

분말고속도공구강의 미끄럼마모특성에 미치는 Nb의 영향

이한영 · 배종수* · 김용진*

계명대학교 재료공학과

*한국기계연구원 재료공정연구부

The Effects of Niobium on Sliding Wear Characteristics of High Speed Steel by Powder Metallurgy

Han-Young Lee, Jong-Soo Bae* and Yong-Jin Kim*

Department of Materials Engineering, Keimyung University, Daegu, Korea

*Materials Forming Lab, Korea Institute of Machinery and Materials, Changwon, Korea

Abstract – In order to evaluate the effect of Nb on wear properties of high speed steel(HSS) by powder metallurgy, niobium-alloyed HSS have been prepared by adding 0%, 1%, 3% and 5%Nb to HSS of 6%W-5%Mo-4%Cr-5%V-5%Co. Sliding wear tests were conducted at various sliding speed conditions under the constant pressure using a pin-on-disc type machine. The results of this study show that the wear resistance of HSS by powder metallurgy was increased by the addition of Nb within the range of sliding speed used in this experimental study. However, the amount of Nb did not improve the wear resistance. It may be due to the thermal stability of carbide and high temperature properties of the matrix containing Nb comparing to that without Nb.

Key words – niobium, high speed steel, wear and friction.

1. 서 론

고속도공구강은 주로 가공용 공구나 금형의 소재로 널리 사용되고 있으나 최근에 이들 장비의 자동화 및 마무리가공의 고정도화 등의 경향으로 인해 고성능의 공구용 소재개발이 절실히 요구되고 있다.

고속도공구강의 제조방법으로는 크게 주조법과 분말야금법으로 대별되고 있으나 사실 주조법은 성능과 직결되는 조직상의 많은 문제점[1~3]을 수반하므로 이 방법을 이용한 고성능의 공구소재 개발은 이미 한계에 도달한 것으로 알려지고 있다.

그러나 분말야금법은 주조법에 의한 문제점 개선은 물론 동일조성이라도 성능도 우수한 것으로 알려져 있고 합금원소의 첨가량의 제한 등도 없어 현재 이 방법을 이용한 새로운 특성의 고속도공구강의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1~11].

고속도공구강의 우수한 특성은 탄화물의 성장과 기

지조직에 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, Co 등의 원소는 열간압연시에 다량의 1차 탄화물을 형성하고 이들이 열처리시에 2차 탄화물인 M_6C 형태의 탄화물로 미세분포하여 이로인해 공구강이 우수한 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나 이들 공구강에 V를 첨가하면 M_6C 형태의 탄화물외에 고경도이면서 열역학적으로 안정된 MC형태의 탄화물도 석출하여 성능이 향상[4~7]되는 것으로 알려져 있으나 최근 이와같은 작용이 Nb원소에 의해서도 촉진되는 것 [4~7]으로 밝혀 졌다.

그런데 Nb는 저렴하면서 안정된 공급이 가능한 원소로도 알려져 고성능 분말 고속도공구강의 개발에 V의 대체원소로의 가능성은 이미 확인[4~7]되었으나

아직 그 성능측면에서 검토된 바가 없다.

이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 지난 보고 [8]에 의해 내마모성능이 우수한 것으로 밝혀진 6%W-5%Mo-4%Cr-5%V-5%Co의 기본성분에 Nb을 1%, 3%, 5%로 변화시킨 3종류의 분말 고속도공구강을 제작하였다. 그리고 이들을 일반주조법으로 제작한 공구강을 상대재로 각각의 미끄럼마모특성을 조사하여 Nb이 분말 고속도공구강의 미끄럼마모특성에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 시험방법

2-1. 시편제작

본 연구에서는 지난 보고[8]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. 그 뒤 지난 보고⁸⁾와 동일하게 각각 canning, hiping, swaging공정을 거쳐 $\Phi 7.5$ mm봉재로 제조하고 annealing을 하였다. 그 뒤 소정의 시편형상($\Phi 3.5 \times 17$ mm)으로 가공한 후 850°C×30분, 1170°C×10분으로 단계별 가열하고 소입한 후 550°C에서 1시간 유지한 뒤 공랭하는 템퍼링처리를 3차례 반복하였다.

