

표면개질의 트라이볼로지 특성에 관한 연구(제1보)

오성모* · 채왕석** · 이봉구*** · 김동현***

A Study on the Tribological Characteristics of Surface Modification (The 1st)

Seong-Mo Oh*, Wang-Seok Chae**, Bong-Goo Rhee***, Dong-Hyun Kim***

ABSTRACT

We have studied on the tribological characteristics of surface modification by Arc Ion Implantation(AIP) coating method. 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 by the Falex friction and wear test machine. The results, It can be improved that when the surface modification of hard coatings(TiC, TiN) was deposited steel, the tribological characteristics become better. It is argued that improved because of excellence of the anti-wear, the extreme pressure properties and the heat stability.

Key Words : tribology(트라이볼로지), heat stability(열 안정성), friction(마찰), anti-wear(내마모), extreme-pressure(극압), surface modification (표면개질)

1. 서론

공업기술의 고도화, 고온화, 소형화, 경량화, 무공해화 그리고 생자원화에 따라 기계부품 및 공구들의 내마모성 향상은 더욱 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한 기계요소 및 공구는 재질, 접촉 또는 절삭 형태 등이 매우 다양하여 마모는 피할 수 없는 현실이다. 이에 제반 요소에 따른 마모 문제는 각 요소에 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 있다⁽¹⁾. 그러나 기계부품의 내마모성 개선을 위하여 다방면의 표면개질 방법중 막상 코팅기술을 채용하려해도 그 근거가 될만한 기초 데이터가 빈약한 실정이다⁽²⁾. 현실적으로 볼 때 기계부품에의 코팅기술의 적용은 급속히 확대되고 있으며, 그 응용분야는 카메라, 컴퓨터 등의 정밀기계에서 자동차, 항공기에 이르기까지 광범위해지고 있다⁽³⁾. 코팅 기술중 가장 발전된 것으로 화학증착(CVD ; Chemical Vapour Deposition)과 물리증착(PVD ; Physical Vapour Deposition)을 들 수 있다.

* 원광대학교 대학원 기계공학과
** 군장대학 자동차시험과
*** 원광대학교 기계공학과

먼저 화학증착법의 대표적인 것으로서 플라즈마 용사법이 있는데 이것은 고열원이고, 고용점 세라믹스 재료의 용사에 적합하다^(4,5,6). 그리고 물리증착법에는 크게 진공증착법, 스퍼터링법 및 이온 플레이팅법으로 분류되며, 이 방법들중 아크 이온 플레이팅(AIP; Arc Ion Plating)법은 다른 물리증착법들과 비교했을 때 높은 이온화율과 이온에너지로 인해서 우수한 점착력과 조밀한 피막층을 생성시킬 수 있어 절삭공구 및 내마모 기계부품코팅 분야에 널리 이용되고 있다^(7,8,9). 따라서 TiN, TiC와 같은 경질재료는 내마모 관련 응용분야에 활용되기 위해서 공정조건변화에 따른 미세구조변화와 이들 미세구조가 어떻게 마모 마찰 특성에 영향을 미치는가에 대한 이해가 필수적이다. 그러나 마찰 마모 특성은 이들 코팅재의 미세구조외에도 상대재료의 종류와 표면상태, 하중, 속도, 분위기등에 따라 변화하고 코팅재의 물리적, 기계적 성질이 상호 연관되어 영향을 미치기 때문에 이들 상호관계에 대한 규명은 더욱 절실히 요구되고 있다⁽¹⁰⁾. 따라서 본 연구에서는 아크 이온 플레이팅 증착방법에 의해 일정한 질소 가스량과 바이어스 전압으로 코팅한 TiN과 TiC 증착층의 기계적 성질들에 의한 마찰·마모 특성에 어떤 영향을 미치는가를 연구하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치는 표면개질에 따른 마찰·마모, 극압특성 등을 조사하기 위하여 펠렉스 마찰 마모시험기를 이용하였으며, Fig. 1에 본 실험장치의 개략도를 도시하였고, Fig. 2에 저널과 V-블럭을 확대 도시하였다.

