

5%Co-5%V-1%Nb 분말고속도공구강의 고온 미끄럼마모특성

이한영[†] · 김용진* · 배종수*

계명대학교 재료공학과, *한국기계연구원 재료연구부

Sliding Wear Properties for 5%Co-5%V-1%Nb High Speed Steel by Powder Metallurgy at High Temperature

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

Department of Materials Engineering, Keimyung University, Daegu, Korea

*Materials Tech. Dept., Korea Institute of Machinery and Materials, Changwon, Korea

Abstract – In metal cutting at the tool-chip interface, friction generates considerable amount of heat. Thus, the knowledge of wear properties of cutting tool material in high temperature has been as one of important factors in need of clarification. The authors presented the wear properties of 5%Co-5%V-1%Nb high speed steel, fabricated by powder metallurgy, in room temperature in previous articles. The objective of this paper is to clarify the effects of temperature on its wear properties. Wear tests in sliding conditions under various temperatures have been conducted using the pin-on-disc type wear test machine. The results indicate that the wear properties of 5%Co-5%V-1%Nb high speed steel in high temperature as well as in room temperature are excellent. It may be deduced that the oxide layer formed on worn surface at high temperature is stable enough to prevent wear due to the high temperature strength of its matrix.

Key words – sliding wear property, 5%Co-5%V-1%Nb high speed steel, high temperature, powder metallurgy, oxide layer.

1. 서 론

고속도공구강은 각종 절삭용 공구나 냉간 성형용 금형에 널리 사용되어지는 소재중 하나이다. 그런데 이것을 분말야금법으로 제조하는 경우 동일성분이라도 기존의 고속도공구강에 비해 인성, 단조성, 열처리성, 피삭성 등이 향상되는 것으로 알려져 있다[1]. 또한 이 방법은 합금 성분조정이 용이하고 첨가량의 제한도 없어 이 기술을 이용한 새로운 특성의 분말고속도공구강 개발에 대한 연구가 활발히 시도되어 지고 있다.

저자들도 그간 고성능의 분말고속도공구강의 개발차원에서 주조법에 의해 제조되는 기존의 M2고속도공구강을 기본으로 합금원소로써 V, Co, Nb를 첨가한 분말고속도공구강개발에 착수하였다. 지금까지의 연구에서는 이들 첨가원소중 1차 및 2차 탄화물생성시 MC계

탄화물생성을 촉진하는 원소로 알려져 V은 파괴인성 및 TRS 등을 고려하여 5%로 일정하게 하고[2] 상온의 내마모성에 미치는 Co 및 Nb의 첨가영향을 조사하였다[3,4]. 그 결과 기지의 고용강화효과 및 2차탄화물생성속도를 증가시키는 원소로 알려져 있는 Co는 산화마모를 촉진시켜 금속간 접촉을 방지하므로써 내마모성에 유효한 것으로 밝혀졌으며[3], Nb은 V과 함께 탄화물생성원소이나 V에 비해 저렴할 뿐만 아니라 동일한 MC계 탄화물을 형성하더라도 고경도이고 열역학적으로 안정한 Nb-rich MC계 탄화물이 생성되어 이것이 내마모성 향상에 기여하는 것으로 밝혀졌다[4]. 이상의 결과에서 5%Co-5%V-1%Nb의 합금조성의 분말고속도공구강을 도출할 수 있었다.

그러나 이들을 실용화하기 위해서는 실제 작동시 온도상승에 따른 이들의 마모특성변화도 필히 고려해 주어야 할 인자임에 틀림없다. 일반적으로 절삭시 공구의 온도상승은 절삭속도 및 절삭깊이에 따라 상이하여 명

[†]주저자 · 책임저자 : lhy@knu.ac.kr

확하지 않으나 절삭 chip의 온도는 최대 600~750°C 정도에 달하는 것으로 알려져 있다[5]. 그러나 절삭유 사용 등을 고려하면 다소 낮을 것으로 예상되나 상당한 온도상승은 필연적이라 할 수 있다. 일반적으로 재료의 마모특성은 속도나 하중뿐만 아니라 온도에 따라 서로 변화하는 것[6]으로 알려져 5%Co-5%V-1%Nb 분말고속도공구강의 마모특성도 온도에 따라 변화할 것임이 분명하다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 5%Co-5%V-1%Nb 조성의 분말고속도공구강을 시편되는 7%W-8%Co-3%V분말고속도공구강과 함께 여러 온도에서 마모시험하고 시험온도에 따른 미끄럼마모특성을 조사하여 이를 해석하였다.

