

통전 가압 소결된 Co 소결체의 마멸 거동

강석하* · 김태웅** · 김용석*

Sliding wear behavior of electro-pressure sintered cobalt

S. H. Kang, T.-W. Kim, and Y.-S. Kim

Abstract

Dry sliding wear behavior of electro-pressure sintered Co, Co-20 wt.% CuSn and Co-20 wt.% WC composites were investigated. Wear tests of the materials were carried out using a pin-on-disk wear tester at various loads of 10N-100N under a constant sliding speed condition of 0.38m/s against glass (83% SiO₂) beads. Sliding distances were varied with a range of 100m-600m. A scanning electron microscopy was used to examine morphologies of worn surfaces, cross-sections, and wear debris. The Co-20 wt.% WC composite had the highest and the Co-20 wt.% CuSn composite showed the lowest wear resistance among the tested materials. All specimens exhibited low friction coefficients ranging from 0.12 to 0.4 at the applied load of 100N.

Key Words: Dry Sliding Wear, Co, Co-20 wt.% WC, Co-20 wt.% CuSn, HCP metal

1. 서 론

고온 가압 소결된 HCP 격자구조의 Co와 Co 기지(base) 분말은 써멧(thermet) 등과 같은 내 마멸용 복합소재의 기지금속으로, 건설, 기계, 전자 분야에서 널리 사용되어지고 있다 [1]. 이에 따라, Co 와 Co 기지 합금 소결체의 마멸 특성 분석은 그 산업적 응용 측면에서 중요하고, 이미 많은 연구자들에 의해 그 마멸 특성이 연구 보고 되어져 있다 [1-5]. D.H. Buckley 등은 HCP 및 그 합금의 마찰 및 마멸 특성에 대하여 연구 하였으며, HCP 금속 및 그 합금의 낮은 마찰계수는 결정학적 슬립계의 영향이라 주장하였다 [2]. F.G. Wilson 등은 고온 가압 소결된 Co의 마멸 특성에 대해 연구하고, 고온 가압 소결된 Co의 마멸 특성은 기지 내 기공(porosity)의 양에 크게 영향을 받는다고 주장하

였다 [3]. Co와 Co 기지 합금 및 그 소결체에 대한 연구는 마찰 및 마멸에 대하여서 만이 아니고, 그 상변태에 대하여서도 활발히 진행되었다 [6-10]. A.R. Troiano 등은 열처리에 따른 Co에서의 HCP 및 FCC상의 분율 변화에 대해 연구하였으며, 연구 결과 열처리 조건에 따라 상온에서 Co에는 HCP와 FCC의 두 상이 혼재한다고 보고 하였다 [6]. 또한 P. Huang과 J. Sort 등은 Co의 응력유기 마르텐사이트 상변태에 대하여 연구하였다 [7, 8]. 연구 결과 Huang은 변형율의 증가와 함께 Co 기지 내 HCP 상분율이 증가한다고 보고 하였으며 [7], Sort는 Co의 밀링가공 및 고압 비틀림 시험을 통하여 가공 시간이 증가함에 따라 Co 내의 HCP 분율은 감소한다고 보고하였다 [8].

그러나 이와 같은 다수의 연구 결과는 서로 상충하는 부분이 있고, 고온 가압 소결된 Co 및 Co

* 국민대학교 신소재 공학부

** 이화다이아몬드공업㈜ 기술연구소

기지 분말 소결체의 마멸 거동과 마멸기구는 아직 명확히 규명되어 있지 않다.

본 연구는 고온 가압 소결된 Co 및 Co 기지 분말 소결체의 마멸 특성 및 마멸 기구 규명을 목적으로 수행되었다.

2. 실험 방법

2.1 시험 시편

본 연구에 사용된 소재는 전기통전 방식에 의해 고온 가압 소결된 Co와 Co-20 wt.% CuSn, Co-20 wt.% WC 복합재료이다. 원소 분말을 볼밀(ball mill)을 이용하여 혼합한 후, 고온 가압 소결하여 직경 25mm 두께 4.5mm의 디스크 형태로 시험 시편을 제작하였다. 제작된 시편의 표면은 마멸 시험의 정확성을 위해 0.1 μ m의 조도로 일정하게 미세 연마되었다. 그림 1에 고온 가압 소결된 시편의 실제 밀도와 이론 밀도를 비교하였다. 시편의 실제 밀도와 이론밀도의 차이가 작고, 이는 시편 내 기공의 양이 매우 적은 것을 나타낸다.

