

## 분말고속도공구강 JYPS-23에서 열처리조건에 따른 3점 굽힘피로특성

홍성현 · 배종수 · 김용진  
한국기계연구원 재료기술연구부

### Three Point Bending Fatigue Property with Heat Treatment Condition in a Powder Metallurgical High Speed Steel JYPS-23

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

Korea Institute of Machinery and Materials, 66 Sangnam-dong, Changwon, Kyungnam 641-010, Korea

(Received May 4, 2000)

**Abstract** The effect of tempering temperature on the three point bending fatigue behavior of a P/M high speed steel JYPS-23 (1.28 % C, 4.20 % Cr, 6.40 % W, 5.00 % Mo, 3.10 % V, bal. Fe) was investigated. The number of cycles to failure of the specimen austenitized at 1175°C drastically increased with increasing tempering temperature. As tempering temperature increased from 500 to 620°C, the volume fraction and average size of carbides (MC or M6C) did not significantly changed, while hardness decreased drastically. The reduced hardness is due to the softening of matrix, which increased the resistance of the fatigue crack propagation. For a practical application, powder compacting test were also conducted with the P/M high speed steel punches tempered at 500, 580, and 620°C. The number of compacting cycles to failure of the punches also increased with increasing tempering temperature.

#### 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>1-4)</sup>

현재 1.28% C, 4.20% Cr, 6.40% W, 5.00% Mo, 3.10% V, 잔량 Fe (중량 %)의 조성을 가진 분말고속도공구강은 주조법으로 제조된 공구강에 비하여 인성과 피로특성이 우수하기 때문에 분말성형펀치 등에 많이 사용되고 있다.<sup>5,6)</sup> 철계, 스테인레스계 및 동계의 소결 기계부품은 금속 분말을 고압으로 성형, 소결하여 제조한다. 소결 기계부품은 그 형상이 복잡하기 때문에 분말을 성형할 때 펀치 자체가 예리한 모서리를 갖지 않으면 안 되는 경우가 많다. 따라서, 분말성형중 펀치가 파손되기 쉽다.

분말성형중에 발생하는 파괴의 원인은 반복적인 하중이 가하여짐으로 인하여 균열의 발생과 전파가 주된 기구인 것으로 추정된다. 그러나, 지금까지 분말고속도공구강에서 열처리 조건에 따른 경도 및 굽힘강도에 관한 연구결과는 많이 발표되었지만 피로특성에 관한 자료는 충분하지 않다.<sup>7,8)</sup> 고속도공구강과 같은 경질합금에서 굽힘 강도가 인성을 나타내는 특성치인 것처럼 인식되어 사용하고 있으나 이에 대하여는 반론의 여지가 많다.

본 연구에서는 저주기 피로하중에서 피로에 의한 파괴저항이 우수한 열처리 조건을 찾아내기 위하여 템퍼링 온도를 달리하여 열처리된 분말고속도공구강에서 반복적 하중이 가하여 질 때 파괴까지의 사이클 수를 측정하였다. 또한, 위의 결과를 토대로 사용중 반복적인 하중을 받아서 균열이 발생하여 파손이 되기 쉬운 펀치에서 템퍼링 온도를 달리하여 열처리한 경우에 파손까지의 수명에 비교하였다.

**Table 1. Chemical composition of P/M high speed steel manufactured by Jeonyang Ind. Co. Ltd.**

wt. %	C	W	Mo	Cr	V	Fe
JYPS-23	1.29	6.42	4.76	4.35	2.86	bal.

## 2. 실험방법

본 연구에서 사용한 재료는 분말성형편치에 많이 사용되고 있는 표 1과 같은 조성을 가진 분말고속도 공구강이며 가스 분사된 분말을 캔닝/열간등압성형후 단조 등의 열간 가공 및 구상화 어닐링에 의하여 진양공업(주)에서 제조되었다.<sup>4)</sup> 제조된 시편의 길이방향으로 3점 굽힘 강도 시험편(폭 5.3×두께 5.3×길이 31 mm<sup>3</sup>), 3점 굽힘형 피로시험편(폭 2.44×두께 2.44×길이 24 mm<sup>3</sup>)을 채취하여 열처리하였다. 한편, 스테인레스 분말제품인 자동차 스타터에 들어가는 플랜지를 성형하기 위하여 직경 57 mm, 길이 62 mm인 성형편치의 형상으로 시편을 가공한 후 열처리하였다.