상대재는 지난 보고[8]에서 사용하였던 것으로 주조법으로 제작되어 시판되는 Mo계 고속도공구강 M₂ (AISI)를 소정의 형태($\Phi 65 \times 10$ mm)로 가공한 뒤 각각 일반적으로 알려진 열처리를 한 것이다.

이때 Rockwell경도는 1% Nb시편(이하 1Nb)이 HRC 65.1, 3% Nb시편(이하 3Nb)이 HRC 65.5, 5% Nb시편(이하 5Nb)이 HRC 65.5이고 상대재인 M₂는 HRC 61.5정도임이 확인되었다. 이 경도는 Nb를 첨가하지 않은 시편(이하 0Nb)이 HRC 64.3임을 고려하면 Nb첨가에 의해 다소 경도상승은 하나 첨가량에 따른 차이는 거의 없는 것으로 밝혀졌다.

시편 및 상대재의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2-2. 마모특성시험

마모시험은 지난 보고[8]와 동일한 Pin-on-Disc형 미끄럼 마찰마모시험기에서 동일한 조건으로 행하였다.

시험시 마찰속도는 2~8 m/sec까지 7가지의 속도를 선정하였으며 마모시험시 마찰거리는 6.0 km까지로 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 조도($R_a:0.0889$, $R_{max}:1.300$, $R_z:0.9176 \mu m$)를 일정하게 하였으며 모든 마모시험은 대기중 건조상태에서 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 3종류의 시편에 대해 마찰거리에 따른 마모량의 변화를 나타낸 것이다.

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

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

Fig. 2는 3종류의 시편에 대해 마찰속도에 따른 초기마모영역과 정상마모영역에서의 마모율을 각각 비교한 것이다. 그리고 그림중 0Nb의 결과는 지난번 보고에 의해 제시된 결과[8]이다.

일반적으로 알려진 바와같이 전반적으로 초기마모영역의 마모율이 정상마모영역의 마모율에 비해 큰 것으로 밝혀졌다. 또한 속도증가에 따른 이들의 변화는 초기마모영역의 경우는 모두 4 m/sec이후에 마모율이 일정해지다가 8 m/sec부근에서 다시 급증하는

Table 1. Chemical Compositions

	C	Si	Cr	Mo	W	V	Co	Nb	Fe
0Nb	1.7	-	4.3	4.9	9.0	5.13	5.29	-	bal.
1Nb	1.92	-	4.2	4.5	6.0	6.2	5.3	0.9	bal.
3Nb	2.09	-	4.5	4.4	6.0	6.5	5.2	3.0	bal.
5Nb	2.27	-	4.0	4.5	5.7	6.1	5.4	4.7	bal.
M2	1.0~1.1	0.43	3.8~4.5	4.8~6.2	5.5~6.7	2.3~2.8	-	-	bal.