2. 실험방법

2-1. 시험시편

본 연구에서는 5%Co-5%V-1%Nb조성의 분말고속도공구강(이하 K재)을 시편으로 사용하였다. 아울러 시편되는 대표적인 7%W-8%Co-3%V조성의 분말고속도공구강(이하 A재)을 비교재로 사용하였다. 이들 시편 및 비교재의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

K재는 지금까지의 제작과정[3,4]과 동일하게 소정의 합금성분을 첨가하여 진공소결 및 용해후 gas atomizer로 합금분말을 제조하였다. 이후 이 합금분말을 canning, hiping, swaging 등의 공정을 거쳐 소정의 환봉으로 제조한 후 어닐링처리를 하였다. A재는 시편의 $\Phi 10$ mm 환봉을 구매하여 전술한 K재와 함께 소정의 형상($\Phi 5.4 \times 15$ mm)으로 가공한 후 열처리를 행하였다.

열처리는 K재 및 A재를 동일한 조건으로 행하였다. 열처리공정[7]은 소입온도인 1180°C에서 10분간 유지한 후 질소가스(10 bar)로 소입하고, 이후 560°C에서 1시간 처리하는 템퍼링처리를 3차례 반복하였다. 열처리 후 경도는 K재 및 A재 공히 HRC 65정도인 것으로 밝혀졌다.

상대재는 시편의 M2고속도공구강을 소정의 형태($\Phi 75 \times 8$ mm)로 가공한 뒤 시편과 동일한 조건에서 열처리를 행하였다. 열처리후 경도는 HRC 62정도인 것

Table 1. Compositions of testpiece (wt.%)

	C	W	Mo	Cr	V	Co	Nb
A-Materials	1.25	7.53	4.83	3.65	2.96	8.14	-
K-Materials	1.76	5.69	4.46	3.99	4.83	5.03	1.05

으로 확인되었다.

2-2. 미끄럼 마모시험

미끄럼마모시험은 Pin-on-Disc형 미끄럼 마찰마모시험기[3]를 사용하였다. 이때 하중은 dead weight로 13.2 N을 부가하면 시편에 작용하는 부가하중이 100 N이 되는 조건을 취하였으며 시험속도는 접촉부의 선속도가 0.15, 0.45, 1.0, 1.5, 2.0 m/sec가 되는 5조건을 취하였다. 이때 각 속도에서 최대 마찰거리는 4 km까지로 하고 소정의 거리마다 시험을 중단하고 중량감소를 측정하여 마모량을 산출하였다. 시험온도는 상온(약 288 K) 및 373 K, 453 K의 3온도영역에서 시험하였다. 고온마모시험은 145×40 mm의 chamber속에 시편 및 상대재를 장착하고 열풍방식으로 가열, chamber속의 상대재의 온도를 pyrometer로 측정하면서 소정의 온도로 유지시키면서 시험하였다.

모든 시험은 무윤활상태에서 시험하였으며 시편 및 상대재는 시험전 #600 abrasive paper로 마무리 가공한 후 사용하였다.

시험 후는 광학현미경에 의한 마모면 관찰과 측정법에 의한 마모면의 profile 관찰을 하고 화합물은 EPMA로 점분석을 하여 마모면을 해석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 마모시험결과

Fig. 1은 마찰거리에 따른 마모량의 변화를 나타낸 일례로써 K재의 시험온도에 따른 변화를 나타낸 것이다. 그림에서도 보듯이 어느 것도 속도에 따라 정도는 상이하나 전반적으로 거리가 증대하면 마모량이 증대하는 일반적인 경향임을 알 수 있다. 그러나 온도변화에 따라 동일 속도라도 마모경향이 변화하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 A재의 경우도 동일하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 각 온도에서 시험한 A재 및 K재의 거리에 대한 마모율을 초기마모영역 및 정상마모영역으로 구분[8]한 후 각 속도에 대한 마모특성을 비교한 것이다. 상온에서는 전반적으로 저속에서는 마모율이 적으나 중간속도인 1.0 m/sec부근에서 마모율의 극소점을 나타낸 후 증대하는 형태임을 알 수 있다. 그리고 A재 및 K재의 마모율은 저속에서 1.0 m/sec속도까지는 초기마모영역 및 정상마모영역 관계없이 거의 유사하나 고속에서 차이가 발생하여 K재의 마모율이 A재에 비해 적은 것으로 밝혀졌다. A재의 초기마