VFS 사의 진공 열처리로를 사용하여 진공분위기에 서 열처리하였다. 850°C에서 20분 동안 유지한 후 15°C/분의 가열속도로 오스테나이트화 온도인 1175°C까지 가열, 10분 동안 유지한 뒤 10 bar의 질소 압력으로 퀴칭을 하였다. 이어서 10°C/분의 가열속도로 템퍼링 온도 구역인 500~620°C까지 가열, 1시간 동안 유지한 후 2 bar의 질소 압력으로 냉각하였고 이어서 동일한 템퍼링 사이클로 2회를 템퍼링하여 총 3회 템퍼링 처리를 실시하였다. Rockwell 경도기(C-scale, 하중 150 kgf)를 사용하여 경도를 측정하였고, 만능 시험기(Instron Model 4206)에서 0.5 mm/분의 속도로 3점 굽힘강도시험을 실시하였다. 연삭된 3점 굽힘형 피로시험편은 SiC 연마지(#1200)를 사용하여 길이 방향으로 폭 2.3×두께 2.3×길이 24 mm<sup>3</sup>의 크기가 되도록 연마한 후 지지점간 간격이 10 mm인 3점 굽힘형 피로 시험용 지그위에 장착하여 초당 1회씩 215 kg의 하중을 반복적으로 가하였다. 굽힘강도(TRS)와 하중과의 관계식은 3점 굽힘시험시 일반적인 식(1)을 사용하였고<sup>8)</sup> 반복적 하중을 가하여 시편이 파괴될 때까지의 사이클 수를 측정하였다.

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

(P: 하중, T와 W는 각각 시편의 두께 및 폭, L은

지지점간의 거리)

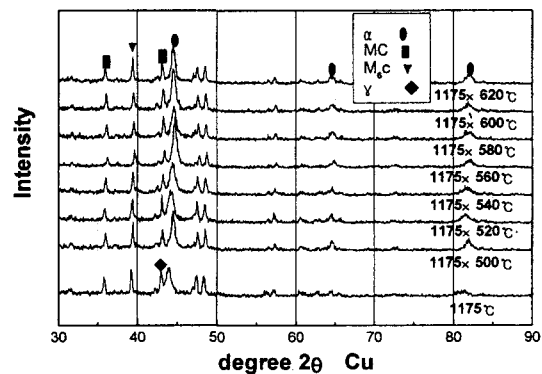
또한, 템퍼링 온도가 다르게 열처리된 분말성형편치는 스테인레스분말 15.8 g를 플랜지형상의 금형에 자동으로 공급하면서 3 톤/cm<sup>2</sup>의 압력으로 성형체를 제조하는 현장시험에 적용하였다. 성형작업 도중에 편치의 외관에 균열이 육안으로 관찰될 때까지의 성형 횟수를 측정하여 편치의 수명을 평가하였다.

연마된 시편을 2% Nital로 부식시킨 후 주사전자현미경으로 미세조직을 관찰하였고 사진을 촬영하였다. 주사전자현미경상에 흰색 및 회색으로 나타나는 탄화물상을 EDS로 분석하여, 각각 V 함량이 많은 MC형 탄화물과 Fe, W 및 Mo 함량이 많은 M<sub>6</sub>C형 탄화물임을 확인하였다.<sup>8)</sup> 탄화물의 체적분율 및 평균크기는 상분석기를 이용하여 구하였다.<sup>8)</sup>

## 3. 실험 결과

### 3.1. 열처리온도에 따른 미세조직

그림 1은 1175°C에서 오스테나이트화한 후 퀴칭한 시편을 템퍼링하였을 때 템퍼링 온도에 따른 X선 회절모양을 나타낸다. 1175°C에서 오스테나이트화한 후 퀴칭한 경우에 기지는 마르텐사이트 기지와 일부 잔류 오스테나이트상이며, 형성된 1차 탄화물들은 W, Mo가 많은 M<sub>6</sub>C형 탄화물과 V이 많은 MC형 탄화물이다. 3회 템퍼링 후에는 잔류 오스테나이트가 없는 템퍼링된 마르텐사이트 기지에 M<sub>6</sub>C 및 MC형 탄화물들이 주로 존재하였다. 그림 2는



**Fig. 1. X-ray diffraction patterns of the heat-treated specimens. The specimens were austenitized at 1175°C and tempered three times at different temperatures for 1 hr.**

