

WC 초경합금 기술의 발전

본 고에서는 초경합금의 발전 과정에 대한 내용(Metal Powder Report 95년 12월호)을 요약하여 소개하고자 한다.

(대한중석 종합기술연구소 조기홍 박사)

1920년대에 텅스텐 카바이드를 이용한 초경합금이 개발된 이후 70여년이 지난 현재에 이르러서도 초경합금은 그 제조 공정, 합금의 조성, 품질관리 기법 등은 초창기 기술을 기본으로 하기 때문에 큰 변화가 없는 듯 보이나 내부적으로는 대단히 큰 발전을 이루어 왔다.

화학증착법(CVD)과 물리증착법(PVD)에 의한 피복, hot isostatic pressing과 sinter HIP기술, attritor milling, spray drying, pelletizing, carbonitride cermets, indexable insert design 등의 기술개발을 통한 초경합금의 발전은 산업계에 과히 혁명을 가져왔다 해도 과언이 아니다.

초경합금의 탄생

초경합금 산업은 비교적 젊은 산업으로 역사는 1920년대로 거슬러 올라간다. 초경합금은 독일 Osram사의 Berlin research laboratories에서 Karl Schröter가 액상 코발트로 접합시킨 텅스텐 카바이드(WC)를 고안함으로써 탄생하게 되었다. 처음에는 백열전구 용도의 필라멘트선을 제조하기 위한 drawing dies용 재료로 개발되었으나 곧 이 합금의 절삭 공구 용도로의 가능성이 인식되었다. 방대하고 영향력 있는 Krupp사는 이 새로운 합금을 Widia(wie diamant: 다이아몬드와 같은)라는 상품명으로 판매를 하였고 세계 곳곳에 타 초경합금 생산 공장에 라이선스를 주었다.

1930년대를 통하여 텅스텐 카바이드와 코발트를 대체하기 위한 노력이 경주되었는데 이러한 배경은 Krupp사와 Osram사의 특허를 피하기 위하거나 단순한 기술적인 성취의 이유에서, 또 전쟁이 임박한 상황에서 텅스텐이 전략적인 물자로 사용되기 때문의

이유에서였다.

오늘날 사용되고 있는 합금의 근간은 1939-1945년 사이에 정립이 되었지만 초창기에 개발된 합금이 1990년대에 이르러서도 표준 합금으로 자리잡은 것도 있다. 초경합금은 독일 전쟁과의 관련이 크다. 전쟁 중 독일 및 독일 점령 지역의 텅스텐의 고갈로 인하여 refractory metal을 효율적으로 사용해야 할 필요성이 대두가 되었는데 예로서 고속도강에 사용되는 텅스텐의 량으로서 초경합금을 제조할 경우 동일 중량의 텅스텐에 대한 절삭량 및 절삭 효율은 초경합금 쪽이 훨씬 많고 큰 결과가 얻어짐에 따라 가능하다면 고속도강 대신에 초경합금의 사용을 명하게 된 것이다.

전쟁 기간 중 독일은 초경합금 제조 기술에 대한 기술 유출을 피하여야 하였기 때문에 Krupp사와 이의 협력사만이 Widia 조성의 모든 합금 재종들을 제조하고 점령 지역 내의 타 회사들은 단일 재종 또는 극히 제한된 품목만을 생산하게 되었다. 연합국 및 중립국에서는 Krupp widia 만큼의 선도기술 배경과 노력은 부족하였지만 비슷한 발전을 하고 있었다. 현존하는 주요 초경합금 제조 업체들은 이 전쟁 중에 탄생되었거나 급격한 팽창을 하게 된 회사가 대부분이다. 전쟁 직후 독일의 업체들은 영국이나 미국 또는 기타 지역의 업체들에 비해 실리를 얻었는데 독일을 제외한 기타 국들은 아직 고속도공구강 시대인데 반해 독일은 초경합금 공구를 적용하여 고속도의 가공 장비로 생산성을 높일 수 있었기 때문이다.

초경합금 제품

1945년 이후 10여년의 기간 중에는 초경합금 생산량의 약 50% 정도가 광산용 bit가, 절삭 공구가 25%

정도, 나머지 25% 정도는 내마모 공구가 점유를 하였다. 이 당시 거의 모든 절삭공구는 용접형이 주종을 이루었으며 초경합금은 비싼 재료로 인식이 되었기 때문에 마모가 된 절삭 공구는 재연삭을 해서 사용하는 것이 일반적이었다.

