

# 초소형 금형소재의 기계적 특성평가

강재훈\*, 이현용+, 이낙규\*\*

## Mechanical Characteristic Evaluation of Proper Material for Ultra-fine Dies

Jae-hoon, KANG\*, Hyun-yong, LEE+, Nak-kyu, LEE\*\*

### Abstract

Today's manufacturing industry is facing challenges from advanced difficult-to-machine materials (WC-Co alloys, ceramics, and composites), stringent design requirements (high precision, complex shapes, and high surface quality), and machining costs. Advanced materials play an increasingly important role in modern manufacturing industries, especially, in aircraft, automobile, tool, die and mold making industries. The greatly-improved thermal, chemical, and mechanical properties of the material (such as improved strength, heat resistance, wear resistance, and corrosion resistance), while having yielded enormous economic benefits to manufacturing industries through improved product performance and product design, are making traditional machining processes unable to machine them or unable to machine them economically.

In this paper, mechanical characteristic evaluation test of fine powder type WC-Co alloy was accomplished to obtain clear data for miniaturized special die parts machining with high reliability and high quality.

**Key Words :** Fine powder type, WC-Co alloy, Mechanical characteristic, Evaluation test, High reliability, High quality

### 1. 서론

초소형공장(Micro-factory)을 구성하는 가공모듈들 중의 초소형 소성가공 모듈은 매우 작은 크기의 금형셋트를 요구한다. 판재와 벌크성형용으로 구분하여 단계적으로 진행될 초소형 소성가공 모듈용 금형셋트의 개발내용은 중요한 역할을 담당하며 우선 판재성형용 초소형금형의 개발을 추진 중에 있다.

일반적으로 기존의 딥드로잉(Deep drawing)용 금형은 금형강 등의 소재를 주로 사용하며 부분적으로 코어금형 부품은 초경합금(WC-Co alloy)를 채택하기도 하였다.

초소형 판재성형용 금형에 있어서도 이와 같은 소재들

을 적용할 수도 있으나 금형수형의 극대화와 고정도의 형상을 요구하는 복잡하고도 미소한 제품들의 지속적인 생산을 위해서는 더욱 기능성과 특성이 향상된 소재를 대체 화할 필요가 있다

따라서 코어금형 부품에 대한 소재는 기존의 금형소재용 일반 초경합금으로 부터 탈피하여 더욱 미세립화된 크기의 분말형태 조직으로 조성된 특수한 초경합금 소재를 적용하는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 신뢰성이 높은 초소형금형의 제작을 위하여 국내외의 유사한 사양을 지니는 소재들을 대상으로 다양한 가공조건으로 규격화된 시험편을 제작한 후, 기계적 특성평가 시험을 수행하여 명확한 데이터를 수집하는

\* KIMM 지능형정밀기계연구본부 (jhkang@kimm.re.kr)

주소: 305-403 대전 유성구 장동 171

+ KIMM 지능형정밀기계연구본부

++ 한국생산기술연구원

한편, 비교 분석함으로써 적정한 가공공정 및 조건을 설정하고 국내의 소재의 적용 가능성을 타진하고자 하였다.

## 2. 미세립형 초경합금의 적용

초경합금의 기계적인 특성들 중에서 경도와 강도, 인성 등은 금형에 적용하기 위한 재료의 특성을 결정하는 중요한 성질로써, 경질입자인 텅스텐카바이드(WC) 입자의 크기에 따라 그 특성이 좌우되며 일반적으로 경도가 증가할수록 인성은 감소하는 경향을 나타낸다. 그러나 입자가 0.1  $\mu\text{m}$  이하로 극미세화되면 경도나 항절력 등의 강도 특성은 기존의 이론만으로는 해석할 수 없을 정도로 크게 향상되는 것으로 알려져 있다.

따라서 금형부품에 요구되는 중요한 특성인 경도와 강도, 인성 등을 동시에 향상시키기 위해서는 텅스텐카바이드 입자의 미세화와 함께 초경합금의 결합제 역할을 하는 코발트(Co)와의 혼성균일도 향상도 역시 중요하다고 할 수 있다.