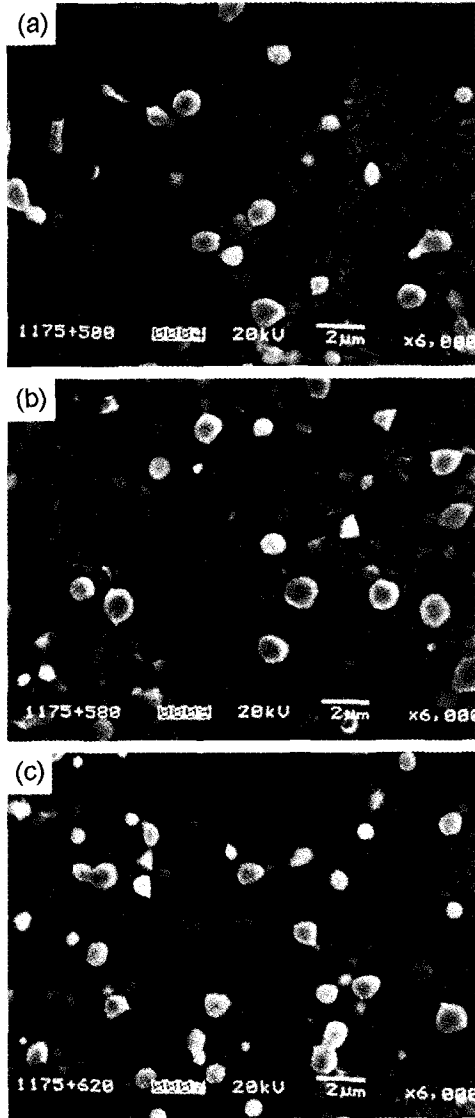


Fig. 2. Scanning electron micrographs of the specimens. The specimens were austenitized at 1175°C and tempered three times at different temperatures for 1 hr: (a) 500°C, b) 580°C and (c) 620°C.

1175°C에서 오스테나이트화한 다음 퀴칭, 템퍼링하였을 때 템퍼링 온도가 다른 경우에 미세조직을 나타낸다. EDS분석으로 색깔이 다른 탄화물의 성분 분석 결과에 따르면 회색부위의 탄화물은 V 함량이 많은 MC계 탄화물이고 흰색의 탄화물은 Fe, W 및 Mo 함량이 많은 M<sub>6</sub>C계 탄화물이다.<sup>8)</sup> 이와 같은 탄화물들이 템퍼링 온도에 관계없이 템퍼링된 마르텐사이트

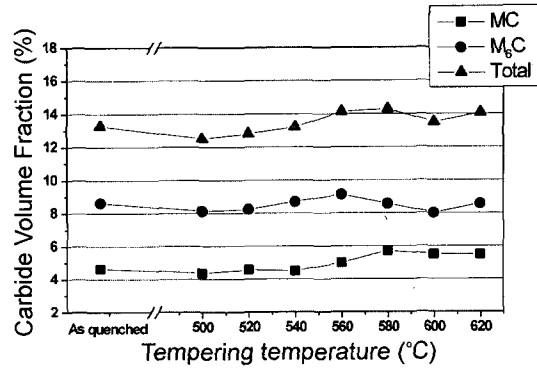


Fig. 3. Variations of volume fractions of MC, M<sub>6</sub>C and total carbides with tempering temperature.

트 기지내에 균일하게 분포되었음을 알 수 있다. 그림 3은 조직사진에서 상분석기를 이용하여 측정된 탄화물의 체적분율을 제시한 것으로 열처리의 변화에 따른 탄화물의 체적분율의 변화는 적었다. MC 및 M<sub>6</sub>C계 탄화물의 평균크기도 템퍼링 온도에 관계없이 각각 약 0.73, 1.11 µm이었다. 템퍼링시 발생하는 2차 미세탄화물을 분석하지 못하였지만 주사전자현미경에서 관찰가능한 탄화물의 양 및 크기는 템퍼링 온도에 따라 큰 차이가 발생하지 않았다.

