

분말고속도공구강의 작동온도에 따른 미끄럼마모특성해석

Sliding Wear Characteristics of High Speed Steel by Powder Metallurgy
under several Testing Temperature

이한영, 노정균, 배종수*, 김용진*

계명대학교 재료공학과, *한국기계연구원 재료공정연구부

Abstract In metal cutting at the tool-chip interface, friction generates considerable amount of heat. Thus, the knowledge of wear properties of the cutting tool material in high temperature has been known as one of the important factors in need of clarification. The authors presented the wear properties of 5%V-5%Co-1%Nb high speed steel, fabricated by powder metallurgy, in room temperature in a previous article. 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.

The results indicate that the wear properties of the tool material in high temperature as well as in room temperature are excellent. It may be deduced that the oxide layer formed on the worn surface at high temperature is stable enough to prevent wear due to the high temperature strength of its matrix.

1. 서론

고속도공구강은 각종 절삭용공구나 냉간성형용 금형에 널리 사용되어지는 소재중 하나이다. 그런데 이것을 분말야금법으로 제조하는 경우 동일성분이라도 기존의 고속도공구강에 비해 인성, 단조성, 열처리성, 피삭성 등이 향상되는 것으로 알려져 있다¹⁾. 또한 이 방법은 탄화물생성과 관련된 합금 성분조정이 용이하고 합금첨가량의 제한도 없어 이를 이용한 새로운 특성의 분말고속도공구강 개발이 현재 활발히 시도되어 지고 있다.

저자들도 그간 분말고속도공구강의 개발차원에서 주조법에 의해 제조되는 기존의 M2 고속도공구강의 기본 합금조성에 합금원소로써 V, Co, Nb를 첨가한 새로운 특성의 분말고속도공구강개발에 착수하였다.

이들 첨가원소중 V은 1차 및 2차 탄화물생성시 MC탄화물생성을 촉진하는 원소로 알

려져 있으나 파괴인성 및 TRS 등을 고려하여²⁾ 5%로 일정하게 하고 그간 내마모성에 미치는 Co 및 Nb첨가영향을 조사하였다. 그 결과³⁾⁴⁾ 기지의 고용강화효과 및 2차탄화물 생성속도를 증가시키는 원소로 알려져 있는 Co는 산화마모를 촉진시켜 금속간접촉을 방지하므로써 내마모성에 유효한 것으로 밝혀졌으며, Nb은 V과 함께 탄화물생성원소이나 V에 비해 저렴할 뿐만 아니라 동일한 MC탄화물을 형성하더라도 고경도이고 열역학적으로 안정한 Nb-rich MC탄화물이 생성되어 이것이 내마모성향상에 기여하는 것이 밝혀졌다. 이상의 결과에서 5%Co-5%V-1%Nb의 합금조성의 분말고속도공구강을 도출할 수 있었다.

그러나 이들을 실용화하기 위해서는 실제 작동시 온도상승에 따른 이들의 마모특성변화도 필히 고려해야 할 인자임에 틀림없다. 일반적으로 절삭시 공구의 온도상승은 절삭

속도 및 절삭깊에 따라 상이하여 명확하지 않으나 절삭 chip의 온도는 최대 600~700℃ 정도에 달하는 것으로 알려져 있다⁵⁾. 그러나 절삭유사용 등을 고려하면 다소 낮을 것으로 예상되나 공구의 온도상승은 필연적이라 할 수 있다. 일반적으로 마모의 온도 의존성은 일반적으로 알려진 마모의 속도특성 및 하중특성과 유사한 경향을 나타내는 것⁶⁾으로 알려져 있다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 5%Co-5%V-1%Nb 조성의 분말고속도공구강과 시편되는 7%W-3%V-8%Co 분말고속도공구강을 여러 온도에서 마모시험하여 온도에 따른 미끄럼마모특성을 조사하고 이를 해석하였다.