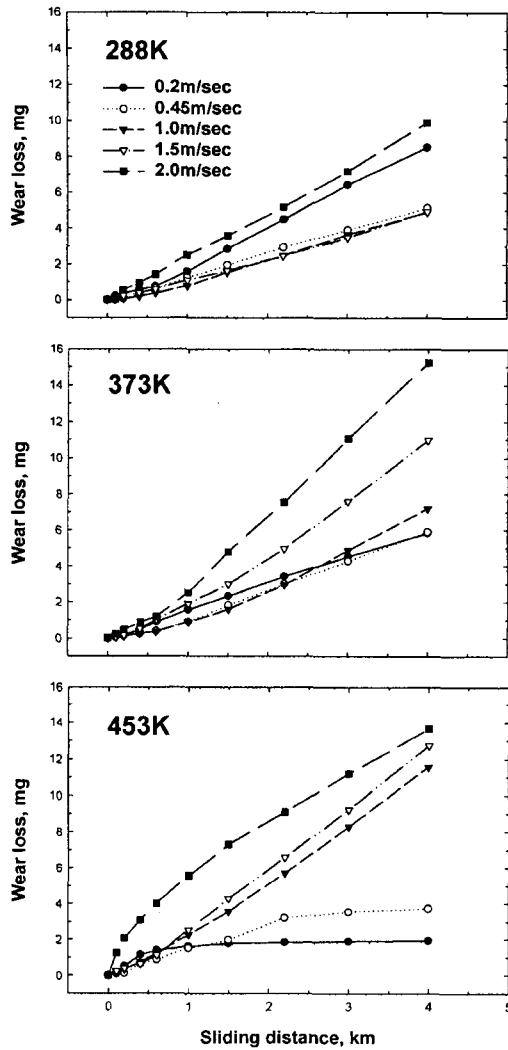


Fig. 1. Wear characteristics as a function of sliding distance for K-material under several test temperatures.

모의 경우 온도증대에 따라서는 실온보다 전반적으로 마모율이 증대하나 1.0 m/sec이상의 속도에서는 373 K의 마모율이 453 K 보다 다소 큰 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 정상마모영역에서 더욱 현저해 지고 있다. 일반적으로 마모의 온도의존성도 일반적으로 알려진 속도특성곡선 및 하중특성곡선과 유사한 형태를 갖고 특정온도에서 마모율이 증가하는 온도범위가 있다는 사실[6]을 감안한다면 저속에서 1.0 m/sec까지의 속도범위에서는 453 K 이상의 온도, 1.0 m/sec이상의 속도에서는 373 K 부근의 온도에서 마모의 극대치를 갖는 형태임을 추측할 수 있다. 그러나 이들 극대치의

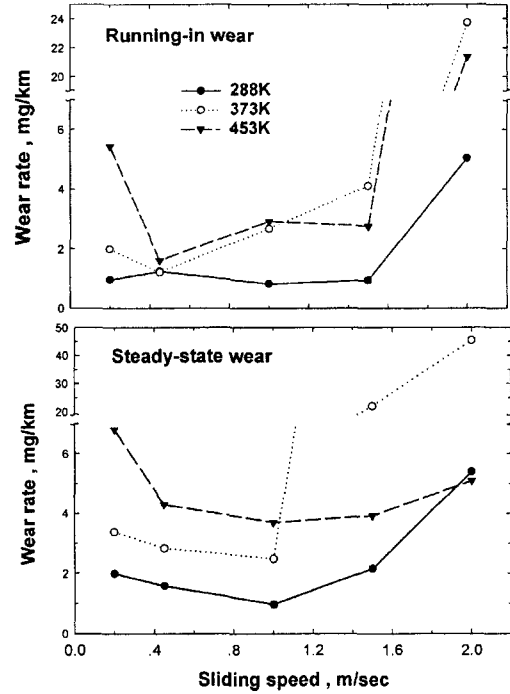


Fig. 2. Wear characteristics as a function of sliding speed for A-material under at several test temperatures.

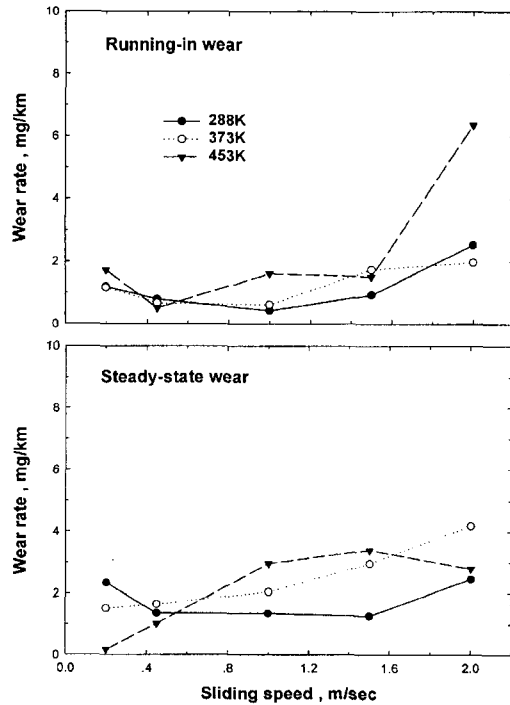


Fig. 3. Wear characteristics as a function of sliding speed for K-material at several test temperatures.

