

## 공구재료의 선택을 위한 가이드\*

장 우 양

조선대학교 금속·재료공학부

### Guide for Selecting Tooling Materials

W. Y. Jang

Dept. of Met. & Mater. Engr., Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

적절한 공구재료의 선택은 생산성 향상, 비용 감소, 품질 향상 그리고 더 효율적인 경쟁력을 갖추기 위해서 필수적이다. 이러한 도전은 좀 더 새롭고 강한 기계재료의 가공에 대한 어려움뿐만 건식가공에 의해 발생할 수 있는 환경 문제를 줄이는 데에도 필요하다. 좀 더 쉽게 공구재료를 선택하기 위해서, 본 고에서는 반드시 고려해야 할 가장 보편적인 철계 공구합금, 텅스텐 카바이드계 공구 및 세라믹 공구중의 일부를 설명하고자 한다.

#### 1. 공구재료의 선택

공구는 다양한 제조공정에 대한 요구조건을 충족시키기 위해 수년에 걸쳐 개발되어온 넓은 범위의 공구재료로부터 선택할 수 있다. 이들은 철계 합금, 텅스텐 카

바이드계 및 세라믹 등을 포함한다.

공구선택의 편의를 위해서, Carpenter사는 대표적인 공구강, 카바이드계 및 세라믹의 내마모성과 인성과의 상대적인 관계를 도시한 특별한 차트를 개발하였다(그림 1). 이 차트는 어떤 주어진 조건에서 21 종류의 서로 다른 공구재료가 가장 효율적으로 견딜 수 있는 내마모성/경도 및 인성의 조합을 한 눈에 쉽게 알 수 있도록 개략적으로 나타내고 있다.

차트에 표시한 재료들은 4 종의 기존 공구강, 1 종의 초고강도 공구재료, 5 종의 분말야금에 의해 제조된 고속도강, 2 종의 분말야금에 의해 제조된 냉간가공용 공구강, 다른 결정립 크기를 갖는 7 종의 카바이드계 및 2 종의 세라믹으로 구성된다.

대부분의 공구 파손은 낮은 내마모성, 칩핑(chipping) 또는 파단에 기인하기 때문에 내마모성과 인성은 공구 재료를 선택하는데 가장 기본적인 기준이 된다. 상온경도 및 고온경도는 일부 몇몇 재료의 내마모성에 대한 인자가 되기도 한다.

차트에서 공구재료의 위치로부터 공구재료가 적절한 상태 예를 들면, 열처리가 되었는지를 추정할 수 있다. 공구의 사용조건 또한 재료와 잘 일치되어야 한다. 예를 들면 비록 차트에 나타난 MMA11이 T15보다 더 나을지라도 고온경도를 갖지 않으므로 사용중에 온도가 상승하는 형 공구와 같은 고속 응용에는 사용되지 않는다.

주어진 사용조건에서 가장 적절한 공구재료를 선택하기 위해서는 공구의 사용환경을 명확하게 이해하는 것이 중요하다. 예를 들어 공구가 충격에 깨지지 않아야 할 재료라면 충격성질이 중요할 것이다.

공구선택시 가공물의 재질 역시 고려하여야만 한다.

그림 1. 공구재료의 상대적 내마모성 및 인성

\*이 기사는 Advanced Materials & Processing, 157(1) (2000. 1) P. 47에 게재된 내용을 번역한 것임

만약 가공물이 탄소강이라면, 일반 공구강에 의해서도 양호한 가공이 얻어진다. 그러나 가공물이 Ni계 또는 Co계 초합금이라면 텅스텐 카바이드계 공구를 선택하는 것이 더 좋을 것이다.

## 2. 일반 공구강

일반 주조/단련 공구강은 일반적인 목적의 기계가공 및 성형의 목적으로 아직도 널리 사용되고 있다. 이러한 등급의 공구강은 Fe계이며 C, Cr 및 기타 다른 원소들이 소량 첨가되어 있다(표 1 및 2).