실험장치는 동력발생부, 동력전달장치, 시험부, 하중작용부, 마모량 측정부, 윤활유 급유부로 구성되어 있다. 동력전달장치는 220[V]-1/2[HP]의 교류전동기를 이용하여 구동력을 발생시키고, 벨트에 의하여 스피들은 290±10[r.p.m]으로 회전한다. 시험부는 표면을 개질한 저널과 V-블럭으로 구성되어 있으며, 저널은 2개의 V-블럭과 맞닿아 4선 접촉을 하여 회전한다.

하중 작용부는 레버암(Lever arm) 기구로 하중을 증가시키도록 되어 있고, 하중은 레버 아암 스프링 계이서를 통해 V-블럭에 전달되며, 그하중은 마이크로미터와 같은 랫치 휠 기구에 의하여 작동

된다. 윤활유 급유부는 엔진등의 극심한 오일 윤활 조건을 고려하여 강제순환식 윤활을 채택하였다.

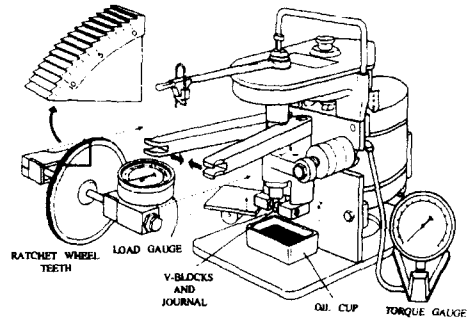


Fig. 1 Schematic diagram of test machine

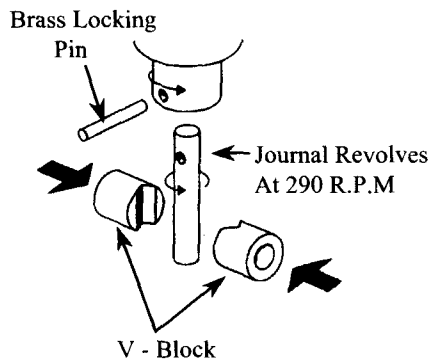


Fig. 2 Exploded view of V-blocks and journal arrangement

2.2 실험재료

본 실험에 사용된 표준시험 저널은 펠렉스 시험기의 표준사양으로 피스톤 링 등에서 사용되는 외경이 6.35mm이고 길이가 31.75mm인 니켈크롬강(SNC415)과 V-블럭은 홈의 각도가 96±1°인 니켈크롬강(SNC631)에 아크 이온 플레이팅 코팅방법에 의해 TiC와 TiN을 박막 코팅한 재료로서 이에 따른 기계적·화학적 특성을 Table 1.에 나타내었다. Table 2.는 내열성, 내마모성, 고경도성등이 우수한 질화물계인 TiC와 TiN의 물리적 기계적 특성을 나타내었다.

실험조건은 각각 0.15 μ A와 3kV의 챔버내에서 기본 진공도는 10⁻¹⁰Torr이하로 하여 코팅하였다.

Table 1. Physical and Chemical properties of journal and V-block

Items Properties	Journal (SNC 415)	V-Block (SNC 631)
Surface Roughness Ra [μ m]	1.5	1.5
Tensile strength [Kgf/mm ²]	≥ 80	≥ 85
Elongation [%]	≥ 17	≥ 18
Reduction of Area [%]	≥ 45	≥ 50
Hardness[H _B]	235~341	248~302
C	0.12~0.18	0.27~0.35
Si	0.15~0.35	0.15~0.35
Mn	0.35~0.65	0.35~0.65
P	≤ 0.030	≤ 0.030
S	≤ 0.030	≤ 0.030
Cu	≤ 0.030	≤ 0.030
Ni	2.00~2.50	2.50~3.00
Cr	0.20~0.50	0.60~1.00

Table 2. Properties of the AIP coatings

	TiN	TiC
Hardness [H _{RC}]	55 ~ 60	63
Bonding strength [N/cm ²]	10,300	3,400
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 윤활유

본 연구에 사용된 윤활유는 일반적으로 많이 사용하고 있는 실린더유로써 그 성상을 Table 3.에 나

타내었고, 또 사용된 첨가제는 비교적 높은 하중영역에서 사용되고 있는 ZnDTP(Zinc Dialkyl dithio phosphate) 마모방지제와 극압첨가제 EP(Extreme Pressure)제를 각각 0.5wt%와 5.0wt%를 첨가하였으며, 첨가제들에 대한 성상을 Table 4,5에 나타내었다. 그리고 윤활방법은 강제윤활로서 시험부의 상부에서 풀어준다. 유량은 2.0 l/m 이다.

