

# 분말고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 Nb의 영향

The Effect of Niobium on Wear and Friction Characteristics of High Speed Steel by Powder Metallurgy

이 한 영 , 백 금 주 , 김 용 진\* , 배 종 수\* , 홍 성 현\*

계명대학교 재료공학과 , \* 한국기계연구원 재료공정연구부

**ABSTRACT** In order to evaluate the effect of Nb on wear properties of high speed steel by powder metallurgy(PM-HSS), niobium-alloyed PM-HSS have been prepared by adding 0%, 1%, 3% and 5%Nb to PM-HSS of 6%W-5%Mo-4%Cr-5%V-5%Co presented in the previous paper.

Sliding wear test have been conducted in various sliding speed conditions under the constant pressure using a pin-on-disc type machine.

The results of this study shows that the wear resistance of PM-HSS has been increased by the addition of Nb in the range of experimental sliding speed. However, the amount of Nb shows to be unimportant parameter for the improvement of the wear resistance. It may be due to the thermal stability of carbide and high temperature properties of matrix by adding Nb comparing to the case of no addition.

## 1. 서론

고속도공구강은 주로 절삭공구용 소재로 사용되고 있으나 최근의 절삭용장비의 자동화 및 마무리가공의 고정도화 추세로 인해 공구의 절삭성능향상과 관련된 새로운 공구강 개발이 시급하다.

이와 관련되어 기존의 구조법에 의한 공구강개발은 많은 문제점<sup>1)~2)</sup>으로 인해 거의 한계에 도달한 듯하나 최근은 분말야금기술을 이용한 분말고속도공구강의 개발분야는 활발히 진행되고 있다.<sup>1)~10)</sup>

고속도공구강의 우수한 특성은 탄화물과 기지에 의존한다. 그러나 탄화물의 양, 분포, 크기, 종류 등에 따라 수반되어 변화하는 것이 기지의 조성이므로 결국 탄화물을 제어하는 것이 공구강개발에 주안점이라 할 수 있다.

일반적으로 공구강에 첨가되는 W, Mo, Cr

등의 원소는 열간압연시에  $M_2C$  탄화물을 형성하고 이들이 열처리시에  $M_6C$  탄화물로 치환되어 이것이 공구강의 우수한 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다. 최근은 이들 공구강에 V를 첨가하면  $M_6C$ 탄화물에 비해 고경도이면서 열역학적으로 안정한 것으로 알려져 있는 MC탄화물이 형성하여 더욱 성능이 우수해 지는 것이 밝혀졌다.<sup>3)~6)</sup>

이러한 작용은 최근 V보다 저렴하고 안정된 공급이 가능한 Nb에 의해서도 확인되어 대체원소로 주목받고 있다.<sup>4)</sup> 이 Nb첨가 분말고속도공구강의 MC탄화물 생성을촉진한다는 사실은 이미 많은 연구<sup>3)~6)</sup>에 의해 이미 알려져 있으나 아직 그 성능측면에서 검토된 자료는 부족한 것으로 밝혀졌다.

이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 지난 보고<sup>7)</sup>에 의해 내마모성능이 우수한 것으로 밝혀진 6%W-5%Mo-4%Cr-5%V

-5%Co 의 기본성분에 Nb을 1%, 3%, 5%로 변화시킨 3종류의 분말고속도공구강을 제작하였다. 그리고 이들을 일반주조법으로 제작한 공구강을 상대재로 각각의 마찰마모특성을 조사하여 Nb이 분말고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 영향을 평가하였다.

