

## M3/2계 고속도 공구강 분말의 소결분위기와 탄소첨가가 소결밀도에 미치는 영향

안진환 · 허종서 · 주동원 · 정 은\* · 성장현  
동아대학교 금속공학과, \*울산대학교 재료금속공학부

### Effect of Sintering Atmosphere and Carbon Addition on Sintered Density of M3/2 Grade High Speed Steel Powder

Jin-Whan An, Jong-Seo Heo, Dong-Won Joo, Eun Jung\*, and Jang-Hyun Sung

Dept. of Metallurgical Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714

\*School of Materials and Metallurgical Engineering, Ulsan University, Ulsan 680-190

(Received September 13, 1998)

**Abstract** For the purpose of investigating the effect of sintering atmosphere and carbon addition on sintered density and microstructural characteristics, the M3/2 grade high speed steel powders with the addition of carbon are sintered in vacuum and 20% $H_2$ /79% $N_2$ /1% $CH_4$  gas atmosphere. With the addition of 0 wt%C, 0.45wt%C and 1.15 wt%C the optimum sintering temperatures decrease down to 1260°C, 1210°C and 1150°C respectively for the vacuum sintered specimen, and also decrease down to 1130°C, 1120°C and 1115°C for the gas sintered specimen. The threshold temperatures for full densification decrease steeply with increasing carbon content of the sintered specimen, while this temperatures are slowly decreased at high carbon content. The vacuum sintered specimen shows the primary carbides of MC and  $M_6C$  type at the optimum sintering temperature, and eutectic carbides of  $M_2C$  and Fe-Cr type are produced in the oversintered specimen. The gas sintered specimen exhibits  $M_6C$  and Fe-Cr type primary carbides at the optimum sintering temperature. The eutectic carbides of  $M_6C$  and Fe-Cr type and MX type carbonitride are shown for the oversintered specimen in the gas atmosphere. The hardness of gas sintered specimen shows high value of 830~860 Hv due to the increment of carbide precipitation.

## 1. 서 론

공구강은 우수한 내마모성과 인성을 갖고 있기 때문에 절삭공구금형, 내마모 부품용소재로 널리 사용되고 있다. 현재 사용되고 있는 대부분의 공구강은 용해 주조한 후 열간단조, 압연 등의 후가공에 의한 용해주조법으로 제조하고 있으나, 합금원소의 편석, 후가공에 의한 결정립조대화등의 단점이 있기 때문에 합금원소의 편석이 없고, 미세하면서도 균일하게 탄화물을 분포시킬 수 있는 분말야금법으로 점차 대체되어가고 있다.<sup>1-3)</sup>

분말야금법으로 제조한 고속도공구강은 용해주조법으로 제조한 고속도 공구강보다 내마모성, 인성이 우수하면서도 near-net-shape의 제품을 생산할 수 있기 때문에 우수한 특성을 갖는 다양한 공구재료로 개

발, 활용될 수 있게 되었다.<sup>2,4)</sup> 고속도 공구강을 분말야금법으로 생산하는 기술은 대체로 3가지 방법으로 분류될 수 있다. 첫 번째는 분말을 상온 프레스에 의해 성형체를 얻은 후 진공소결하는 방법<sup>2)</sup>으로서 가장 값싸게 고속도 공구강을 제조할 수 있으나 batch type의 진공소결을 해야하기 때문에 대량생산에 어려운 점이 있다. 두 번째는 Hot Isostatic Pressing (HIP)법에 의해 billet로 만든 후 기계가공에 의해 최종제품<sup>2)</sup>을 만드는 방법이며, 후가공을 해야하므로 비용이 많이 들고 소량생산에 적합하다. 세 번째는 비교적 새로운 방법으로서 복잡한 소형제품을 사출성형(powder injection molding)법으로 제조하는 방법<sup>5)</sup>으로서, 미세한 원료분말을 사용하므로 비용이 많이 드는 단점이 있다.

첫 번째 방법에서 상온프레스 후 성형체를 얻은 다

음 진공소결 대신에 가스분위기 소결에 의해 고밀도의 제품을 제조할 수 있는 기술은 공업로에서 대량으로 고속도공구강을 제조할 수 있어 제품의 제조단가를 낮출 수 있을 것이다.

가스분위기소결에 의해 고속도 공구강 제품을 생산하기 위해서는 소결온도가 낮고 범위가 넓어야 한다.<sup>6)</sup> 그러나 고속도 공구강 분말이 100%에 가까운 소결밀도를 얻으려면 최소 1200℃ 이상의 온도에서 진공소결하여야 하며 소결온도범위도 5℃ 정도로 제한적<sup>7-10)</sup>이기 때문에 이들 분말을 직접 가스분위기를 사용하는 연속로에 적용하기 어렵다. 따라서 Mo계 고속도 공구강 분말을 기본으로 소결온도를 낮춤과 동시에 소결온도범위를 확대시킬 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다.

