

분말고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 Co의 영향

이한영 · 배종수* · 김용진*

계명대학교 재료공학과
*한국기계연구원 재료공정연구부

The Effects of Cobalt on Wear and Friction 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—The mechanical characteristics of the high speed steel by powder metallurgy process (PM-HSS) has been reported to improve with several alloying constituents, such as high carbon, vanadium and cobalt. In this paper, sliding wear test has been conducted using a pin-on-disc machine for three PM-HSS which contains 0%, 5% and 12% cobalt respectively, in order to evaluate the effect of cobalt on wear properties of PM-HSS. The results of this study showed that the wear resistance of PM-HSS has been increased by the addition of cobalt on the range of experimental friction velocities. When compared with the effect of addition of cobalt, the wear resistance of PM-HSS with 5% cobalt has been found to be superior to that of PM-HSS with 12% cobalt.

Key words—high speed steel, powder metallurgy, cobalt, wear, friction.

1. 서 론

고속도공구강은 현재 각종 가공용 공구와 금형 등의 각종 산업부품의 소재로 널리 사용되고 있다.

이러한 고속도공구강은 일반적으로 주조법으로 제조하고 있으나 이때 조직상에는 탄화물의 편석이 발생하여 크기가 불균일할 뿐만 아니라 방향성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 탄화물의 형태와 분포는 고속도공구강의 열처리시 변형문제를 초래하고 고속도공구강의 각종 특성에도 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[1-3].

최근은 이러한 고속도공구강을 분말야금기술을 응용하여 제조하는 공정이 개발되어 전술한 단점의 개선은 물론 이 공정은 합금원소의 조정이 용이하고 첨가량 제한도 없어 현재 이 기술을 이용한 새로운 특성의 분말고속도공구강의 개발측면의 연구도 활발히 이루어지고 있다[1-11].

현재 새로운 특성의 분말고속도공구강의 개발은 주로 V와 Co의 조정에 의해 이루어지고 있으나 이중 V의 첨가량은 이미 많은 연구에 의해 대부분 3~5% (1.2~7.0%) 정도인 것으로 밝혀졌다. 이에 반해 Co의 경우는 적용범위가 0~12%로 매우 넓은 것으로 확인되었다[1]. 이러한 사실은 Co가 고가인 관계도 있으나 그 영향이 아직 불명확하기 때문인 것으로 추측된다. 이것은 대부분의 분말고속도공구강에 대한 연구결과에서는 분말 고속도공구강의 주요 특성중 하나인 내마모특성에 대한 조사가 실제와 상이한 조건에서 수행되고 있기 때문으로 생각된다. 예를들어 일반적으로 재료의 마모특성은 상대재의 종류, 마찰속도, 하중 등의 여러 인자에 의해 변화[12]함에도 불구하고 분말고속도공구강 관련 많은 연구결과[2-11]에서는 대부분 특정속도와 특정하중에서 마모량을 상대비교를 하고 일부 연구에서는 세라믹스재료를 상대재로 채용하고 있어 정확한 마찰마모특성규명이 미흡하다

할 수 있다.

이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 기존의 M2 고속도공구강에 V를 5%첨가하고 Co함유량을 0%, 5%, 12%로 변화시킨 3종류의 분말고속도공구강을 제작한 뒤 일반주조법으로 제작한 공구강을 상대재로 하여 각각의 마모특성을 평가하고 내마모성에 미치는 Co의 영향을 조사하였다.

2. 시험방법

2-1. 시편제작

본 연구에서는 기존의 M2 고속도공구강의 성분분말에 탄화물 생성원소인 V를 5% 첨가하고 기지강 화원소로 알려진 Co를 0%, 5%, 12%로 각각 변화시켜 진공소결 및 용해후 Gas Atomizer에 의해 3종류의 합금분말을 제조하였다. 그 뒤 각각 Canning, Hiping, Swaging 공정을 거쳐 $\Phi 7.5$ mm 봉재로 제조하고 Annealing을 하였다[4]. 그 뒤 소정의 시편형상($\Phi 4 \times 17$ mm)으로 가공한 후 $850^{\circ}\text{C} \times 30$ 분, $1170^{\circ}\text{C} \times 10$ 분으로 단계별 가열하고 소입한 후 550°C 에서 1시간 유지한 뒤 공랭하는 템퍼링처리를 3차례 반복하였다.