## 2. 시험방법

### 2-1 시편제작

본 연구에서는 지난 보고<sup>7)</sup>에 의해 내마모성능이 우수한 것으로 밝혀진 6%W-5%Mo-4%Cr-5%V-5%Co의 기본성분에 Nb을 1%, 3%, 5%로 변화시킨 3종류의 고속도공구강분말을 Gas Atomizer에 의해 제조하였다. 시편의 화학조성을 Table 1에 나타내었다. 그 뒤 지난번과 동일하게 각각 Canning, Hipping, Swaging공정을 거쳐  $\phi 7.5\text{mm}$ 봉재로 제조하고 Annealing을 하였다. 그 뒤 소정의 시편형상( $\phi 3.5 \times 17\text{mm}$ )으로 가공한 후  $850^\circ\text{C} \times 30\text{분}$ ,  $1170^\circ\text{C} \times 10\text{분}$ 으로 단계별 가열하고 소입한 후  $550^\circ\text{C}$ 에서 1시간 유지한 뒤 공랭하는 템퍼링처리를 3차례 반복하였다. 상대재는 지난보고<sup>7)</sup>와 동일한 Mo계 고속도공구강 M2를 사용하였다.

이때 Rockwell경도는 1% Nb시편(이하 1Nb)이 65.1, 3% Nb시편(이하 3Nb)이 65.5, 5% Nb시편(이하 5Nb)이 65.5였다.

Table 1 Chemical Composition

	C	Cr	Mo	W	V	Co	Nb
0Nb	1.70	4.3	4.9	9.0	5.1	5.3	-
1Nb	1.92	4.2	4.5	6.0	6.2	5.3	0.9
3Nb	2.09	4.5	4.4	6.0	6.5	5.2	3.0
5Nb	2.27	4.0	4.5	5.7	6.1	5.4	4.7

### 2-2 마모특성시험

마모시험은 Pin-on-Disc형 미끄럼 마찰마모시험기에서 행하였다.

시험시 마찰속도는 2~8m/sec까지 7속도를 선정하였으며 마모시험시 마찰거리는 6.0km까지로 하고 각 속도조건에서 2~5번의 실험을 하여 각각의 마모율을 산출한 후 평균값을 사용하였다. 이때 마모량산출은 소정의 마찰거리마다 시편의 중량감소로 측정하였다.

시편 및 상대재의 접촉면은 시험전에 400# Abrasive Paper로 연마하여 조도를 일정하게 한 뒤 대기중 건조상태에서 시험하였다.

마찰계수측정은 Torque메터를 이용하여 마모시험시 0~0.2km, 1.0~1.5km, 4.5~6.0km의 3영역에서 마모시험과 동시에 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3-1 마모특성평가

Fig.1은 마찰거리에 따른 마모량의 변화의 일례를 나타낸 것이다.

어느 속도에서도 대부분 거리증대에 따라 정도는 상이하나 거의 직선적으로 마모량이 증가하고 있음을 알 수 있다.

이러한 마찰거리에 따른 마모량의 관계에서 초기마모영역과 정상마모영역의 구분은 직선의 상관계수의 변화 및 초기마모영역의 마모율 계산정도를 고려하여 일괄적으로 0~0.7km까지를 초기마모영역으로 하고 0.7~6.0km를 정상마모영역으로 취하였다.

Fig.2는 3종류의 시편에 대해 마찰속도에 따른 초기마모영역과 정상마모영역에서의 마모율을 각각 비교한 것이다. 그리고 그림중 0Nb의 결과는 지난번 보고에 의해

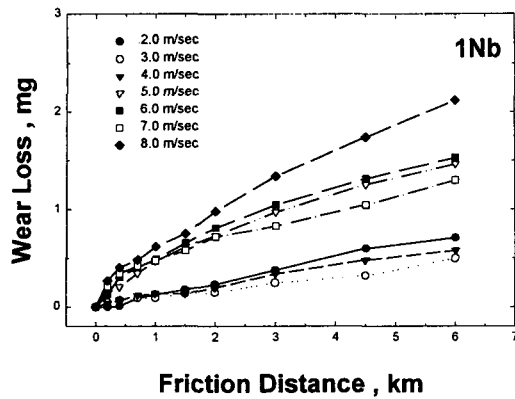


Fig.1 Wear characteristics for distance of 1Nb at various sliding speed

제시된 결과<sup>7)</sup>이다.