2. 실험방법

2.1 시험편

본 연구에서는 5%Co-5%V-1%Nb 조성의 분말고속도공구강(이하 K재)을 시편으로 사용하였다. 아울러 비교재로써 시편의 대표적인 7%W-3%V-8%Co 조성의 분말고속도공구강(이하 A재)을 사용하였다. 이들 시편 및 비교재의 화학조성을 Table 1에 나타내었다. K재는 지금까지의 제작공정과 동일³⁴⁾하게 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 $\phi 10\text{mm}$ 환봉을 구매하여 전술한 K재와 함께 소정의 형상($\phi 5.4 \times 15\text{mm}$)으로 가공한 후 열처리를 행하였다.

열처리는 K재 및 A재를 동일한 조건으로 행하였다. 열처리공정⁷⁾은 소입온도인 1180℃에서 10분간 유지한 후 질소가스(10bar)로

소입후 560℃에서 1시간 처리하는 템퍼링처리를 3차례 반복하였다. 열처리후 경도는 K재 및 A재 공히 H_RC 65정도인 것으로 밝혀졌다.

상대재는 시편의 M2고속도공구강을 소정의 형태($\phi 75 \times 8\text{mm}$)로 가공한 뒤 시편과 동일한 조건에서 열처리를 행하였다. 열처리후 경도는 H_RC 62정도인 것으로 확인되었다.

2.2 미끄럼마모시험

미끄럼마모시험은 Pin-on-Disc형 미끄럼마찰마모시험기를 사용하였다.

이때 하중은 dead weight로 13.2N을 부가하면 시편에 작용하는 부가하중이 100N이 되는 조건을 취하였으며 시험속도는 접촉부의 선속도가 0.15, 0.45, 1.0, 1.5, 2.0m/sec가 되는 5조건을 취하였다. 이때 각 속도에서 최대 마찰거리는 4km까지로 하고 소정의 거리마다 시험을 중단하고 중량감소를 측정하여 마모량을 산출하였다.

시험온도는 상온(약 288K) 및 373K, 453K의 3온도영역에서 시험하였다. 고온시험은 $\phi 145 \times 40\text{mm}$ 의 chamber속에 시편 및 상대재를 장착하고 열풍으로 가열시켜 chamber속의 상대재의 온도를 pyrometer로 측정하여 소정의 온도에 달한 후 가동시켰다. 이때 시험중 상대재의 온도는 거의 일정한 것으로 확인되었다.

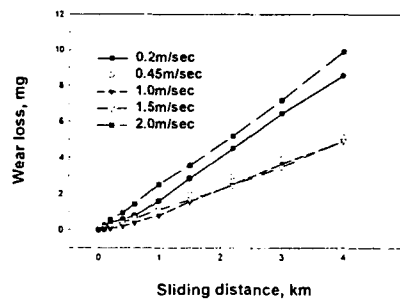


Fig.1 Wear characteristic for sliding distance(288K)

Table 1 Compositions of testpiece

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

그리고 모든시험은 무윤활상태에서 시험하였으며 시험면 및 상대재는 시험전 Abrasive paper #600으로 마무리 가공한 후 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마모시험결과

Fig.1은 마찰거리에 따른 마모량의 변화의 일례로 288K에서 시험한 K재의 경우를 나타낸 것이다.

그림에서도 보듯이 어느 것도 속도에 따라 정도는 상이하나 전반적으로 거리가 증대하면 마모량이 증대하는 일반적인 경향이었다. 그러나 작동 온도변화에 따라 동일 속도라도 마모경향이 변화하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 거리특성곡선에서 초기마모영역 및 정상마모영역으로 구분하여 각 속도에 대한 마모율을 Fig.2 및 Fig.3에 각각 A재 및 K재에 대해 나타내었다. 상온에서는 1.5m/sec까지는 A재 및 K재의 마모율이 거의 유사하나 이후에서는 A재의 마모율이 큰 것으로 밝혀졌다.

A재의 초기마모는 전반적으로 고온마모시 마모율이 커짐을 알 수 있다. 그러나 1.0 m/sec이하의 속도에서는 온도가 높아질수록 마모율이 커지나 이상의 속도에서는 오히려 373K의 마모율이 453K보다 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 정상마모영역에서 더욱 현저해 지고 있다. 이러한 사실에서 일반적으로 마모의 온도의존성도 일반적으로 알려진 속도특성곡선 및 하중특성곡선과 유사한 형태를 갖는다는 사실을 감안한다면 저속에서 1.0m/sec까지는 453K부근, 이상의 속도에서는 373K부근의 온도에서 마모의 극대치를 갖는 것으로 추측할 수 있다. 그러나 고속시에 온도상승이 현저하다는 사실을 고려한다면 453K부근임에 틀림없다.