온도는 마찰열에 의한 국부적인 온도상승을 감안한다면 실제로는 다소 높을 것으로 예상된다. K재의 경우는 전반적으로 온도변화에 대해 다소 변화를 보이거나 A재에 비해 현저하지 않음을 알 수 있다. 특히 초기마모의 경우는 저속에서 1.5 m/sec의 속도까지는 온도의 영향은 거의 볼 수 없으나 2.0 m/sec에서 453 K의 경우에 급증을 하고 있다. 정상마모의 경우 0.2 m/sec의 속도에서는 고온으로 될수록 마모가 적어지나 이상의 속도에서는 A재와 동일하게 온도증대에 따라 마모율이 증대하는 경향이고 2.0 m/sec에서 373 K의 경우의 마모율이 453 K의 마모율보다 증대하는 역전현상이 일어남을 알 수 있다. 결국 373 K 및 453 K의 마모율이 역전된 온도는 A재에 비해 K재가 고속에 있어 K재의 마모곡선이 A재에 비해 고속측으로 이동되어 있는 것으로 추정되어 진다. 또한 각 온도에서의 마모율도 전 속도 영역에서 낮은 것으로 밝혀져 K재의 고온마모특성이 A재에 비해 양호한 것으로 생각되어 진다. 아울러 0.2 m/sec에서 A재와 달리 K재는 온도상승에 따라 마모율이 감소하는 경향을 보여 저속도에서도 고온마모특성이 양호한 것으로 판단된다.

이러한 원인으로는 K재와 A재의 첨가합금원소 차이에 따른 각각의 모재의 성상과 탄화물조직 등이 이들

마모특성에 영향을 미친 것으로 추정된다.

3-2. 마모면 해석결과

Fig. 4와 5는 A재 및 K재의 시험후 시편의 마모면을 관찰한 일례를 나타낸 것이다.

그 결과 지금까지의 보고[3,4]와 동일하게 어느 것도 회색 및 흑색화합물이 관찰됨을 알 수 있다. Fig. 6은 K재의 이들 화합물에 대한 EPMA분석 결과를 나타낸 것이나 (a)가 288 K, (b)가 453 K의 경우이다. 어느 것도 산소가 검출되어 산화물인 것을 확인할 수 있다. A재의 288 K, 0.2 m/sec의 경우(Fig. 4)는 상당량의 흑색산화물이 관찰되나 2.0 m/sec에서는 흑색산화물 외에 회색산화물이 관찰되고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 지금까지의 보고[3,4]와 동일하여 흑색화합물은 Co에 의한 산화마모 촉진작용에 의한 산화물이고 회색화합물은 온도상승에 의한 고온산화물인 것으로 추정할 수 있다. 453 K의 고온시험에서는 대부분 회색산화물만이 관찰된다. K재의 경우(Fig. 5)도 288 K에서는 A재와 동일하게 0.2 m/sec에서는 상당량의 흑색산화물이 존재하고 속도(2.0 m/sec)가 빨라질수록 회색산화물이 증가하나 453 K에서는 전반적으로 A재에 비해 많은 량의 산화물이 존재함을 알 수 있다. 이러한 측