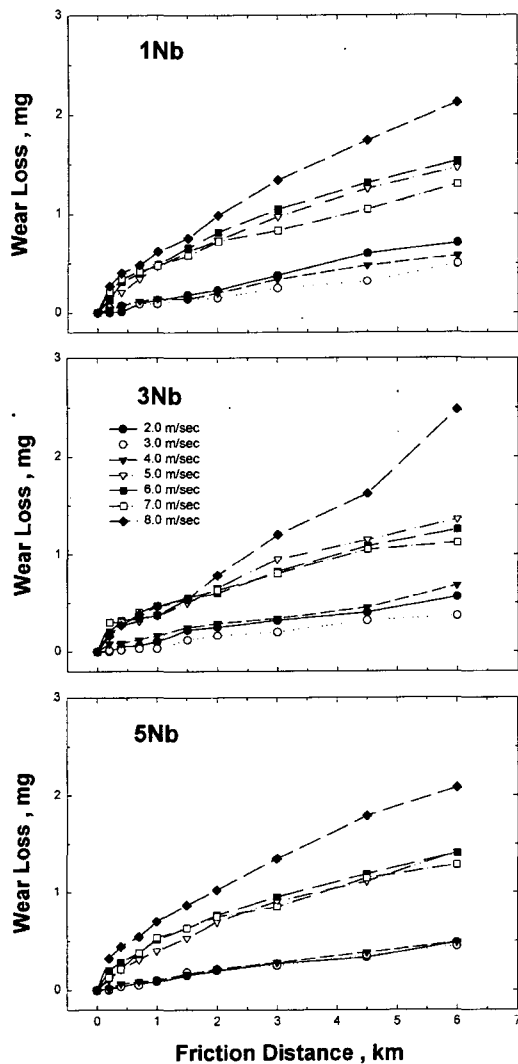


Fig. 1. Wear characteristics for friction distance at various speed.

형태임을 알 수 있다. 그러나 전반적으로 0Nb의 결과와 비교하면 초기마모의 경우는 2~3 m/sec까지는 거의 유사하나 그 이상의 속도에서는 Nb 첨가의 효과가 나타나고 있음을 알 수 있다. 정상마모영역에서는 전속도영역에서 Nb첨가의 효과를 볼 수 있다.

더우기 0Nb의 결과는 시편의 직경이 $\phi 4$ mm이나 이 경우는 $\phi 3.5$ mm이므로 면적이 다소 커졌음에도 불구하고 내마모성이 양호하므로 결국 분말고속도공구강에 Nb의 첨가는 마모특성을 향상시킨다는 것이 분명하다.

그러나 Nb량에 따른 마모율은 거의 유사한 것으

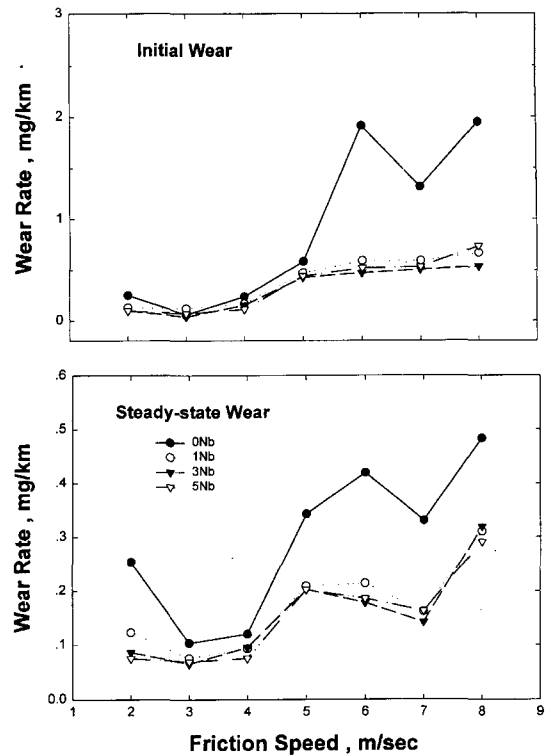


Fig. 2. Wear characteristics for friction speed.

로 미루어 1%이상에서는 차이가 없는 것으로 추정된다. 이러한 이유는 명확치 않으나 Nb첨가량에 따른 탄화물의 결정입경(1Nb가 약 $0.6129 \mu\text{m}$, 5Nb가 약 $0.4096 \mu\text{m}$), 탄화물의 분율(1Nb가 약 15.1%, 5Nb가 약 19.9%) 그리고 전탄화물에서의 M_6C 의 비율(1Nb가 약 8%, 5Nb가 약 6%) 등의 차이가 적은 것으로 밝혀져 1~5%범위에서는 조직변화상 큰 차이를 보이지 않기 때문으로 추정된다.

