

## Co 함량이 다른 분말고속도공구강의 제조 및 기계적 특성

홍성현 · 배종수 · 김용진  
한국기계연구원 재료연구부

### Fabrication and Mechanical Properties of Powder Metallurgical High Speed Steels with Various Co Contents

Seong-Hyeon Hong, Jong-Soo Bae and Yong-Jin Kim

Materials Technology Dept., Korea Institute of Machinery and Materials, 66 Sangnam-dong,  
Changwon, Kyungnam 641-831, Korea

(Received 12 July 2002 ; Accepted form 31 July 2002)

**Abstract** P/M high speed steels with various Co contents were fabricated by gas atomization and Canning/HIP process. As Co content in P/M high speed steel increased, hardness, transverse rupture strength and yield strength in compressive testing increased due to solid solution hardening of Co in matrix. Especially, P/M high speed steels with Co have high deformation resistance to repeated compressive loading.

**Keywords** : Powder metallurgy, High speed steel, Mechanical property, Cobalt effect, Punch

#### 1. 서 론

분말야금법에 의해 제조되는 고속도공구강은 주조법에 의하여 제조된 고속도공구강과는 달리 편석이 없는 미세한 조직을 가지고 있고 각종 탄화물 형성과 합금원소의 과포화 고용에 의하여 내마모성 및 기계적 성질이 우수하여 금형, 엔드밀, 성형펀치 등에 사용되고 있다.<sup>1,2)</sup>

분말고속도공구강은 가스 분사된 분말의 캔닝(canning)후 탈가스, 열간등압성형, 열간 단조 및 열간 압연의 공정을 거쳐서 제조된다.<sup>1)</sup> 분말 고속도강은 사용하는 용도나 사용조건에 따라 최적의 성능을 발휘하는 조성이 있으나 실제 분말 고속도강 제조회사에서는 이러한 다양한 요구를 충족시키지 못하고 소수의 합금만 제조하여 공급하고 있는 실정이다.<sup>1,2)</sup>

한편, ASP-23에 상응하는 Co가 함유되지 않는 국산 JYPS-23조성의 분말고속도공구강은 분말성형펀치에 응용이 되고 있으며 기존 주단조재인 SKD 11종에 비하여 탄화물의 미세하고 조직이 균일하므로 내

마모성과 치핑에 대한 저항성 등이 매우 우수하여 수명이 매우 높은 것으로 알려져 있다.<sup>3-5)</sup> JYPS-23 조성의 분말고속도공구강을 10 ton/cm<sup>2</sup> 정도의 고압 하에서 철계 분말을 성형하는 펀치로 적용시, 장시간 사용도중에 성형체에 인접하게 되는 펀치의 끝부위가 소성변형이 되어 펀치의 직경이 미세하게 증가하는 경우가 생긴다. 펀치의 끝부위의 직경이 사용도중 약 10 μm 이상으로 증가하면 다이에 끼이는 현상이 발생하여 더 이상 사용할 수 없는 경우가 발생한다. 이러한 펀치의 직경증가에 대한 저항성은 소성변형에 대한 저항성과 관련이 되는 것으로 사료되며 소성 변형 저항성의 향상이 요구된다.<sup>3)</sup>

JYPS-23 조성에 소성변형에 대한 저항성을 증가시키는 방안중의 하나는 기지에 합금원소의 고용량을 증가시켜 항복강도를 증가시키는 방법이다. 본 연구에서는 Co의 함량이 다른 분말고속도강을 제조하고 기계적 특성의 변화를 조사함으로써 고압성형용 펀치에 적용이 가능한 합금개발의 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험 방법