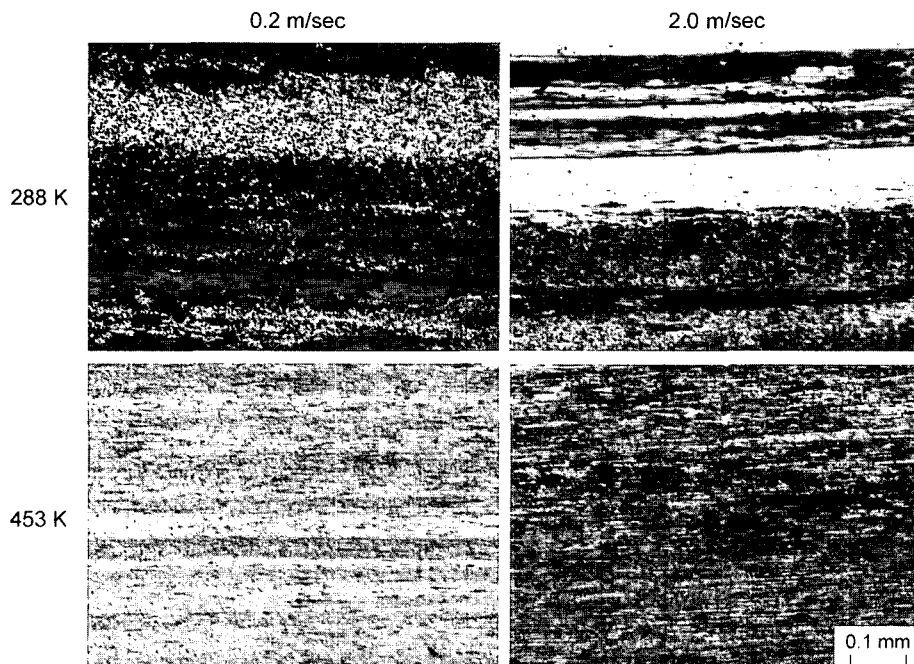


Fig. 4. Optical micrographs on worn surface of A-material.

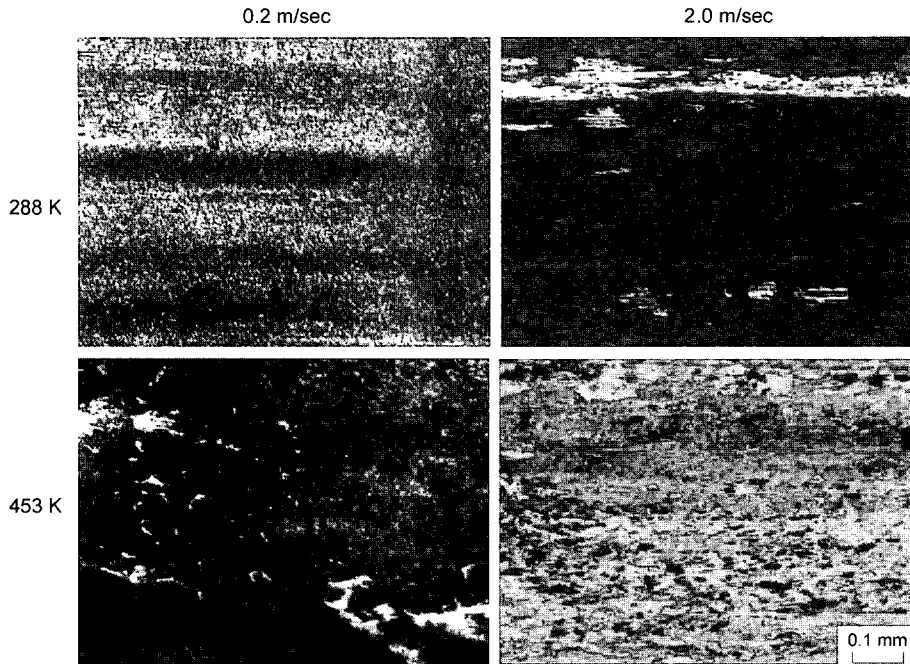


Fig. 5. Optical micrographs on worn surface of K-material.

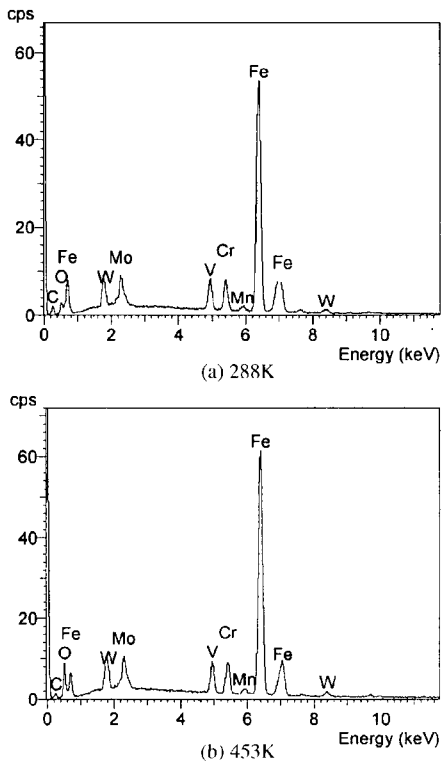


Fig. 6. Results of EPMA on worn surface for K-material after test at 2.0 m/sec.

면에서 K재는 산화물층이 마모되지 않고 그대로 잔존하나 A재의 경우는 마모과정에서 탈락된 것으로 생각되어 진다.