Table 3. Properties of Base oil

Kinematic viscosity m ² /s $\times 10^{-6}$	40°C	401
	100°C	28.6
Specific gravity 15/4°C		0.93
Viscosity index		99.0
Flash temperature °C		308

Table 4. Compositions of ZnDTP

Additive	Elements	wt %
ZnDTP	Zn	6.1
	S	9.7
	P	4.8

Table 5. Properties of E-P additive

Sulphur, wt %		27.5
phosphorus, wt %		1.8
Kinematic viscosity, m ² /s	40°C	81.0 $\times 10^{-6}$
	100°C	10.6 $\times 10^{-6}$
Viscosity index		120
Flash temperature, °C		120
Pour point, °C		-18
Density, kg/m ³		1.04 $\times 10^{-3}$

2.4 실험방법 및 측정

Fig.2에서와 같이 저널을 시험기 축에 끼워 넣은 후 고정핀으로 고정시킨다. 그리고 자동 하중 랫치 휠을 물린 다음 시험기를 작동시키고, 랫치 휠로 V-블록에 하중을 1112, 2223, 3334, 4445[N]등으로 1111[N]씩 단계적으로 변화시켜 가면서 실험을 행하였다. 랫치 휠의 이의 수에 의해 하중, 시간, 온도변화에 따른 마모특성을 측정한다.

2.4.1 하중변화에 따른 마찰계수 측정

Fig.3에서 표면개질된 저널이 V-블록 홈에 접촉하여 회전하고, V-블록에 직접하중[D.L.]이 가해지면 수직법선하중[N]이 저널에 전달되고 토크[T]가 발생한다. 이렇게 해서 얻어진 각 하중에 대한 토오크로 마찰계수변화를 마찰계수 μ 계산식에 의하여 산출하였다.

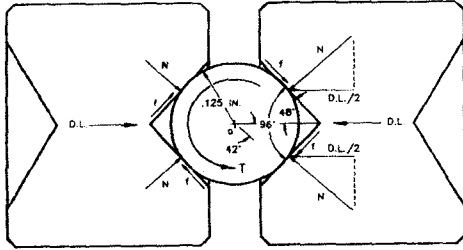


Fig. 3 The feature of journal and V-block friction coefficient

2.4.2 하중변화에 따른 Scar width

하중변화에 따른 흠집크기를 측정을 위하여 토오크 게이지와 하중 게이지를 0점에 맞춰놓고 랫치 휠로 하중을 1112, 2223, 3334, 4445, 5556[N]으로 단계적으로 변화시키면서 가한다. Fig.4에서는 V-블록과 저널이 서로 접촉하여 회전하는 상태에서 직접하중 [D.L.]이 가해지며 수직 법선하중[N]이 발생하여 저널과 V-블록에 흠집이 생긴다. 이때 각 하중에 대해 V-블록의 흠집크기를 구한다.

2.4.3 시간변화에 따른 마모 측정

저널과 V-블록 접촉면의 마모측정을 위하여 하중을 1111[N]으로 일정하게 하고 1시간마다 접촉면의 마모량을 측정한다. 마모량은 진행된 랫치 휠 잇수 18개는 0.0254mm 마모에 해당하며, 측정된 값을 평균값으로 구하였다.

2.4.4 시간변화에 따른 온도 측정

저널과 V-블록이 접촉하여 상대운동을 하면서 회전하기 때문에 온도가 상승한다. 마찰상태는 윤활 상태에서 실험하였다. 온도는 열전대를 V-블록 홈에 부착하여 시간에 따라 온도가 변하는 상태를 측정하였다.

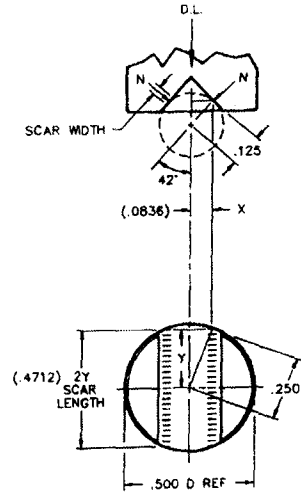


Fig. 4 Journal and V-block scar area

3. 실험결과 및 고찰

3.1 하중변화에 따른 마찰특성

Fig.5에 나타난 바와 같이 상온에서 하중을 1112, 2223, 3334[N]등 1111[N]씩 증가시키면서 단계별로 5분간 마찰계수를 측정한결과 비코팅의 경우 3334[N]에서 소부(seizure)가 발생한 뒤 급격한 변화를 보이다가 4445[N]에서 파괴(failure)가 일어났다. 그리고 TiN과 TiC는 길들여진(run-in)기간에 다소 높은 경향이 있으나 시간이 지남에 따라 점차적으로 안정적인 모습이였다. 전반적으로 마찰계수 값이 미소한 차이로 0.02~0.04범위 안에 있다.