이와 같이 넓은 용도로 쓰이는 합금은 흔히 아크로에서 용해하며 목적조성을 맞추고 해로운 원소를 제거하

기 위해 정련하며, 잉곳트를 만들기 위해 주형에 주입한다. 이 잉곳트는 간혹 미세조직을 개선하기 위해 ESR(electroslag remelting)법에 의해 재용해되며 바, 플레이트 및 시트의 형태로 열간압연하거나 단조한다. 이러한 소재는 터닝, 밀링, 보어링 및 드릴링 등과 같은 공정을 통해 공구 제조에 적당한 길이로 절단된다.

이러한 합금계와 기타 모든 Fe계 합금의 차트상의 위치를 나타내는 마모나 인성성질은 ASTM 시험 절차에 준해 엄밀하게 측정되었다. 내마모성은 dry sand rubber wheel(ASTM G65 Method A) 또는 separate cross cylinder test(ASTM G83)에 의해 평가된다. 충격저항은 ASTM E23에 의거 샤피 또는 아이조드 충격시험에 의해 결정된다.

표 1. 일반 공구강 및 고속도 공구강

합 금	형 태	용용분야	내마모성, mm <sup>3</sup> (ASTM G65)	인성, ft-lb (ASTM E23)
A2(484)	Cold work tool steel	Dies, punches, molds	56-66 (at 60.5 HRC)	65-75(at 60.5 HRC) Unnotched Izod Test
D2(610)	Cold work tool steel	Dies, punches, rolls, burnishing tools	37-45 (at 59.5 HRC)	28-32(at 60 HRC) Unnotched Izod Test
S7	Shock resistant	Chisels, punches, lathe centers	83-97 (at 57 HRC)	11-15(at 57 HRC) V Notch Charpy Test
H13(883)	Tool steel, hot work die steel	Die cast & extrusion tools, forging dies, coining dies	129-143 (at 54 HRC)	17-19(at 54 HRC) V Notch Charpy Test
AerMet for Tooling	Ultra high strength tool steel	Extrusion tooling, punches blanking dies, shear blades	180-200 (at 54 HRC)	32-38(at 54 HRC) V Notch Charpy Test
Micro-Melt A11	P/M cold work tool steel	Punches, dies, slitter knives, rolls, shears	7-9 (at 63 HRC)	27-31(at 60 HRC) 20-24(at 64 HRC) Unnotched Izod Test
Micro-Melt A11 LVC	P/M cold work tool steel	Punches, dies, slitter knives, rolls, shears	13-16 (at 55 HRC)	28-32(at 50 HRC) 23-27(at 54 HRC) Unnotched Izod Test
Micro-Melt M3 T2	P/M high speed steel	Broaches, form tools, taps milling cutters, drills	Not available	24-28(at 65 HRC) Unnotched Izod Test
Micro-Melt M4	P/M high speed steel	Hobs, broaches, taps, drills, milling cutters, reamers	12-15 (at 66 HRC)	25-30(at 66 HRC) Unnotched Izod Test
Micro-Melt HS30	P/M high speed steel	Hobs, broaches, end mills, form tools, milling cutters	11-12 (at 67 HRC)	20-25(at 67 HRC) Unnotched Izod Test
Micro-Melt T15	P/M high speed steel	Form tools, broaches, drills, punches, dies, milling cutters	8-10 (at 67.5 HRC)	15-19(at 67.5 HRC) Unnotched Izod Test
Micro-Melt Maxamet	P/M high speed steel	Hobs, form tools, end mills, reamers, punches, broaches	7-9 (at 69.5 HRC)	11-13(at 69.5 HRC) Unnotched Izod Test

표 2. 공구강 및 고속도 공구강의 화학조성(%)

합 금	C	Cr	W	V	Mo	Co	Mn	Si	Ni
A2	1.0	5.2		0.2	1.1		0.8	0.3	
D2	1.5	12.0		0.9	0.8		0.5	0.3	
S7	0.5	3.2			1.4		0.7	0.3	
H13	0.4	5.3		0.9	1.4		0.4	1.0	
AerMet for Tooling	0.2	3.0			1.2	13.4			11.1
Micro-Melt M3 T2	1.2	4.0	6.2	3.0	6.0		0.4	0.4	
Micro-Melt M4	1.4	4.5	5.5	4.0	4.5		0.3	0.3	
Micro-Melt HS30	1.3	4.2	6.3	3.1	5.0	8.5	0.3	0.5	
Micro-Melt T15	1.5	4.3	12.5	5.0		5.0	0.3	0.3	
Micro-Melt A11	2.5	5.3		9.5	1.3		0.5	0.9	
Micro-Melt A11-LVC	1.8	5.3		8.5	1.3		0.5	0.9	
Micro-Melt Maxamet	2.2	4.8	12.8	6.0		10.0	0.3	0.6	