Fig. 7은 각각 373 K에서 A재 및 K재에 대해 시험한 상대재의 미끄럼방향에 수직방향으로 측정된 마모 track의 profile의 일례를 나타낸 것이다. 마모면의 profile은 지금까지의 보고[3,4]와 동일하게 속도가 빨라짐에 따라 groove가 적어지나 온도가 높아질수록 커지는 것으로 밝혀졌다. 그러나 전반적으로 K재의 groove가 A재에 비해 현저히 크을 알 수 있다. 또한 A재에서 최대의 마모율을 나타내었던 373 K의 경우 Fig. 7(c)에서 보듯이 전반적으로 시편의 마모율이 큰 경우는 상대재 마모면에는 커다란 이착현상에 의해 돌출이 현저한 것으로 밝혀졌다.

Fig. 8과 9는 A재 및 K재의 상대재의 마모면을 관찰한 광학현미경사진의 일례를 나타낸 것이다. A재의 상대재의 마모면(Fig. 8)도 대부분 산화물로 덮여 있으나 이들 마모면에서는 시편의 화학조성과 동일한 이착물이 다수 관찰되었으며 이들 이착물의 정도와 시편의 마모율과는 일치하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 경향은 고온마모시에 현저하였으며 A재의 최대의 마모율을 나타내었던 373 K, 2.0 m/sec의 경우는 전면이 이착물로 덮여 있는 것으로 확인되었다. 그러나 K재의 상대재

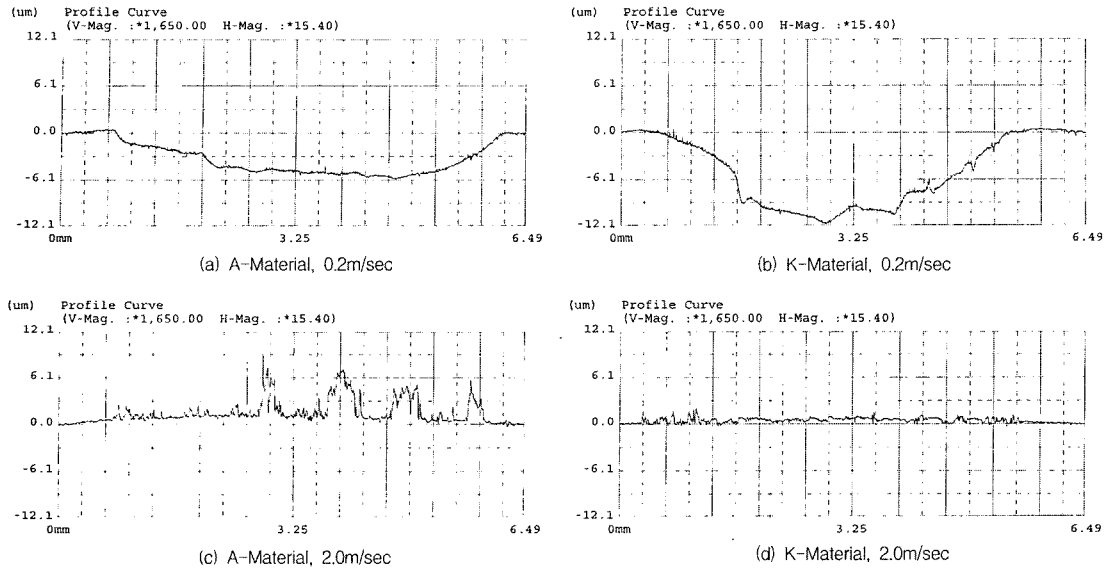


Fig. 7. Profiles on worn surface of counter materials (at 373 K).