K재의 경우는 전반적으로 온도변화에 대해 다소 변화는 보이나 A재에 비해 현저하지 않음을 알 수 있다. 그러나 초기마모의 경우는 2.0m/sec에서 453K의 경우에 급증을

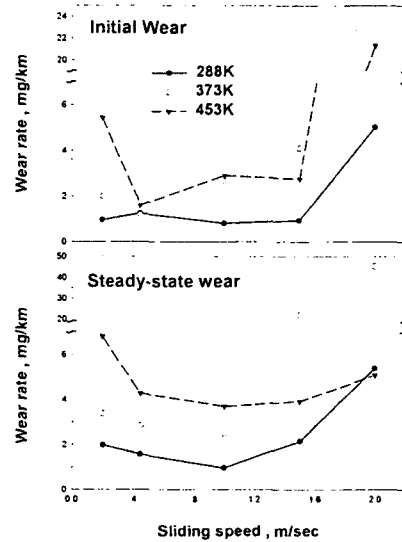


Fig.2 Wear characteristic for sliding speed (Materials A)

하고 있다. 정상마모의 경우는 0.45m/sec의 속도부근에서 온도에 따른 마모의 경향이 역전됨을 알 수 있다. 즉 0.2m/sec의 속도에서는 고온으로 될수록 마모가 적어지나 이상의

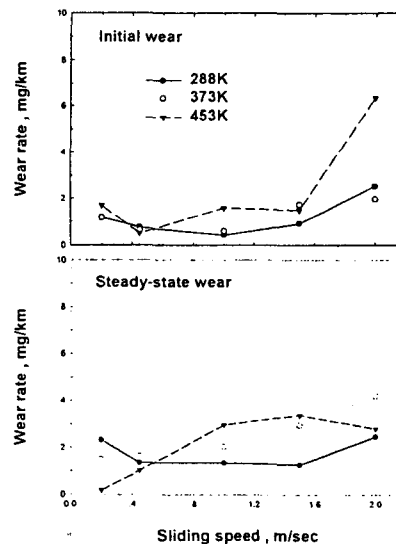
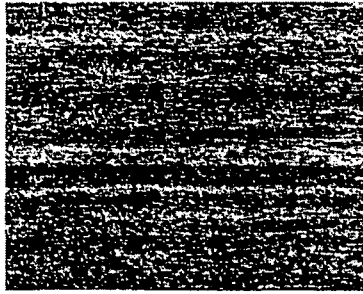
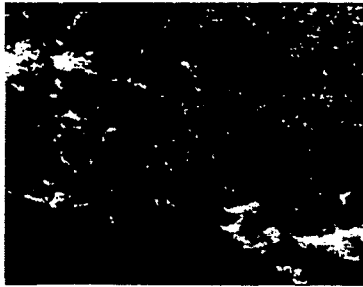


Fig.3 Wear characteristic for sliding speed (Materials K)



(a) Material A



(b) Material K

Fig.4 Micrograph on worn surface of testpiece (373K, 0.2m/sec)

속도에서는 온도증대에 따라 마모율이 증대하고 있다. 그러나 2.0m/sec시에는 A재와 동일하게 373K의 마모율이 453K의 마모율보다 높은 것으로 밝혀졌다.

결국 온도에 따른 마모율의 역전이 일어난 속도가 A재에 비해 고속측으로 이동되어 있는 것으로 추정되어 극대를 나타내는 온도가 고온이고 고온에서의 마모율도 전속도영역에서 적은 것으로 미루어 K재의 고온마모특성이 양호한 것으로 생각되어진다.

3.2 마모면 해석결과

Fig.4는 A재 및 K재의 453K, 0.2m/sec에서 시험후 시편의 마모면을 관찰한 일례를 나타낸 것이다.

마모면에는 어느 것도 지금까지의 보고와 동일하게 회색 및 흑색화합물이 관찰되었고 이

들 화합물은 EPMA분석 결과 산화물인 것으로 확인되었다.