· AISI A2는 일반 공구강으로 가장 널리 사용된다. 이것은 공구의 심부까지도 경화시킬 수 있는 공기-경화형 공구강이다. 매우 큰 부품뿐만 아니라 경화후 뛰어난 치수 안정성이 요구되는 부품들은 이 재료로 제조된다. 대표적인 응용 제품은 천공 다이스, 트레드 롤링 다이스, 펀치, 트리밍 다이스 및 형 다이스들이 있다.

· AISI D2는 내마모성을 더욱 향상시킨 공기-경화형 고탄소, 고크롬 공구강이나 A2보다 인성은 조금 떨어진 다. 높은 Cr 성분은 부식저항을 갖게 한다. 이것은 천공 다이스, 형 다이스, 압출 다이스 및 드로잉 다이스 등에 적당한 합금이다.

· AISI S7은 중간정도의 높은 온도에서의 연화에 대한 적절한 저항성을 갖으며 고충격 저항성을 갖는 일반적인 용도의 공기-경화형 공구강이다. 이러한 성질들의 조합은 많은 열간 및 냉간 응용제품들을 제조하는데 적당하다. A2보다 좀 더 나은 인성을 갖는 합금 S7은 풀, 펀치 및 선반 축에 사용된다.

· AISI H13은 일반 공구강중에서 인성이 가장 좋은 합금이다. 이 합금은 우수한 고온 경도와 함께 고인성이 요구되는 부품용으로 설계된 5% Cr을 포함한 열간 가공용 강이다. 비록 이 합금은 원래 열간가공용 공구 강으로서 설계되었지만, 알루미늄 압출 다이스, 다이 캐스팅 다이스, 단조 및 고온 청공 다이스 등과 같이 다 소의 내마모성의 감소를 감수하더라도 높은 인성이 요구되는 곳에 적합하다.

3. 초고강도 강(Ultra-high strength steel)

· 차트의 우측 하단에 위치한 AerMet 공구용 합금은

원래 우주항공용 소재로 개발되었다. 이 합금은 예외적인 파괴인성 및 연성과 함께 고강도 및 경도가 요구되는 다양한 공구의 제조용 재료로 선택되어 왔다. 이 합금은 최대인장강도가 1,965MPa(285ksi), 파괴인성이 110MPa√m이다.

· 차트상에서 모든 공구재료중 가장 인성이 높은 AerMet는 기존 공구강을 대체할 수 있을 것으로 판단되며 균열 성장을 억제하고 고 하중이나 충격에 의한 파괴를 방지한다. 이 합금은 열처리시 변형이 없는 공기-경화형 합금이다. 또한 이 합금은 복잡한 형상이나 임계크기 이내의 허용공차를 갖는 공구를 제조해야 하는 공구 엔지니어에게는 도움이 된다.

이 합금은 공구의 파손이 아주 큰 비용 손실을 초래하는 경우에는 특히 유용하다. 이 합금은 아주 높은 압축강도를 나타내기 때문에 압출 프레스의 피스톤이나 피스톤 지지대와 같은 보조 기구로 사용된다. 링 형태의 공구 홀더를 포함한 다른 응용제품의 경우에는는 제곱인치당 수백만 파운드를 견딘다. 그러나 AerMet 합금은 고합금강이고 제조공정이 어렵기 때문에 일반 공구강보다 가격이 더 비싸다.

4. 분말야금 강

분말야금 공구강과 고속도 공구강은 일반 공구강과 같이 Fe계 이나 W, V, Co 및 Mo 등을 첨가한 고합금강이다. 합금첨가 원소와 복잡한 공정에 의해 가격은 상승하나 성능은 향상된다. P/M강은 질소가스분사에 의해 분말화하여 혼합한 후 고온 등압소결에 의해 100% 성형밀도를 갖는 압축 빌렛을 제조한다. 이러한 빌렛으

로부터 압연 또는 회전단조와 같은 특별한 강 제조법에 의해 공구를 제조한다.