상대재는 주조법으로 제작되어 시판되는 Mo계 고속도공구강인 M2(AISI)와 Cr계 고속도공구강인 H13(AISI)의 2종류를 소정의 형태($\Phi 65 \times 10$ mm)로 가공한 뒤 각각 일반적으로 알려진 열처리를 하였다.

이때 경도는 0% Co시편(이하 0Co)이 H_{RC} 62.1, 5% Co시편(이하 5Co)이 H_{RC} 64.3, 12% Co시편(이하 12Co)이 H_{RC} 65.2이고 상대재인 M2는 H_{RC} 61.5, H13은 H_{RC} 56.0 정도임이 확인되었다.

시편 및 상대재의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2-2. 마모특성시험

마모시험은 Fig. 1과 같은 Pin-on-Disc형 미끄럼 마찰마모시험기에서 행하였다.

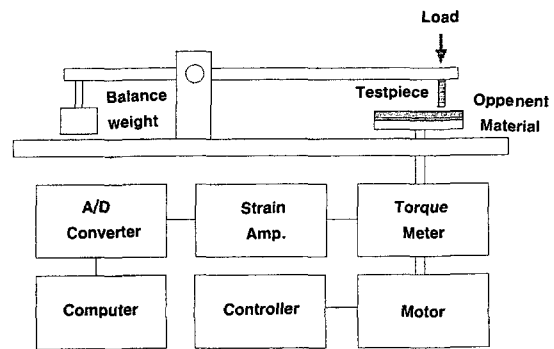


Fig. 1. Schematic diagram of Pin-on-disc type sliding wear tester.

시험시 마찰속도는 2~8 m/sec까지 7속도를 선정하였으나 이러한 속도범위는 일반적으로 행하는 절삭속도인 0.75~1.7 m/sec(45~100 m/min)보다 다소 큰 것을 알 수 있다. 그러나 일정하중에서 속도에 대한 마모특성곡선이 하중변화와 정성적인 관계[13,14]를 가지고 변화하므로 이를 고려하여 시험하중을 5.68 N으로 하여 실제와 유사한 조건이 되도록 하였다.

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.

상대재는 주로 M2재를 사용하였고 H13은 상대재의 경도변화에 따른 마모특성변화를 조사하기 위해 사용하였다.

시편 및 상대재의 접촉면은 시험전에 400# Abrasive Paper로 연마하여 조도를 일정하게 한 뒤 시험에 착수하였으며 마모시험은 건조상태에서 대기중에서 행하였다.

마찰계수측정은 Torque 메터를 이용하여 마모시험시 0~0.2 km, 1.0~1.5 km, 4.5~6.0 km의 3영역에서 마모시험과 동시에 계측하였다.

Table 1. Composition of testpiece and opponent materials

		C	Si	Cr	Mo	W	V	Co	Fe
Testpiece	0Co	1.84	-	4.3	4.9	6.0	5.19	-	bal.
	5Co	1.70	-	4.3	4.9	6.0	5.13	5.29	bal.
	12Co	1.93	-	4.3	4.9	6.0	4.48	11.90	bal.
Oponent Materials	M2	1.00~1.10	0.4>	3.8~4.5	4.8~6.2	5.5~6.7	2.30~2.80	-	bal.
	H13	0.32~0.42	0.8~1.2	4.5~5.5	1.0~1.5	-	0.80~1.20	-	bal.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 마모특성평가

Fig. 2는 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 초기마모영역과 정상마모영역의 구분은 직선의 상관계수의 변화 및 초기마모영역의 마모율 계산정도를 고려하여 일괄적으로 0.4 km까지를 초기마모영역으로 하