본 연구에서는 M3/2계 조성의 합금분말을 사용하여 상온 성형에 의해 압분체를 얻은 후 질소, 수소 및 메탄가스를 혼합한 가스 분위기 및 진공에서 소결하여 소결온도변화에 따른 탄소함량변화, 소결밀도변화 및 석출탄화물 분석을 통하여 고속도 공구강 분말의 가스분위기 소결에서 최적조건을 찾으려고 한다.

## 2. 실험방법

원료분말은 일본 대동특수강(주)에서 구입한 가스 분사된 평균입경 37.17 μm의 DEX20(M3/2계) 합금 분말을 사용하였으며, 이 분말의 화학조성을 표 1에 나타내었다. 원료분말에 탄소함량을 변화시켜 소결 온도를 낮추기 위해 활성탄소(평균입경 : 20.1 μm)를 각각 0 wt%, 0.45 wt% 및 1.15 wt% 첨가하고 윤활제로 0.7 wt% 스테아린산을 첨가한 후 Ar 분위기의 진동분말에서 2시간 동안 혼합한 다음 18 mmφ의 금형을 이용하여 상온성형하여 압분체의 밀도가 5.68 g/cm<sup>3</sup>(이론밀도의 70%)인 시료를 제작하였다.

냉간프레스에 의해 얻은 시료는 승온속도 조절이 가능한 분위기 소결로에서 10℃/min으로 1050℃까지 승온시킨 후 90분간 유지하고, 소결온도까지는 1℃/min으로 승온시킨 다음 1시간 유지한 후 노냉시켰다. 소결분위기는 진공 및 가스분위기를 사용하였

으며 진공소결시 진공도는 10<sup>-3</sup> torr을 유지하였고, 가스소결시 분위기는 20%H<sub>2</sub>/79%N<sub>2</sub>/1%CH<sub>4</sub>가스를 사용하였다.

소결이 끝난 시험편은 ASTM B328-73의 방법으로 소결밀도를 측정하였으며, 5% Nital용액으로 부식시킨 후, 소결온도 및 소결분위기 변화에 따른 조직변화, 석출 탄화물의 종류 및 탄소함량 변화를 광학현미경, 주사전자현미경 및 탄소분석기를 사용하여 조사하였고 마크로 비커스경도기(하중 10 kg)를 이용하여 경도를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 소결분위기 변화와 탄소첨가가 소결밀도에 미치는 영향

고속도 공구강의 소결치밀화기구는 supersolidus 액상소결(liquid phase sintering)로 이는 고상선이상으로 가열시 적정량의 액상이 생성되고, 이로 인해 소결밀도가 급격히 증가하는 것이다. 일반적으로 고속도공구강분말의 경우 5~17 vol%의 액상범위에서 고밀도화가 이루어진다고 보고되고 있으며 액상의 생성장소는 분말내의 결정입계, 표면 및 결정립 내의 불균일조성을 가진 부분으로 알려져 있다.<sup>7,8)</sup>

그림 1은 탄소가 첨가된 시료를 진공소결 하였을 때 소결온도 변화에 따른 소결밀도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 소결온도 상승에 따른 급격한 소결 밀도의 증가는 고상소결이 진행된 후 분말표면에 국부적으로 액상이 형성되면서 급속히 치밀화가 일어나기 때문으로 알려져 있다.<sup>7,8)</sup> 첨가한 탄소함량이 증가할수록 100%의 소결밀도를 나타내는 완전치밀화 온도는 낮아져서 0 wt%, 0.45 wt% 및 1.15 wt%의 탄소첨가에 따라 각각 1260℃, 1210℃ 및 1150℃로 낮아지고 있다. 이와 같이 Mo계 고속도 공구강에서 탄소 첨가에 의해 소결온도가 낮아지는 이유는 탄소첨가에 따라 액상+γ탄화물이 공존하는 구역의 액상형성온도를 낮추어 탄소가 첨가되지 않는 분말보다 치밀화 온도가 낮아지기 때문이다.<sup>10-12)</sup>

그림 2는 20%H<sub>2</sub>/79%N<sub>2</sub>/1%CH<sub>4</sub> 혼합가스 분위기

Table 1. Chemical composition of prealloyed powder, wt%

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Co	O	N	Fe
1.35	0.30	0.31	0.16	3.82	4.67	6.01	2.71	0.27	0.012	0.13	Bal.

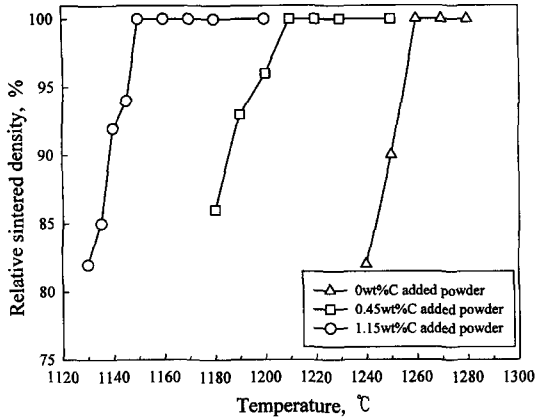


Fig. 1. Relative sintered density as a function of sintering temperature for vacuum sintered specimens.

