

## 분말고속도공구강을 활용한 베어링 레이스 열간 단조 금형의 수명 및 기계적 특성

홍성현\* · 배종수

한국기계연구원 부설 재료연구소 분말 재료 연구부

### Life and Mechanical Properties of Hot Former Die for Bearing Race using P/M High Speed Steel

Seong-Hyeon Hong\* and Jong-Soo Bae

Department of Powder Materials Research, Korea Institute of Materials Science, Korea Institute of  
Machinery and Materials, 531 Changwondaero, Changwon, Gyeongnam, 641-831, Korea

(Received October 31, 2007; Accepted December 1, 2007)

**Abstract** P/M high speed steel (1.26% C, 4.42% Cr, 6.54% W, 4.92% Mo, 3.21% V, 8.77% Co, bal. Fe) was applied to hot former die. It showed that the die life became 2.7 times higher than that of cast/wrought SKH 55 tool steel which is commercially used. The increase of die life was corresponding to the improved hardness and transverse rupture strength of PM high speed steel due to the finer grain and carbide as well as the uniform carbide distribution. The P/M high speed steel with the promoted die life could be an alternative to the conventional SKH55.

**Keywords :** Powder metallurgy, High speed steel, Hot forming, Die, Wear

### 1. 서 론

분말야금법에 의해 제조되는 고속도공구강은 기존의 용해 후 주조, 열간 단조, 압연 등의 일련공정에 의해 제조되고 있는 고속도공구강이 가진 문제점을 개선하기 위하여 개발되고 있는 소재이다. 분말 고속도강은 일반적으로 가스 분사법으로 제조된 합금 분말을 금속제 용기에 장입한 후 열간 가압 소결 후 열간 가공에 의하여 제조된다. 이러한 분말고속도공구강은 기존의 고속도공구강과는 달리 편석이 없고 균일 미세한 조직을 얻을 수 있으며 각종 탄화물 형성과 합금원소의 과포화 고용에 의하여 내마모성이 향상되며 열처리의 안정성 등으로 인하여 특성이 우수하여 금형, 엔드밀, 성형펀치 등에 사용되고 있다<sup>1,4)</sup>.

현재 광범위하게 사용되고 있는 분말고속도공구강 중에 1.28% C, 4.20% Cr, 6.40% W, 5.00% Mo,

3.10% V, bal. Fe(중량%)의 조성을 가진 합금은 내간용 금형, 펀치 등에 사용되고 있고 상기 조성에 Co를 8.5~11%범위로 첨가한 합금의 경우 우수한 내마모성과 인성을 보유하므로 각종 절삭공구용 소재로 많이 사용되고 있다<sup>4,5)</sup>. 그 중 Co를 약 8.5% 함유한 분말고속도공구강은 ASP-30으로 알려져 있는 조성으로 적절한 고온경도와 인성을 가지고 있으므로 열간용 금형에도 응용이 검토되고 있다<sup>5)</sup>.

열간용 금형은 고온에서 우수한 내마모성과 열피로 저항성 등이 요구되는 분야에 주로 활용되며 주단조재인 열간 단조용 공구강 SKH 55이 일반적으로 많이 사용되고 있으나 금형 수명이 짧은 문제점이 있다. 특히, 철계 베어링 레이스를 생산하기 위한 열간 단조 공정의 경우, 금형의 수명이 짧아서 금형 제작 및 금형교체에 따른 비용 손실 등이 상당히 발생되고 있다. 따라서, 보다 기계적 특성이 우수한 금형

\*Corresponding Author : [Tel : +82-55-280-3584; E-mail : shhong@kims.re.kr]

소재의 선택과 적용 시험을 통한 금형 수명의 증대에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 분말고속도강과 주단조재인 열간 단조용 공구강 SKH 55로 베어링 레이스용 금형을 제작하여 베어링 레이스의 열간 단조시 금형의 수명을 비교하고 수명 차이의 원인을 규명하고자 한다.