이러한 방법으로 제조된 와이어, 바, 플레이트 및 시트는 기존의 용해법에 의해 제조된 공구강보다 더 미세하고 균일한 분포의 탄화물과 더욱 미세한 결정립 크기를 갖는다. 가스분사에 의해 제조된 금속 분말들은 냉각속도가 매우 크기 때문에 기존의 주조방법에 의해 서냉된 잉곳과는 달리 미세조직은 치밀하고 편석이 거의 없다.

분말야금법에 의해 얻어진 합금의 미세조직에는 많은 장점이 있다. 공구강을 제조하는 회사의 입장에서 분말야금 강은 일반 공구강에 비해 더 양호한 성질을 제공한다. 분말야금 강은 좀 더 예측이 쉬운 열처리 결과를 나타내고 열처리 후에도 외관상 뒤틀림이 거의 나타나지 않는다. 아닐링에 의해 기계 가공성은 개선되고 분말야금 강으로 공구를 제작했을 때 칫수는 더 안정적이다. 공구 제조자에게 생기는 이러한 잇점 이외에 공구 사용자는 생산성 증가, 더 낮은 생산비용, 낮은 고장율, 생산품의 균일화 및 공구 수명의 연장 등을 기대할 수 있다. 또한 경화후 템퍼링 상태에서 공구의 내마모성을 감소시키지 않고 공구의 연삭이 가능하다. 그리고 내마모성 및 절삭능이 동시에 개선된다.

## 5. 냉간가공 분말야금강

· 차트상에서 파란 타원형으로 나타낸 A11은 Carpenter사의 Micro-Melt A11 냉간가공 공구강이다 (AISI11). 이것은 높은 강도와 인성과 함께 고속도 공구강을 포함한 대부분의 다른 공구강에 비해 월등히 우수한 내마모성을 갖는 고 바나듐계 분말야금 공구강이다. 이 합금강은 펀치, 천공용 다이스, 성형틀 및 다이스, 전단가위, 미세하게 자르는 칼날 등에 응용될 수 있다.

· 바나듐 함량이 낮은 All-LVC는 분말야금에 의해 제조된 Micro-Melt 냉간 공구강의 다른 형태이다. 이 부류의 강은 많은 다른 공구강에 비해 높은 강도와 인성을 나타낼 뿐만 아니라 우수한 내마모성을 갖는다. All-LVC 합금은 A11과 유사한 응용제품에 적합하나 특히 좀 더 우수한 인성과 적은 내마모성을 요하는 곳에 사용된다.

## 6. 고속도 분말야금 강

· M3T2는 모든 분말야금 고속도강 중에서 가장 높

은 인성을 갖는 AISI M-3 2급 고속도 합금강이다. 이러한 W-Mo 합금은 까다로운 절삭공정에 요구되는 우수한 내마모성을 나타낸다. M3T2(Micro-Melt alloy M3 Class2)는 분말 고속도강 중에서 가장 합금원소의 양이 적지만 일반적인 기존 공구강에 비해 우수한 내마모성을 나타낸다.

· M4합금(AISI M4)은 C와 V 함량이 높은 Mo-W 함유 분말 고속도 공구강이다. 이 합금은 높은 강도와 함께 매우 높은 내마모성을 갖는다. 합금원소 첨가량이 증가하면 M3T2보다 내마모성은 더 향상되며 이러한 Micro-Melt급은 가장 폭넓게 사용되는 분말야금 고속도강 중의 하나이며 응용분야에는 브로오치, 호브 및 성형공구들이 있다.

· HS30합금은 8% Co와 높은 경화능과 고온강도를 나타내는 W-Mo이 첨가된 고속도 공구강으로서 우수한 내마모성 및 인성과 함께 고온강도가 탁월하다. 이 합금은 M4합금보다는 높은 내마모성을 가지나 인성은 떨어진다. 이 합금은 재료가공이 어렵거나 고속절삭이 요구되는 분야의 후보 공구재료로 검토되고 있다. 이 합금의 응용분야에는 밀링 컷터, 엔드 밀, 기어 절삭 공구 및 브로오치 등이 있다.