### 3.2. 열처리온도에 따른 3점 굽힘형 피로시험 및 분말성형 펀치 수명시험

그림 4는 1175°C에서 퀴칭후 템퍼링시 온도에 따른 굽힘강도의 변화를 나타낸 것이다. 템퍼링 온도가 500°C에서 560°C까지 증가함에 따라 굽힘강도는 증가하였고 그 후 템퍼링 온도가 620°C까지 증가하면 굽힘강도는 감소하였다. 일반적으로 분말고속도강으

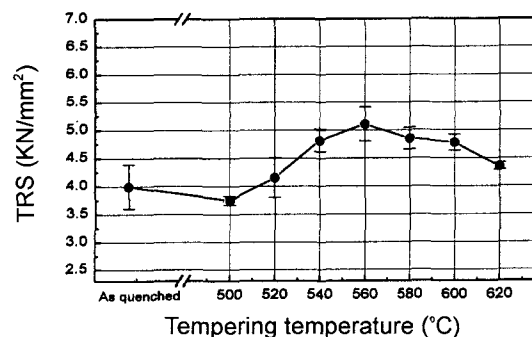


Fig. 4. Variation of transverse rupture strength with tempering temperature.

로 만든 제품 제조시 내마모성이 요구되는 경우에는 경도를 최대로 하는 열처리조건, 인성이 요구되는 경우에는 굽힘 강도를 최대로 하는 열처리조건에서 열처리 후 사용되고 있다. 그러나, 내마모용 제품으로 사용할 경우, 최대 수명이 얻어지는 열처리 조건이 경도나 굽힘강도의 자료만으로 선정되는 것은 불충분하며, 응용에 맞게 다른 특성치를 평가하여 선정하여야 한다. 특히, 사용중 반복적 응력을 받아 파손되기 쉬운 분말성형편치는 적합한 열처리 조건을 선정할 때 굽힘강도 자료만으로는 불충분하며, 3점 굽힘피로 특성치가 필요하다.

1175°C에서 퀘칭후 다른 온도에서 템퍼링 열처리된 3점 굽힘 피로시편들에 하중 215 kg을 초당 1회의 주기로 반복적으로 가하였을 때 파괴에 이르는 사이클 수를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 알 수 있듯이 템퍼링 온도가 낮을 경우에는 피로수명이 현저히 낮았고, 템퍼링 온도가 높을수록 대체적으로 피로수명이 증가하였다.

그림 6은 템퍼링 온도에 따른 피로파면의 양상을 나타낸 것이다. 피로균열은 인장응력이 집중된 표면에서 주로 발생하며, 특히 시편표면에 개재물이 있는 경우에는 개재물에서 응력이 집중되므로 균열이 생성되어 급속히 전파되다가 이후 응력이 약화되면 초기보다 상대적으로 느린 속도로 전파된 것처럼 보인다. 분말고속도강은 일반강보다 취성이 큰 소재이

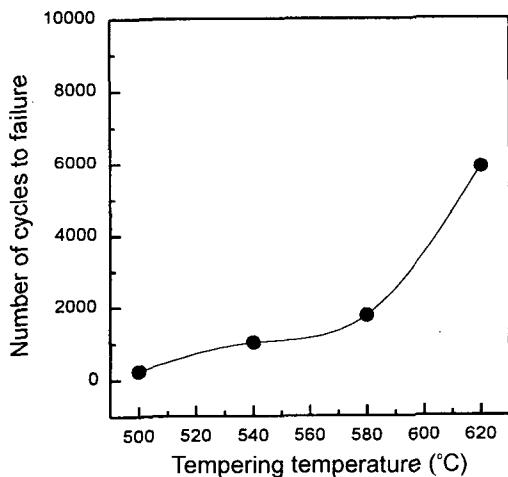


Fig. 5. Variation of the number of cycles to failure with tempering temperature for three point bending fatigue specimens tested at a cyclic load of 215 kg.

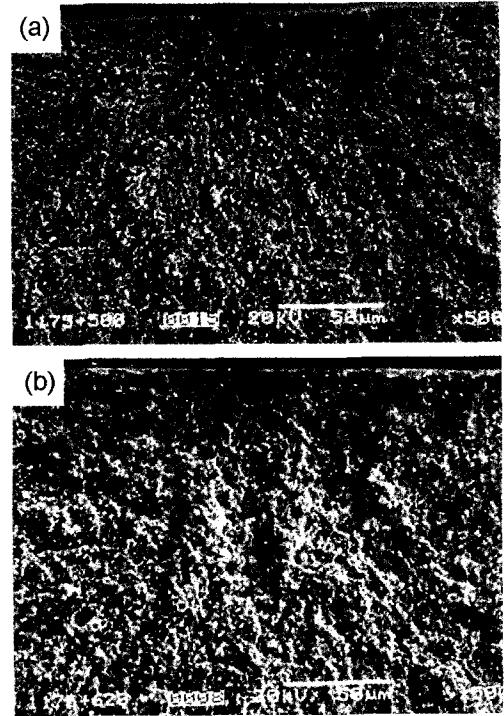


Fig. 6. Fracture surfaces of the fatigue tested specimens. The specimens were austenitized at 1175°C and tempered three times at (a) 500°C and (b) 620°C for 1 hr.