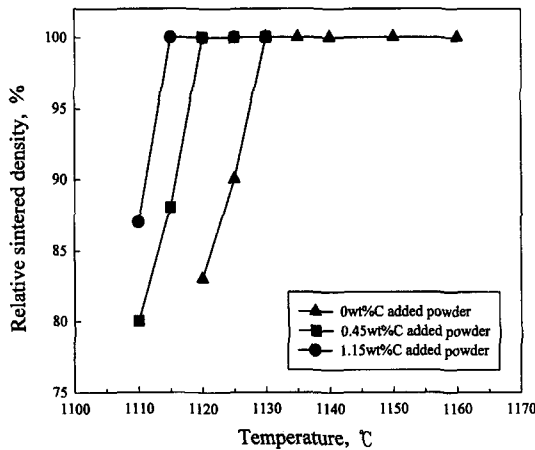
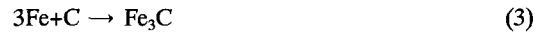


Fig. 2. Relative sintered density as a function of sintering temperature for mixed gas atmosphere (20% H<sub>2</sub>/79% N<sub>2</sub>/1% CH<sub>4</sub>) sintered specimens.

에서 소결시 탄소 첨가량 변화에 따른 상대소결밀도와 온도와의 관계를 나타낸 것이다. 진공 소결에서와 마찬가지로 탄소첨가에 따라 완전치밀화 온도는 0 wt%, 0.45 wt% 및 1.15 wt%의 탄소첨가에 따라 각각 1130°C, 1120°C 및 1115°C로 낮아지고 있고 진공소결에서 보다 더 낮은 온도에서 완전 치밀화가 진행되고 있다. 완전 치밀화에 도달하는 온도를 진공 소결에서와 비교하면 탄소를 첨가하지 않은 분말에서는 130°C, 0.45 wt% C 첨가시에는 90°C, 1.15 wt% C 첨가시에는 35°C의 차이를 나타냈고, 첨가탄소함량이 증가할수록 진공소결과 가스분위기소결에 의해 완전 치밀화에 도달하는 온도 차이는 적어지고 있다.

가스소결을 한 시료가 진공소결을 한 시료보다 동일한 탄소첨가량에서 완전 치밀화 온도가 낮아지는 이유는 소결공정에서 일어날 수 있는 다음의 중요한 반응과 관계가 있다고 생각된다.



합금분말 중에 포함된 0.012 wt%의 산소는 대부분 탄소와 반응하여 (1)식과 같이 CO가스로 휘발되고, 진공소결시에는 첨가된 탄소가 (3)식과 같이 탄화물을 형성하거나 입내로 확산되기도 하지만 입계에서는 공정탄화물을 형성하여 탄소가 첨가 될수록 소결 온도가 낮아진다.

20%H<sub>2</sub>/79%N<sub>2</sub>/1%CH<sub>4</sub>가 혼합된 가스 분위기에서는 철합금 산화물은 (1) 및 (2)의 반응에 의해 환원되고 첨가된 탄소 또는 CH<sub>4</sub>가스 중의 분해된 탄소가 (3) 및 (4)와 같이 반응하여 진공 중에서 보다 훨씬 활발하게 합금분말내로 확산하거나 입계에서 공정탄화물을 만드는 것이 가능하다. 따라서, 동일한 양의 탄소를 첨가하여도 가스분위기에서 소결한 시료가 더욱 소결온도가 낮아진다고 생각된다.

### 3.2. 소결분위기 변화에 따른 탄소함량변화

그림 3은 탄소를 1.15 wt% 첨가한 분말을 냉간압축 후 진공 및 혼합가스분위기에서 소결하였을 때 소결온도변화에 따른 탄소함량변화를 나타낸 것이다. 소결온도 변화에 따라 탄소함량은 약간의 변화는 보이지만 진공분위기에서는 대체로 2.36~2.46 wt%, 혼합가스분위기에서는 3.10~3.5 wt% C로 나타났다. 완전치밀화 시작온도에서의 탄소함량은 진공소결에서는 1150°C에서 2.41 wt%, 혼합가스분위기 소결에서는 1115°C에서 3.45 wt%이었다. 소결전 분말의 탄소함량이 2.50 wt%라는 것을 고려할 때 완전치밀화 시작온도에서 진공분위기 소결에서는 0.09 wt% C가 탈탄되었으며 혼합가스분위기에서는 0.95 wt% C가 침탄되었다. 진공분위기 소결에서 탈탄이 일어난 것은 앞에서 언급한 바와 같이 합금분말중에 포함된 산소의 (1) 반응에 의한 제거, 생형제조 및 소결시 완전진공이 아님으로 인한 산소와 탄소의 반응으로 인한 탈탄으로 생각할 수 있다. 혼합가스분위기에서 침탄이 일어난