· T15합금(AISI Type T15)은 고탄소 W-Co-V를 함유하며 탁월한 내마모성과 고온 강도를 나타내는 분말 고속도 공구강이다. 가장 빈번하게 사용되는 분말 고속도강 중의 하나인 이 합금은 HS30합금보다 더 우수한 내마모성을 나타낸다. 이 합금은 공구성형, 브로오치, 천공 다이스 및 펀치에 사용된다.

· 최근 Carpenter사에 의해 생산된 분말야금 강중에서 가장 고 합금계인 Maxamet 합금은 고속도 공구강과 카이바이드계 공구의 중간 정도의 경도를 나타내는 고속도 강이다. 이 합금은 최근 사용되는 분말 고속도강에 비해 기계 가공성과 함께 내마모성과 고온강도를 나타내며 카이바이드계에 비해 더 우수한 인성을 나타낸다.

이러한 새로운 Micro-Melt합금은 HRC=70의 상온경도를 나타내며 이 정도값은 기존의 분말 고속도강에 의해 얻을 수 있는 최대값보다 더 높다. 이 값은 경도가 HRC=75이상인 카이바이드계의 경도에 가깝다. 이 합금은 카이바이드계 공구와 유사한 기능을 나타내나 가격은 더 저렴하다. 이러한 합금은 호빙머신 공구, 형공구, 공구제작, 송곳, 컷터, 엔드 밀, 드릴에 응용될 것이며 기존의 고속도강이나 카이바이드계로 제조된 내마

모 부품을 대신할 것이다.

### 7. 텅스텐 카바이드계

주로 우수한 내마모성 및 경도특성 때문에 텅스텐 카바이드계 공구 제조는 최근 들어 활발하게 성장하고 있다. 대부분의 공업재료에서 그렇듯이, 어떤 주어진 조건에 적합한 재료의 선택은 기본적으로 여러 성질들에 대한 절충점을 필요로 한다. 재료 공급자는 필요한 성질이 무엇인지 파악한 다음 이러한 요구조건을 가장 잘 만족시킬 수 있도록 하여야 한다.

차트상에 나타난 6종의 카바이드계 공구의 상대적 위치에 따른 성질들은 표준산업시험절차(Standard Industry Test Procedure)에 의해 평가된다. 경도와 직접적인 관계가 있는 내마모성은 ANSI/ASTM B611-76에 의거 측정하였다. 이 실험에서 알루미늄이 결정이 도포된 고무 휠을 시편에 접촉하여 회전시킨후 일정시간이 지난 다음 무게 감량과 칫수변화를 측정하였다.

ANSI/ASTM B406-76에 의거 종파단강도(Transverse rupture strength)로부터 인성을 측정하였다. 이러한 값들은 2개의 카바이드 실린더를 가로지르는 직사각형의 카바이드 막대에 전단 파괴가 일어날 때까지 압축하중을 작용시킴으로써 측정할 수 있다.

텅스텐 카바이드계의 성질(표 3 및 4)은 카바이드 결정립크기와 카바이드 결정립들을 결합하는 바인더(일반적으로 Co 또는 Ni)의 비율에 의존한다. 카바이드계 결정립 크기가 감소하면 경도나 내마모성은 증가하나 충격저항은 감소한다. 그러나 카바이드의 결정립 크기가 증가하면 인성 및 충격저항은 증가하나 경도는 감소한다.

공구와 다이는 차트상에서 색깔에 따라 세 등급의 카바이드계 영역으로 나뉘어 진다. 일반적 등급은 1-6  $\mu\text{m}$ 의 카바이드 결정립 크기를 갖는다. 두 번째 등급은 평균 결정립 크기가 0.7  $\mu\text{m}$ 인 미세립이며 세 번째 등급은 카바이드의 평균 결정립 크기가 0.5  $\mu\text{m}$ 인 초미세립이다. Co는 부식이나 비자성때문에 Ni 또는 Ni-Cr으로 치환하지 않는 한 세 종류의 합금계에서 모두 결합제 역할을 한다.