전반적으로 Nb첨가유무에 관계없이 거의 유사한 형태의 마모곡선임을 알 수 있다. 초기마모영역의 경우 2~3m/sec까지는 Nb

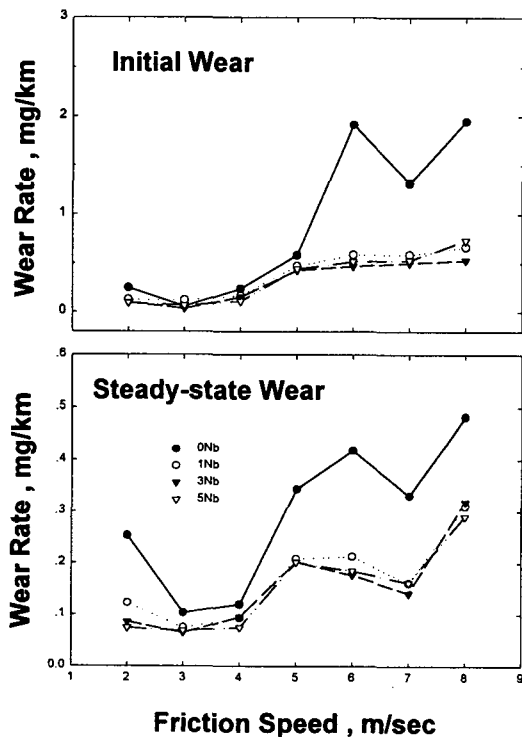


Fig.2 Wear characteristics for sliding speed of PM-HSS

첨가의 영향이 거의 없으나 그 이상의 속도에서는 Nb 첨가의 효과가 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 정상마모영역에서는 전속도영역에서 Nb첨가의 효과를 볼 수 있다.

더우기 0Nb의 결과는 시편의 직경이 0.5mm적어 이경우는 면압이 다소 커졌음에도 불구하고 내마모성이 양호하므로 결국 분말고속도공구강에 Nb의 첨가는 마모 특성을 향상시킨다는 것이 분명하다.

그러나 Nb량에 따른 마모율은 거의 유사한 것으로 미루어 1%이상에서는 차이가 없는 것으로 추정된다. 이러한 이유는 명확치 않으나 Nb첨가량에 따른 탄화물의 결정입경, 탄화물의 분율 그리고 전탄화물에서의  $M_6C$ 의 비율 등의 차이가 적은 것으로 밝혀져 1%이상에서는 조직변화상 큰 차이를 보이지 않기 때문으로 추정된다. 그러나 전반적으로 보면 3Nb 및 5Nb의 마모율이 1Nb보다 다소 적다는 것을 알 수 있다.

Fig.3은 3Nb의 마찰속도 2m/sec, 4m/sec, 5m/sec, 8m/sec에서 시험한 시편의 마모면의 사진을 나타낸 것이다.

2m/sec의 경우는 지난번 보고<sup>7)</sup>와 마찬가지로 동일한 형태의 흑색의 화합물이 다수 관찰됨을 알 수 있다. 그러나 4m/sec에서는 그 양이 상당히 감소되어 있고 그 대신 2m/sec시의 흑색화합물과는 상이한 흑색의 화합물이 생성되었음을 알 수 있다. 그리고 보다 고속으로 될 수록 회색의 화합물량이 증대하여 8m/sec에서는 전면이 거의 이들 화합물로 덮혀 있다는 것을 알 수 있다.

상대재의 경우도 2m/sec에서는 흑색화합물이 다수 관찰되었으나 속도가 증가할수록 회색화합물이 증대하였다.

Table.2는 EPMA로 흑색 및 회색화합물을 분석하여 각성분 비율을 나타낸 것이다.