그러나 그림에서도 알 수 있듯이 A재의 경우는 산화물층이 치밀하지 못하나 K재의 경우는 많은 량의 산화물이 존재하고 그 층도 매우 치밀하다는 것으로 밝혀졌다.

이러한 측면에서 K재는 산화물층이 마모되지 않고 그대로 잔존하나 A재의 경우는 마모과정에서 탈락되는 것으로 생각되어진다.

Fig.5는 각각 373K에서 A재 및 K재 시험후 상대재의 미끄럼방향에 수직방향으로 측정된 마모track의 profile의 일례를 나타낸 것이다.

마모면의 profile은 지금까지의 보고와 동일하게 속도가 빨라짐에 따라 groove가 적어지나 온도가 높아질수록 커지는 것으로 밝혀졌다. 그러나 전반적으로 K재의 groove가 A재에 비해 현저히 크며 특히 453K의 경우는 A재가 5 μ m정도였으나 K재는 30 μ m에 달하였다. 또한 A재에서 최대의 마모율을 나타내었던 2.0m/sec의 경우에서 보듯이 상대재에 이착현상에 의한 도출이 현저함을 알 수 있다.

Fig.6은 A재 및 K재의 453K, 0.2m/sec에서 시험한 상대재의 마모면을 관찰한 광학현미경사진의 일례를 나타낸 것이다.

A재의 상대재의 마모면도 대부분 산화물로 덮혀 있으나 시편의 것과 동일한 조성으로 확인된 이착물이 다수 관찰되고 이것은 고온시에 현저하였다. 그러나 K재의 상대재 마모면에서는 이착물은 거의 없고 산화물층만이 관찰되고 오히려 산화물층이 치밀하지 못한 것으로 밝혀져 탈락된 것으로 추정된다.

이상의 결과 K재 및 A재의 고온 내마모성은 마모과정상에 생성되는 산화물과 관련이 깊다는 것을 알 수 있다. 따라서 상온시험의 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 경우는 거

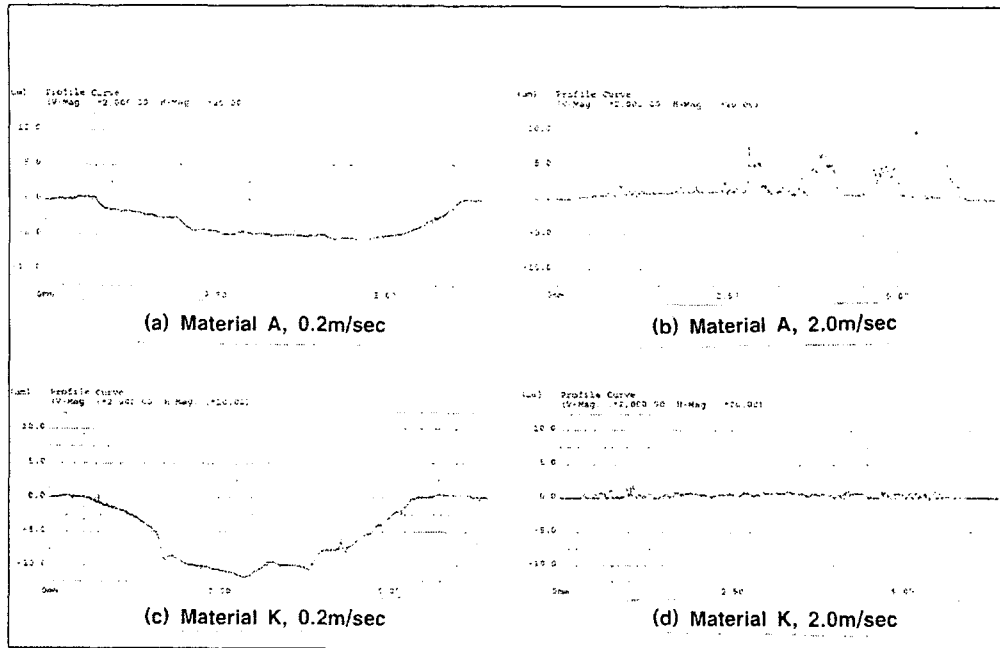


Fig.5 Profile curve on worn surface of opponent materials (373K)