Fig. 3은 5Nb시편의 마찰속도 2 m/sec, 4 m/sec, 5 m/sec, 8 m/sec에서 시험한 상대재의 마모면을 광학 현미경으로 관찰한 결과이다.

저속도에서는 미세한 흑색화합물이 관찰되나 속도가 증가할수록 흑색화합물은 적어지고 회색화합물이 증대하여 8 m/sec에서는 전면이 거의 이들 화합물로 덮혀 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 3Nb시편의 마모면의 사진을 나타낸 것이다. 저속도에서는 상대재와 마찬가지로 흑색의 화합물이 관찰되나 상대재에 비해 그 양이 많음을 알 수 있다. 이것은 결국 Co의 산화물 생성촉진작용에 의한 것[8]으로 추정된다. 그러나 4 m/sec에서는 그 양

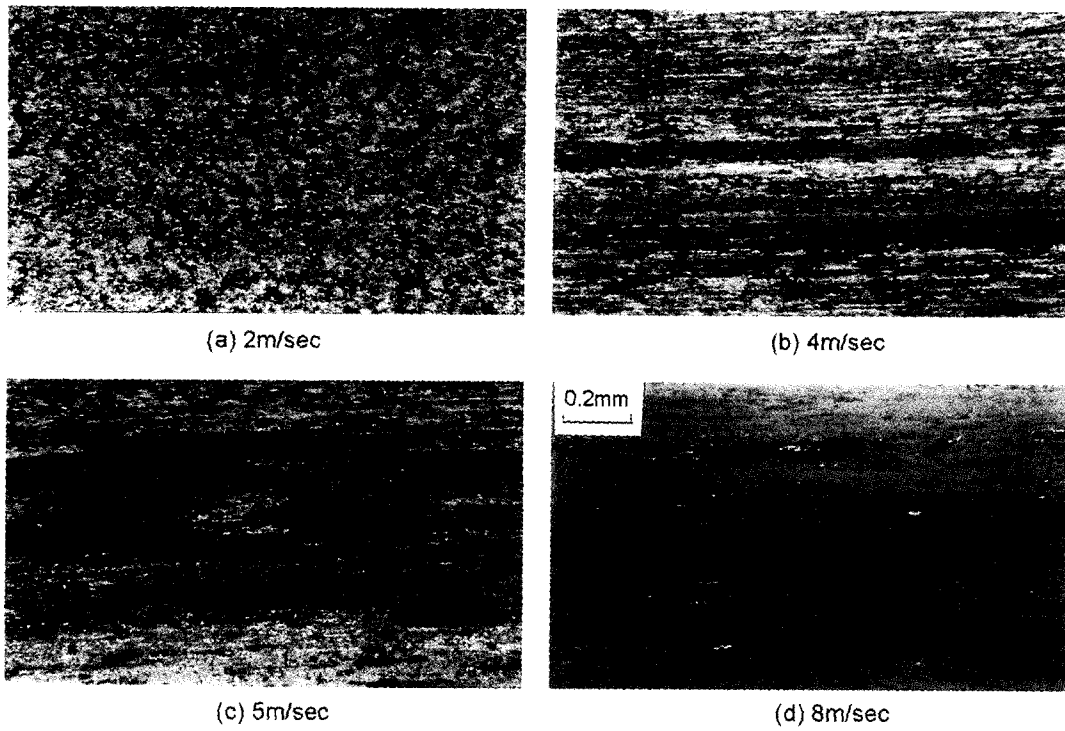


Fig. 3. Morphology of worn surface for opponent materials slide against the 5Nb (sliding direction : →).