분말고속도공구강 JYPS-23(1.28% C, 4.2% Cr, 6.4% W, 4.2% Mo, 3.1% V, 잔량 Fe)을 기본 조성으로 하여 합금중의 Co 함량이 0%, 3%, 6%가 되도록 원료 4 Kg을 도가니에 장입한 후 1600-1650°C에서 용해한 후 30 bar의 분사압력으로 가스분사(gas atomization)하여 분말을 제조하였고, 자력선별을 5회 실시하여 비금속 개재물을 제거하였다. 제조된 분말을 Can(Size Ø32×L120)에 장입하고 500°C에서 4시간동안 탈가스 및 용접 밀봉후 열간등압성형(1150°C, 3시간, 1034 bar)하여 소형 빌렛을 제조하였다. 제조된 소형 빌렛은 고온 스웨징에 의해 Ø16 mm 봉재로 제조하였다. 진공켄칭로에 가공된 시편을 장입하여 1180°C에서 10분 동안 유지후 10 bar의 질소 압력으로 켄칭을 하였다. 550°C까지 가열후 1시간 썩 3회 템퍼링 처리를 실시하였다. 가공하여 굽힘강도 시험편(5.0×5.0×43 mm)과 압축시험편(직경 4.32 mm×높이 6.2 mm)을 준비하였고 시편의 소성변형에 대한 저항성에 관련이 될 수 있는 압축시험, 굽힘강도시험을 실시하였다. 3중점 굽힘강도 시험은 Instron 4206에서 지지점간의 간격이 40 mm인 시험용 지그위에 장착한 후 crosshead speed 0.5 mm/분의 속도로 시험하였다. 굽힘강도(TRS)와 하중과의 관계식은 3점 굽힘시험시 일반적인 식 (1)을 사용하였다.

$$TRS(\text{kg/mm}^2) = 3PL/(2T^2W) \quad (1)$$

(P: 하중, T와 W는 각각 시편의 두께 및 폭, L은 지지점간의 거리)

압축 강도용 시편을 초경 다이위에 장착한 후 crosshead speed 0.5 mm/분의 속도로 시험하여 압축 항복응력과 압축 파괴강도를 구하였다. 또한, 시편을 초경 다이위에 장착한 후 1 Hz의 주기로 4.16 GPa의 압축응력을 가하면서 반복적인 압축 하중하에서 압축횟수에 따른 직경 방향과 높이 방향의 변위량을 측정하였다. 미세조직 분석을 위해서 먼저 2% Nital로 에칭하여 주사전자현미경으로 사진을 촬영하였고 흰색과 회색으로 보이는 탄화물들을 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrum Analysis)분석하여 각각 V이 풍부한 MC형, (W, Mo, Fe)가 많은 M<sub>6</sub>C형 탄

화물임을 확인하였으며 각 탄화물의 제적분율 및 평균크기를 상분석기를 이용하여 구하였다.<sup>6)</sup>

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 제조된 각 합금의 미세조직 사진들이다. 기공들이 전혀 없는 치밀한 상태를 나타내었으며 템퍼링된 마르텐사이트 기지내 및 입내에 V이 풍부한 MC형(흰색), (W, Mo, Fe)가 많은 M<sub>6</sub>C형(회색)탄화

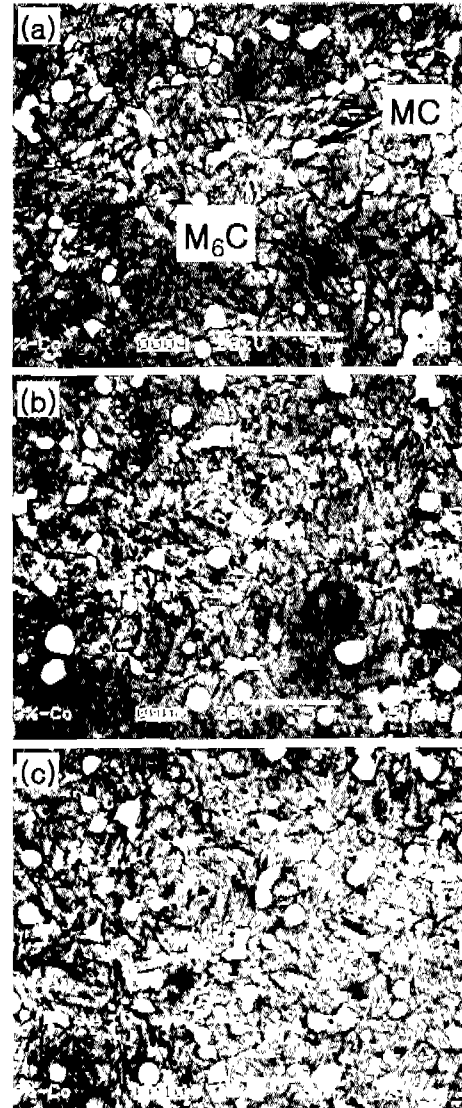


Fig. 1. SEM micrographs of P/M high speed steels: (a) 0% Co, (b) 3% Co, (c) 6% Co

Table 1. Volume fractions and mean sizes of carbides in P/M high speed steels with various Co contents.