일반 카바이드계는 약하거나 중간세기 이상의 강한 충격하중에 적합하다. 1  $\mu\text{m}$ 이하의 카바이드계는 같은 종류의 용융분야에 적합하나 특히 미세하고 날카로운 절삭 날이 요구될 때 더욱 적합하다. 초미세립 카바이드계는 미세립 카바이드계와 비슷하나 보통 특정한 경도에서 높은 파괴인성이 필요할 때 사용된다. 이러한 성질들의 조합은 얇고 날카로운 단면에서 적당한 충격하중을 받을 때에는 강점으로 작용한다.

텅스텐 카바이드계는 주로 내마모성 때문에 선택하지만 현재 사용중인 공구중에서 가장 높은 압축강도를 나타낸다. 이러한 압축강도는 높은 압축 하중을 받는 공구를 제작하거나 또는 강 다이스 안쪽의 선단부분에 적합하다. 높은 압축하중하에서 부품이 사용될 때 카바이드계는 대부분의 강들보다 10~100배 이상 견딜 수 있다. 만일 카바이드계가 강에 비해 10배 이상 마모에 잘 견딜수 있다면 카바이드계의 비싼 가격은 정당화될 수 있다. 실제로 카바이드계로 교환하였을 때 강보다 20~50배, 경우에 따라서는 100배까지 마모 수

표 3. 텅스텐 카바이드계 공구의 화학조성(%)

Grade	Co	Ta carbide	W carbide
C2	6.0	0.3	Balance
C2	10.0	1.0	Balance
C11	12.0	0.2	Balance
C12	16.0	0.2	Balance
C 4	8.0	0.7	Balance
C10	15.0		Balance
C14	24.0	0.5	Balance

표 4. 텅스텐 카바이드계 공구의 물리적 성질

Properties	C2	C2	C11	C12	C4	C10	C14
경도, HRA	92.0	91.6	89.6	87.7	94.4	91.5	84.8
밀도, g/cm <sup>3</sup>	14.9	14.5	14.3	13.9	14.6	13.9	13.2
파단인성, MPa × $\sqrt{\text{m}}$	9.4	-	12.5	12.8	10.6		16.5
종파단강도, ksi	380	340	525	535	345	570	520
결정립 크기, mm	2	-	2	2	0.5	-	2
압축강도, ksi	750	-	640	570	-	-	480
탄성계수, Msi	-	-	-	-	-	-	68

**그림 2.** 고속도 공구강 및 텅스텐 카바이드계 공구의 고온 경도

명을 기대할 수 있다. 그러나 텅스텐 카바이드계가 강보다 우수한 내마모 성질을 가지고 있다고 하더라도 세라믹 공구의 내마모 성질이 훨씬 더 우수하다.

그림 1의 차트상에 나타난 모든 카바이드계는 그림 2의 곡선에 의해 나타난 것처럼 공구강보다 높은 고온 강도를 가진다. 고속도강의 고온경도가 약 760°C에서 HRA=64까지 급격히 감소하는 것에 주목할 필요가 있다. 같은 온도에서 텅스텐 카바이드계는 HRA=77정도의 경도를 유지한다.

또한 카바이드계는 강보다 더 넓은 열변동폭을 가지고 있고 이것은 열적 소성변형이 일어나기 전인 1000°C까지 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 대부분의 공구강의 변형은 760°C근방에서 시작된다. 한편 세라믹의 열변동폭은 카바이드계보다 더 넓다.

## 8. 카바이드계의 등급

· 차트상에서 녹색 타원형으로 나타난 C2는 분말야금 강보다 더 우수한 내마모성이 요구되는 공구를 제조하는데 가장 널리 사용되는 카바이드계 등급이다. C2는 결합체로서 6% Co를 함유하고 있으며 결정립 크기는 2 $\mu$ m이다. 이 등급은 HRA=92, TRS값이 1,720MPa이며 강보다 2.5배의 높은 밀도를 갖는다. 그러나 인성은 분말야금 강의 약 1/2이다. C2 등급은 내마모성뿐만 아니라 중간 정도의 충격하중에 견디는 부품에 이용된다. C2 사용의 예는 자동차, 우주선 및 강 제조용 내마모 부품 생산에 필요한 성형 롤 등이 있으며 페인트 분무용 노즐 및 컴프레서의 밸브 시트 등에 응용된다. 이러한 시

트의 수명은 이전의 강 시트의 수명보다 최소 25배 이상 더 길다.