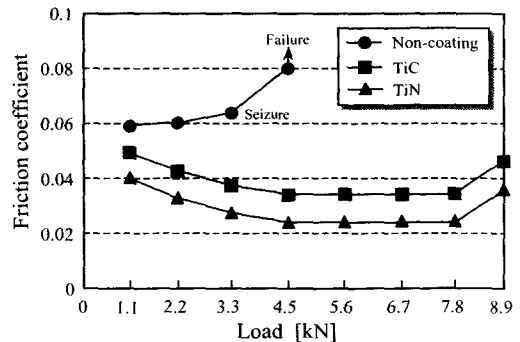


Fig. 5 Friction coefficient for load

3.2 하중변화에 따른 scar width

Fig.6에서 비코팅 경우는 윤활유가 열화함에 따라 윤활성은 급속하게 감소되며, 마모는 급속하게 진행되어 파괴(3334[N])가 발생하였는데, 이것은 선행연구자들^(5,9)의 결과와 동일하게 피로 마모에 의한 파괴가 발생하였음을 알 수 있었다. TiN, TiC세라믹 코팅을 한 경우 저널표면의 부위를 광학현미경으로 관찰한 결과 (Fig.7) 약간에 크랙이 발생하였음에도 불구하고 수직하중의 증가에 따라 마찰계수는 감소하여 하중을 증가 시켜도 그리 크지 않은 듯한 증가를 보여줬다. 하지만 하중증가에 따라 누적된 피로마모에 의해 5556[N]에서 마찰면의 깊이가 커지다가 박리가 발생하였다(Fig.8). 코팅을 하지 않은 시편에 비해 2배 이상의 하중에서 크랙이 발생하였는데 이는 세라믹 소재가 화학적으로 안정되고 열전도성이 좋기 때문으로 생각된다.

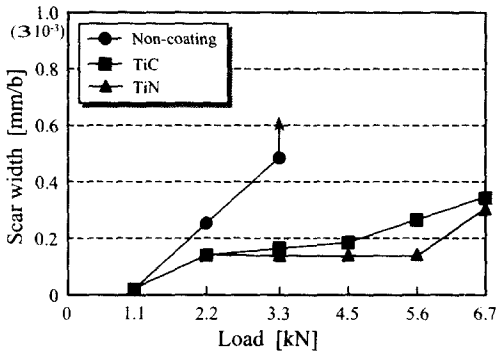


Fig. 6 Scar width for load



Fig. 7 The SEM metallographs occurred crack of the TiC film(Load:4445[N])



Fig. 8 The SEM metallographs occurred delamination of the TiN film(Load:5556[N])

3.3 시간변화에 따른 마모특성

Fig.9는 상온에서 하중을 2223[N]으로 일정하게 하고 시간을 점차 증가시키면서 마모깊이(wear depth)를 측정하여 비마모량으로 나타냈다. 비코팅 저널은 시간이 증가함에 따라 표면에 대한 반복되는 미끄럼운동으로 스틸표면에 대한 열화현상으로 마찰열에 의해 재료의 전단율(shear rate)을 증가시켜 결국 파괴되었으며, TiN과 TiC코팅시편은 초기 20분까지는 극히 미소한 마모증가를 나타냈으나 그후에 점차 안정적이었다.

