

물리적 증착 방법에 의한 TiC, TiN코팅에 따른 자동차 구조용 재료의 트라이볼로지 특성

오성모^{1*}

Tribological Characteristics of TiC, TiN Coating for PVD Method with Automotive structural Materials

Seong-Mo Oh^{1*}

요약 자동차 구조용 재료에 대하여 물리적 증착 코팅방법에 의한 트라이볼로지 특성을 연구 하였다. 코팅 재료는 탄화티탄(TiC)과 질화티탄(TiN)이다. 실험은 펠릭스 마찰 마모시험기를 이용하여 하중과 온도에 다양한 조건을 적용하여 마찰과 마모 거동에 대하여 트라이볼로지 특성을 결정하고 평가하였다. 연구결과 코팅하지 않았을 때보다 코팅하였을 때가 윤활 특성이 향상 되었고, 특히 내마모성 및 극압성 그리고 열 안정성이 훌륭하였다.

Abstract We have studied on the tribological characteristics of Plasma Vapour Deposition (PVD) coating method in Automotive Structural Materials. Coating materials were deposited by the Titanium carbide(TiC) and Titanium nitride(TiN). An experimental process was established to determine the tribological characteristics of friction and wear behaviour with the variation of applied load, temperature and the time with the Falex friction and wear test machine. It was improved that when the surface modification of hard coatings(TiC, TiN) was deposited steel, the tribological characteristics become better. It is argued that it is improved because of excellence of the anti-wear, the extreme pressure properties and the heat stability.

Key Words : PVD, Tribology, Coating, Friction, Wear, Anti-wear, Extreme pressure

1. 서론

공업기술의 고도화, 고온화, 소형화, 경량화, 무공해화 그리고 생자원화에 따라 기계부품들의 내마모성 향상은 더욱 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한 기계요소는 재질, 접촉형태 등에 따라 매우 다양하여 각기 다른 마모문제를 안고 있으므로 각 기계요소에 대한 제약 가운데 마모방지 대책을 강구하지 않으면 안 된다. 이러한 이유로서 마모는 임의의 조건을 설정하더라도 마모량 또는 마모양상의 재현이 곤란한데, 그것은 극히 적은 조건의 차이로 마모량에 큰 변화가 생기기 때문이다. 이러한 마모를 저감시키며 내마모성 향상의 해결책의 하나로써 표면을 개질하는 방법이 있다¹⁾. 그러나 기계부품의 내마모성 개선을 위하여 다방면의 표면개질 방법 중 막상 코팅기술을 채용하려해도 그 근거가 될만한 기초 데이터가 빈약한 실정이다²⁾. 현실적으로 볼 때 기계부품에의 코팅기

술의 적용은 급속히 확대되고 있으며, 그 응용분야는 카메라, 컴퓨터 등의 정밀기계에서 자동차, 항공기에 이르기까지 광범위해지고 있다³⁾. 코팅기술 중 가장 발전된 것으로 화학증착(CVD; Chemical Vapour Deposition)과 물리증착(PVD; Physical Vapour Deposition)을 들 수 있다. 먼저 화학증착법의 대표적인 것으로서 플라즈마 용사법이 있는데 이것은 고열원이고, 고 용점 세라믹스 재료의 용사에 적합하다. 하지만 실제로 내마모성에서 고려 되어야 할 여러 마모(응착, 부식, 박리 등)는 각기 다른 마모형태가 존재하므로 현실적으로는 사용온도, 압력, 속도, 상대 재질, 피막 두께 등에 따라 마모현상이 격변하는 양상을 가지게 된다^{4,5)}. 따라서 코팅 피막이 모든 마모에 대하여 만능일 수는 없는 것으로서 이는 용사피막의 내마모의 요인인 밀착성의 문제, 두께의 영향, 바탕 및 피막재료의 물성에 의한 영향 등의 복잡한 요인들이 있기 때문이다⁶⁻⁸⁾.

그리고 물리증착법에는 크게 진공증착법, 스퍼터링법 및 이온 플레이팅법으로 분류되며, 이 방법들 중 아크 이

¹원광대학교 기계자동차공학부

*교신저자 : 오성모(tiger@joongbu.ac.kr)

온 플레이팅(AIP; Arc Ion Plating)법은 다른 물리증착법들과 비교했을 때 높은 이온화율과 이온에너지로 인해서 우수한 점착력과 조밀한 피막층을 생성시킬 수 있어 공구 및 내마모 기계부품 코팅분야에 널리 이용되고 있다⁹⁾. 또한 모재와 TiN 코팅 층 사이에 점착력 향상을 목적으로 한 티타늄 피막층의 삽입이 시도되고 있으며, 이러한 티타늄 중간 피막층의 존재가 마모저항에 미치는 영향에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다^{9,10)}.