## 2. 실험방법

본 연구에서 사용한 재료(KIMS 30으로 표기)는 스웨덴 아샵사의 ASP 30과 동일 조성인 Co가 8.5%함유된 분말고속도공구강이며 표 1에 조성을 제시하였다. 진공 용해후 가스 분사된 분말 381 Kg을 내부직경 350 mm 및 내부 길이 700 mm인 스테인레스 용기에 장입하고 진공 분위기중 탈가스 처리후 밀봉하여 1120°C에서 질소가스로 100 Ma의 압력을 유지하면서 4시간 동안 열간 등압성형하였다. 열간 등압성형후 열간 압연하였고 870°C에서 2시간 동안 유지한 후 시간당 10°C의 냉각 속도로 냉각하는 소둔 열처리를 실시하였다.

비교용 소재로 현재 사용되고 있는 주/단조재 SKH 55를 사용하였다. 그림 1의 (a)와 같은 베어링 레이스 성형용 금형으로 제작하였으며 열처리는 염욕에서 1120°C에서 10분간 유지한 후 담금질하였고 이어서 560°C에서 1시간씩 3회 템퍼링 열처리를 하였다.

분말고속도공구강 KIMS 30과 열간 용공구강 SKH 55의 열처리후 경도는 각각 Rockwell C scale(HRC)로 64.2, 62.5이었다. 열처리후 최종 마무리 가공하여 그림 1의 (b)와 같은 hot former장치의 2단계(중간) die에 장착하였다. 베어링 레이스용 강재를 hot former 금형에 장입한 후 열간 단조를 하였다. 금형의 수명은 가열된 피가공물과 접촉하는 내경면이 마모된 량으로 결정하였다. 마모에 의해 확장된 내경은 열간 성형된 피가공물의 외경 변화로써 측정하였는데 초기 단조품의 외경은 40.8 mm 이었다. 베

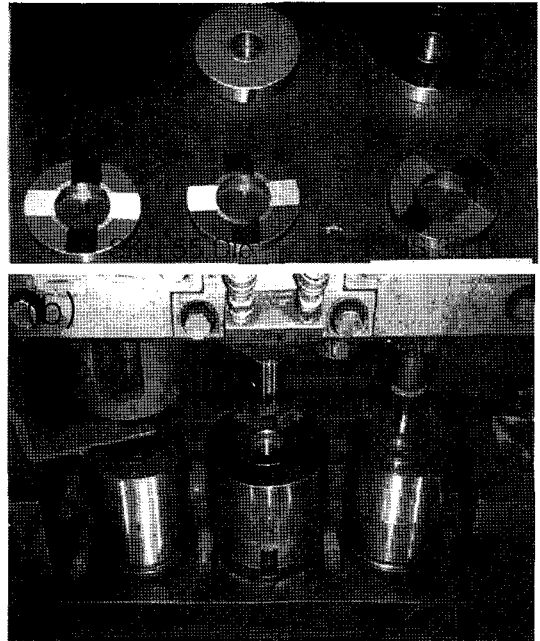


Fig. 1. (a) Dies for hot forging of bearing race and (b) Hot former equipment.

어링레이스 단조업체의 품질 검수 규격에 의거하여 단조품의 외경이 41.1 mm 이상 초과하면 금형은 더 이상 사용할 수 없는 것으로 판단하였다.

두 소재간의 수명차이의 원인을 조사하기 위하여 기계적 특성과 미세조직을 조사하였다. 사용한 금형에서 시편에서 3중점 항절력 시험편(폭 3×두께 3×길이 43 mm<sup>3</sup>) 시편 및 미세 조직 시편을 절단 가공후 연삭하여 제작하였다. 비금속개재물양과 결정립 크기번호는 각각 DIN 50602 규격과 ASTM E-112 규격에 의하여 구하였다. Rockwell 경도기(C-scale, 하중 150 kgf)를 사용하여 경도를 측정하였고 샤르피 충격시험기를 사용하여 충격치를 구하였고 이때 시편의 지지점간의 거리는 40 mm으로 하였다. 만능시험기에서 0.5 mm/분의 속도로 3점 항절력 시험을 실시하였다. 이때 항절력(TRS)와 하중과의 관계식은 다음과 같은 일반적인 식(1)을 사용하였다<sup>6)</sup>.