노란색 타원형으로 나타난 C2는 결정립 크기가 0.7 $\mu$ m인 초미세립 카바이드계이며 10% Co에 의해 결합되었다. 이 C2는 결정립 크기가 2 $\mu$ m인 C2와 같은 경도값을 갖으나 충격 저항 및 TRS가 2,340MPa로 더 높다. 이 등급은 종이 제조 및 부직포 제조시 전단 가위로 사용된다. 또한 오디오, 비디오 및 자기 테이프의 절단시 컷터 또는 다양한 펀치와 다이 제조에 사용된다.

· 4 종류의 카바이드계 등급중 하나인 C11은 중간 이상의 강한 충격에 잘 견디며 일반적인 목적의 다이스 및 내마모용으로 사용된다. 이것은 결정립 크기가 2 $\mu$ m이며 12% Co가 결합체로 사용되었으며 HRA=89.6이다. 또한 TRS값은 3,270MPa이다. 대표적인 응용 제품에는 튜브 제조용 맨드렐과 철로 분기용 롤이 있다.

· 세 번째 일반 카바이드계인 C12는 입자 크기가 2 $\mu$ m이며 16% Co를 결합체로 함유하고 있다. 이 재료는 HRA=87.7이며 TRS는 3,720MPa이고 이 부류 중에서 가장 높은 등급을 나타낸다. C12는 천공 펀치 및 다이스, 압연용 롤과 같이 큰 충격하중을 견디는 곳에 응용된다.

· C4는 결정립 크기가 0.5 $\mu$ m이고 8%의 Co를 결합체로 함유한 2 종류의 초미세립 카바이드계중 하나이다. HRA=94.4이고 TRS는 2,200MPa이며, 모든 카바이드계 등급 중 최고의 내마모성을 나타낸다. 대표적 용도에는 공기 분사용 다이스, 수분사에 의한 절단기 노즐 및 기타 우수한 내마모성을 요구하는 부품에 사용된다.

· C10은 0.5 $\mu$ m의 결정립 크기를 갖는 초미세립급으로서 15% Co를 결합체로 함유하고 있다. C10은 HRA=91.5이고 TRS는 3,930MPa이며, 이 부류 중에서 가장 높다. C10은 중간 또는 강한 충격하중에 견디며 날카롭고 아주 강한 절단 칼날에 응용된다. 예로 C10이 사진 필름을 자르기 위한 칼날로 사용되는 경우 기존 카바이드계보다 4배 이상 오래 사용할 수 있다.

· C14는 자동차 및 항공우주산업에 사용되는 냉간 다이스 또는 큰 하중이 작용하는 천공다이스와 같이 강한 충격하중이 작용하는 곳에 자주 사용된다. C14는 기존의 4번째 카바이드계이며 중간크기인 2~3 $\mu$ m의 결정립 크기를 갖는다. 25% Co 결합체를 함유한 C14는 HRA=84.5이며 TRS는 3,580MPa이다. 이 등급은 충격저항이 크고 모든 카바이드계중 인성이 가장 크지

만 마모 수명은 짧다.

## 9. 세라믹 공구 재료

세라믹 공구의 응용은 생산단가, 생산성 및 품질향상에 힘입어 꾸준히 증가되고 있다. 고인성 지르코니아( $ZrO_2$ )는 인발, 롤 성형, 압출 및 크리핑(crimping) 등과 같이 충격하중이 작용하지 않은 분야에 응용되고 있다. 그림 1의 좌상단에 위치한 알루미늄( $Al_2O_3$ )은 특별한 절단 공구, 성형 및 프레스 공구에 이용되고 있다.

· 지르코니아 세라믹은 HRC=75의 경도를 나타낼 뿐만 아니라 개략적으로 주철과 유사한 고인성을 가지며 휨강도는 연강의 두 배이다. 지르코니아 세라믹은 절연체이고 화학적으로 대부분의 시약에 불활성이다. 또한 지르코니아 세라믹은 대부분의 금속에 대해 우수한 마모저항을 갖는다.