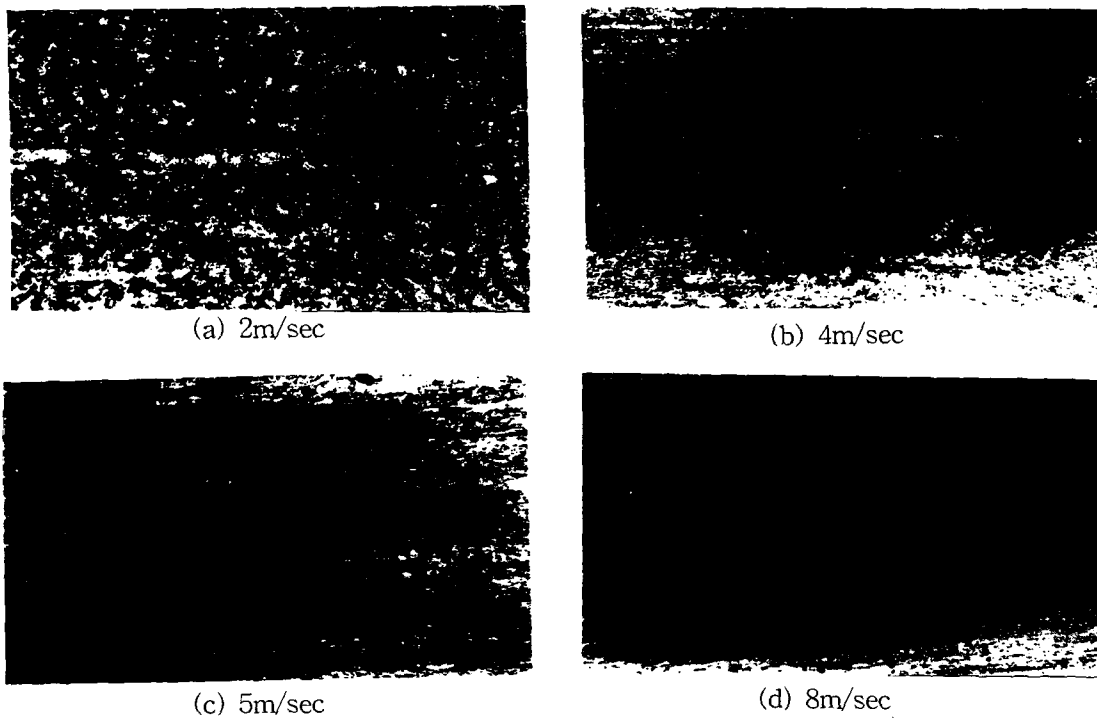


Fig.3 Morphology of worn surface for 3Nb testpiece ( $\times 100$ )

Table 2 Result of EPMA for compound (atm%)

		C	O	V	Cr	Fe	Nb	Mo	W
PIN	BLACK	12.43	42.80	2.64	2.11	36.38	0.62	1.67	1.33
	GRAY	27.70	26.31	10.43	2.36	23.47	3.55	3.63	2.55
DISC	BLACK	33.32	5.52	0.89	2.64	55.38	-	1.32	0.92
	GRAY	37.30	4.79	3.80	2.96	27.62	-	14.62	8.91

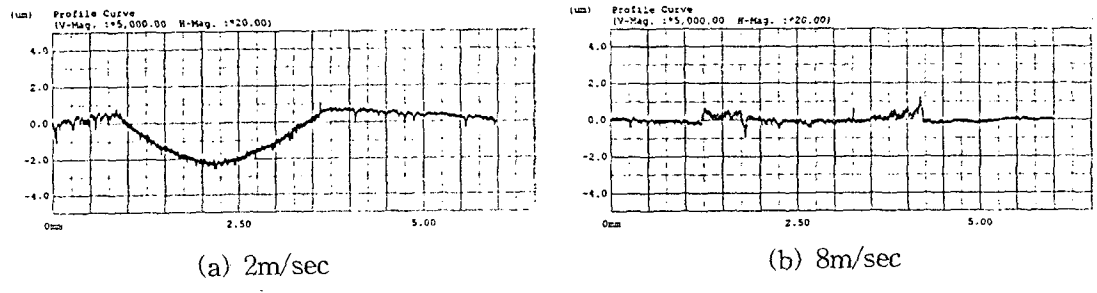


Fig.4 Profiles of worn surface of opponent materials(3Nb)

전 화합물에서 산소가 관찰되어 지난보고<sup>8)</sup>와 마찬가지로 이들은 모두 산화물임을 알 수 있다.