따라서 본 연구에서는 코팅할 모재인 AISI 스틸저널에 PVD방법에 의해 TiC, TiN을 스퍼터링을 이용하여 500℃~700℃ 사이의 온도에서 증착을 시켜 하중 및 온도에 따른 마찰, 마모 특성을 측정하고자 한다. 이러한 실험은 핀 온 V-블록 타입의 펠렉스 마찰·마모 시험기를 사용하여 표면을 개질한 재료와 개질 하지 않은 재료의 접촉면에 시간과 온도 변화에 따른 하중을 가하여 각각의 마찰특성과 극압특성, 마모특성과 온도특성을 관찰하고, 그 결과를 연구하여 윤활 특성향상에 본 연구의 목적을 두었다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 실험장치는 마찰계수 및 마모특성, 극압특성 등을 조사하기 위하여 펠렉스 시험기를 이용하였고, 그림 1에 본 실험장치의 실험부의 저널과 V-블록을 확대 도시하였다.

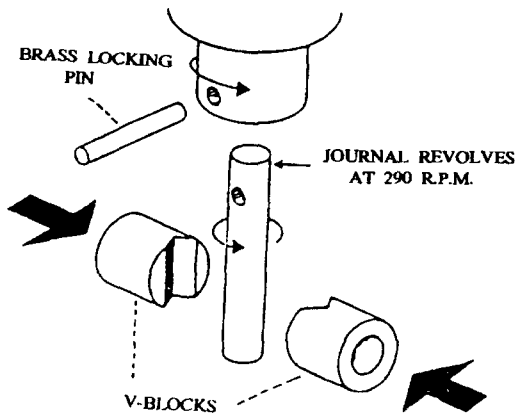


그림 1. 실험부의 핀과 블록의 확대도

실험장치의 주요 구성 부분으로는 동력발생부, 동력전달장치, 시험부, 하중작용부, 마모량 측정부, 윤활유 급유부로 구성되어 있다. 동력전달장치는 220[V]-1/2[HP]의

교류전동기 1425 /1725 [r.p.m]를 이용하여 구동력을 발생시키고 벨트에 의하여 스피들은 290±10[r.p.m]으로 회전한다. 시험부는 저널과 V-블록으로 구성되어 있으며, 저널은 2개의 V-블록과 맞닿아 4선 접촉을 하여 회전한다. 그 하중은 마이크로미터와 같은 랫치 1기구에 의해 작동되고, 하중 게이지로 직접 측정할 수 있도록 되어 있으며, 토크는 토크 게이지에서 직접 측정 한다. 마모량 측정부는 랫치 휠 기구와 게이지로 나눌 수 있으며, 윤활유 급유부는 오일 컵과 오일 컵을 올려놓을 수 있는 테이블로 구성 되는데 테이블의 스프링 장치를 이용하여 시험편의 저널과 V-블록이 오일 속에 잠기도록 되어 있다.

2.2 시험재료

표준시험 저널의 외경은 6.35mm이고, 길이는 31.75mm이며, V-블록과 저널의 재질은 AISI 1137 스틸이다. V-블록 홈의 각도는 96±1[°]로 되어 있고, 여기에 TiC와 TiN을 코팅하였다. TiN과 TiC는 내열성, 내마모성, 고경도성이 우수한 질화물계 세라믹재로 널리 사용되고 있으며, 그의 용사 피막의 기계·화학적 특성을 표 1에 나타내었고, 코팅재료에 대한 물리 화학적 특성을 표 2에 나타내었다. 또한 실험조건은 Electron Beam Current와 전압은 각각 0.15μA와 3kV이었다. 그리고 챔버내 기본 진공도는 10⁻¹⁰Torr이하 이었다.