즉, 초경합금의 초고강도화를 위한 핵심기술은 분말제조 공정 및 치밀화 공정이 상호 연계화된 극미세화 기술을 개발하는 것이라고 할 수 있다. Fig.1에는 초경합금을 이용한 금형의 제조공정을 나타내었다.

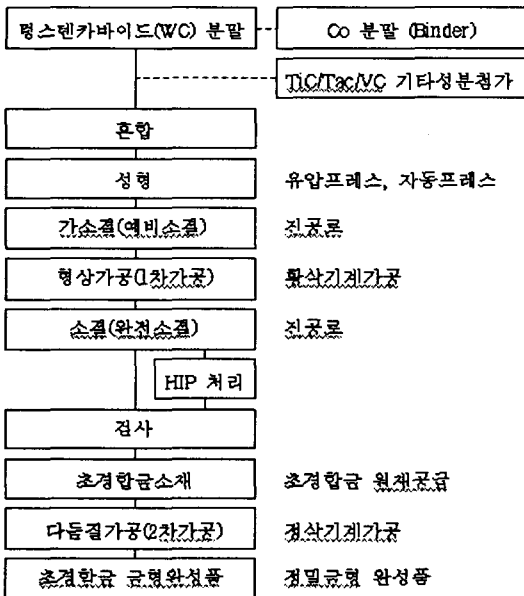


Fig.1 Manufacturing flowchart for WC-Co alloy dies

초미립형의 초경합금은 고경도, 고강도, 고내마모성 등을 겸비한 것으로써 특히, 저속절삭에서는 대단히 우수한 성능을 발휘하므로 예리한 모서리형상과 더불어 인성과 내마모성 등이 동시에 요구되는 엔드밀과 PCB드릴 등의 공구 및 슬리팅 나이프와 다양한 금형부품 등으로 최근에 사용되고 있다. Fig.2에는 초미세립형 초경합금을 사용한 고정도의 소형 압출,인발 금형부품들의 예를 나타내었다.

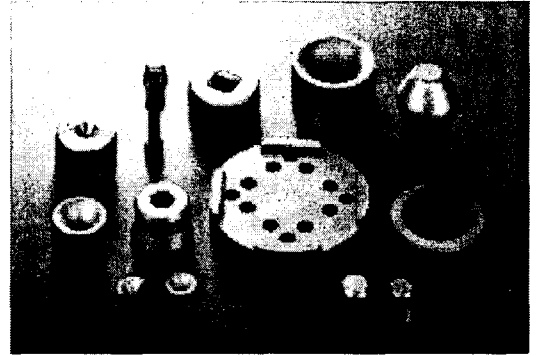


Fig.2 Example of precision deep drawing & extrusion dies using ultra-fine powder type WC-Co alloy

## 3. 기계적 특성평가 시험

### 3.1 기계적 특성평가의 종류

각종 산업분야의 생산제조 관련기술들이 발전함에 따라서 대량생산을 위한 금형에 대한 정밀화, 고속화, 소형화가 요구되어지는 한편, 보다 향상된 기계적 특성이 만족되어야 할 필요성이 제기되고 있는 실정이다.

아울러 복잡한 형상으로 미세가공된 3차원 형상의 초소형 금형부품의 표면을 균일하게 더욱 박막형태로 표면처리하여 밀착성을 향상시킴으로써 내마모특성을 개선하여 수명개선과 품질향상을 도모할 수 있는 코팅기술의 적용도 요구되고 있다.

일반적으로 초경합금의 우수한 기계적 특성은 다음과 같다.

- ① 경도(HrC 80이상)가 높으므로 내마모성이 우수하다.
- ② 고온에서도 경도와 강도가 유지되므로 고온에서의 변형이 매우 적다
- ③ 압축강도가 매우 높다.
- ④ 재종이 다양하여 사용목적과 용도에 따라 적절한 선정이 가능하다.

한편, 초경합금의 기계적 특성을 파악하기 위한 항목은 다음과 같다.