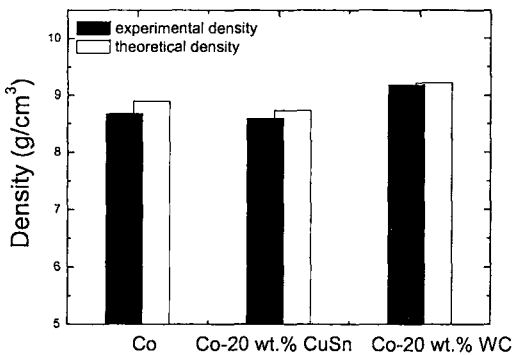


Fig. 1 Comparison of experimental and theoretical densities of the sintered materials used.

2.2 미끄럼 마멸 시험

Pin-on-disk 마멸 시험기를 사용하여 상온 대기 중에서 소결체의 미끄럼 마멸 시험을 실시하였다. 소결체의 마멸상대재로는 SiO₂가 83% 함유된 glass를 사용하였다. 마멸 시험 시 일정한 마멸 조건을 유지하기 위하여 시험온도는 23 \pm 2 $^{\circ}$ C, 습도는 40 \pm 5%로 일정하게 하였다. 마멸 트랙 반경은 9mm, 미끄럼 속도는 0.38m/s로 일정하게 유지되었다. 마멸 하중과 마멸거리는 각각 10N~100, 100m~600m로 변화되었다. 시험 중 연속적으로 마

찰계수를 측정하였고, 시편의 마멸량은 마멸 시험 전후의 디스크 시편의 무게변화를 정밀도 10⁻⁵g의 저울로 측정하여 계산하였다. 마멸속도는 측정된 시편의 무게 변화량을 시편의 밀도로 나눈 값을 다시 마멸 거리로 나누어 계산되었다.

3. 결과 및 고찰

시험된 각 소결체의 하중에 따른 마멸 속도의 변화를 그림 2에 나타내었다.

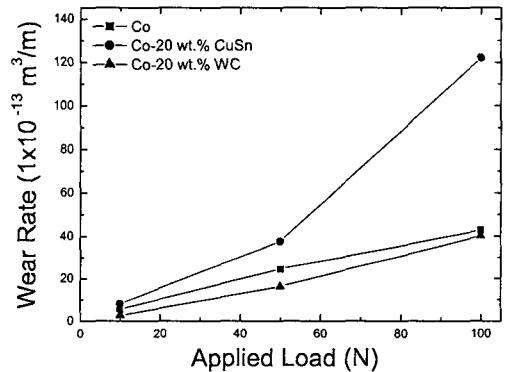


Fig. 2 Variation of wear rates of the sintered materials as a function of load

Co-20 wt.% CuSn 시편이 가장 높은 마멸 속도를 나타내었고, Co-20 wt.% WC 시편이 가장 낮은 마멸 속도를 나타내었다. 상대적으로 낮은 하중 조건인 10 N 에서 세 시편 모두 10 \times 10⁻¹³ m³/m 이하의 낮은 마멸 속도를 나타내었다. 적용하중이 증가함에 따라 Co-20 wt.% CuSn 시편의 마멸속도는 급격히 증가하였다. Co-20 wt.% WC 시편은 시험된 전 하중 범위에서 Co보다 낮은 마멸 속도를 보였다. 그림 3에 각 시편의 마멸 단면 및 마멸 입자를 SEM으로 관찰한 결과를 나타내었다. 그림 3의 SEM 사진들은 세 시편의 마멸 기구가 각각 서로 다른 것을 보인다. Co 시편의 경우, 5 μ m 이하의 얇은 두께로 표면이 박리되며 마멸 입자가 발생하였으나 (그림 3 (a)), Co-20 wt.% CuSn 시편에서는 연신된 CuSn과 Co 기지 사이에서 균열이 발생하고 전파하는 양상과, 큰 크기의 마멸입자가 관찰되었다 (그림 3 (b), (d)). Co-20 wt.% WC 시편의 경우에는 다른 두 시편과는 달리 마멸면에서 판상 마멸 입자를 생성시키는 균

열이 관찰되지 않았고, 마멸입자의 크기 또한 매우 미세하였다 (그림 3 (c), (e)).