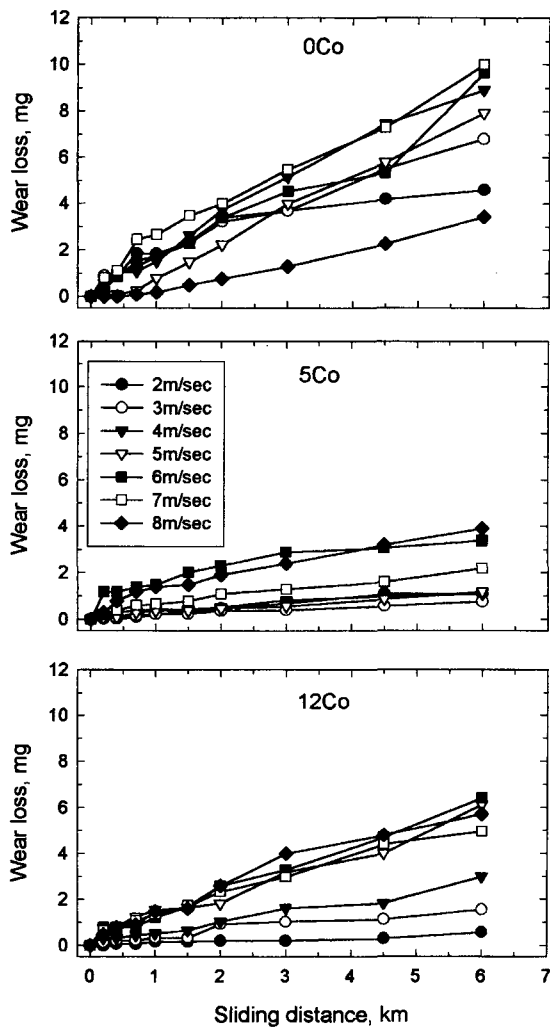


Fig. 2. Wear characteristics for distance at various sliding speed (opponent material: M2).

고 이후를 정상마모영역으로 취하였다.

Fig. 3은 3종류의 시편에 대해 마찰속도에 따른 초기마모영역과 정상마모영역에서의 마모율을 각각 비교한 것이다.

일반적으로 알려진 바와같이 전반적으로 초기마모영역의 마모율이 정상마모영역의 마모율에 비해 큰 것으로 밝혀졌다. 또한 속도증가에 따른 이들의 변화는 어느 것도 일정속도에서 마모율이 급증하고 이후에 거의 일정해 지는 형태임을 알 수 있다. 그리고 Co 첨가에 따른 영향은 2 m/sec에서는 거의 볼 수 없으나 그 이상의 속도에서는 내마모성이 향상되는 것으로 밝혀졌다. 특히 초기마모영역의 3 m/sec 및 4 m/sec에서는 그 영향이 현저하고 마모율이 급증하는 속도도 Co 첨가에 의해 고속도 측으로 이동함을 알 수 있다. 또한 5Co의 경우는 마모율이 급증하는 속도가 가장 고속측에 있고 및 마모율도 가장 적은 것으로 밝혀져 내마모성이 우수한 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Co의 첨가가 내마모성향상에 기여한다는 사실은 분명하나 Co에 의한 내마모성향

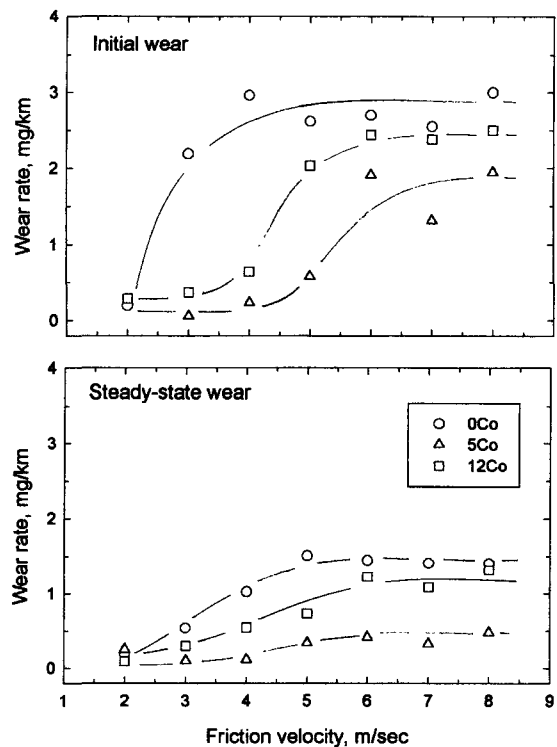


Fig. 3. Wear characteristics for friction velocity (opponent material: M2).

상을 최대로 하는 적정의 Co 함유량이 존재한다는 사실을 시사하는 것으로 생각된다. 그러나 5Co의 마모율이 정상마모영역에서 최대 약 0.5 mg/km 정도인 점을 생각하면 최적의 Co함유량은 거의 이 조성 부근인 것이 분명하다.

Fig. 4는 0Co 및 5Co의 마찰속도 2 m/sec, 5 m/sec, 7 m/sec에서 시험한 시편의 마모면의 사진을 나

타낸 것이다.