Co content(%)	Volume fraction (%)			Mean size ( $\mu\text{m}$ )	
	total	MC	$M_6C$	MC	$M_6C$
0	13.1	4.5	8.6	0.7	0.7
3	13.7	4.7	9.0	0.6	0.8
6	14.1	5.0	9.1	0.7	0.7

Table 2. Matrix compositions in P/M high speed steels with various Co contents.

(wt.%)

Specimen	Co	W	Mo	Cr	V	Fe
0% Co alloy	0.0	2.0	1.5	3.5	1.2	bal.
3% Co alloy	2.8	3.1	2.5	4.1	1.2	bal.
6% Co alloy	6.1	2.9	2.4	4.5	1.8	bal.

물이 균일하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 표 1에 Co 함량에 따른 합금중의 각 탄화물의 평균크기, 체적분율을 나타내었다. Co 함량이 증가에 따라 각 탄화물의 체적분율 및 평균크기는 거의 변화하지 않았다. 즉, 첨가된 Co는 거의 기지에 고용되어 탄화물의 체적분율 및 크기에는 거의 영향을 미치지 않은 것으로 볼 수 있다.

한편, 기지상을 EDS 분석한 결과는 표 2와 같다. Co 첨가된 합금의 기지상내에 W, Mo, Cr의 고용도가 다소 높음을 알 수 있고 기지내의 Co 함량의 변화에서 알 수 있듯이 첨가된 Co가 전부 기지상중에 고용됨을 알 수 있다.

그림 2에 제시된 바와 같이, Co의 함량이 0%에서 6%로 증가함에 따라 열처리후의 경도(HRC)는 62.0에서 66.4까지 급격히 증가하였다. 이는 Co의 첨가에 따른 기지내의 Co 및 W, Mo, Cr의 고용강화

효과에 기인한 것으로 사료된다. 굽힘강도도 Co 함량의 증가에 따라 3.66 GPa에서 4.34 GPa까지 증가에 하였고, 분말고속도공구강은 고경도 재료이므로 굽힘시험중에 항복이 일어나는 순간에 파단되므로 굽힘강도값은 항복과 동시에 파단이 생기는 응력임을 나타내었다. Co가 기지에 고용되어서 고용강화 효과를 일으키므로 굽힘강도도 증가되는 것으로 사료된다.

그림 3에 제시된 바와 같이 Co가 0%에서 3% 이상 증가함에 따라 압축시 항복응력은 2.19 GPa에서 3.33 GPa이상으로 증가하였고 이는 기지에 Co가 고용되면 기지가 강화되어서 소성변형에 대한 저항성이 증가함을 의미한다. 반면, 압축 파괴강도는 Co 함량의 증가에 따라 약간 감소하는 경향을 보여주었으며 Co가 함유된 경우, 기지에 Co가 고용되어 일단 균열이 발생하면 균열의 전파가 용이하기 때문인 것으로 추정된다.

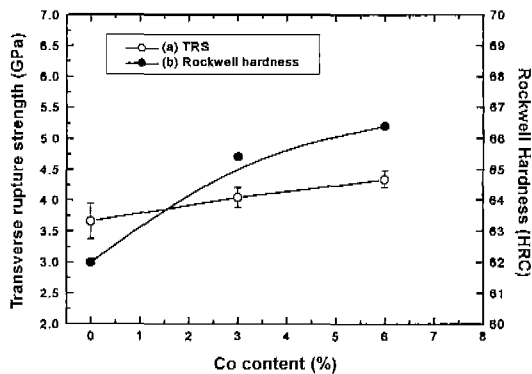


Fig. 2. The variations of hardness and transverse rupture strength of P/M high speed steels with Co content.

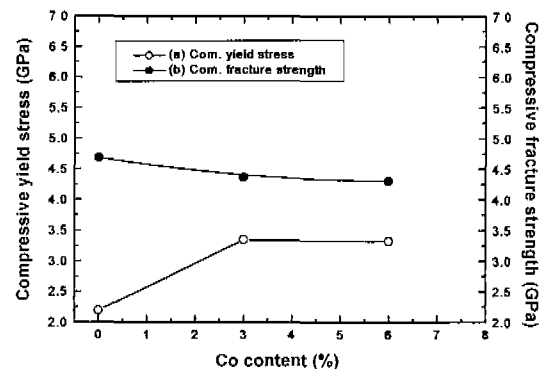


Fig. 3. The variations of compressive yield stress and fracture strength of P/M high speed steels.