표 1. 용사코팅에 의한 기계적 화학적 특성

		Material	TiN	TiC
Properties				
P h y s i c a l	Color		Silver gray	Silver gray
	Flash Point [°C]		1840	1725
	Melting Point [°C]		2780	3260
	Specific Gravity[kg/cm ³]		3.6	4.50
	Specific Heat [cal]		0.2024	0.1642
	Specific Resistance[cm]		0.425×10 ⁴	0.478×10 ⁴
	Thermal Expansion Coefficient [°C]		5.1×10 ⁶	6.28×10 ⁶
M e c h a n i c a l	Bending Strength [kg/cm ²]		850~900	560~680
	Elastic Strength [kg/mm ²]		9.8×103	21×103
	Breaking Strength [kg/mm ²]		14	21

표 2. 코팅 재료에 대한 물리 화학적 특성

Item	TiN	TiC
Hardness [HRC]	55 ~ 60	63
Bonding Strength [N/cm ²]	10,300	3,400
Pore Rate [%]	—	1
Roughness(Ra)[μ m]	0.062	0.074
Maximum Temperature [°C]	1345	1540
Coating Speed [mm/h/m ²]	0.0023	0.58
Thickness [mm]	0.5	0.75

2.3 시험방법 및 측정

그림 2에서와 같이 저널을 시험기 축에 끼워 넣은 후 고정 핀으로 고정시킨다. 그리고 자동 하중 래칫 휠을 물린 다음 전동기를 작동시키고, 래칫 휠로 하중을 2.5, 5.0, 7.5[kN] 등으로 2.5[kN]씩 단계적으로 변화시켜 가면서 실험을 한다. 그리고 게이지에서 하중을 제거시킨 후 래칫 휠에 의하여 실험 하중으로 되돌린다. 이렇게 하여 다음과 같은 연구내용의 실험결과를 컴퓨터 처리한 후 데이터를 사용하였다.

2.3.1 하중변화에 따른 마찰계수 측정

그림 2에서 표면개질된 저널이 V-블록 홈에 접촉하여 회전하고, V-블록에 직접하중[D.L.]이 가해지면 수직법선하중[N]이 아암에 의해 저널에 전달되고 토크[T]가 발생한다. 이렇게 해서 얻어진 각 하중에 대한 토크로 마찰계수변화를 마찰계수 계산식에 의하여 산출 한다.

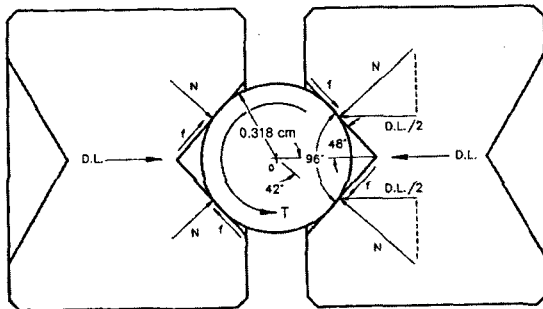


그림 2. 저널과 V-블록 접촉면의 다이어그램

- D.L. = Direct Load [N]
- T = Torque [N-m]
- N = Normal Load per Face [N]
- μ = Coefficient of friction

$$\begin{aligned} \sum Mo &= 0 = T - (4f \times 0.125) \\ f &= T / (4 \times 0.125) = 2T \\ D.L./2 &= N \times \cos 42^\circ \\ N &= D.L. / (2 \times \cos 42^\circ) = 0.6728 D.L. \\ \mu &= f/N = 2T / (0.672816 D.L.) \\ &= 2.9726 T/D.L. \\ \therefore \mu &= 2.9726 T/D.L. \end{aligned}$$

2.3.2 하중변화에 따른 단위압력측정

하중변화에 따른 단위압력 측정을 위하여 상기의 실험과 같은 방법으로 토크 게이지와 하중 게이지를 0점에 맞춰놓고 하중을 5, 10, 15, 20[kN]으로 변화시키면서 래칫으로 하중을 가하여 그때의 하중을 하중 게이지에서 측정하고 압력은 토크 게이지에 의하여 측정한다.

마모 된 흔적 및 단위 압력 측정은 V-블록과 저널이 서로 접촉하여 회전하는 상태에서 직접하중 [D.L.]이 가해지며 수직 법선하중[N]이 발생하여 저널과 V-블록에 흡집이 생긴다. 각 하중에서의 V-블록 흡집 폭을 표시하여 펠렉스 마찰 마모 시험기의 규정에 의한 단위압력[Pa] 계산식에 의해 하중에 대한 값을 구한다. 그리고 일정 하중에서 반복 실험하여 평균값을 구한다.