그림에서도 알 수 있듯이 0Co의 2 m/sec의 경우는 일부 응착마모된 영역이 관찰되나 대부분 마모면에 회색의 화합물이 관찰되고 속도가 커짐에 따라 그 양이 많아 진다는 것을 알 수 있다. 특히 5Co의 경우는 회색의 화합물외에 흑색의 화합물도 관찰되나 이 흑색의 화합물은 속도가 커질수록 적어 진다

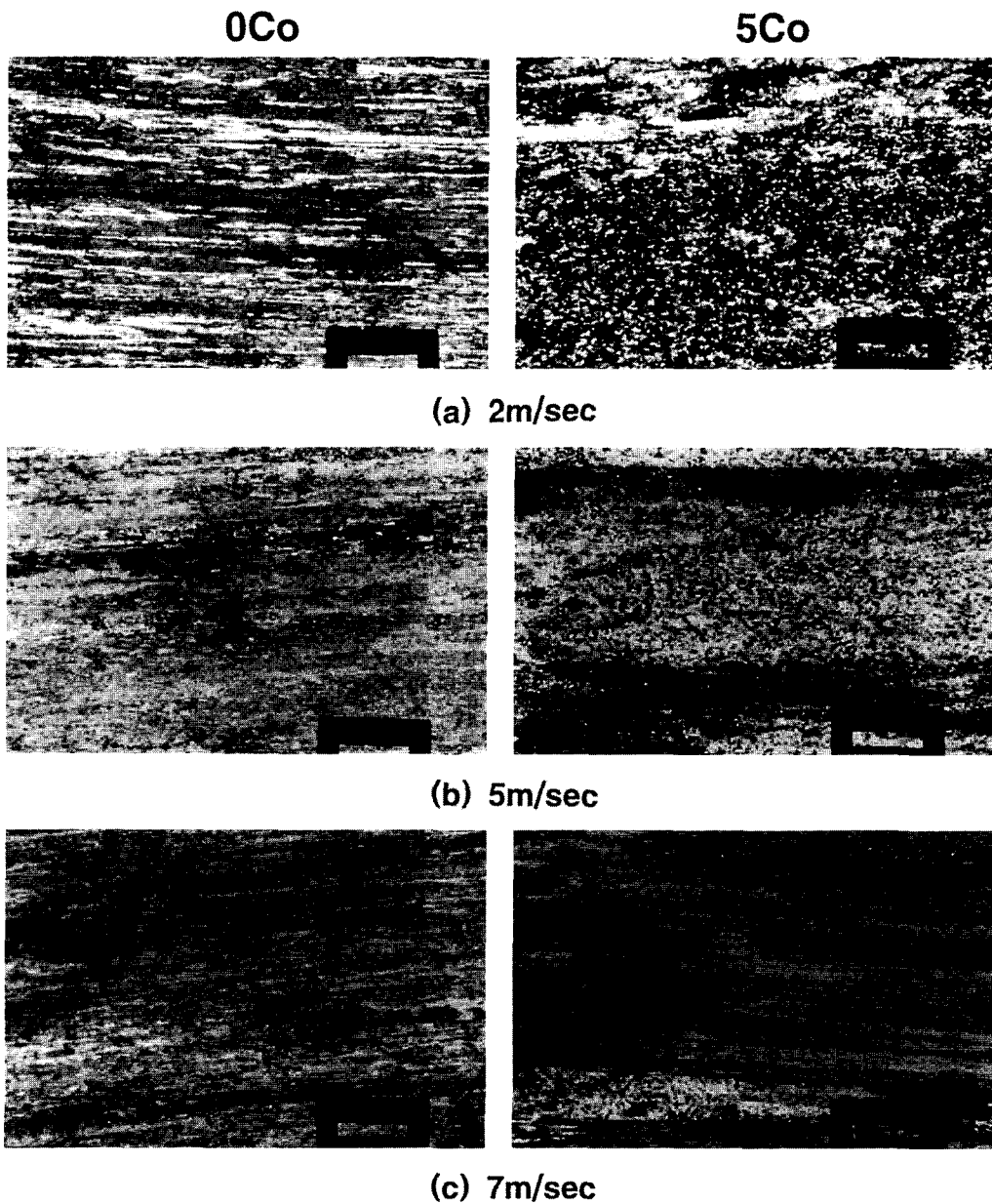


Fig. 4. Morphology of worn surface (×50).

