 1. 초경 합금의 개발 현황

1914	First sintered tungsten carbide
1922	WC-Co (Widia-N)
1927	Graphite Free WC+Co
1928	WC+Stellite Binders
1931	First use of grain growth inhibitors WC-Co-VC/WC-Co-TaC
1932	WC-Co-TiC-(TaNb)C
1938	WC-Co-Cr_3C_2
1951	WC-Ni
1956	WC-Co-TiC-Ta(Nb)C-Cr_3C_2
1959	WC-Co-TiC-HfC
1965	HIP
1966	Submicron WC-Co
1972	Submicron WC-Co-Cr_3C_2 (WC=0.9 μm)
1973	Submicron WC-Co-(TaC,Cr_3C_2) (WC=0.7 μm)
1979	Submicron WC-Co-(Ta,Nb) (WC=0.8 μm)
1976	Coated Carbide Tools Present on Tailored Substrate
1984	Continuous Direct Carburization UltrafineWC-Co-VC (WC: 0.36~0.57 μm)
1990	Thermochemical Process Nanophase WC/Co (WC; 20~60 nm)

합금이 상품화 되어있으며, 스웨덴의 Sandvik사, 미국의 Kennametal사, 독일의 H.C.Starck사, 일본의 Tungaloy사 등에서 end mill 등에 적용하여 판매중이며 현재 이보다 더욱 미세한 카바이드 입자 크기를 가지는 100~200 nm급의 초경 합금을 산업화하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.

기존의 미립 초경 분말 제조법은 분쇄 공정과 소결 공정 개선에 의한 미립화를 시켰지만 보통 입도의 WC를 사용하여 초미립으로 분쇄하는 것은 불가능하기 때문에 원료 분말 자체를 미세하게 만드는 연구가 처음으로 1980년도에 엑슨사로부터 시작하여 현재는 몇 개의 초경 분말 제조 회사에서 제품 개발을 추진 중에 있다. 초미립 초경 분말 제조의 선두 주자로는 미국의 Nanodyne사로서 1990년에 Thermochemical법으로 카바이드 입자 크기가 100 nm이하의 초미립 초경 분말인 Nanocarb의 제조에 성공한 이후로 양산화를 꾸준히 추진한 결과 1999년부터 년간 500톤을 생산하고 있다. 또한 Sandvick사의 Sandvick PN90과 DOW사에서 개발한 초미립 초경 분말의 경우 입자 크기가 200nm정도로서 DOW chemical사에서도 년간 500톤 규모의 초미립 초경 분말 생산을 준비중에 있으며, 스웨덴의 Sandvick사에서도 200 nm수준의 초경 분말의 양산화를 준비중에 있으므로 향후 몇 년 내에 초미립 초경 합금의 본격적인 상업화가 예상된다.

국내의 초미립 분말 제조에 관한 연구는 1992년부터 한국기계연구원에서 주관이 되어 산학연 협동으로 초미립 초경 공구 제조에 관한 연구를 시작한 이후로 Thermochemical법에 의하여 카바이드 입자의 크기가 60 nm인 초미립 초경 분말 제조에 성공한 이후로, 최근에 초미립 초경 분말의 산업화를 위하여 공정 가격을 대폭적으로 절감한 새로운 프로세스인 Mechanochemical법을 이용하여 카바이드 입자의 크기가 100 nm급의 초미립 초경 분말을 개발하여 현재 분말 양산화를 목전에 두고 있다.

4. 초미립 초경 합금의 제조 공정

일반적인 초경 합금의 제조 방법은 W와 C분말을 혼합하여 유도로나 Carbon tube로를 사용하여 수소 분위기에서 1500~2000°C사이에서 장시간 동안에 제조되며 이렇게 제조된 WC 분말은 Co 분말과 혼합되어 WC/Co분말이 제조된다. 소결은 약 1350~1500 °C사이에서 진공 분위기에서 행하여지는데 용도에 따라 기공을 완전히 제거하기 위하여 HIP처리를 하는 경우도 있다. 소결하는 동안 WC는 높은 에너지 상태에서 Co용액 중에 들어 가든가 또는 낮은 에너지 상태에서도 Co로부터 침전되어 나오려고 하는데 이때에 WC입자들이 성장하려고 하기 때문에 Cr이나 V 등의 입자성장 억제 재료를 첨가하여 입자 성장을 억제하고 있다.

기존의 초경 합금의 제조 방법은 보통 입도의 WC를 사용할 경우 분쇄, 혼합 공정에서 아무리 강하게 분쇄하여도 0.1 μm이하의 입도 까지 분쇄하는 것이 불가능하기 때문에 초미립 초경 분말을 제조하기 위하여는 원료 분말자체가 미세하게 제조되어야 하고, 낮은 온도에서 공정이 이루어져야 하며 또한 합금 강도에 유해한 불순물을 함유하고 있으면 원하는 강도를 얻을 수가 없으므로 고순도로 제조되어야 한다. 이러한 관점에서 새로이 개발된 화학적인 제조 방법은 W와 Co용액을 이용하여 침전법과 분무 건조법에 의해 고순도의 시초분말이 제조되는데 이때에 W와 Co원자들이 용액에 균일하게 분산, 혼합되어 있기 때

문에 환원, 침탄 및 소결시에 저온에서 빠른 반응 속도를 나타낼 수 있다. 분무 건조법에 의한 시초 분말 제조 방법은 Co와 W이 혼합되어 있는 용액을 빠른 속도로 기화시킴으로써 제조되기 때문에 W와 Co가 균일하게 혼합된 미세 분말을 제조할 수 있고, 밀링 등의 공정이 필요하지 않으므로 고순도의 분말을 제조할 수 있으며, 용액을 제조할 때 단순히 Co와 W의 혼합 비율을 조절함으로서 조성 변화가 용이하며, 연속 조업으로 양산화가 가능한 장점을 가지고 있다.