임금이 점차 높아짐에 따라 먼저 미국에서 이후 유럽 및 개발 도상 국가에서 용접형 초경합금 공구를 재연삭하여 사용하는 것보다는 체결방식의 정밀한 인서트를 사용하는 것이 점차 저렴하게 되었다. 이는 재연삭 비용뿐만이 아니라 공구를 마련하고 교체하는데 시간이 많이 소요되어 절삭 공구 비가 오히려 증가하는데 기인한다. 용접형 공구는 한날만 사용이 가능하나 인서트의 경우에는 삼각형의 경우에 양면에 날을 주어 6날, 사각형 인서트의 경우에는 8날까지 사용이 가능하여 인서트의 수명은 대폭으로 향상되었는데 이런 이유에서 인서트는 점차로 인덱서블 인서트라 불리게 되었다. 초창기 인덱서블 인서트의 모양은 양면이 편평하고 단순한 모양으로 칩브레이크를 별도로 체결시에 부가시켜 사용하였다. 이 당시에 수명이 다한 인서트를 재연삭하여 더 작은 규격으로 재생 처리하는 방법이 성행하였는데 이로 인하여 인서트 제조 업체의 생산량이 감소하여 곤란을 겪게 된 시절이 있었다. 이후 칩브레이크가 형성된 인서트와 함께 화학증착법에 의한 코팅 공구가 출현함으로써 인서트의 재생처리가 불가능해져 이러한 재생 산업은 쇠퇴하게 되었다.

화학증착법에 의한 TiC 피복 기술은 1960년대 초반에 Laboratoire Suisse de Recherches Horlogique에서 스텐레스강제 시계 케이스에 대하여 내마모성을 증대할 목적으로 개발이 되었다. 화학증착법은 강 가공 절삭공구의 절삭속도와 공구 수명을 획기적으로 연장시켜 인서트의 사용 영역을 획기적으로 확대시켰다. 곧 이어 화려한 순금색의 TiN 화학증착 코팅 피복 기술이 개발되었고 물리증착법이 여러 나라에서 개발이 되었다. 최근 코팅 절삭공구는 전체 절삭공구의 약 80%를 점하며 세계적으로 초경합금 총생산량의 약 50%를 넘는 것이다. 초경합금공구의 형상에서도 인서트의 대량생산과 아울러 획기적인 발전이 있었다. 이는 CAD에 의하여 인서트와 툴홀더의 복잡하고 정밀한 디자인이 가능하여 인서트 및 절삭날의 정확한 위치 안정성이 높아지고 다양한 체결방법이 가능할 수 있었기 때문이다. 인서트의 가장

보편적인 체결방법은 인서트의 중앙 홈을 툴홀더에 나사로 체결하는 방법이 있으며, Iscar에 의해 선도된 기술로 가장 간단하고 획기적인 방법으로 정밀인서트를 툴홀더의 틈에 끼워 사용시 마찰력과 절삭력만에 의해 체결하는 방법도 있다.

광산이나 유정개발에 사용되는 공구도 이제는 초경합금이 일반화가 되었는데 이 분야에서도 큰 발전이 있었다. 절삭방식에 의해 암석을 깨뜨리는 종래의 cross-bit가 반복되는 타격방식의 button bit로 급격히 대체하게 된 것이다

1946년 이전에는 들어보지 못한 여러 용도에 초경합금이 실용화되고 있다. 예로서 모든 사람의 필수품에도 적용되고 있는데 볼펜의 볼이 그것이다. 또한 예전에는 특정 사람들만의 전유물로서 고가품이고 사치품으로 간주되던 초경합금 팁이 붙은 드릴은 이제 어느 가정에서나 사용되고 있는 것이다. 이외에도 초경합금은 endmill에서부터 rolling mill에 이르기까지 일일이 열거할 수 없을 정도로 그 용도 및 영역이 넓다.

초경합금제조 업체

초경합금이 개발된 이래 여러 회사들이 설립이 되고 초경합금 기술을 선도한 여러 회사들이 있어 왔으나 최근 들어 많은 구조변화를 보이고 있다. 많은 회사들이 사라지고 또 합병되고 상호가 바뀌고 주인이 바뀌었다. 초경합금의 원조인 독일의 Krupp Widia사는 4년 전에 초경전문회사가 아닌 미국의 Cincinnati Milacron의 Widia division으로 바뀌고 미국내 가장 오래되고 세계적인 기업인 Valenite와 Walmet사와 통합되었다.