는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 12Co의 경우도 동일하였으나 상대재의 경우는 Co 첨가와 관계없이 회색의 화합물만이 관찰되는 것으로 밝혀졌다.

Fig. 5는 5Co를 4 m/sec에서 시험하였을 때 시편에서 관찰된 회색 및 흑색의 화합물을 EPMA로 분석한 결과를 나타낸 것이다. 어느 것도 산소가 관찰되어 이들 화합물은 산화물임을 알 수 있다. 또한 회색의 산화물의 경우는 V이 약 5.55% 정도이고 W 6.39%, Mo 4.38%로 성분조성과 유사하여 MC 탄화물을 포함한 기지의 산화물인 것으로 추측되고 흑색의 산화물의 경우는 V이 약 1.69%이고 W 4.63%, Mo 3.36%로 성분조성보다 적으나 Fe가 커져 Fe를 주축으로 하는 기지의 산화물인 것으로 추측되어 진다.

Fig. 6은 0Co 및 12Co 시편의 2 m/sec 및 7 m/sec에서 마모시험한 상대재의 마모track면을 표면조도계를 이용하여 미끄럼방향에 수직으로 측정된 단면곡선을 나타낸 것이다.

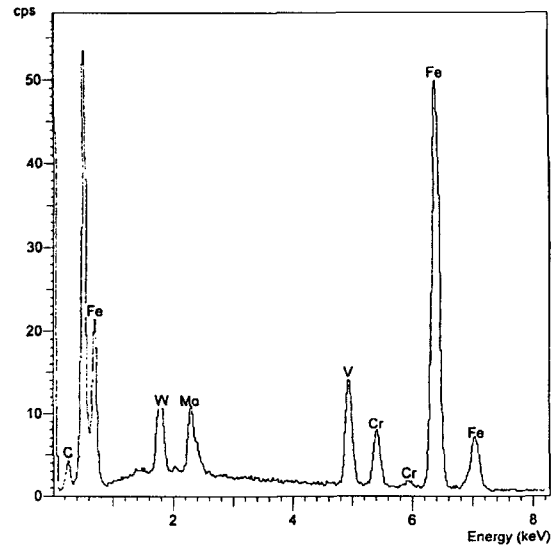
2 m/sec의 경우는 명확한 마모면의 groove가 관찰되고 있음을 알 수 있으나 고속도영역에서는 전혀 groove가 없음을 알 수 있다. 이러한 경향은 다른 시편의 경우에도 동일한 경향인 것으로 확인되었다.

일반적으로 Co는 Austenite의 안정화원으로 알려져 있으므로 Co첨가에 의해 기지중에 탄소함유량이 커질 것이 분명하다. 이러한 상황은 산화마모경향이 현저해 지는 조질처리한 철강재료의 경우[14]와 유사해져 Co 첨가 시편의 저속시험시 관찰되는 흑색의 산화물은 산화마모에 의해 생성된 산화물인 것으로 사료된다.

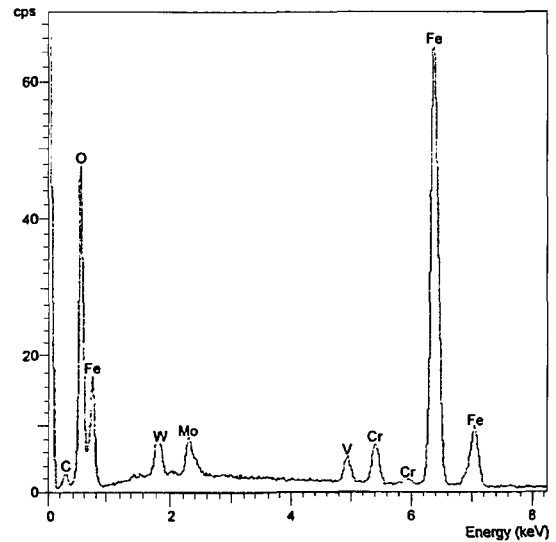
회색산화물의 경우는 속도증가에 따라 그 양이 많아지므로 온도상승시에 발생하는 고온산화물로 예상된다. 이러한 사실은 Fig. 5의 EPMA의 결과와도 상응된다 할 수 있다.