의 없고 잔존하더라도 치밀하지 못한 것으로 밝혀져 결국 K재 및 A재의 내마모성차이는 온도상승에 따른 재료의 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 보고에서 밝힌 바와 같이 저속에서 모재의 산화피해를 촉진시켜 내마모성을 향상시킨다. 이러한 효과에 의해 Co량이 많이 첨가된 A재는 K재에 비해 흑색 산화물이 다소 많은 것으로 확인되었으나 현저한 차이가 없는 것으로 밝혀졌다. 일반적으로 고속도공구강의 우수한 성능은 모재뿐만 아니고 미세하게 석출하는 탄화물에도 크게 영향을 받는다. 그런데 Co는 탄화물생성에 직접적인 영향을 미치지 않는다는 사실을 고려한다면 K재의 고온 내마모성향상의 원

인은 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 것으로 알려져 있다. 이러한 측면에서 K재의 경우는 A재에 비해 MC탄화물 생성원소인 V을 다량으로 함유하고 있고 이와 유사한 역할을 하는 Nb이 첨가되어 생성되는 탄화물이 열역학적으로 안정할 뿐만 아니고 고경도인 Nb-rich MC탄화물이 다량으로 석출하기 때문에 모재강화 및 응착력감소로 이어진 것이 분명하다. 아울러 지난 보고에서 밝힌 바와 같이 Nb첨가에 따른 합금성분 제조정에 따른 모재강화도 가산되어 고온에서의 전단강도감소도 적었기 때문으로 생각된다.

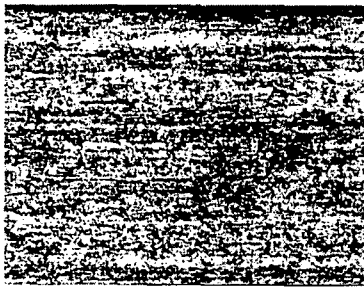
4. 결론

5%Co-5%V-1%Nb조성의 분말고속도공구

강과 시판되는 7%W-3%V-8%Co분말고속도 공구강을 여러 온도에서 마모시험하여 온도에 따른 미끄럼마모특성을 조사하고 이를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.



(a) Material A



(b) Material K

Fig.6 Micrograph on worn surface of opponent material (373K, 0.2m/sec)

- 1) 분말고속도공구강의 내마모성은 마모과정 시 생성되는 산화물에 크게 의존하는 것으로 밝혀졌다. 결국 저온에서의 마모특성은 모재의 산화마모에 의한 산화물생성에 영향을 받으나 고온에서는 온도상승에 의해 생성하는 고온산화물의 영향이 지대하다.
- 2) 분말고속도공구강의 고온 내마모성은 이들 산화물층의 탈락여부를 좌우하는 기지의 고온 전단강도에 의존하는 것으로 밝혀졌다.
- 3) 분말고속도공구강의 고온에서의 내마모성과 관련된 고온전단강도는 탄화물의 성상변화 및 이로 인한 기지의 강화효과를 수반할 수 있는 V 및 Nb 등과 같이 원소의 복합첨

가가 유효한 것으로 밝혀졌다.

5. 참고문헌

1. 宮川大海, "鉄鋼材料学", 朝倉書店, 日本 188, 1982
2. 김용진, 배종수, 정현식, 대한금속학회 학술강연발표개요집, pp341, 1996
3. 이한영, 배종수, 김용진, 윤활학회지, 15, 2, pp156, 1999
4. 이한영, 배종수, 김용진, 윤활학회지, 16, 3, pp194, 2000
5. Geoffrey Boothroyd, "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, McGraw-Hill, pp96(1975)
6. 佐田登志夫, 日本潤滑学会, 第7回 夏期セミナー講義録 "摩耗"
7. 이한영, 배종수, 김용진, 열처리공학회지, 13, 6, pp405, 2000
8. 이은식, 박우진, 정재연, 안상호, 대한금속학회지, 35, 6, pp784, 1997
9. S.Karagoz and H.F.Fischmeister, Metal. Transaction A, 19A,6(1988)1395