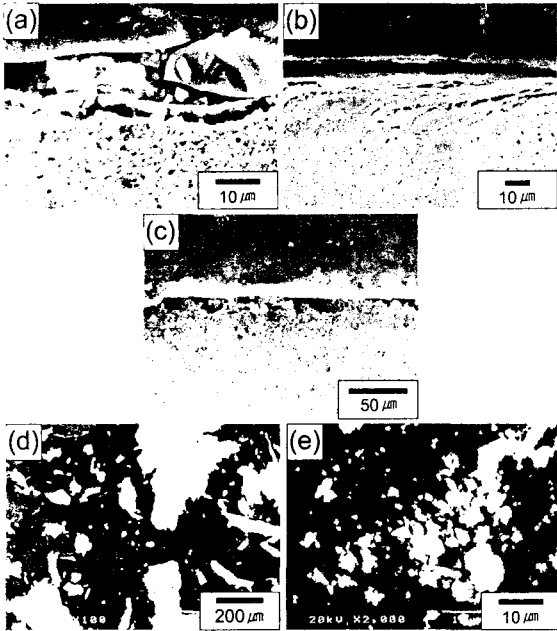


Fig. 3 SEM micrographs of cross sections and wear debris of the sintered materials tested at the load of 100N: Co (a), Co-20 wt.% CuSn (b, d), Co-20 wt.% WC (c, e).

Co-20 wt.% CuSn 시편이 Co 시편에 비해 낮은 마멸 속도를 나타낸 것은, 상대적으로 연한 CuSn의 첨가에 의해 변형이 CuSn에 집중되고, 이에 따라 Co 기지와 CuSn 간의 계면에서 균열이 쉽게 발생, 전파한 때문으로 사료된다. Co-20 wt.% WC 시편에서는, 상대적으로 크고 경한 WC 입자가 외부응력을 지탱해주고 또한 Co 기지에 생성되고 전파하는 균열을 차단하여, 낮은 마멸속도가 나타난 것으로 생각된다. Co-20 wt.% CuSn 시편의 큰 마멸입자와 Co-20 wt.% WC 시편의 작은 마멸입자는 이 같은 마멸기구를 뒷받침한다.

그림 4는 마멸거리에 따라 관찰된 Co 마멸 입자의 SEM 사진들이다. 거리에 따른 Co 시편 마멸 입자의 양상을 비교하면, 마멸거리가 100m인 경우 5 μ m 이하의 미세 입자와 50 μ m 이상의 조대한 입자들이 혼재해 있는 것을 볼 수 있다. 마멸거리가 증가하면서 미세 마멸 입자의 양은 점차 증가하였으나, 마멸거리가 증가하여도 미세 입자와 조

대 입자가 혼재된 양상은 동일하게 관찰되었다. 조대한 입자를 고배율로 관찰한 결과, 내외부에서 많은 균열이 확인되었다 (그림 4 (d)).

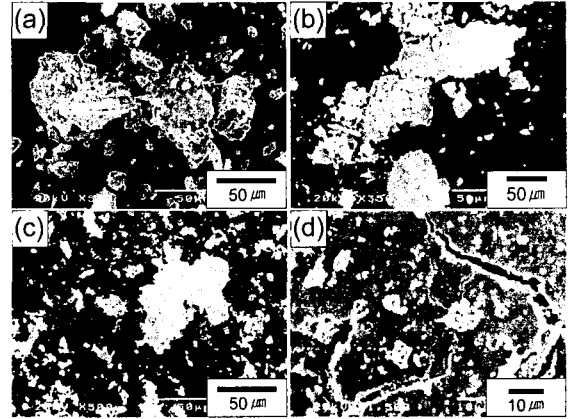


Fig. 4 SEM micrographs of wear debris of the Co specimen tested at the load of 100N with various sliding distance: 100m (a), 300m (b, d), and 600m (c).

마멸 거리와 크게 관계치 않고, Co 시편에서는 5 μ m 이하의 미세한 마멸 입자와 50 μ m 이상의 거대한 마멸 입자가 혼재해서 관찰되었다. 그러나 조대한 입자 내에서 관찰된 균열은, Co 시편에서의 마멸 입자는 마멸 초기에는 50 μ m 이상의 조대 입자로 기지로부터 박리되고, 이후 상대재와의 접촉에 의해 미세 입자로 분쇄되었음을 보인다.

Co 시편의 마멸 과정 중에 관찰되는 가장 두드러진 특징은 5 μ m 이하의 마멸면 박리층의 두께와 50 μ m 이상의 크기(직경)를 지니는 마멸 입자의 생성 및 분쇄이다. 그러나, 이러한 결과는 동일한 HCP 결정 구조를 갖는 다른 금속의 마멸 양상과는 차이가 있다. 동일한 HCP 결정 구조를 갖는 Mg 압연 판재를 마멸 시험하고, 얻어진 마멸 입자를 SEM으로 관찰한 결과를 그림 5에 나타내었다. Co 시편에서와 같이 조대 입자와 미소 입자가 혼재해 있기는 하나, 그 양상은 큰 차이를 보인다. 조대 입자는 5 μ m이하의 얇은 두께의 판상 형태가 아닌 절삭 칩(cutting chip)과 같은 주름진 벨로즈(bellows) 형태를 띠고 있고, 미소 입자 역시 대략 10 μ m 정도 크기의 분쇄된 형태가 아닌 각진 면을 지닌 입자로 관찰된다. 이와 같은 마멸 입자는 동일한 HCP 구조를 지닌 Ti에서도 관찰되었다.