결국 저속도영역에서 분말고속도공구강은 Co 첨가에 의해 산화마모에 의한 산화물발생을 촉진하여 금속간접촉을 방지하고 고속시는 산화마모에 의한 흑색산화물은 적어지나 고온산화물이 증대하여 금속간접촉이 방지되므로 내마모성이 향상된다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 Co 함유 분말고속도공구강의 마모는 전속도영역에서 내부전단에 의해 발생하므로 전단강도가 내마모성을 좌우한다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 마찰면의 온도측정을 하지 않았으나 시험편 및 상대재의 형상을 고려하면 시험편의 온도상승의 정도가 상대재보다 클 것으로 예상된다.



(a) Gray compound



(b) Black compound

Fig 5. Results of EPMA (5Co, 4 m/sec).

이러한 측면에서 저속도영역에서는 온도상승이 적어 시편보다 상대재의 전단강도가 낮으므로 주로 상대재에서 마모가 발생한 것으로 생각된다. 그러나 고속도영역에서는 속도증가에 따라 시편의 온도상승이 상대재보다 크므로 시편의 전단강도 감소로 대부분 시험편에서 마모가 발생한 것으로 추측되어 진다(Fig. 6).

또한 12Co에 비해 5Co가 내마모성이 우수한 이유에 대해서는 불명확하나 Co 함유 분말고속도공구강

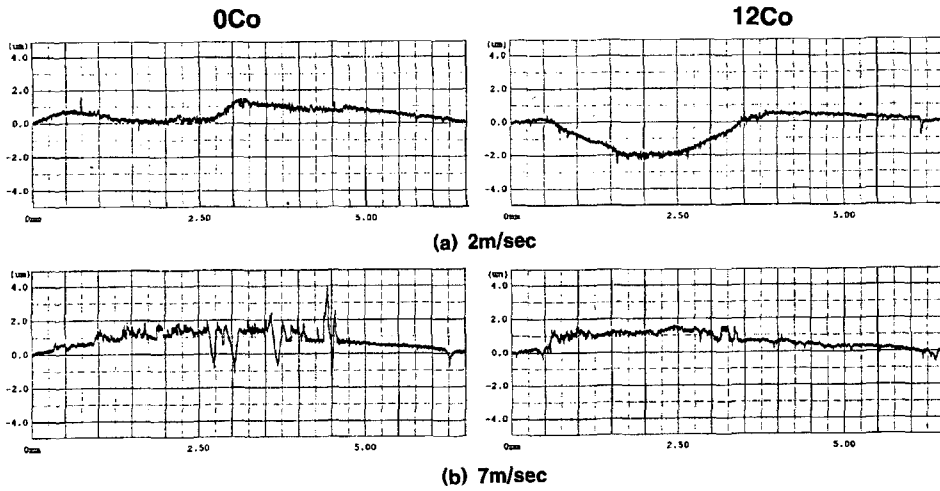


Fig. 6. Profiles of worn surface of opponent material.

의 마모는 상대재와의 전단강도의 대소에 의해 결정된다는 사실을 고려하면 5Co의 전단강도가 12Co보다 크기 때문에 추측된다. 이러한 사실은 분말고속도공구강의 3점굽힘강도가 Co를 2.5%~9.0% 함유할 때 최대를 나타낸다는 결과⁴⁾에서 유추할 수 있다.

3-2. 상대재변화에 따른 마모특성변화

상대재의 경도변화에 대한 마모특성을 비교하기 위하여 상대재를 H13으로 하여 0Co 및 12Co에 대해 동일한 조건에서 시험하였다.

이 경우의 거리에 따른 마모량의 변화는 M2 상대재의 경우와 마찬가지로 마모량이 거리에 대해 거의 직선적으로 증가하였다.

Fig. 7은 각속도에 따른 초기마모영역 및 정상마모 영역에서의 각각의 마모율을 비교한 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 M2 상대재의 결과(Fig. 3)와 유사한 형태이고 Co의 영향도 동일하다는 것을 알 수 있다. 그러나 마모율이 급증하는 속도가 고속측으로 이동한 형태임을 알 수 있다. 이것은 상대재의 전단강도가 M2에 비해 적으므로 시편으로의 마모천이가 늦어지기 때문에 추측된다.

또한 그림에서 8 m/sec의 마모율이 M2 상대재시의 마모율과 거의 유사하다는 것을 알 수 있다. 이것은 이경우의 마모가 상대재보다 온도상승폭이 큰 시편측에서 발생하기 때문에 시편의 전단강도가 상대재의 전단강도보다 적어지면 마모율은 상대재의 종류와 무관해 지기 때문에 생각된다.