카바이드계 및 Fe계 공구재료와 비교하면 고인성 지르코니아는 일반적으로 수명이 길고 마모율을 감소시키며 그리고 개선된 면 마무리를 가진다. 또한 간혹 윤활제 없이도 사용할 수 있기 때문에 절삭유 공해 및 이의 폐기에 대해 관심을 갖는 공장들에 대해서는 매력적이다.

· 알루미늄 세라믹은 전통적으로 부식 저항과 함께 높은 경도가 필요한 내마모 부품들에 사용되어 왔다. 비록 롤 및 다이스같은 부품들에 있어서는 지르코니아보다는 덜 사용되고 있지만 알루미늄은 절단공구에 있어서 중요한 재료이다. 이러한 공구는 알루미늄 기지를 TiC,  $ZrO_2$ ,  $Cr_2O_3$  또는 SiC 휘스커로 강화한 복합재료 뿐만 아니라 고순도 알루미늄 또는 몇몇 알루미늄 혼합물로 제조된다.

세라믹 공구는 단축프레스, 정수압 프레스 또는 몰드 주입에 의해 세라믹 분말을 성형함으로써 제조할 수 있다. 이런 성형체는 고온에서 소결하기 전에 “생형상태”에서 가공할 수도 있다. 완전한 밀도와 경도를 갖는 소결 부품은 특별한 형상, 공차 및 표면 마무리를 위해 다이아몬드 연삭한다.

압출 다이스 또는 인발 다이스와 같은 응용 제품에서는 카바이드계 다이스와 같이 세라믹 다이스 삽입물이 압축 또는 인장응력에 견디도록 금속 하우싱을 설치한다.

롤은 전적으로 요구되는 크기에 따라 지르코니아로 제조되거나 이러한 방법은 비용이 많이 들 수도 있다. 대형

표 5. 지르코니아 세라믹의 성질

성 질	값
인 성	8~12MPa · $\sqrt{m}$
휨 강도	800MPa
열팽창계수	$10.2 \times 10^{-6}/^{\circ}C$
밀 도	5.74g/cm <sup>2</sup>
경 도	1,120/(75HRC)
인 장 강 도	450MPa
압 축 강 도	1,990MPa
전기저항(20°C)	$>10^8$

롤의 경우 공구강으로 제조된 허브(hub)내에 세라믹 “타이어”를 삽입하거나 인장력을 상쇄하기 위해 하우싱을 설치하는 것이 더 경제적이다. 지르코니아 세라믹은 마모를 받는 공구강의 표면에만 필요하며 이러한 방법은 조업조건에 근거하여 얼마나 잘 조합되는지에 따라 결정된다.

지르코니아로 제조된 다이스, 롤 또는 공구는 수명이 언제 다하는지를 고려해야만 한다. 즉 언제 과도한 마모에 의해 생산품의 품질을 저하하는지, 공구가 침식이 일어난다면 어디서 소착문제가 문제가 발생하는지를 점검하여야 한다.

Carpenter사의 지르코니아 세라믹은 안정화된 고인성 지르코니아이며 3% 마그네시움을 함유하고 있고 균열전파에 대한 저항을 갖는다. 이것은 특허공정에 의해 제조되고 있으며 인성, 파단저항 및 균열에 대한 저항을 갖는다. 표 5에 주요 성질을 나타낸다.

지르코니아는 중간정도의 충격하중을 받는 공구 생산에 있어서 대단히 효과적이다. 그러나 금속 절단용으로서의 사용은 고려하지 않고 있다. 또한 다양한 캔가공용 공구로의 응용에 아주 효과적이다. 또 다른 예로는 동 및 황동 압출용 다이스, 롤, 강 및 Al 배관용 가이드, 튜브 제조를 위한 헤드 롤용 인서트 건전지 제조용 공구 등이 있다.

일반적으로 지르코니아 공구는 일반 공구강 재료의 3~10배, 분말야금 공구의 2~5배, 텅스텐 카바이드계에 비해 약 2배 정도 더 비싸다. 물론 부품의 크기와 형상이 가격에 영향을 미친다. 어떤 공구재료와 마찬가지로 비록 세라믹 공구재료의 가격이 비싸다 하더라도 일반 공구재료에 비해 수명이 길고 생산성 및 생산품의 품질을 향상시킨다는 면에서 이는 상쇄될 수 있다.