Table 1. Chemical composition of P/M high speed steel KIMS 30 and conventional wrought SKH 55 (wt. %)

Species \ Element	C	Cr	Mo	W	V	Co
SKH 55	0.80-0.90	3.80-4.50	4.80-6.20	5.50-6.70	1.70-2.30	4.50-5.50
KIMS 30	1.3	4.2	5.1	6.4	3.2	8.5

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

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

미세조직 분석을 위해서 연마된 시편을 2% nital로 부식시킨 후 주사전자현미경으로 사진을 촬영하였고 흰색과 회색으로 보이는 탄화물을 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrum Analysis)분석하였고 X선 회절실험을 실시하여 상분석을 하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1. 분말고속도강과 공구강 SKH 55으로 제조된 베어링 레이스용 금형의 수명 평가 비교

열간 단조용 공구강 SKH 55를 사용한 경우 첫 번째 열간 성형시 베어링레이스의 외경이 40.8 mm이였으나 45,000번 단조후 인출된 베어링 레이스의 직경이 41.1 mm에 도달하여 금형은 더 이상 사용할 수 없는 것으로 판단하였다. 반면, 그림 2에 제시된 바와 같이 분말 고속도강 KIMS 30으로 제조된 금

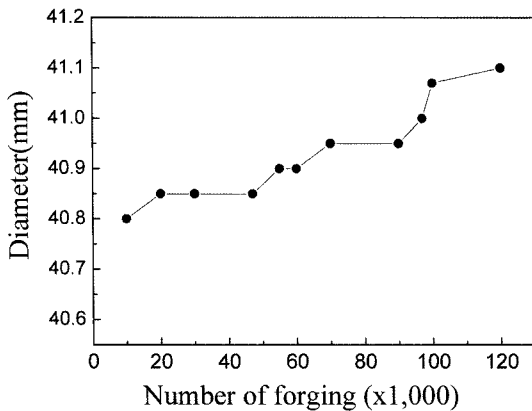


Fig. 2. Variation of diameter of forged bearing race with number of forging.

형을 사용하였을 경우 열간 단조 횟수에 따른 베어링 레이스의 내경의 변화는 성형 횟수에 따라서 단조된 베어링 레이스의 외경이 느리게 증가하여 120,000회에서 베어링 레이스의 외경이 41.1 mm이 되었다. 즉, 분말 고속도강 KIMS 30 금형이 열간 단조용 공구강 SKH 55보다 금형이 서서히 마모되므로 약 2.7배 정도의 수명을 보여 주었다.

#### 3.2. 분말고속도강과 공구강 SKH 55으로 제조된 베어링 레이스용 금형의 수명 차이의 원인 분석

표 2는 hot former die의 수명과 소재 분석 결과를 정리한 표이다. 분말 고속도강 KIMS 30 금형이 열간 단조용 공구강 SKH 55보다 비금속 개재물양이 적음을 알 수 있다. 분말고속도강에서 비금속개재물은 SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 계열, MnS계열 등이 존재한다<sup>7)</sup>. 또한, 분말 고속도강 KIMS 30 금형이 열간 단조용 공구강 SKH 55보다 결정립이 미세하며 경도와 항절력이 높음을 알 수 있다. 이로 인하여 약 2.7배 정도의 수명을 나타냄을 확인 할 수 있었다. 기계적 특성 및 수명 차이가 발생한 원인을 규명하기 위하여 미세조직을 조사하였다.