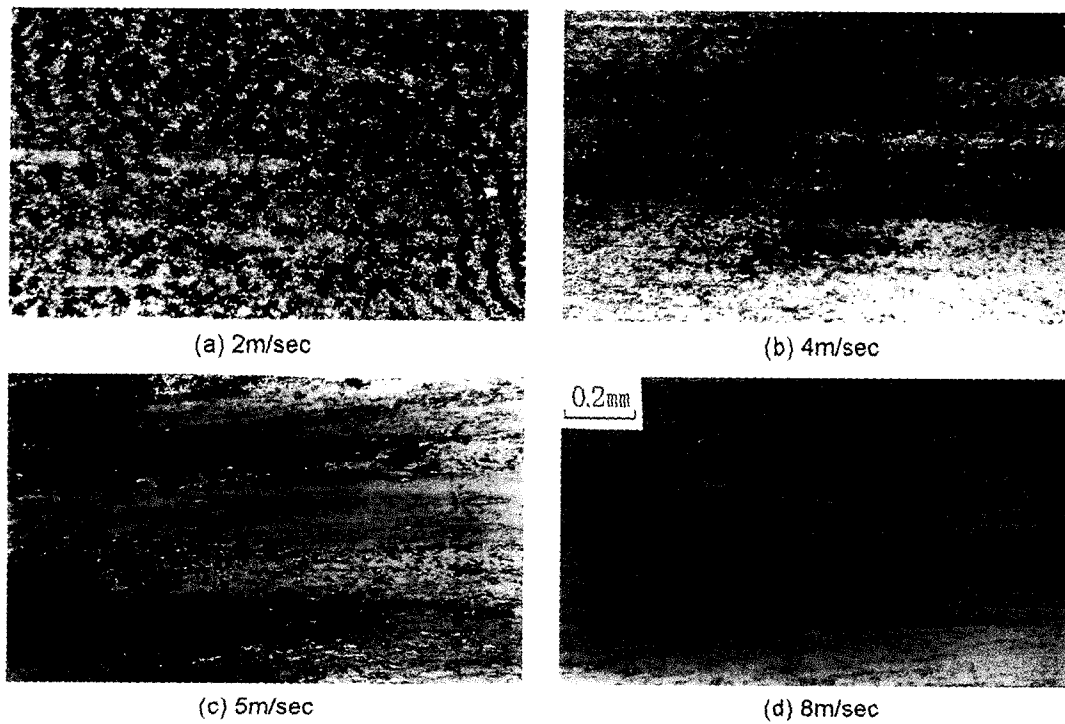


Fig. 4. Morphology of worn surface for 3Nb testpieces (sliding direction : →).

이 상당히 감소되어 있고 그 대신 회색의 화합물이 생성되고 고속으로 될수록 그 양이 증대한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 3Nb시편을 7 m/sec로 시험한 상대재에서 관찰된 흑색화합물 그리고 6 m/sec에서 시험한 시편에서 관찰된 회색화합물을 EPMA로 분석한 결과이고 Table 2는 이들에 의해 분석된 결과를 각성분 비율로 나타낸 것이다.

전 화합물에서 산소가 관찰되어 지난 보고[8]와 마찬가지로 이들은 모두 산화물임을 알 수 있다. 이러한 결과는 다른 시편의 경우도 거의 동일하였다.

표에서도 알 수 있듯이 흑색산화물(B)에서는 회색산화물(G)에 비해 C, Mo, W 및 V의 양이 적은 것을 알 수 있다. 일반적으로 이들 원소는 모재속에 고용되기 보다는 대부분 탄화물을 형성하는 것으로 알려져 있다. 결국 흑색산화물에서 이들 양이 적다는

것은 이 산화물이 모재중심의 산화물 즉 모재가 산화마모되면서 생성된 산화물인 것이 분명하다 할 수 있다.

특히 3Nb의 흑색산화물(B)에서는 0Nb에 비해 이들 원소가 다소 많은 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 Nb에 의해 생성된 MC탄화물에서는 V에 의해 생성된 탄화물보다 이들의 함유원소가 적다는 S.KARA GÖZ의 결과[4]와 상응하는 것으로 결국 Nb 첨가에 의해 MC탄화물을 형성하면서 모재로 C, Mo, W 및 V를 배출시켜 성분조정이 일어났음을 알 수 있다.