표에서도 알 수 있듯이 흑색산화물에서는 회색산화물에 비해 C, Mo, W 및 V의 량이 적은 것으로 알 수 있다. 이러한 사실은 Nb에 의해 생성된 MC탄화물에서는 V에 의해 생성된 탄화물보다 이들의 합금원소가 적다는 S.KARAGÖZ<sup>3)</sup>의 결과와 상응하는 것으로 결국 Nb 첨가에 의해 MC탄화물을 형성하면서 모재로 C, Mo, W 및 V를 배출시켜 성분조정이 일어났음을 알 수 있다.

이러한 측면에서 Nb에 의해 생성된 MC탄화물은 고경도이므로 이경우의 마모는 대부분 모재측에서 발생하므로 결국 흑색산화물은 잔존해 있는 MC탄화물을 다량으로 포함한 기지의 산화물임을 추측할 수 있다. 이들 산화물은 Table 2에 의하면 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>계 산화물인 것으로 추정된다.

이에 반해 회색산화물은 합금원소의 함유비율이 크고 고속시에 발생하는 것으로 미루어 고온 산화물인 FeO계 산화물임을 알 수 있다.

Fig.4는 3Nb의 마찰속도 2m/sec, 4m/sec, 5m/sec, 8m/sec에서 시험한 상대재의 마모track면을 표면조도계를 이용하여 미끄럼방향에 수직으로 측정된 단면곡선을 나타낸 것이다.

2m/sec의 경우는 명확한 마모면의 groove가 관찰되고 있음을 알 수 있으나 고속도 영역에서는 전혀 groove가 없고 오히려 돌출한 부위로 미루어 시편에서 이착된 것임을 알 수 있다. 따라서 주로 저속에서는 상대재, 고속에서는 시편이 마모되고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 분말고속도공구장에 V 및

Nb를 첨가하면 고경도의 MC탄화물이 생성되나 Nb첨가에 의해 생성된 탄화물은 V첨가에 의해 생성된 MC탄화물에 비해 더욱 경하고 열역학적으로 안정된 것으로 알려져 있다.<sup>3)~6)</sup>

결국 Nb첨가 분말고속도공구장의 내마모 특성의 향상은 이러한 MC탄화물생성에 의한 것임에 틀림없다.

저속도영역에서 관찰되는 시편의 흑색산화물은 Table 2에서도 알 수 있듯이 상대재에 비해 산소량이 많은 것으로 미루어 지난번 보고<sup>7)</sup>와 마찬가지로 Co의 영향에 의한 산화물로 추정되며 이들이 응착을 방지하는 역할을 할 것이 분명하다. 아울러 Nb를 함유한 탄화물은 이 경우 다량으로 존재할 뿐만 아니라 전술한대로 고경도이고 열역학적으로 안정하므로 응착경향이 더욱 감소할 것이 분명하다. 이러한 사실이 저속도영역의 마모를 0Nb보다 감소시키는 것으로 추정된다.

고속시에는 일반적으로 온도상승이 일어나 재료의 전단강도를 감소시키나 이때는 Nb가 MC탄화물을 형성하면서 W, Mo, V 등의 성분을 모재로 배출하는 성분조정으로 모재의 고온특성을 향상시키기 때문에 이 영역에서도 내마모성이 향상되는 것으로 추정할 수 있다.

결국 Nb첨가에 의한 분말고속도공구장의 내마모성향상은 MC탄화물에 의한 열역학적 성질과 모재의 성분조정에 따른 특성향상에 기인함을 알 수 있다. 그러나 고속도 영역에서 주로시편이 마모하므로 거리를 증대시키거나 속도가 증대하여 온도가 더욱 상승하면 탈락되어 고경도의 MC탄화물에 의한 Abrasive적인 작용으로 오히려 마모율이 증대할 가능성도 배제할 수 없다.