스웨덴에 본사를 둔 Sandvik Coromant사는 세계에서 가장 거대한 업체로 성장하였다. 철의 장막이 철거된 이후 Sandvik사는 동구권에 많은 자회사를 거닐 수 있게 되었다. Seco왕국은 한때 GE의 자회사로서 세계에서 가장 큰 규모를 자랑하던 Carboloy를 인수하였다. 현재 세계에서 2위 규모를 보이고 있는 Kennametal사는 독일 Hertel사를 인수한 후 거대한 초경 생산업체로 발돋움했다. 아마도 미국 내에서 가장 큰 초경합금 원료업체인 GTE Sylvania사는 독일 회사인 Osram사에 흡수되어 Osram Sylvania사가 되었다. 아주 작은 록셈부르크에 위치한 Cerametal사는

이전에는 각각 독립업체이던 여러 회사들 즉 RTW를 흡수했던 Harbor group, Carbidie사 Atrax사 및 여러 타 회사를 합병해 주요 생산업체로 부상하였다.

원료분말 및 특수 초경합금

초경합금산업분야에서 가장 핵심적인 변화는 원료 분말 제조업체의 대형화와 소수화가 진행된 점이다. 4-50년 전에는 웬만한 초경합금 제조업체들은 모두 자체 내에서 탄화물을 제조하여 사용하였는데 오늘날에는 아주 소수의 회사만이 이러한 구조를 가지고 있다. 이렇게 된 가장 큰 이유는 경제성인 문제 뿐만 아니라 생산 방식이 바뀌게 된 것이 주된 이유이다. 현재는 거의 모든 초경합금 제조업체들이 H.C. Starck사나 Osram Sylvania사 등과 같은 세계적으로 거대한 업체로부터 탄화물을 구입하여 사용하고 있다. 이 경우 장점은 제조단위가 크기 때문에 가격이 저렴할 뿐만 아니라 품질의 균질성이 높고 또 분말제조에 필요한 숙련된 기술자, 소요기술에 필요한 노력을 줄일 수 있고 경기침체시 늘게 되는 설비의 부담 등을 줄일 수 있는 장점이 있으나 단점으로는 소위 "공통분도 중후군"으로 동일한 원료를 사용한 초경합금의 특징들이 동일하다는 것이다.

아주 소수의 초경합금 제조업체들이 아직도 자가생산하는 탄화물을 사용하고 있는데 이들은 광산공구 전문회사가 아니면 탄화물제조기술의 경쟁력을 갖는 회사들이다. 대한중석(Korea Tungsten)이나 Kennametal과 같은 큰 회사나 분말제조분야에 전문 기술을 가지고 있는 일부 업체들은 오랜 역사를 가지고 있는 회사들로서 기술면에서 고유의 Know-how를 가져 경쟁력을 가지고 있기 때문이다.

원료분말 면에서도 괄목할 만한 진보가 이루어졌는데 이들 중의 하나가 micrograin 탄화물로서 이를 이용한 초경합금은 고인성, 고경도 특성이 조합되어 solid carbide tool에 적합한 특성을 가진다. 1960년대에 개발되었다고 추정되는 이 미립 초경합금은 이미 2차 대전 이전부터 제조하고 있는 회사가 있었다. 그 시절에는 입자성장 억제기술에는 큰 진보가 없었는데 값비싼 TaC의 사용이 일반적이었으며 값이 싼 Cr₃C₂의 사용이 점차 증대하였다.

중요한 출발점 중의 하나가 결합상을 Ni-Mo로 하는 TiC계 초경합금인데 이는 1960년도에 미국 Ford

사의 Dearborn research laboratory에서 개발된 것이다. 이는 1930년대에서 이미 시도된 흔적이 보인다. 오늘날의 TiCN계 합금의 제조업체들은 양질의 원료 분말을 사용하여 진공소결에 의존하고 있다. 재미있는 개발 중에는 Inco Europe가 아주 우연하게 ruthenium을 초경합금에 첨가하여 인성을 향상시킨 합금이 있으며 Mitsubishi사의 분산강화형 superalloy를 결합상으로 한 합금, Ferro-TiC으로 잘 알려져 있는 재료인데 강의 기지상에 TiC의 경질상을 분산시켜 열처리특성을 갖게 한 기계가공성의 초경합금, 금속 결합상을 이용한 CBN의 절삭공구용 재료들이 있다.