그리고 일부 고속도에서 시험한 상대재에서 일부 흑색산화물에서는 산소함량이 높은 것이 확인되었고 저속도에서 시험한 시편에서는 Nb이 미검출된 회색산화물이 확인되었으나 이들은 시편 또는 상대재에서 마모입자가 이착된 것으로 추측되었다. 결국 흑색산화물은 모재인 철의 산화마모에 의한 산화물이

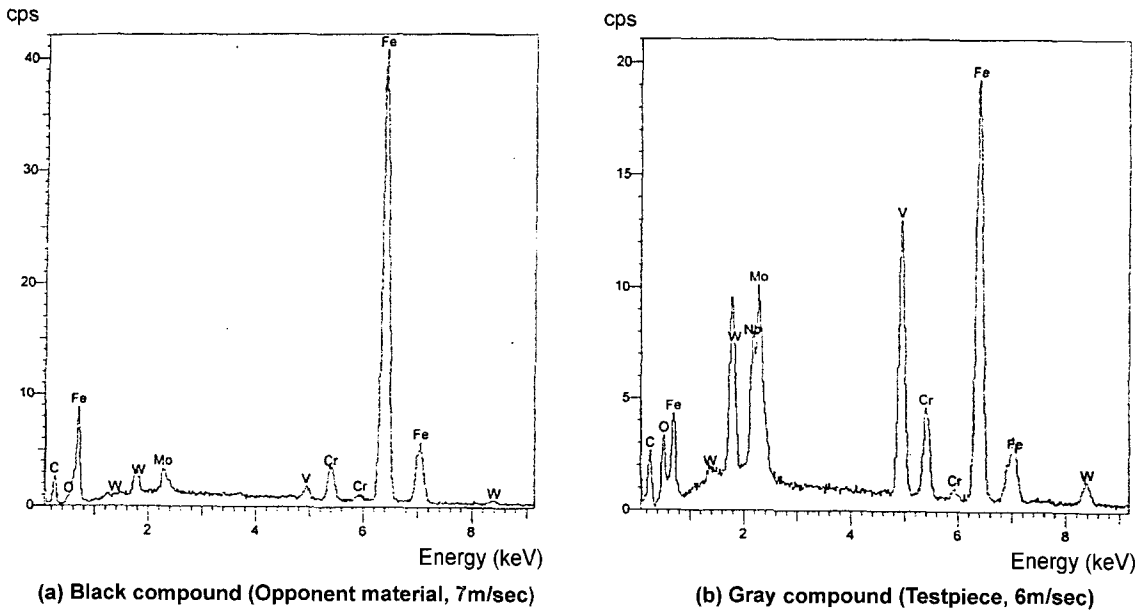


Fig. 5. Results of EPMA for 3Nb.

Table 2. Result of EPMA for compound (atm%)

		C	O	V	Cr	Fe	Nb	Mo	W	
PIN	0Nb	B	10.56	58.52	0.97	1.53	26.67	-	1.02	0.73
		G	11.68	65.47	2.84	1.12	16.69	-	1.19	0.91
	3Nb	B	12.43	42.80	2.64	2.11	36.38	0.62	1.67	1.33
		G	27.70	26.31	10.43	2.36	23.47	3.55	3.63	2.55
DISC	B	33.32	5.52	0.89	2.64	55.38	-	1.32	0.92	
	G	37.30	4.79	3.80	2.96	27.62	-	14.62	8.91	

주축인 산화물인 것으로 추정된다.

이에 반해 회색산화물(G)은 합금원소의 함유비율이 크고 고속시에 발생하는 것으로 미루어 고온 산화물인 것으로 추정된다.

Fig. 6은 3Nb의 마찰속도 2 m/sec, 4 m/sec, 5 m/sec, 8 m/sec에서 시험한 상대재의 마모track면을 표면조도계를 이용하여 미끄럼방향에 수직으로 측정된 단면 곡선을 나타낸 것이다.