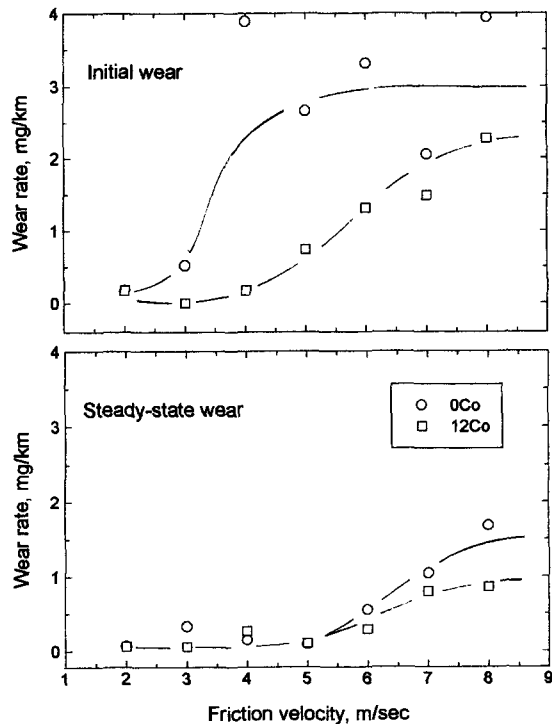


Fig. 7. Wear characteristics for friction velocity (opponent material: H13).

3-3. 마찰특성평가

Fig. 8은 M2를 상대재로 한 시험시 각 속도에서 측정된 마찰계수를 나타낸 것이다.

초기마모시의 마찰계수는 0~0.2 km까지의 전 마

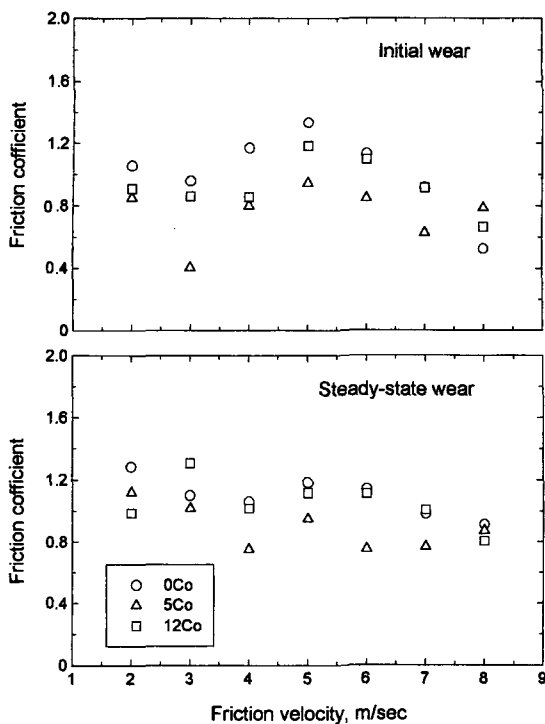


Fig. 8. Variation of friction coefficient for friction velocity (opponent material: M2).

찰계수의 평균치이고 정상마모시의 마찰계수는 1.0~1.5 km와 4.5~6.0 km에서 측정된 전 마찰계수의 평균치이다.

전반적으로 0Co와 12Co의 마찰계수의 차이는 거의 없으나 5Co의 경우는 마찰계수가 다소 적다는 것을 알 수 있다.

초기마모영역에서의 마찰계수는 저속도에서 일정하다가 5 m/sec에서 최대를 보이고 감소하는 것을 알 수 있다. 초기마모영역에서는 산화물의 발생 특히 고온산화물의 발생이 적어 금속간접촉이 발생할 것이 예상된다. 따라서 저속도에서는 전단부위가 상대재이므로 거의 일정하다가 5 m/sec 부근에서 온도 상승으로 시편의 마모로 상대재에 이착되어 동일재료간의 마찰로 되면서 마찰계수가 상승하는 것으로 추측된다. 그 후는 온도상승에 따라 시편의 전단강도 감소로 마모가 용이해져 마찰계수가 감소하고 있다.