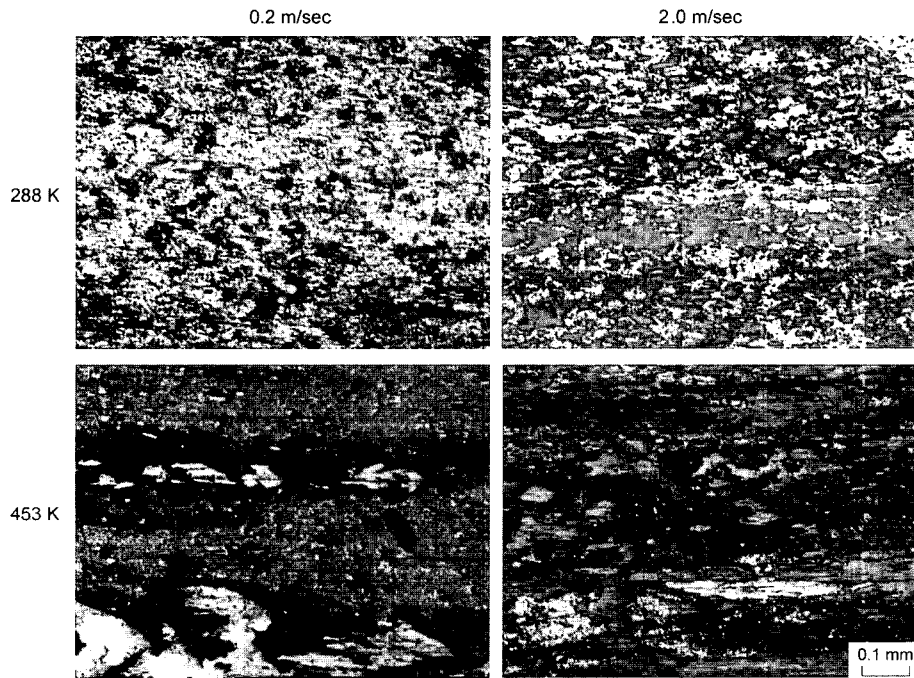


Fig. 8. Optical micrographs on worn surface of counter material for A-Material.

마모면(Fig. 9)에서도 A재와 동일하게 산화물층이 관찰되나 A재와 달리 산화물의 양이 적고 이착물도 거의 없는 것으로 확인되었다.

이상의 결과 K재 및 A재의 고온 내마모성은 마모 과정상에 생성되는 산화물과 관련이 깊다는 것을 알

수 있다. 결국 288 K의 저속에서의 마모특성은 지금까지의 보고와 동일하게 산화마모에 의한 흑색산화물의 영향을 받으나 고온시험에서는 고온산화물의 영향을 받음을 알 수 있다. 그러나 전술한대로 K재의 경우는 시편에 상당량의 산화물층이 그대로 잔존하나 A재의

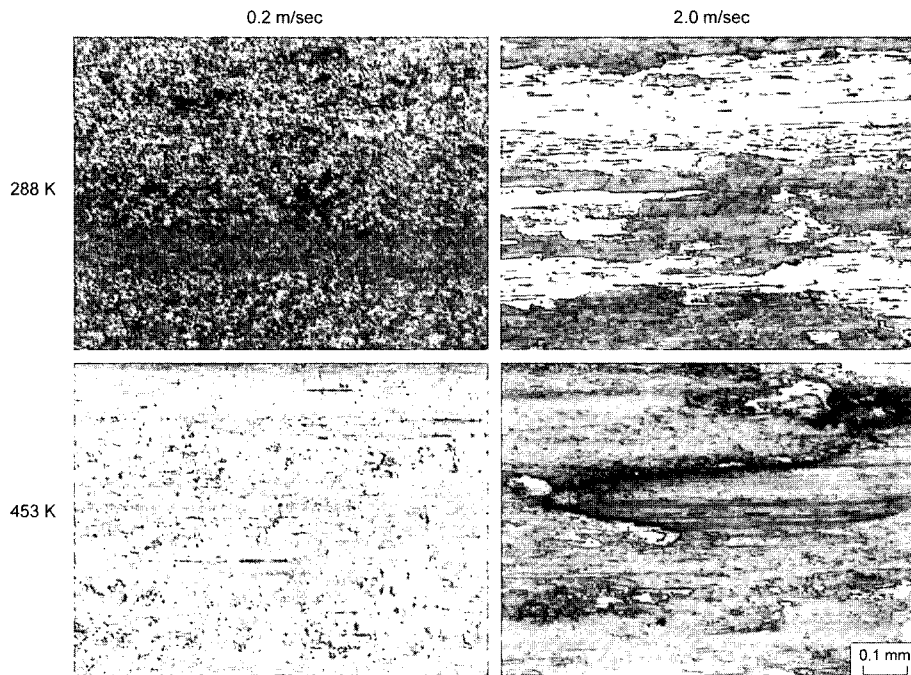


Fig. 9. Optical micrographs on worn surface of counter material for K-material.

경우는 그 양이 적어 탈락된 것으로 생각된다. 응착마모는 응착부의 전단력에 의해 발생된다[9]는 점을 감안한다면 고온에서의 K재 및 A재의 내마모성차이는 온도상승에 따른 재료의 산화물과 모재와의 전단강도의 변화에 따른 산화물층의 탈락정도에 의존하는 것으로 추정된다.