그림 3은 각 소재의 사용후 결정립의 크기를 측정하기 위하여 열처리후 2% nital 용액으로 결정 입계를 부식시킨 사진이다. 분말 고속도강 KIMS 30에는 결정립의 크기 번호가 11.5이며 5-10 μm범위의 작고 균일한 결정립의 분포를 갖고며 탄화물도 매우 잘 분포되었음을 알 수 있다. 한편, 열간 단조용 공구강 SKH 55 소재는 결정립의 크기번호가 9.4-9.7이며 10-25 μm 범위의 결정립 크기 분포를 갖고 조대화된 탄화물도 존재하는 불균일한 탄화물 크기 분포를 나타내어 주었다. 또한, 분말고속도강 KIMS 30은 탄화물이 미세하고 균일하게 분포된 반면 열간 단조용 공구강 SKH 55 소재는 국부적으로 조대해진 탄화물들이 관찰되었다.

그림 4는 분말고속도강 KIMS 30으로 제작된 열

Table 2. Die lives and mechanical properties of dies made of P/M HSS KIMS 30 and SKH 55

	SKH 55	P/M HSS KIMS 30
Die life (Number of forging)	45,000 ea	120,000 ea
Amount of non-metallic inclusion (DIN 50602)	2.73	0.81
Number of grain size (ASTM E-112)	9.6	11.5
TRS(KN/mm <sup>2</sup> )	2.57 ± 0.17	4.83 ± 0.23
Hardness (HRC)	62.5 ± 0.2	64.2 ± 0.2

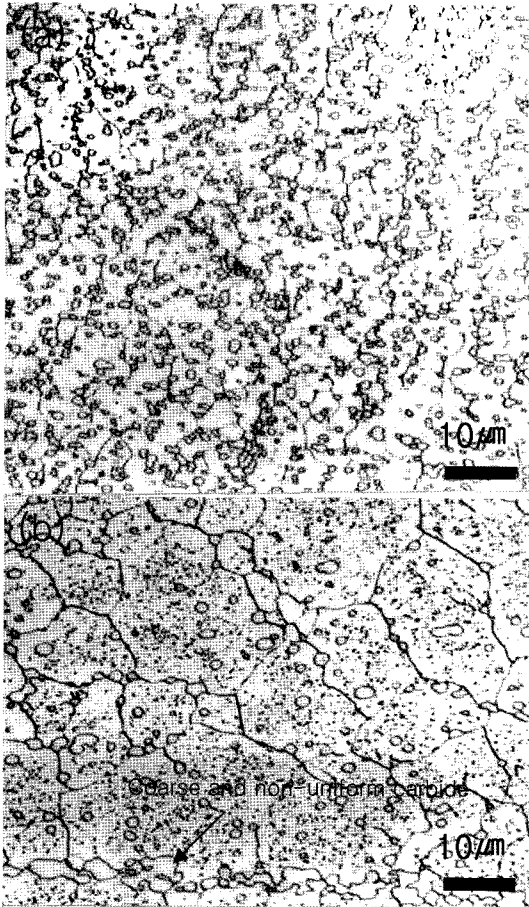


Fig. 3. Optical microstructures of (a)P/M HSS KIMS 30 and (b)SKH 55 which were quenched from 1120°C. (Etched with 2% nital).

간 단조 금형에서 채취된 시편을 연삭후 2% nital용액으로 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다. 그림 5와 표 3은 각각 X선 회절 분석결과와 EDS 분석결과로 회색과 흰색의 탄화물상들의 성분 분석결과이다. 회색 부위의 탄화물은 V 함량이 많은 MC계 탄화물이고 흰색의 탄화물은 Fe, W 및 Mo 함량이 많은  $M_6C$ 계 탄화물이며 템퍼링된 마르텐사이트기지에 탄화물이 균일하게 분포되어 있음을 알 수 있다<sup>6,8)</sup>. 분말 고속도강 KIMS 30은 열간 단조용 공구강 SKH 55 소재에 비하여 결정립이 미세하고 탄화물의 크기가 미세하여 항절력 및 경도가 우수한 것으로 판단되며 열간 단조 금형에 적용시 내마모성도 우수하여 금형 수명이 우수한 것으로 판단된다.