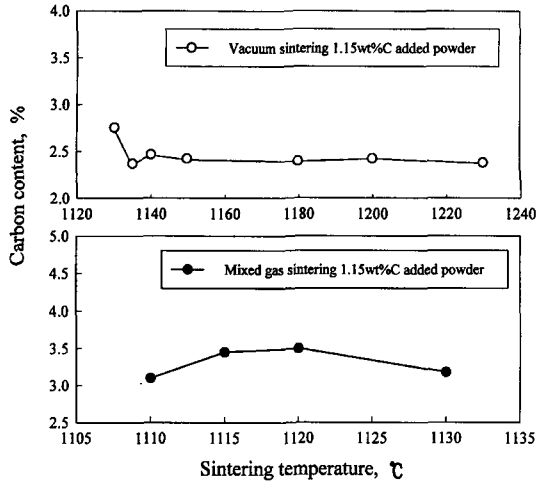


Fig. 3. Carbon content as function of sintering temperature for the 1.15 wt% C added powder.

것은 앞에서 언급한 바와 같이 (4)의 반응에 의해 탄소가 합금분말내로 침투했기 때문이라 생각된다.

진공 및 혼합가스분위기에서 소결한 시료의 완전

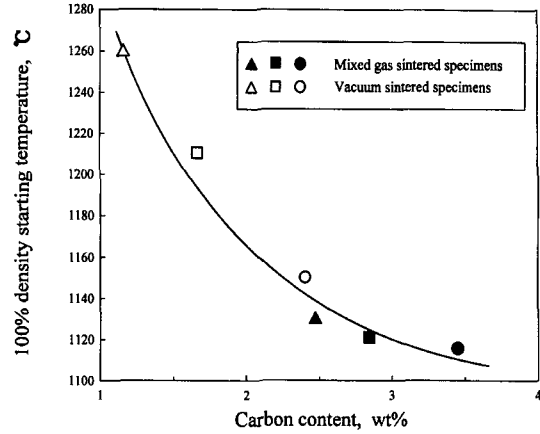


Fig. 4. Relationship between carbon content and threshold temperature for full densification.

치밀화 시작온도(최적 소결온도)에서 탄소함량을 그림 4에 나타내었다. 완전치밀화 시작온도는 탄소함량이 증가함에 따라 감소하고 있지만, 약 2.4 wt% 이상에서는 탄소의 함량이 증가하여도 소결온도의 감

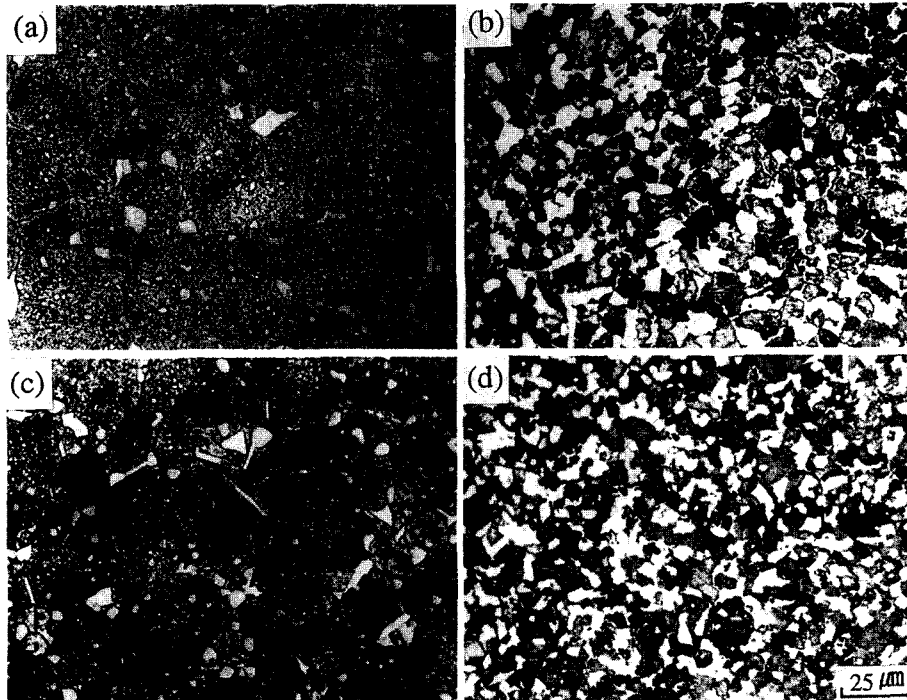


Fig. 5. Optical micrographs of fully densified specimen showing the effect of carbon addition and sintering atmosphere on the carbide morphologies.