최근의 10여년 동안에는 그 구성 조성이 매우 복잡한 TiCN계 초경합금의 수요가 급격히 증가하게 되었는데 소위 Cermet라 불리는 것이다. 학술적인 의미에서 cermet라 함은 CERamic과 METal의 합성어이지만 일본에서는 WC계 초경합금에 대해 TiC 또는 TiCN계 초경합금을 의미한다. 이 합금재질은 강을 고속가공하는데 탁월한 성능을 발휘하여 점차 그 가치를 올리고 있다. 가장 최근에는 cermet 기지상에 CVD나 PVD를 혼용하거나 단독적으로 사용하여 단일층 또는 복합 층의 피복 층을 올린 cermet insert가 개발되었다.

계속적인 개발에 힘입어 극초미립의 WC 분말이 개발되었다. 초경합금 중의 탄화물입자를 미세화하고 입도 분포를 아주 좁게 함으로서 경도, 탄성률, 내마모성, 압축강도 등 초경합금의 특성을 향상시킬 수 있는데 결합상도 소결시 액상으로 되지만 미세할수록 좋다. 50년 전에는 1-1.2 μm 정도의 것이 "미립(fine)"으로 1 μm 하의 것은 submicron으로 이를 생산하는 제조업체에서 이렇게 불렀다. 그러나 오늘날에는 비록 작은 규모이긴 하지만 평균입도가 수 nanometres의 분말이 개발되었다. 미립이란 용어자체에 혼동이 있어 왔는데 아직도 micrograin, nanograin superfine, extrafine 등의 의미가 확실하게 규정되지 않은 용어로 사용하고 있는 실정이다. 예를 들면 제조업체에 따라서는 0.4 μm의 분말을 sub-mu, extrafine, ultra fine 또는 심지어 nano size로 불리고 있다. 이와 함께 정확한 입도분포의 측정 기술의 진보가 있었는데 Laser기술을 이용한 computer에 의한 해석은 이제 일반적인 방법이 되었다.

한편 재미있는 아이디어는 최근 미국에서 개발된 고인성 중립 WC-고농도 Co 초경합금 기지상에 미립

WC-저 농도 Co합금의 집합체를 분산시킨 초경합금인데 내충격성과 내마모성 인성을 겸비한 합금이 되겠다. 이러한 합금들을 이용한 제품들이 향후에 많이 출현 할 것으로 예견된다.

코팅기술

초경합금의 산업에서 가장 주요한 발전 중의 하나는 후반기에 이룩된 화학증착법 또는 물리증착법에 의한 내마모성이 우수한 얇은 코팅 층의 코팅기술 개발이 되겠다. 이와 유사한 기술로 1950년대에

Wimet Laminate 라고 불리는 합금 제조기술이 있었는데 일반적인 초경합금 기지상에 비교적 두꺼운 TiC가 다량 포함된 초경합금 층을 입혀 심부의 우수한 인성과 표면부의 crater마모성이 우수한 표면부의 특성을 조합시킨 것이다. 결국 이는 실용화되지 못하였는데 그 이유는 열응력에 의한 계면의 분리 문제가 있었고 또 후에 강도 및 내 crater 마모성이 우수한 향상된 성능의 TiC, TaC, NbC등의 고용체가 사용된 초경합금이 개발되었기 때문이다.