정상마모영역에서는 충분한 마찰시간에 의해 이미 상당량의 산화물발생으로 거의 일정하다가 온도상승에 따라 마찰계수가 감소하는 것으로 생각된다. 또한 저속도영역에서 정상마모영역의 마찰계수가 초기

마모영역시의 값보다 큰 것으로 밝혀졌으나 이것은 충분한 마찰시간에 의해 진접촉면적의 증대에 의한 것으로 생각된다. 또한 5Co의 마찰계수가 다소 적은 것은 역시 흑색산화물의 존재로 금속간접촉을 방지하고 전단강도가 커서 계면전단이 발생하기때문으로 추정된다.

H13를 상대재로 한 시험시 각 속도에서 측정된 마찰계수의 결과에서도 초기마모영역 및 정상마모영역 관계없이 거의 유사한 형태임이 확인되었으나 저속도 영역에서는 M2시의 마찰계수보다 적고 고속도영역에서는 거의 유사한 것으로 밝혀졌다. 이것은 저속도에서는 상대재에서 고속시는 시험편에서 마모가 발생하기 때문으로 추측되었다.

4. 결 론

분말 고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 Co의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Co는 분말 고속도공구강의 내마모성을 현저히 향상시킨다. 이러한 효과는 산화물 생성을 촉진하고 기지를 강화하는 작용에 의한 것으로 밝혀졌다.
2. Co 첨가 분말 고속도공구강의 내마모성은 기지와 상대재의 전단강도 크기의 대소에 의존한다.
3. 내마모성을 최대화 하는 Co의 적정첨가량이 존재하며 그 조성범위는 전단강도를 최대화 하는 범위인 것으로 밝혀졌다.
4. Co는 분말 고속도공구강의 마찰계수를 감소시킨다.

참 고 문 헌

1. ASM international handbook Committee, "Metal Handbook," Vol.1, pp.780, 1990.
2. Bratt, R. W., "Recent Developments in Crucible Particle Metallurgy Tool Steels," Metal Powder Report, Vol.9, pp.475-486, 1983.
3. Ishii, K., Hayasaka, T., Endoh, E., Abe, T. and Kamitsuma, Y., "Full Density Sintered High Speed Steel with Good Wear and Pitting Resistance," Metal Powder Report, Vol.6, pp.533-538, 1986.
4. 김용진, 배종수, 정현식, "분말 고속도공구강에서의 V 및 Co첨가 영향연구," 대한금속학회 학술강연발표개요집 pp.341, 1996.
5. 이은식, 박우진, 정재영, 안상호, "Hot Isostatic Pressing으로 제조된 고속도강의 탄화물 조직과 기계적 성질," 대한금속학회지 Vol.35, No.6, pp.784-

- 793, 1997.
6. Queeney, R. A., Maters, R. E., Beltz, R. J. and Dankoff, J. D., "Wear Resistance of Al₂O₃- Reinforced High Speed Tool Steel," *Modern Developments in PM*, Princeton, Vol.20, pp.409-419, 1988
 7. Hirano, M., Kawai, N., "Effect of Nitrogen on High Speed Steels," *Metal Powder Report*, Vol.7, pp.527-531, 1986.
 8. Queeney, R. A., Beltz, R. J. and Dankoff, J. D., "Mechanical Behaviour of ceramic Reinforced High Speed Tool Steels," '90 World Confer, on PM, Vol. 2, pp.107-112, 1990
 9. Bolton, J. D. and Gant, Andrew J., "Properties of Sintered High Speed Steel Matrix Composites Designed for Enhanced Wear Performance," *Adv. in Powder Metallurgy and Particulate Materials*, Vol.5, pp. 16-(3-16), 1996.
 10. Stasko, W., Pinnow, K. E. and Eisen, W. B., "Development of Ultra-High Vanadium Wear Resistant Cold Work Tool steels," *Adv. in Powder Metallurgy and Particulate Materials*, Vol.5, pp.17-(179-188), 1996.
 11. Kothari, Navin C., "The Effects of Heat Treatment and Vanadium content on Wear Properties of Pm-Hipred M2 Steel," *Pro. 2nd Pacific Rim Inter. Confer.* pp.511-516, 1995.
 12. 笹田 直, "磨耗試験法と磨耗法則," *日本潤滑學會第5回磨耗シンポジウム*, pp.21-30, 1973.
 13. 예를들어 佐田登志夫, "磨耗," *日本潤滑學會第7回夏期 세미나- 講義錄*, pp.1-51, 1972.
 14. 葉山房夫, "金屬合金의磨耗現象의基礎," *丸善* pp.128, 1987.