(a) Vacuum sintered at 1260°C, 0 wt% C addition, (b) Gas atmosphere sintered at 1130°C, 0 wt% C addition  
 (c) Vacuum sintered at 1210°C, 0.45 wt% C addition, (d) Gas atmosphere sintered at 1120°C, 0.45 wt% C addition

소효과는 적은 것을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서와 같이 탄소를 첨가하고 가스분위기소결을 하여 완전치밀화온도를 낮추려고 할 때에는 소정의 탄소함량 이상이 되면 소결온도의 감소효과가 적다는 것을 고려하여야 할 것이다.

### 3.3. 소결분위기 변화에 따른 조직변화

그림 5는 완전치밀화 시작소결온도에서 소결분위기 변화에 따른 탄화물 분포를 나타낸 것이다. 탄소를 첨가하지 않고 진공소결한 (a)사진에서는 입내에 많은 탄화물들이 존재하고 있고 입계에도 비교적 큰 1차 탄화물들이 석출되어 있다. 탄소를 0.45 wt% 첨가하여 진공소결하면 (c)에서와 같이 탄화물은 더욱 많아지고 입계에도 큰 탄화물과 함께 필름형태의 탄화물이 존재하고 있다. 가스분위기에서 소결한 시료는 탄소를 첨가하지 않은 경우 (b)와 같이 구형 및 각형의 탄화물과 함께 입계에도 필름형태의 탄화물이 존재하고 있다. 0.45 wt.% 탄소를 첨가하면 (d)그림과 같이 탄화물의 양이 약간 많아진 것을 제외하고는 (c)와 큰 차이가 없다. 또한 가스소결한 시료가 진공소결한 시료보다 탄화물 양이 현저히 많은 것을 알 수 있는데 앞의 (4)식의 침탄 반응에 의해 그림 4에서와 같이 약 1.2 wt.%이상의 탄소가 증가되어 탄화물 석출기회가 많아졌기 때문이라고 생각된다.

결정입내의 검은부분의 탄화물 형태를 고배율의 주사전자현미경으로 관찰한 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림에서와 같이 펄라이트기지에 입계탄화물의 존재를 확인 할 수 있으며 펄라이트내에도 미세한

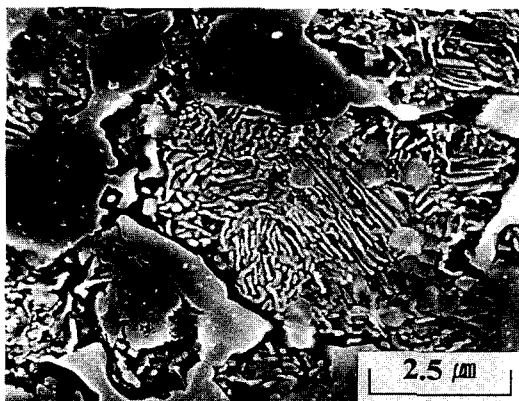


Fig. 6. Scanning electron micrographs after sintering in gas atmosphere at 1130°C (carbon addition : 0 wt% C).

등근 탄화물이 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 이 펄라이트는  $\gamma+MC+M_6C+L$ (액상)의 4상영역에서 소결후 서냉에 의해  $\gamma$ 로부터 형성된 펄라이트로<sup>16)</sup> 추정된다.

그림 7은 완전치밀화시작 소결온도보다 15~30°C 높은 온도에서 소결하였을 때 탄소첨가량증가에 따른 조직변화를 나타낸 것이다. (a)는 1.15 wt% C를 첨가하여 진공소결한 시료로서 완전치밀화시작 온도에서 가스 소결한 시료보다 조대하고 길쭉한 공정탄화물(2차탄화물)이 관찰된다. (b)는 1.15 wt% C를 첨가하여 소결한 시료로서 입계는 대부분 조대한 탄화물(흰색)과 청어뼈(herring bone)모양의 공정탄화물로 구성되어 있다. 입계에 석출한 이와 같은 공정탄화물은 적정소결온도보다 높은 온도에서 소결한 경우에