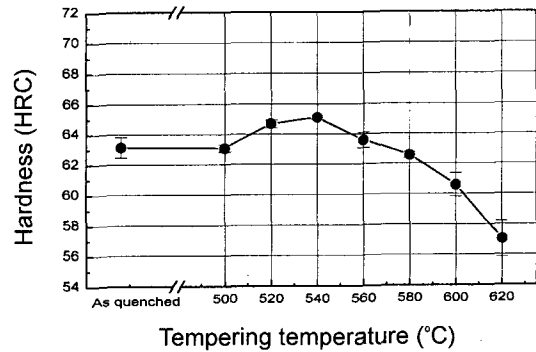


Fig. 7. Variation of hardness with tempering temperature.

므로 파면에서 연성파괴경향을 관찰하기는 어려우나, 620°C에서 템퍼링한 시편의 피로파면은 500°C에서 템퍼링한 시편보다 다소 덩풀형의 연성파괴 흔적을 보여준다.

피로균열은 인장응력을 받는 시편의 표면에서 생성하여 기지내로 전파되는 데 기지의 연성이 피로 균열의 전파를 억제할 것이다. 그림 7은 1175°C에서 퀘칭후 템퍼링시 열처리 온도에 따른 경도의 변화를

나타낸 것이다. 템퍼링된 분말고속도강은 템퍼링된 마르텐사이트 기지내에 크기가 약 0.3~2 μm 크기분포를 갖는 1차 탄화물 MC 및 M<sub>6</sub>C 등이 주로 존재하며 최대 경도를 나타내는 540°C~560°C에서 수십 nm 크기의 극미세한 M<sub>2</sub>C(M은 V, Mo, W, Cr) 2차 탄화물이 석출되는 것으로 알려져 있다.<sup>8,9)</sup> 이러한 M<sub>2</sub>C 2차탄화물은 템퍼링온도가 620°C 만큼 높아도 3 시간 이하의 템퍼링 처리로 조대화되기 어려운 것으로 알려져 있다.<sup>8)</sup> 템퍼링 온도가 약 500°C에서 약 540°C으로 증가에 따라서 경도와 굽힘강도는 동시에 증가한다. 이는 템퍼링시 분해되는 마르텐사이트 양이 증가하고 수십 nm 크기의 미세한 2차 탄화물의 석출에 의한 것으로 보고되어 있다.<sup>9)</sup> 이로 인하여 피로특성도 다소 증가한 것으로 판단되어진다. 한편, 템퍼링온도가 약 540°C~560°C 근처에서 620°C으로 증가에 따라서 경도 및 굽힘강도의 연속적인 감소는 1차 탄화물의 크기와 체적분율의 차이가 거의 없으므로 분해되는 마르텐사이트의 양이 증가하여 템퍼링된 마르텐사이트 기지의 연화에 기인한 것으로 사료된다. 이로 인하여 피로균열의 전파가 느려서 피로수명이 우수한 것으로 판단된다.

상기의 3점 굽힘피로시험 결과를 바탕으로 1175°C에서 오스테나이트화 처리후 다른 템퍼링 온도에서 열처리한 분말성형용 펀치들을 제작하여 스테인레스계 소결부품의 성형펀치에 적용시험을 실시하였다. 그림 8에 (a)플랜지 형상의 성형체, (b) 이를 성형하기 위한 성형펀치 및 (c) 균열이 발생된 펀치의 외관을 제시하였다. 스테인레스계 분말을 금형에 충전하고 3 톤/cm<sup>2</sup>의 압력으로 그림 8의 (a)와 같은 플랜지를 성형하였다. 사용중 펀치의 외관을 관찰하면서 그림 8의 (c)와 같이 펀치에서 균열이 발생하여 더 이상 작업하기 어려울 때까지의 성형횟수를 펀치의 수명으로 측정하였다. 본 실험대상으로 선정된 분말성형펀치는 현장에서 실제 사용도중 마모되기 전에 사용중 파손에 의하여 수명이 다하는 펀치이었다. 본 실험에서 펀치의 마모는 문제가 안되므로 파손까지 수명을 주로 조사하였다.