초창기에 개발된 TiC코팅 기술은 이내 TiCN 또는 TiN코팅 기술로 발전되고 얼마 되지 않아 alumina,

Table 1. Selected dates in sintered hardmetals

1923-25	WC-Co
1229-31	WC-TiC-Co TiC-Mo ₂ C-Ni, Cr, Mo
1930-31	WC-TaC(VC, NbC)-Co TaC-Ni
1931	TiC-TaC-Co
1938	WC-Cr ₃ C ₂ -Co TiC-VC-Ni, Fe
1944	TiC-NbC-Ni, Co
1948-70	Sub-micron WC-Co
1949	TiC-VC-NbC-Mo ₂ C-Ni
1950	TiC(Mo ₂ C, TaC)-Ni, Co-Cr
1952-66	TiC-heat treatable steels and alloys
1956	WC-TiC-Ta(Nb)C-Cr ₃ C ₂ -Co
1957	TiC-TiB ₂
1965-70	WC-TiC-HfC-Co
1965-75	TiC-Mo ₂ C-Ni, Mo
1965-78	Hot isostatic pressing
1968-69	TiC, TiN, Ti(C, N), HfC, HfN and Al ₂ O ₃ CVD coating on WC
1968-69	WC-TiC-Ta(Nb)C-HfC-Co
1968-70	WC-TiC-Ta(Nb)C-HfC-Co
1968-73	(Ti, Mo)C-Ni, Mo
1969-70	TiC-Al ₂ O ₃
1969-71	TiC-TiN-Ni
1972-75	Thermochemical surface hardening
1974-77	TiC-TiN-Ni
1973-78	PCD on WC-base hardmetal Multi-carbide, carbonitride/nitride and multiple carbide/carbonitride/nitride/oxide coatings
1976-79	Complex carbides with Ru additions
1979	TiC-TaC-Mo ₂ C-Ni alloy
1980	Ti(C, N)-precipitation-hardened superalloy
1981	Many thin coatings with ALON(aluminium oxynitride) layers
1981	W/Ti/Mo-base carbide/carbonitride cermet with complex Co/Ni-base binder
1983-92	Sinter-HIP
1992-95	Plasma CVD diamond coating
1993-95	Coating complex carbonitrides
1994	Fine-grain WC/Co agglomerates in tougher WC/Co matrix

*All dates in this table are approximations.

aluminium oxynitride, hafnium 복합물, 2-3층의 코팅층, 더욱 발전하여 13층의 명확한 코팅층의 기술이 출현하였다.

화학증착법의 기술과 함께 주로 강을 대상으로 한 여러 종류의 물리증착법이 개발되었는데 이의 잇점은 화학증착법에 비해 저온에서 처리가 가능하기 때문에 열처리된 강의 조직에 영향을 미치지 않는 것이다. 화학증착법은 반대로 이러한 면에서 강에는 적용하지 못한다. 그러나 최근에 들어서 물리증착법은 화학증착법과 같이 초경합금에 적용되는 기본 기술로 되었으며 공구강에서는 흔하게 적용하는 기술로 자리잡았다. TiN층의 화려한 금색은 성능 향상의 상징으로 여겨져 왔는데 예로서 상품명으로 Goldcoat, Goldmaster 등이 있다. 기술적이나 이론적으로 이들의 필요하지 않은 용도에도 제조자들이 일상적으로 물리증착 또는 화학증착법을 도입하여 이에 전문지식이 없는 사용자들을 현혹시키는 예도 있다.

가장 최근에 화학증착과 물리증착을 교대로 또는 동시에 행하는 기술이 개발되었으며 초경합금 기지상에 비정질의 순수 다이아몬드 또는 유사 다이아몬드층을 입히는 기술이 탄생되었다. 이는 다이아몬드의 합성에 필요한 초고압 및 고온이 필요치 않고 놀

라울 정도로 다이아몬드 층이 쉽게 얻어지는 기술인 것이다. 이의 단점은 적용영역이 작다는 것이다. 다이아몬드는 결정체나 코팅층이건 강이나 주철 절삭시에는 급격한 화학반응이 일어나기 때문에 절삭을 할 수가 없다. 주요 용도로는 실리콘-알루미늄, 유리 또는 탄소 복합체 등의 기계가공 등에 사용이 되는데 향후 전자분야에서 마이크로 칩의 heat sink 용 재료로서의 적용 가능성이 아주 크다.

향후 동향

향후의 초경합금의 발전 방향은 어떤 것일까. 확실히 더욱 미세한 분말과 이를 이용한 기계적 특성이 향상된 합금이 절삭공구 및 여러 용도에 사용될 것으로 예측된다.

절삭공구 용도로서는 복합탄질화물계 합금, 세라믹스와 초고경도물질이 서로 경합을 벌일 것으로 판단된다. 또한 초경합금 기지상에 구상의 더욱 경한 초경합금 분산상으로 결합된 신 개념의 초경합금 제품의 탄생도 예견된다. CBN 코팅이 출현하여 일반적인 초경기지상에 입혀져 주철가공에 탁월한 성능을 발휘하게 될 것이다.