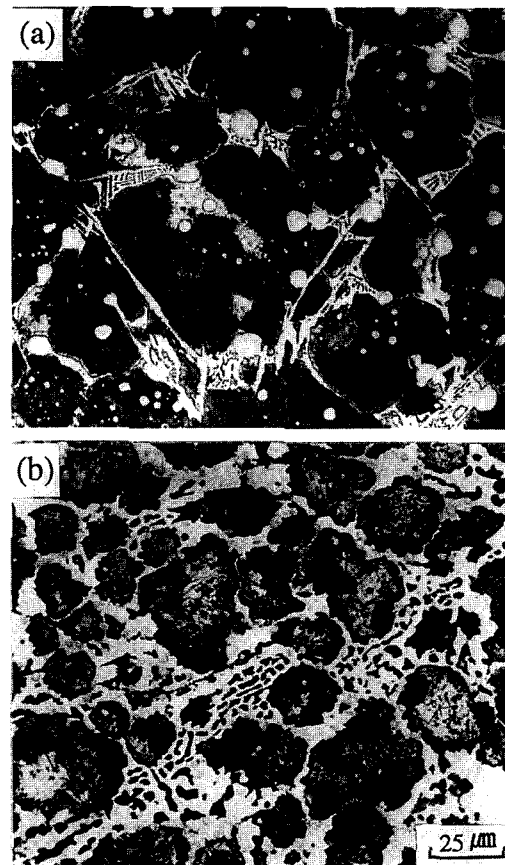
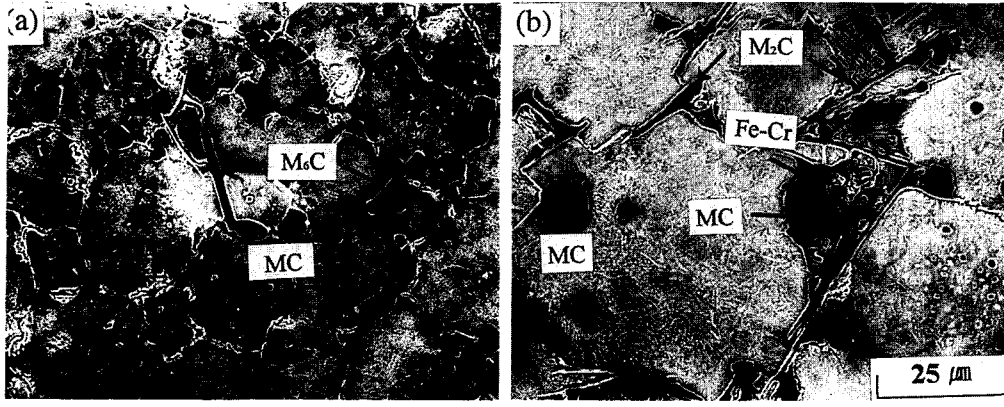


Fig. 7. Optical micrographs of sintered specimen showing effect of oversintering and carbon addition on the morphologies of carbide precipitation.

(a) Vacuum sintered at 1180°C, 1.15 wt% C addition  
(b) Gas atmosphere sintered at 1130°C, 1.15 wt% C addition



Phase		Phase composition, wt.%				
		V	Cr	Fe	Mo	W
Optimally sintered carbides(1.64 wt%C)	MC	53.1	6.6	4.8	18.3	17.2
	M <sub>6</sub> C	4.3	5.3	46.0	16.6	27.7
Oversintered carbides(2.3 wt%C)	MC	51.1	6.5	4.3	16.3	21.9
	M <sub>2</sub> C	13.8	15.0	11.5	28.6	31.0
	Fe-Cr	5.9	21.3	63.7	6.0	3.2

Fig. 8. Carbide morphologies and phase compositions after vacuum sintering, (a) 0.45 wt%C added powder, at 1210°C, (b) 1.15 wt%C added powder, at 1180°C

나타나는 탄화물로서 소결시료의 기계적 성질을 악화시킨다고 알려져 있다.

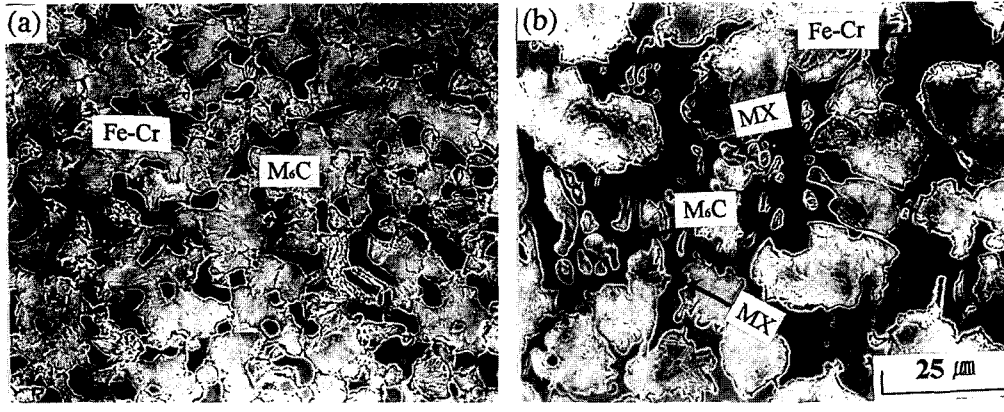
M3/2 고속도공구강 분말은 M2계 고속도공구강 분말보다 적정소결 온도범위가 약 10°C로 약간 넓은데<sup>10)</sup> 이것은 M3/2강 분말이 M2강 분말보다 탄소 및 V함량이 높아 소결시  $\gamma+M_6C+MC+L$ (액상)의 4상 영역의 크기에 영향을 미치기 때문<sup>10)</sup>이라고 알려져 있다. 그러나 본 실험에서와 같이 탄소를 첨가한 시료는 적정소결온도보다 약간 높은 온도에서 소결하여도 과도한 액상의 형성으로 인하여 입계에 공정탄화물이 형성되고 이로 인하여 시료의 형붕괴 및 기계적 성질악화의 가능성이 있기 때문에 소결온도관리에 세심한 주위가 필요하다. 한편 입계에 석출된 흰색의 큰 탄화물은 MC, M<sub>2</sub>C탄화물이며, 청어뼈모양의 탄화물은 M<sub>6</sub>C탄화물로 알려져 있다.<sup>13)</sup>