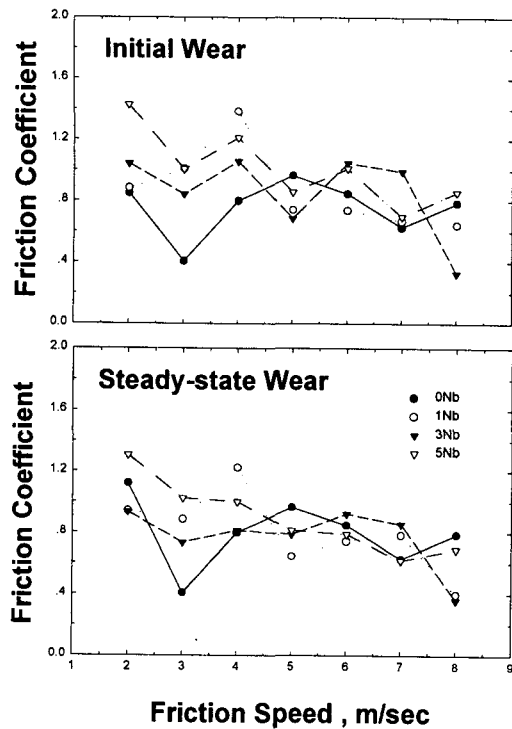


Fig.5 Variation of friction coefficient for sliding speed

### 3-2 마찰특성평가

Fig.5는 각 속도에서 측정한 마찰계수를 나타낸 것이다.

초기마모시의 마찰계수는 0~0.2km까지의 전 마찰계수의 평균치이고 정상마모시의 마찰계수는 1.0~1.5km와 4.5~6.0km에서 측정된 전 마찰계수의 평균치이다.

전반적으로 Nb첨가유무 및 첨가량정도에 따른 마찰계수의 차이를 볼 수 없어 분말 고속도공구강에 Nb첨가는 마찰계수에 크게 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

### 4. 결 론

분말 고속도공구강의 마찰마모특성에 미

치는 Nb의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Nb는 분말 고속도공구강의 내마모성을 현저히 향상시킨다. 이것은 Nb에 의해 생성되는 탄화물에 의한 것으로 밝혀졌다.
- (2) Nb첨가 분말 고속도공구강의 내마모성은 1%~5%Nb에서는 차이가 없다.
- (3) Nb에 의한 내마모성향상은 Nb에 의해 생성되는 탄화물의 열역학적 안정성과 모재의 성분조정에 의한 것으로 밝혀졌다.
- (4) Nb는 분말 고속도공구강의 마찰특성에 악영향이 없다.

본 연구진행에 도움을 준 계명대학교 학부생 정용현 군에게 감사의 뜻을 표합니다.

### 5. 참고문헌

- 1) ASM; "Metal Handbook", Vol.1, (1990)780
- 2) R.W.Bratt ; Powder Report, 9(1983)475
- 3) S.Karagöz, H.F.Fischmeister ; Metal. Trans. , 19A(1988)6,1395
- 4) R.Riedl, S.Karagöz, H.Fischmeister, F. Jeglitsch; Steel Research, 58,8(1987)339
- 5) L.A.Dobrzanski, A.Zarychta, M. Ligarski ; J.Mat.Proc.Tech. 63(1997)331
- 6) 辻井信博, 横井大円, 深浦健三, 砂田久吉, 阿部源隆; 粉体および粉末冶金42,4(1995) 485
- 7) 이한영, 백금주, 김용진, 배종수, 홍성현 ; 윤활학회 27회춘계학술대회, (1998)108
- 8) J.D.Bolton, Andrew J.Gant ; Adv. in PM and Part. Mat., Vol,5(1996)16-3
- 9) W.Stasko, K.E.Pinnow, W.B.Eisen ; Adv. in Powder Metal. and Particulate Materials, Vol.5(1996)17-179
- 10) Navin C. Kothari, : Pro. 2nd Pacific Rim Inter. Confer. (1995)511