이 시초 분말은 탄소와 기계적으로 혼합하여 800~900°C에서 침탄하거나(Mechamochemical법), 약 600~800°C사이에서 CO, Co_2 또는 CH_4 등의 가스에 의한 침탄(Thermochemical법)으로 거쳐 WC/Co가 제조된다. 새로운 화학적인 방법은 종래의 일반적인 제조 방법과 비교할 때 모든 공정이 650~800°C 사이의 저온에서 이루어지므로 미세한 입자의 분말을 제조할 수 있고 또한 적은 공정 횟수에 의한 원가 절감과 고순도의 초경 합금을 제조할 수 있는 장점을 가지고 있다.

초미립 초경 분말은 또한 입도가 미세하기 때문에 소결 반응이 빠르게 진행되므로 공정 온도 바로 위에서 약 1분 정도의 소결 만으로도 기공이 거의 없는 초미립 초경합금을 얻을 수 있으나, 소결 중에 조대한 결정립이 국부적으로 생기기 때문에 일반 초경 합금의 소결 공정과는 다른 입자 성장 억제제의 첨가와 소결 조건이 필요하다.

5. 초미립 초경 합금의 응용 현황

초미립자 초경합금은 고경도, 고강도, 고내마모성을 겸비한 것으로서 저속절삭에서는 대단히 우수한 성능을 발휘한다. 초미립 공구 재료(100~200 nm급)에 대한 연구로 초미립 초경 제품의 상용화가 현재 진행중에 있으며, 향후 초미립 초경 제품이 개발, 생산될 경우 초미립 공구 재료에 대한 수요는 전 세계적으로 급증될 것으로 예측된다.

◎ 절삭 공구; 절삭 공구 중에 솔리드 엔드 밀이나 솔리드 드릴 등은 커터 끝에 피삭제의 용착과 탈락의 반복에 의해 전단 날에 칩핑(chipping)이 일어나기 쉽기 때문에 현재까지는 직경이 작은 엔드 밀이나 드릴에는 고속도강이 주로 사용되었지만 생산성 향상의 요구와 고 강성 공작 기계의 출현 등으로 저속 영역에서 적합한 초미립 초경 합금의 사용이 가능하다.

-Solid drill; 고경도와 고인성, 그리고 고 내마모성이 요구되는 PCB가공용 드릴로서 사용되는데, 특히 소형 드릴(ϕ 0.5 mm이하)에서는 높은 내마모 특성과 함께 고인성이 요구되므로 초미립 초경 합금이 적합하며, PCB의 콤팩트로 소형 PCB 드릴용 초미립 초경 합금의 이용이 더욱 늘어날 전망이다.

-end mill; 절삭 속도를 빨리하기 힘든 소형 엔드 밀에는 주로 고속도 공구강을 사용하였으나 생산성 향상 요구와 고강성 공작 기계의 출현과 더불어 저속 절삭에 적합한 미립 초경 합금이 개발 됨에 따라 초경 합금 Solid end mill이 개발되어 현재 강의 절삭에는 대부분 미립 초경 합금을 사용하고 있으며, 본격적인 초미립 초경 분말의 제품화로 초미립 초경 합금의 큰 잠재 시장이 될 것으로 사료된다.

◎전단 공구; 전단 공구 중에서 쉐어 브레드나 로터니 나이프 등은 edge의 예리성과 내마모성, 내 치핑성이 요구되기 때문에 초미립 초경합금의 사용이 적합하다. 종이 철판등의 전단에 사용되는 절단 날에는 절단 부분의 고품질과 수명 향상을 위해 초경 합금을 사용하며, 이중에서도 특히 날카로운 모서리와 내마모성, 내 치핑성이 요구되는 부분에는 초미립 초경 합금을 사용하고 있다. 또한 자기 테이프, 종이, 포일용, 강관용 등의 엄밀한 치수와 절단 부분의 정밀도가 요구되는 부분의 절단 나이프에 사용되는 로터리나이프의 경우 내마모성이 높고 상당히 오랜 시간동안 날카로운 절단날이 지속되어야 하므로 초미립 초경 합금이 사용된다.

◎금형; 금형에는 보통 일반 입도 초경 합금을 주로 사용하고 있지만 초미립 초경 합금은 날카로운 모서리가 요구되는 고 정밀도 금형이나 펀치용 재료로서 가장 적합하며 경박단소형 부품의 제조에는 상당히 유용하다. 초미립 초경 공구의 사용 범위는 미립 초경 제품과 유사할 것으로 예상되며 또한 같은 경도에, 높은 인성의 특성을 가지므로, 현재 고속도 공구강이 응용되고 있는 부품들을 대치할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 맺음말

지금까지 초미립 초경 합금의 제조 공정, 특성 및

응용 현황에 대해 알아보았다. 현재 0.3~0.5 μm 입도의 초경 합금은 널리 사용되고 있으며 그 용도도 서서히 확대되어 양적으로 증가하고 있으며, 기존에 사용하고 있는 제조 방법을 탈피하여 새로운 제조 방법에 의해 이보다 더 미세하고(0.1 μm) 더욱 고순도의 초경 합금을 개발하여 양산화함으로서 초경 공구의 수명 향상에 따라 그 응용이 확대될 것으로 기대된다.