그림 8은 진공분위기에서 소결한 시료의 1차 탄화물 및 공정탄화물과 이들의 EDX분석결과를 나타낸 것이다. 적정소결온도에서 1.64 wt%C를 함유한 (a) 시료는 V이 풍부한 구형의 MC탄화물과 입계에 길쭉한 각형으로 주로 존재하는 M<sub>6</sub>C탄화물로 구성되어 있다. 적정소결온도 보다 30°C 높은 온도에서,

2.39 wt%C를 함유한 시료는 (b)와 같이 MC형의 1차 탄화물과 함께 Mo, W이 풍부한 M<sub>2</sub>C공정탄화물 및 Fe와 Cr함량이 높은 검은색의 Fe-Cr공정탄화물<sup>16)</sup>이 존재하고 있다. 진공소결한 Mo계 공정탄화물은 MC, M<sub>2</sub>C 및 M<sub>6</sub>C탄화물이 관찰된다고 알려져 있는데,<sup>13,16)</sup> 본 연구에서는 Fe함량이 대단히 높은 Fe-Cr탄화물이 관찰되었다.

가스분위기에서 소결한 시료의 탄화물을 분석하여 그림 9에 나타내었다. (a)는 적정온도에서 소결한 2.85 wt%C를 함유한 시료로서 각형의 M<sub>6</sub>C 탄화물(회색)내부에 검은색의 Fe-Cr형의 탄화물이 존재하고 있다. 적정 소결온도보다 15°C 높은 온도에서 소결한 3.18 wt%C를 함유한 시료의 공정탄화물은 (b)에 나타내었다. 회색의 M<sub>6</sub>C탄화물과 함께 검게보이는 조대한 Fe-Cr형 탄화물이 존재하고 있다. 탄화물 내부에 등근형태의 석출물은 V함량이 현저히 높은 MX 탄화물로서 질소가스분위기 소결에 의해 나타난다고 알려져 있다.<sup>16,17)</sup>

진공 및 가스분위기에서 M<sub>6</sub>C탄화물을 EDX분석한 결과는 시료의 탄소함량이 1.64 wt%에서 3.18 wt%로 증가할수록 Fe함량은 증가하고 Mo 및 W 함



Phase		Phase composition, wt.%				
		V	Cr	Fe	Mo	W
Optimally sintered carbides(2.85 wt%C)	M <sub>6</sub> C	5.1	8.7	56.9	12.6	16.7
	Fe-Cr	7.1	19.1	65.4	4.0	3.5
Oversintered carbides(3.18 wt%C)	M <sub>6</sub> C	3.6	7.3	64.2	11.4	13.5
	Fe-Cr	6.7	9.8	76.7	3.4	3.4
	MX	62.3	7.5	4.6	10.4	15.2

Fig. 9. Carbide morphologies and phase compositions after 20% N<sub>2</sub>/19% H<sub>2</sub>/1% CH<sub>4</sub> gas atmosphere sintering. (a) 0.45 wt% C added powder, at 1130 °C, (b) 1.15 wt% C added powder, at 1120 °C

량은 감소하고 있다. 또한 가스분위기 소결에서 MC 형 탄화물은 관찰 할 수 없었는데 이것은 MC 탄화물이 MX 탄질화물로 변태되거나, 냉각함에 따라 액상이 MX 탄질화물과 오스테나이트로 변태되기 때문으로 알려져 있다.<sup>16)</sup>

3.4. 소결분위기 변화와 탄소첨가에 따른 경도변화

그림 10은 진공 및 혼합가스 분위기에서 소결한 시료의 경도변화를 나타낸 것이다. 비커스경도값은 소결온도 상승에 따라 앞의 소결밀도상승에서와 동일한 경향으로 급격히 증가하다가 일정한 값을 유지하고 있다. 이것은 소결온도상승에 따라 기공이 소멸되어 완전 치밀화를 이루기 때문이다. 진공소결한 경우 첨가된 탄소량의 증가에 따라 완전 치밀화온도에서의 경도값이 높아지는 것을 알 수 있는데 이것은 탄화물 석출량 증가 때문이라고 추정된다. 가스분위기 소결에서도 첨가된 탄소량의 증가에 따라 완전 치밀화온도에서의 경도값이 증가하고 있으며 0.45 wt% 및 1.15 wt%의 탄소를 첨가한 시료는 각각 830 Hv 및 860 Hv에 이르는 높은 경도값을 나타내고 있다. 상업적으로 생산되고 있는 M3/2계고속도공구강 주