2 m/sec의 경우는 명확한 마모면의 groove가 관찰되고 있음을 알 수 있으나 고속도영역에서는 전혀 groove가 없고 오히려 돌출한 부위로 미루어 시편에서 이착된 것임을 알 수 있다. 따라서 이경우도 지난 보고[8]와 마찬가지로 저속에서는 상대재, 고속에서는 시편이 마모되고 있음을 알 수 있다.

Nb는 Austenite에 거의 고용하기 않기 때문에 일반적으로 주조법에 의해 제조할 경우 3%이상 첨가하면 열처리시 Ferrite 핵생성 이전에 석출되어 결정 성장하여 인성을 저해하나 분말야금기술로 제조할 경우는 이러한 문제는 없고 오히려 탄화물형태를 MC 탄화물의 생성을 억제하고 보다 경하고 열역학적으로 안정된 미세한 MC탄화물을 형성하는 것으로 알려져 있다. 특히 같은 MC탄화물이라도 V에 의해서도 형성되는 것에 비해 Nb에 의해 생성된 MC탄화물은 더욱 경하고 열역학적으로도 안정한 것으로 알려져 있다[4].

이러한 사실로 미루어 Nb첨가 분말고속도공구강의 내마모특성의 향상은 이러한 Nb-rich MC탄화물 생성에 의한 것임에 틀림없다.

저속도영역에서 관찰되는 시편의 흑색산화물은 지난번 보고[8]와 마찬가지로 Co의 영향에 의한 산화물로 이들이 응착을 방지하는 역할을 한 것으로 추정되나 Nb를 첨가하면 전술한대로 고경도이고 열역학적으로 안정한 Nb-rich MC탄화물이 석출하므로 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.

아울러 Nb첨가한 시편의 마모면에는 0Nb의 결과 [8]에 비해 전반적으로 산화물이 다소 많은 것으로 확인되어 이러한 성분조정에 의해 산화마모경향도 촉진되는 것으로 생각되어 진다.

결국 Nb첨가에 의한 분말고속도공구강의 내마모성향상은 Nb-rich MC탄화물에 의한 열역학적 안정성과 모재의 성분조정에 따른 특성향상에 기인함을 알 수 있다. 그러나 8 m/sec 부근에서 상대재의 마모