- ① 경도(Hardness)
- ② 항절력(Transverse Rupture Strength)
- ③ 압축강도(Compressive Strength)
- ④ 인장강도(Tensile Strength)
- ⑤ 충격강도(Impact Strength)
- ⑥ 열팽창계수(Thermal Expansion Coefficient)
- ⑦ 열전도도(Thermal Conductivity)

본 시험에서는 다양한 기계적인 특성들 중에서 취성이 상대적으로 높은 분말조직상태의 소재에 대한 항절력과 직접적인 관련이 있는 굽힘강도(Bending Strength)에 대한 시험평가를 수행하였다.

### 3.2 굽힘강도 평가시험

굽힘강도는 파괴인성과 함께 초경합금의 기본적인 기계적 특성이며 시험편의 위로부터 하중이 부여되면 상부에는 압축응력, 하부에는 인장응력이 최대로 발생됨으로써 소재의 특성상 압축강도에 비하여 인장강도가 작으므로 시험편의 아래쪽에서 균열이 시작되어 파괴에 이르게 된다.

일반적으로 기계요소부품에 사용되는 소재는 압축시험 외에도 인장응력이 가해지는 시험이 요구되므로 이와 같이 부분적으로 인장응력이 가해지는 하중조건 하에서의 강도시험으로 굽힘강도의 시험평가는 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 굽힘강도의 측정시험은 비교적 간단하게 수행할 수 있으며 획득한 결과는 통계처리에 의하여 실용화를 위한 강도에측에도 활용할 수 있다는 장점을 지닌다.

Fig.3에는 만능재료시험기와 시험용 치구를 나타내었다.

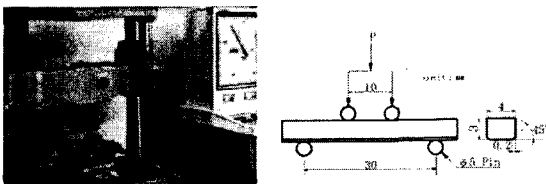


Fig.3 Universal testing M/C & special fixture

0.5 $\mu$ m 이하의 평균입자직경을 지니는 국내외산 소재 시험편의 크기는 3(t)×4(w)×36(L)mm로써 각모서리는 45°로 0.1~0.2mm만큼 모떼기를 성형하는 한편, 상하면의 평행도와 직각도는 0.01mm가 유지되도록 가공하였고, 4점 지지형 굽힘강도 시험을 채택하여 10±0.5mm의 내부간격과 30±0.5mm의 외부간격이 형성되도록 치구를 제작하여 적용하였다.

시험편은 초정밀평면연삭기 상에서 다이아몬드 연삭휠을 이용하여 연삭주속도 1,450m/min, 테이블 이송속도 10m/min의 가공조건으로 가공하였으며 입도별 질삭깊이량의 조건은 다음과 같으며 최종가공 후에는 각각 2회의 Spark-out을 수행하였다.

- SDC80N100RW-3.0 : 10 $\mu$ m/pass
- SDC325N100RW-3.0 : 5 $\mu$ m/pass
- SDC600N100RW-3.0 : 2 $\mu$ m/pass
- SDC1000N100RW-3.0 : 1 $\mu$ m/pass

평가시험은 만능재료시험기의 크로스헤드 속도를 0.5 mm/min로 일정하게 하강하도록 설정하였으며, 파단이 이뤄지는 시점의 하중을 측정하여 식 (1)에 그 값을 적용함으로써 굽힘강도값을 산정하였다.

$$\sigma_{\delta 4} = \frac{3PL}{2wt^2} \quad \text{----- (식 1)}$$

여기서 P ; 파단시의 최대하중값

L ; 외부간격

w ; 시험편의 폭

t ; 시험편의 두께 이다.

### 3.3 시험결과 및 고찰

시험결과로부터 식 (1)을 이용하여 산정한 후, 와이블 플롯팅을 위하여 계산된 값들을 Table 1에 비교하여 나타내었다.