템퍼링 온도가 530°C, 580°C, 610°C인 경우에 각각 50,900개, 161,700개, 184,950 개 성형후 균열이 관찰되었다. 즉, 템퍼링 온도가 증가할수록 피로수명이 길어지기 때문에 사용중 파손에 의한 펀치의 수명도 증가함을 알 수 있다. 그러므로 사용중 반복

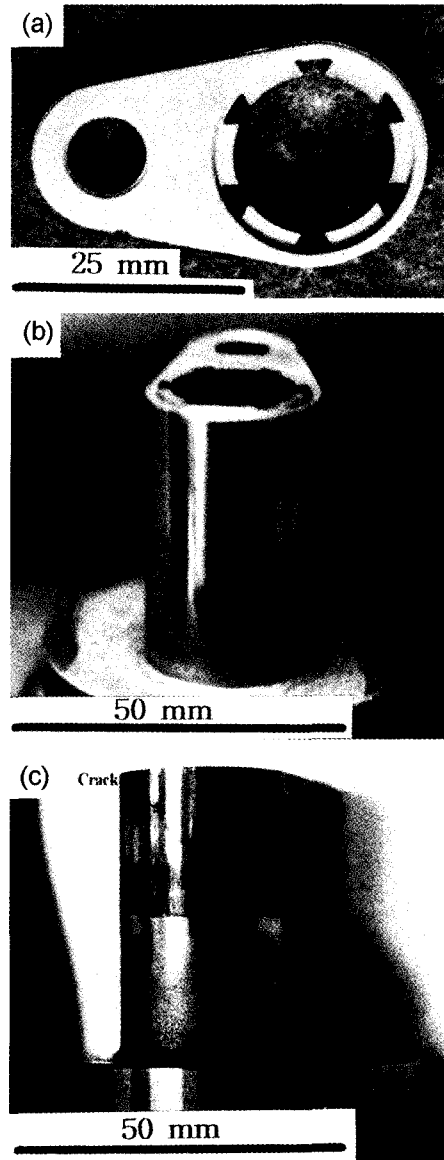


Fig. 8. (a) Compacted body, (b) punch for compacting stainless steel powders into flange shape and (c) typical punch showing a crack after compacting test.

적 응력을 받아서 파손이 되기 쉬운 부품의 열처리 시에는 템퍼링 온도를 높게 하여 피로에 의한 파손 수명을 증가시켜야 한다.

#### 4. 결 론

분말고속도공구강의 열처리에 따른 3점 굽힘피로

시험 및 분말성형편치에 적용실험을 실시하였으며 이에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 1175°C에서 오스테나이트화 처리후 500~620°C의 범위에서 템퍼링한 경우에 템퍼링 온도의 증가에 따라서 피로 파괴까지의 사이클수가 컸으며 템퍼링 온도증가에 따른 기지상의 연화로 인한 피로균열성장의 억제가 주된 원인이었다.

2. 실제 사용중 피로에 의한 파손이 일어나기 쉬운 성형 편치에 응용시 템퍼링 온도가 증가할수록 편치의 수명이 증가하였다. 사용조건에 따라서 내마모성과 피로저항성을 고려하여 적절한 열처리 조건을 선택하여 적용하는 것이 바람직하다.

### 감사의 글

본 연구는 과기처의 선도기술개발사업으로 수행되었으며 실제품의 분말성형편치 수명시험은 삼도분말

야금(주)에서 수행되었습니다. 삼도분말야금(주) 기술진의 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. 진양공업(주) 카탈로그, JeonYang Powder Metallurgy High Speed Steel, 1999.
5. R. Andersson: Mod. Dev. in P/M, **17** (1984) 359.
6. 홍성현, 배종수, 김용진: 한국분말야금학회, **7** (2000) 78.
7. 김용진, 배종수, 홍성현, 정형식, 안재환: 대한금속학회지, **37** (1999) 1081.
8. 이상훈, 배종수, 임태수, 홍성현, 김용진, 신평우: 대한금속학회지, **37** (1999) 1475.
9. Wang Rong, H.-O. Andren, H. Wisell and G. L. Dunlop: Acta metall. mater. **40** (1992) 1727.