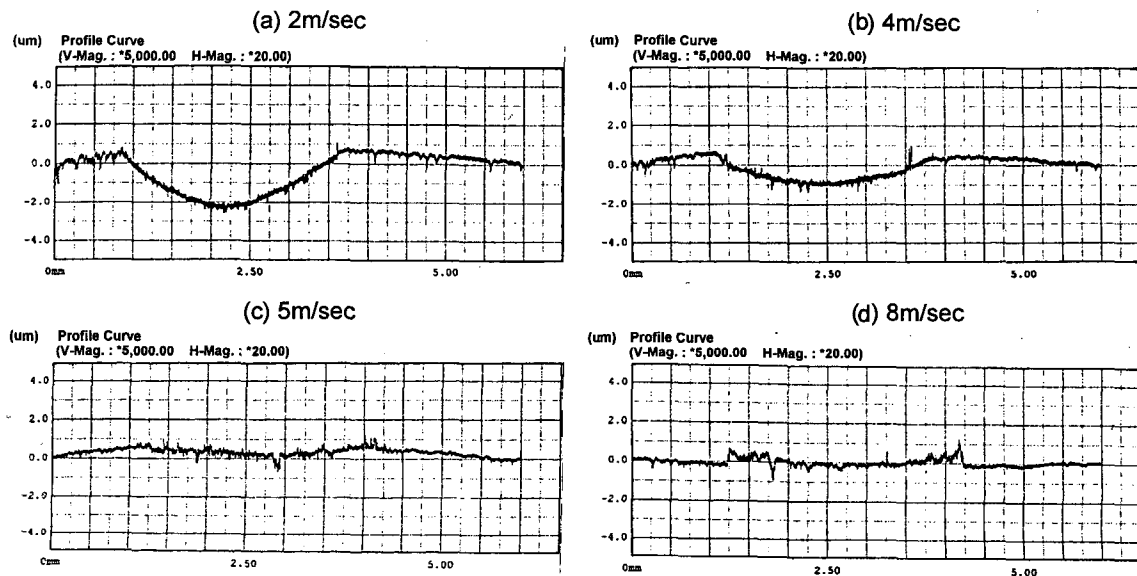


Fig. 6. Profile curve of worn surface for opponent materials of 3Nb.

면의 산화물에서 균열이 관찰(Fig. 3)되어 거리를 증대시키거나 속도가 증대하여 온도가 더욱 상승하면 탈락되어 고경도의 MC탄화물에 의한 abrasive적인 작용으로 오히려 마모율이 증대할 가능성을 배제할 수는 없다.

4. 결 론

분말 고속도공구강의 미끄럼마모특성에 미치는 Nb의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Nb는 분말 고속도공구강의 내마모성을 현저히 향상시킨다. 이러한 효과는 Nb에 의해 생성되는 탄화물에 의한 것으로 밝혀졌다.

(2) Nb 1~3% 첨가구간에서는 첨가량에 따른 내마모성 차이가 없었다.

(3) Nb에 의한 내마모성향상은 Nb첨가에 의해 열역학적으로 안정한 Nb-rich MC탄화물을 형성하고 이로 인해 모재의 성분 재조정이 이루어지기 때문으로 추측되었다. 결국 이러한 효과에 의해 응착력감소와 모재의 고온특성을 향상시킴으로써 내마모성이 향상되는 것으로 생각되었다.

참고문헌

1. ASM international handbook Committee, "Metal Handbook," Vol.1, pp780, 1990
2. R.W.Bratt, "Recent Developments in Crucible Particle Metallurgy Tool Steels," Metal Powder Report, Vol 9, pp475-486, 1983
3. K.Ishii, T.Hayasaka, E.Endoh, T.Abe, Y.Kamitsuma, "Full Density Sintered High Speed Steel with Good Wear and Pitting Resistance," Metal Powder Report, Vol 6, pp533-538, 1986
4. S.Karagoz, H.F.Fischmeister, "Niobium-Alloyed High Speed Steel by Powder Metallurgy," Metal.Trans., Vol 19A, 6, pp1395-1401, 1988
5. R.Riedl, S.Karagoz, H.Fischmeister, F.Jeglitsch, "Developments in high speed tool steels," Steel Research, Vol 58, 8, pp339-352, 1987
6. L.A.Dobrzanski, A.Zarychta, M.Ligarski, "High-speed steel with addition of Niobium or Titanium," J. Mat. Proc. Tech. Vol 63, pp531-541, 1997
7. 井信博, 横井大円, 深浦健三, 砂田久吉, 阿部源隆, "Nb添加熱間工具鋼の焼入れおよび焼もどし硬化挙動," 粉 および粉末冶金, Vol 42, 4, pp485-489, 1995
8. 이한영, 배종수, 김용진, "분말고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 Co의 영향," 윤활학회지, 15, 2, pp156-163, 1999
9. J.D.Bolton, Andrew J.Gant, "Properties of Sintered High Speed Steel Matrix Composites Designed for Enhanced Wear Performance," Adv. in Powder Metallurgy and Particulate Materials, Vol 5, 16 pp3-16, 1996
10. W.Stasko, K.E.Pinnow, W.B.Eisen, "Development of Ultra-High Vanadium Wear Resistant Cold Work Tool steels," Adv. in Powder Metallurgy and Particulate Materials, Vol 5, 17, pp179-188, 1996
11. Navin C. Kothari, "The Effects of Heat Treatment and Vanadium content on Wear Properties of PM-Hipid M2 Steel," Pro. 2nd Pacific Rim Inter. Confer. pp511-516, 1995