Table 1. Comparison of test results

Rank	Korea Co.		Germany Co.		F=i /N+1	lnln (1/1-F)
	$\sigma$	ln $\sigma$	$\sigma$	ln $\sigma$		
1	141	4.948	166	5.112	0.0476	-3.020
2	144	4.969	167	5.118	0.0952	-2.302
3	147	4.990	167	5.118	0.1419	-1.870
4	148	4.997	169	5.130	0.1905	-1.554
5	150	5.010	171	5.142	0.2381	-1.302
6	154	5.037	172	5.147	0.2857	-1.089
7	155	5.043	174	5.159	0.3333	-0.903
8	158	5.062	175	5.165	0.3810	-0.735
9	161	5.081	176	5.170	0.4286	-0.581
10	162	5.087	178	5.182	0.4762	-0.436
11	164	5.099	179	5.187	0.5238	-0.299
12	166	5.112	180	5.192	0.5714	-0.166
13	167	5.118	180	5.192	0.6190	0.036
14	168	5.124	182	5.204	0.6670	0.094
15	170	5.136	183	5.209	0.7143	0.225
16	170	5.136	184	5.215	0.7619	0.361
17	173	5.153	184	5.215	0.8095	0.506
18	175	5.165	185	5.220	0.8571	0.666

국내외에서 생산한 소재들에 대한 굽힘강도의 시험결과에 따른 평균값과 표준편차는 각각 157와 176kg/mm<sup>2</sup>, 2.82와 2.37로써 국외의 경우가 약 12% 정도 우수한 것으로 판명되었다.

Table 1의  $\ln s$ 와  $\ln \ln(1/1-F)$ 를 각각 X,Y축으로 설정하여 Fig.4에 그 값들을 플롯팅하였다.

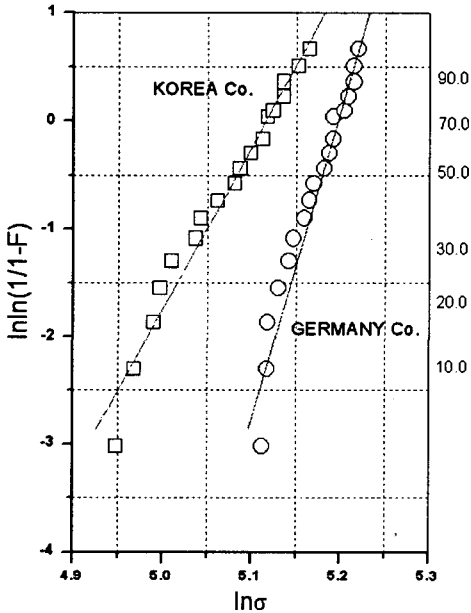


Fig.4 Weibull plotting graph for comparison of bending strength

Fig.4로부터 와이블계수  $m$ 은 직선기울기 값에 해당하는 것으로써 직선기울기 값이 큰 경우가 표준편차가 작아 우수하다고 할 수 있으므로 국외에서 제조된 소재의 경우가 상대적으로 우수하다는 것을 재고찰할 수 있다.

#### 4. 결론

초소형금형의 코어금형부품에 적용하기 위한 초미세립형 초경합금 소재의 기계적 특성평가 시험을 수행하였다. 분말 야금소재의 특성상 입자구조와 취성을 지니므로 생산제조사의 기술적 노하우 여부와 실제의 가공시에 나타나는 결함 등으로 인하여 생산제조사에서 제시하는 소재자체의 기계적 특성치만으로는 부품적용화에 있어서 높은 신뢰성을 보장하지 못할 수 있다.

굽힘강도 측면의 기계적 특성평가 시험결과에 따르면 국

외산의 경우가 국내산의 경우에 비하여 평균값과 표준편차가 약 12% 정도 우수하며, 와이블계수도 상대적으로 높다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 가공조건에 따라서도 기계적 특성시험의 결과가 차이가 나므로 최적의 가공조건범위를 설정하여 적용하는 것이 바람직하다는 것을 예측할 수 있다.

#### 참고 문헌

- (1) Tokuhiko, N., Shikeki, O., Suhisa, K., 1990, "The Study on the Geometric Accuracy in Surface Grinding Process of Forming the Workpiece Shape in Plunge Cutting Grinding", *JSPE*, Vol. 57, No. 9, pp. 1597~1602.
- (2) Shibasaka, T., Sakamoto, T., 1987, "Fracture Initiation in Transverse Rupture Test of Cutting Tool Materials", *Proc. of 6th ICPE*, pp. 412~416.