K재와 A재의 합금조성의 차는 Table 1에서도 확인할 수 있듯이 W, V, Co, Nb의 량이다. 이중 Co는 K재에 비해 A재의 함유량이 크나 이 원소는 지난 보고[3]에서 밝힌 바와 같이 저속에서 모재의 산화마모를 촉진시켜 내마모성을 향상시킨다. 이러한 효과에 의해 Co량이 많이 첨가된 A재의 Fig. 4의 288 K, 0.2 m/sec의 산화물의 양은 Fig. 5의 동일조건인 K재에 비해 흑색산화물이 다소 많은 듯하나 현저하지는 않다. 그러나 일반적으로 고속도공구강의 우수한 성능은 모재뿐만 아니고 미세하게 석출하는 탄화물에도 크게 영향을 받는다. 그런데 Co는 탄화물생성에는 직접적인 영향을 미치지 않는다는 사실을 고려한다면 K재의 고온 내마모성향상의 원인은 Co외에 다른 합금원소의 영향으로 보는 것이 타당할 것이다. 탄화물생성원소인 W의 경우도 K재에 비해 A재가 다량의 존재하고 있으나 일반적으로 W의 경우는 M_6C 계 탄화물을 형성하는 것

으로 알려져 있다[10]. 이러한 측면에서 K재의 경우는 A재에 비해 MC계 탄화물 생성원소인 V를 다량으로 함유하고 있고 이와 유사한 역할을 하는 Nb이 첨가되어 생성되는 탄화물이 열역학적으로 안정할 뿐만 아니고 고경도인 Nb-rich MC계 탄화물이 다량으로 석출[11]하기 때문에 모재강화 및 응착력 감소로 이어진 것이 분명하다. 아울러 지난 보고[4]에서 밝힌 바와 같이 Nb첨가에 따른 합금성분 재조정에 따른 모재강화도가 산되어 고온에서 모재의 전단강도감소도 적었기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

5%Co-5%V-1%Nb조성의 분말고속도공구강과 시판되는 7%W-8%Co-3%V분말고속도공구강을 여러 온도에서 마모시험하여 온도에 따른 미끄럼 마모특성을 조사하고 이를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 분말고속도공구강의 내마모성은 마모과정에서 생성되는 산화물에 크게 의존하는 것으로 밝혀졌다. 결국 저온에서의 마모특성은 모재의 산화마모에 의한 산화물생성에 영향을 받으나 고온에서는 온도상승에 의해 생성하는 고온산화물의 영향이 큰 것으로 밝혀졌다.

2) 분말고속도공구강의 고온 내마모성은 이들 산화물층의 탈락여부를 좌우하는 기지와 산화물간의 전단강도에 의존하는 것으로 생각되었다.

3) 분말고속도공구강의 내마모성과 관련된 기지와 산화물층간의 고온전단강도는 탄화물의 정상변화 및 이로 인한 기지의 강화효과를 수반할 수 있는 V 및 Nb 등과 같이 원소의 복합첨가가 유효하였던 것으로 생각되었다.

참고문헌

1. 宮川大海, "鐵鋼材料學," 朝倉書店, 日本, pp.188-189, 1982.
2. 김용진, 배종수, 정현식, "분말고속도공구강에서의 V 및 Co첨가 영향연구," 대한금속학회 학술강연발표개요집, pp.341, 1996.
3. 이한영, 배종수, 김용진, "분말고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 Co의 영향," 윤활학회지, 제15권, 제2호, pp.156-163, 1999.
4. 이한영, 배종수, 김용진, "분말고속도공구강의 미끄럼마모특성에 미치는 Nb의 영향," 윤활학회지, 제16권, 제3호, pp.194-200, 2000.
5. Boothroyd, G., "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools," McGraw-Hill, pp.96, 1975.
6. 佐田登志夫, 日本潤滑學會, 第7回 夏期セミナー講義錄 "摩耗," pp.1, 1972.
7. 이한영, 배종수, 김용진, "분말고속도공구강의 미끄럼마모특성에 미치는 열처리조건의 영향," 열처리공학학회지, 제13권, 제6호, pp.405-411, 2000.
8. Myshkin, N.K., Kim, C.K. and Petrokovets, M.I., "Introduction to Tribology," Cheong Moon Gak, pp.28, 1997.
9. 原藤吉郎, "表面工學," 養賢堂, 日本, pp.67, 1985.
10. 이은식, 박우진, 정재연, 안상호, "Hot Isostatic Processing으로 제조된 고속도강의 탄화물 조직과 기계적성질," 대한금속학회지, 제35권, 제6호, pp.784-793, 1997.
11. Karagoz, S. and Fischmeister, H.F., "Niobium-Alloyed High Speed Steel by Powder Metallurgy," Metallurgical transaction A, 19A, 6, pp.1395-1401, 1988.