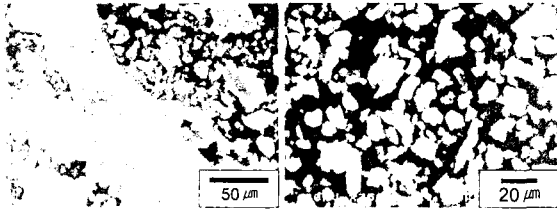


Fig. 5 SEM micrographs of wear debris of the Mg tested at the load of 100N

이와 같은 결과는 $5\mu\text{m}$ 이하 두께의 얇은 표면 균열층, 그리고 $5\mu\text{m}$ 이하 크기의 마멸 입자가 나타나는 Co 소결체의 마멸특성이 HCP 금속의 일반적인 마멸 특성이 아닌 것을 말해준다. 본 연구에서 얻어진 시험 결과만으로는 Co의 이러한 마멸 양상을 명료하게 설명할 수는 없다. 그러나 본 연구 결과는 Co 소결체의 마멸 특성이 동일한 HCP 구조를 갖는 다른 단련재 (wrought 재)와는 다르다는 점을 확인시켜 준다.

4. 결론

통전 가압 소결된 Co와 Co 기지 복합재료 소결체의 마멸시험을 행하고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 마멸하중이 증가 함에 따라 Co 소결체 및 Co 기지 복합재료 소결체의 마멸 속도는 증가하였다.

(2) 시험된 전 하중 범위에 걸쳐 Co-20 wt.% CuSn 시편이 가장 높은 마멸 속도를 나타내었고, Co-20 wt.% WC 시편이 가장 낮은 마멸 속도를 나타내었다.

(3) Co-20 wt.% CuSn 시편의 높은 마멸속도는 상대적으로 연한 CuSn에 집중된 전단변형과 그에 따라 발생한 CuSn과 Co 기지 간의 균열의 전파에 기인하였다.

(4) Co-20 wt.% WC 시편의 낮은 마멸 속도는 상대적으로 경하고 큰 WC 입자의 효과적인 마멸하중 감당과 균열 전파 차단으로 설명되었다.

(5) Co 시편은 마멸 중에, 마멸면에 $5\mu\text{m}$ 두께 이하의 표면 균열층이 생성되고, $50\mu\text{m}$ 이상의 크기를 지닌 마멸 입자가 박리되고 다시 분쇄되는 마멸 특성을 나타내었다. 이와 같은 마멸 특성은 동일한 HCP 결정구조를 갖으나, 분말 소결체가 아닌 단련 가공된 Ti, Mg 금속의 마멸 특성과는 다른 것을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) J. Konstanty, 2002, "Cobalt as a matrix in diamond impregnated tools for stone sawing applications", Dissertations monographies
- (2) Donald H. Buckley, 1996, "Friction and wear of hexagonal metals and alloys as related to crystal structure and lattice parameters in vacuum", ASLE Transactions, Vol. 9, pp. 124 ~ 135.
- (3) F. G. Wilson, 1972, "The dry wear behaviour of porous cobalt", Cobalt., Vol. 55, pp. 87 ~ 91.
- (4) C. Allen, 2001, "The wear of ultrafine WC-Co hard metals", Wear, Vol. 250, pp. 604 ~ 610.
- (5) J. B. J. W. Hegeman, 2001, "Grinding of WC-Co hard metals", Wear, Vol. 248, pp. 187 ~ 196.
- (6) A. R. Troiano, 1948, "The transformation of cobalt", New York Meeting., February
- (7) Ping Huang, 1999, "Strain induced ϵ -martensite in a Co-Cr-Mo alloy: grain size effects", Materials letters., Vol. 39, pp. 244 ~ 248.
- (8) J. Sort, 2003, "Microstructural effects and large microhardness in cobalt processed by high pressure torsion consolidation of ball milled powders", Acta Materialia., Vol. 51, pp. 6385 ~ 6393.
- (9) T. Waitz, 1997, "The fcc to hcp martensitic phase transformation in CoNi studied by TEM and AFM methods", Acta mater., Vol. 45, pp. 837 ~ 847.
- (10) H. Dong, 1999, "Tribological behaviour of alumina sliding against Ti6Al4V in unlubricated contact", Wear, Vol. 225~229, pp. 874 ~ 884.