2.3.3 시간변화에 따른 마모 측정

저널과 V-블록 접촉면의 마모측정을 위하여 하중을 5[kN]로 일정하게 가하면서 1시간 마다 접촉면의 마모량을 측정한다. 마모량은 진행된 래칫 휠 잇수 18개는 25.4×10^{-5} mm마모에 해당하며, 이들 각 측정값을 구하기 위해서는 펠렉스 마찰 마모 시험기의 규정에 의하여 산출한다. 그리고 일정 하중에서 반복 실험하여 평균값을 구한다.

2.3.4 시간변화에 따른 온도 측정

저널 과 V-블록이 접촉하여 상대운동을 하면서 회전하기 때문에 온도가 상승한다. 마찰 상태는 건조마찰 상태에서 실험 하였다. 온도는 열전대를 V-블록 홈에 부착하여 시간에 따라 온도가 변하는 상태를 측정 하였고, 재료의 온도는 접촉부에 0.1mm 접근할 때까지 온도가 변하는 상태를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 하중변화에 따른 마찰 특성

그림 3에 나타낸 바와 같이 하중을 2.5, 5.0, 7.5[kN]등

2.5[kN]씩 증가 시키면서 측정한 결과, 비 코팅의 경우 12[kN]에서부터 급격한 변화를 보이다가 15[kN]에서 시저(Seizure:눌어 타 붙음)가 발생하였고, TiN과 TiC는 초기에는 다소 높은(약 0.03~0.04)경향이 있으나, 10[kN] 이후 안정적인 모습이었으며, 전반적으로 마찰계수가 0.02~0.04범위 안에 있다는 것을 볼 수 있다.

그리고 이때의 측정시간은 단계별 약 5분간이었고, 온도는 일반적 실험실 분위기로 하였다. 따라서 TiN의 마찰특성이 피막두께에 있어서 보다 더 우수하였다.

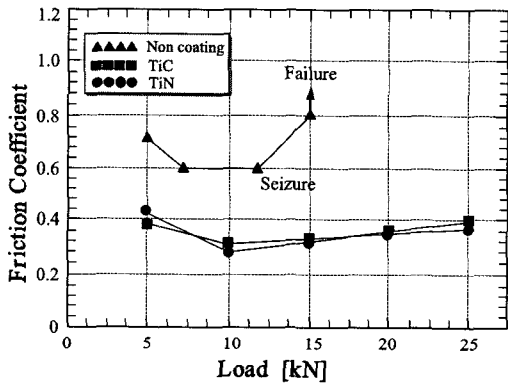


그림 3. 하중변화에 따른 마찰계수

3.2 하중변화에 따른 단위압력특성

그림 4에서 비 코팅의 경우에 초기에는 다소 불안정하여 12[kN]까지 급격한 증가를 보이나 12[kN] 이후부터는 스커핑(scuffing) 발생으로 인해 급격한 감소를 보였다. 그리고 TiN, TiC의 경우는 대체로 큰 변화없이 안정적이고 TiN보다도 TiC가 근사적으로 약간 우수하였다. 이때의 측정시간은 단계별 약 5분간이었고, 온도는 일반적 실험실 분위기로 무시하였다.

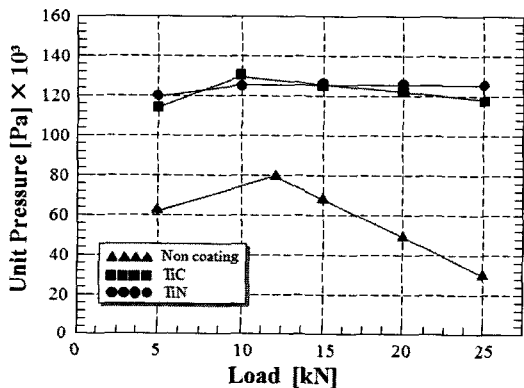


그림 4. 하중변화에 따른 단위압력

3.3 시간변화에 따른 마모특성

그림 5는 비 코팅의 경우 AISI 연강으로써 윤활상태가 전조마찰이기 때문에 20분이 경과되면서부터 응착마모가 일어나기 시작하여 파손이 발생하기 시작하였다. TiN과 TiC의 경우는 초기 20분까지는 극히 미소량의 마모증가가 나타났으나 그 이후에는 점차 안정적이었다.

이것은 코팅박막의 두께와 표면거칠기에 따른 것으로 길들여지기 전 어느 시점까지의 초기에는 항상 마모가 발생하는 것으로 나타났다.