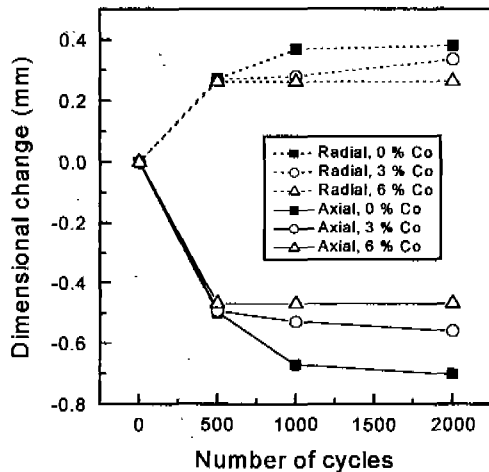


Fig. 4. The variations of axial and radial dimensional changes with the number of cycles in P/M high speed steels of various Co contents under the compressive loading of 4.159 GPa.

그림 4는 반복적으로 압축응력 4.159 GPa를 가할 때 사이클수에 따른 직경 및 높이 방향의 시편의 크기 변화를 나타낸 것이다. Co 함량이 증가할수록 반복적인 압축하중에 따라 높이 방향의 수축량이 감소하였고 직경 방향의 팽창량도 감소하였다. 즉 Co 함량의 증가에 따라 반복적 하중에 따른 변형에 대한 저항성이 증가함을 알 수 있다. 한편, 상기 분말고속도공구강들에서 반복적인 압축하중하에서 파괴까지 사이클수는 2785~3950 범위이었고 Co 함량에 따른 차이는 뚜렷이 관찰되지 않았으며, 이러한 값은 소량의 비금속 개재 물체에 의하여도 영향을 받을 수도 있다. 상기의 결과에 의거하여 냉간용 분말성형편치와 같이 반복적인 압축하중을 받은 경우에 6% Co를 함유한 분말고속도공구강이 소성변형이 적게 발생하므로 사용 수명이 증가될 것으로 예상된다. 실제로 Co를 함유하지 않는 분말고속도공구강 JYPS-23으로 만든 외경 12.6 mm, 내경 7.4 mm의 분말성형편치로 18 ton/cm<sup>2</sup> 정도의 고압하에서 철계 분말을 성형하는 작업시 약 20,000 사이클 정도의 작업후 편치의 외경이 소성변형이 일어나, 편치 직경이 약 10 μm 이상으로 증가하면 편치가 다이에 끼어서 작업을 못하여 수명이 다하는 경우가 발생한다. 따라서, 향후 Co가

3 내지 6% 함유된 분말고속도공구강으로 만든 분말성형 편치를 제작하여 성형 횟수에 따른 편치의 직경 변화를 측정하여 Co가 함유되지 않은 편치에 비하여 편치 수명이 얼마나 증가하는지 조사가 필요하다.

#### 4. 결 론

가스분사공정 및 캔닝/HIP 공법에 의하여 Co 함량이 다른 분말고속도강을 제조하였고, 미세조직 및 기계적 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Co 함량이 증가에 따라 V이 풍부한 MC형, (W, Mo, Fe)가 많은 M<sub>6</sub>C형 탄화물의 체적분율 및 평균크기는 거의 변화하지 않았으며 첨가된 Co는 거의 기지에 고용되어 기지내의 Co 함량은 증가하였다.
2. Co 첨가에 따라 경도, 굽힘강도 및 압축시 항복강도가 상승하였으며 이는 기지내에 고용된 Co 함량의 증가에 기인하였다.
3. Co 함유된 합금은 반복적인 압축 하중을 받는 경우에 소성변형에 대한 저항성이 Co가 함유되지 않는 합금에 비하여 매우 우수하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 파기처의 선도기술개발사업으로 수행되었으며 진양공업(주)의 협조 및 시편제조와 기계적 특성 평가에 도움을 준 임태수씨께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. E. Klar: Metals Handbook, ASM, Metals Park, 7 (1984) 784.
2. 진양공업(주) 카탈로그, JeonYang Powder Metallurgy High Speed Steel, (1999).
3. R. Andersson: Mod. Dev. in P/M, 17 (1984) 359.
4. 홍성현, 배중수, 김용진: 한국분말야금학회, 7 (2000) 78.
5. 홍성현, 배중수, 김용진: 한국분말야금학회, 7 (2000) 131.
6. 이상훈, 배중수, 임태수, 홍성현, 김용진, 신평우: 대한금속학회지, 37 (1999) 1475.
7. 김용진, 배중수, 홍성현, 정형식, 안재환: 대한금속학회지, 37 (1999) 1081.