분말 고속도공구강 가격이 SKH 55 소재보다 고가

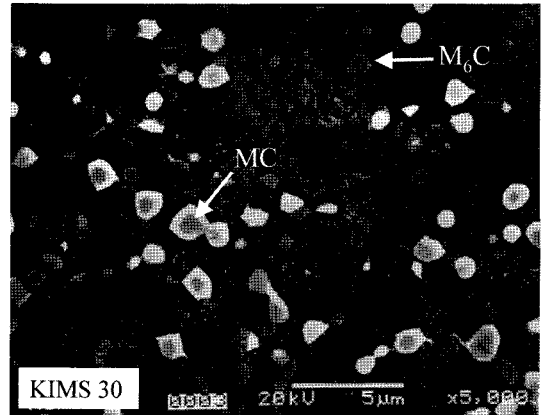


Fig. 4. Scanning electron microstructure of P/M HSS KIMS 30 which was quenched from 1120°C and tempered. (Etched with 2% nital).

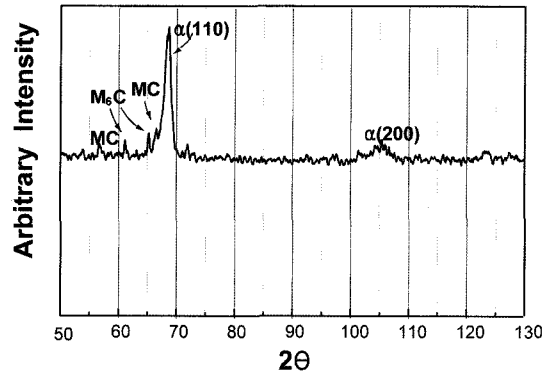


Fig. 5. X-ray diffraction pattern of tempered P/M HSS KIMS 30.

Table 3. EDS analyses of carbides observed as white color and gray color in P/M KIMS 30 (wt. %)

Species	Element					
	V	W	Mo	Cr	Fe	Co
MC(white)	33.0	18.9	13.4	5.9	25.4	3.4
$M_6C$ (gray)	3.0	29.9	18.0	45.4	39.2	5.5

이나 가공비 및 금형열처리 비용이 상기 소재들이 유사하므로 금형제조원가는 다소 상승하나 금형 수명이 약 2.7배 이상으로 증가하므로 경제성이 있는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

분말 고속도강 KIMS 30을 사용한 베어링 레이스

금형의 수명이 열간 단조용 공구강 SKH 55로 만든 베어링 레이스 열간 단조용 금형보다 약 2.7배이었다. 분말 고속도강 KIMS 30을 사용한 금형이 열간 단조용 공구강 SKH 55로 제조된 금형보다 결정립이 미세하고 강화 작용을 하는 탄화물들이 미세하고 균일하게 분포되어 있었다. 이로 인하여 분말 고속도강 KIMS 30을 사용한 베어링 레이스 금형은 항절력 및 경도가 높아 내마모성이 우수하여 금형 수명이 높은 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 과기처의 선도기술개발사업으로 수행되었으며 연구비 지원과 진양공업(주)의 협조에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. J. R. Davis: *ASM Specialty Handbook, Tool Materials*, ASM, Metals Park, Ohio (1995) 21.
2. E. Klar: *Metals Handbook*, 9th Ed., Vol. 7, ASM, Metals Park, Ohio (1984) 784.
3. L. Westin and H. Wisell: *Scandinavian J. of Metallurgy*, **25** (1996) 41.
4. Jinyang Industry: *Catalogue of Jinyang Powder High Speed Steel*, Daegu (1999) 1; 진양공업: 진양 분말고속도공구강, 대구 (1999) 1.
6. S. H. Lee, J. S. Bae, T. S. Lim, S. H. Hong, Y. J. Kim and P. W. Shin: *J. Korean Inst. of Metals and Materials*, **37** (1999) 1475 (*Korean*).
7. S. H. Hong, Y. J. Kim and J. S. Bae: *J. Korean Powder Metall. Inst.*, **7** (2000) 78 (*Korean*).
8. Y. J. Kim, J. S. Bae, S. H. Hong, H. S. Chung and J. W. Han: *J. Korean Inst. of Metals and Materials*, **37** (1999) 1081 (*Korean*).