시험조건은 하중을 5[kN]으로 일정하게 하였으며 온도는 실험실 분위기이다.

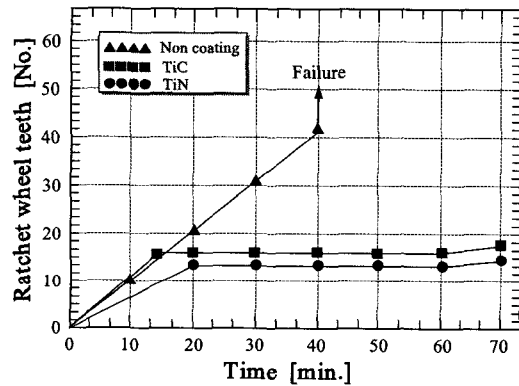


그림 5. 시간변화에 따른 마모량

3.4 시간변화에 따른 온도특성

그림 6은 Non-coating의 경우 30분이 지나면서 급격한 온도상승으로 인해 180[°C]에서 시저가 발생하였다. 그러나 TiN과 TiC로 코팅한 경우에는 초기에 완만한 증가를 보이다가 50분에서 130~150[°C]로써 서로 미세한 차이는 있었으나 점차 안정적이었다. 시험조건은 하중을 5[kN]으로 일정하게 하였다.

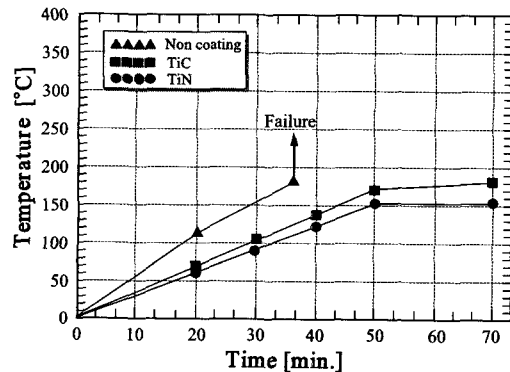


그림 6. 시간변화에 따른 온도의 영향

4. 결 론

- (1) 비 코팅의 경우는 초기에 시저현상이 나타나므로 코팅의 경우가 안정적인 마찰계수를 보이거나, TiC 보다도 TiN이 더욱 마찰특성이 우수하다.
- (2) 단위압력의 변화는 코팅의 경우와 비 코팅의 경우가 현격한 차이를 보이는 반면, TiC나 TiN은 거의 비슷한 단위압력 특성을 갖는다.
- (3) 마모량은 코팅의 경우가 훨씬 우수하고, TiC보다는 TiN이 내마모성이 우수하였다.
- (4) 온도특성은 비 코팅에 비하여 코팅의 경우가 열적 안정성이 뛰어나고, TiN보다는 TiC가 고온에서 훨씬 열적 우수함을 보였다.

참고문헌

- [1] 李奉九, “Tribology 概論”, 東明社, p.160, 1987.
- [2] D.W. Kim, Y.J. Park, J.G. Lee, and John. S.Chun, Thin Solid Films, 1998
- [3] 李奉九, “摩擦이야기”, 電波科學社, pp. 217, 1997
- [4] 浦 外, “表面改質 코팅의摩擦 磨耗 特性 評價”, 日本潤滑學會 第31期 春季研究發表會豫稿集, pp.1-4, 1987
- [5] 木夏 外, “表面改質 코팅의摩擦 磨耗 特性 評價”, 日本潤滑學會 第 32期 春季研究發表會豫稿集, pp.89-92, 1988

- [6] F.N.Long, 8th Int., Thermal Spray, conf. Report of Papers, pp.342, 1976
- [7] A.G. King and W.M. Wheildon, Ceramics in Machine Processes, Academic Press, New York and London, pp.3, 1966
- [8] M.E. Sjöstrand, Conf. on CVD, The Electrochemical Society, 7th Int. L.A, pp. 452, 1974
- [9] 朴鍾福, “金屬面の TiN코팅에 따른 潤滑特性에 관한 研究”, 圓光大學校 産業大學院 pp.3-5, 1993
- [10] L.E. Toth, “Transition Metal Carbides and Nitrides”, Academic Press, New York and London, pp.106, 1971

오 성 모(Seong-Mo Oh)

[정회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 기계자동차공학부 강사

<관심분야>

Tribology, micro/nano Tribology.....