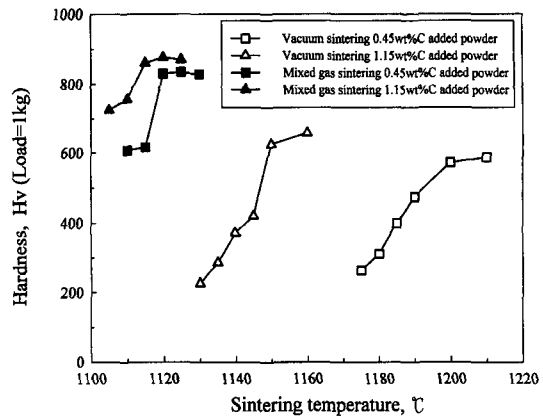


Fig. 10. Changes in hardness with sintering temperature for the vacuum and gas atmosphere sintered specimens.

조품은 칭후 2단 템퍼링에 의해 700~820 Hv의 값을 갖는다는 것을 고려할 때 본 실험의 가스소결에 의해 제작된 시료는 후 열처리 없이 소결만에 의해서도 높은 경도값을 나타내고 있다. 가스분위기에서 소결한 시료가 이와 같이 경도가 높은 이유는 앞의 그림 5 및 그림 7에서 관찰한 바와 같이 탄소첨가량 증가에 따른 탄화물 량의 증가 때문이라고 생각된다.

#### 4. 결 론

M3/2계 고속도공구강분말에 탄소첨가량을 변화시키고, 진공 및 20% $H_2$ /79% $N_2$ /1% $CH_4$ 가스를 이용하여 소결한 후 소결밀도, 탄소함량, 조직변화 및 탄화물의 종류를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 0 wt%C, 0.45 wt%C 및 1.15 wt%C의 탄소첨가에 의해 완전 치밀화온도는 진공소결에서는 각각 1260°C, 1210°C 및 1150°C이고 혼합가스분위기에서는 각각 1130°C, 1120°C 및 1115°C로 감소하였다.

2. 진공 및 가스분위기 소결에서 완전치밀화 시작온도는 소결시료의 탄소함량이 증가함에 따라 크게 감소하였으나, 탄소함량 2.4 wt%이상에서는 완전치밀화 시작온도의 감소가 크게 나타나지 않았다.

3. 진공소결한 시료의 1차 탄화물은 MC 및  $M_6C$ 형 탄화물이, 공정탄화물은  $M_2C$  공정탄화물 및 Fe와 Cr함량이 높은 Fe-Cr탄화물이 존재하였으며, 가스분위기에서 소결한 시료는  $M_6C$  및 Fe-Cr형 1차 탄화물과  $M_6C$  및 Fe-Cr형의 공정탄화물과 함께 MX형의 탄질화물이 나타났다.  $M_6C$  탄화물은 시료의 탄소함량이 증가할수록 Fe함량은 증가하고 Mo 및 W함량은 감소하였다.

4. 적정 소결온도에서 가스소결에 의해 제조된 시료는 탄소함량 증가에 의한 탄화물 석출량 증가로 인하여 830~860 Hv에 이르는 높은 경도값을 나타내었다.

#### 감사의 글

이 논문은 1997년도 동아대학교 학술연구조성비

(공모과제)에 의하여 연구되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. F. D. Kirk: Powder Metallurgy, 2 (1991) 70.
2. 정형식, 김병기, 김용진: 대한금속학회회보, 6, 2 (1993) 166.
3. D. J. Blickwede: "Metals Handbook", ASM Ninth Ed, vol. 7 (1984) 784.
4. 鈴木, 清石: 特殊鋼, 32 (1983) 35.
5. R. M. German: "Powder Injection Molding", MPIF, Princeton NJ(1990) Chapter 1.
6. A. Aguirre, S. Talacchia, J. J. Urcola: MPR DEC (1995) 12.
7. R. M. German: Int. J. of P/M, 26, 1 (1990) 23.
8. R. M. German: Int. J. of P/M, 26, 1 (1990) 35.
9. C. S. Wright: Powder Metallurgy, 32, 2 (1989) 114.
10. C. S. Wright, B. Ogel: Powder Metallurgy, 36, 3 (1993) 213.
11. P. K. Kar, B. P. Saha, G. S. Upadhyaya: Int. J. of P/M 29, 2 (1993) 139.
12. 정형식, 김용진: 대한금속학회 제 3회 분말야금심포지엄 (1991) 118.
13. 이광희, 주동원, 구광덕, 심재진, 성장현: 한국분말야금학회지 4 (1997) 170.
14. G. Hoyle: High speed steel, Butterworths (1988) 127.
15. P. A. Willenmet, R. A. pett and T. J. whalen: Bull. Ameri. Ceramic Soci, 57 (1978) 744.
16. Urrutibeaska, R. Palma, V. Martinez and J. J. Urcola: Powder Metallurgy, 33, 4 (1990) 305.
17. R. H. Palma, V. Martinez and J. J. Urcola: Powder Metallurgy, 32, 4 (1989) 291.