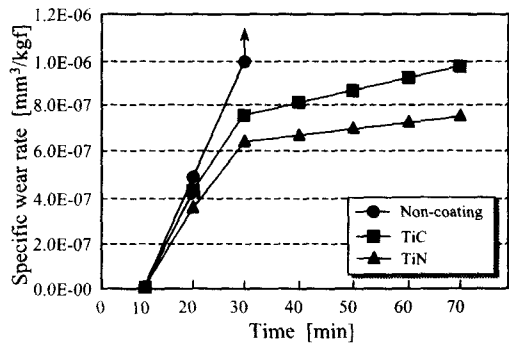


Fig. 9 Specific wear rate time(2223[N])

3.4 시간변화에 따른 온도특성

Fig.10은 접촉면 전반에 걸친 평균온도는 100℃ 이상이고, 각 세라믹 코팅 피막은 길들여진(run-in) 시간을 거치면서 시간과 하중이 증가함에 따라 마찰열의 발생으로 인하여 TiN과 TiC표면에 스틸이

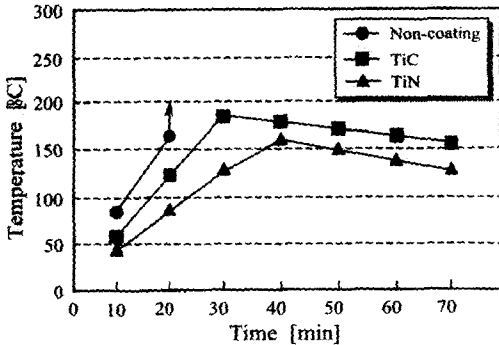


Fig. 10 Temperature for time(2223[N])

산화하게 됨으로써 온도가 높았으나, 점점 온도가 낮아지면서 마모량도 조금씩 감소하였다. 이는 산화된 전달막이 마모 보호막 역할을 함으로써 TiN과 TiC의 마모를 저지시키기 때문이다. 따라서 온도를 증가시키에 따라 미끄럼 접촉시 발생하는 마찰열에 의한 접촉면은 크게 온도 증가에 영향을 받으며 접촉면의 온도가 증가함에 따라 인장응력에 의한 균열생성 및 피로파괴와 마찰열에 의한 상대면과 코팅층간의 용착에 의해 모재와 피복층 경계면에 작용하는 전단응력에 의한 코팅층의 박리가 증가됨을 알 수 있었다. 두 세라믹 피막의 마모량의 차이는 초기에 비슷하게 증가하였는데, 그 이유는 모두 세라믹 소재의 표면 거칠기에 의한 영향에 기인되었고, 30분이 지나면서 점차 안정화된 것은 화학적으로 안정되고 열전도성이 좋기 때문이다.

4. 결론

1. 윤활조건하에서 비코팅의 경우는 초기에 소부(seizure)현상이 나타나 저하중에서 파괴(Failure)가 일어난 반면, TiN과 TiC의 코팅의 경우 미세한 차이로 낮은(0.02~0.03) 마찰계수를 보이므로 마찰특성이 우수하다.
2. 흠집크기 변화는 코팅의 경우와 비코팅의 경우가 현격한 차이를 보이는 반면, TiC나 TiN은 거의 비슷한 흠집 크기를 가지고 있으나 TiC는 4445[N]에서 크랙(crack)이, TiN은 5556[N]에서 박리가 발생하였다.
3. 시간변화에 대한 비마모량은 코팅의 경우가 훨씬 우수하였고, TiC이나 TiN은 시간이 감에 따라

점차 증가추세를 보이니 TiN이 좀더 내마모성이 우수하였다.

4. 온도특성은 비코팅에 비하여 코팅의 경우가 열적 안정성이 뛰어나고, TiN이나 TiC는 온도 변화에 따라 균열생성 및 피로파괴와 마찰열에 의한 모재와 코팅층 경계면에 작용하는 전단응력에 의해 코팅층의 박리가 증가됨을 확인하였다.

참고문헌

1. 李奉九, "Tribology," 東明社, pp.18-22, 1987.
2. D.W.Kim, Y.J. Park, J.G. Lee, and John. S.Chun, Thin Solid Films, 1998. to be published
3. 李奉九, "마찰이야기," 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. 朴鐘福, "金屬面의 TiN코팅에 따른 潤滑特性에 관한 研究," 원광대학교 석사학위 논문, pp.3-5, 1993.
6. M.E. Sjöstrand, 7th Int. Conf. on CVD, The Electrochemical Society, L.A., pp.452, 1974.
7. A.G King and W.M. Wheildon, "Cera-mics in Maching processes," Academic Press, New York and London, pp.3, 1966.
8. F.N. Long, 8th Int. "Thermal Spray," conf. Report of Papers, pp.343, 1976.
9. 김동현, "텔러미터링기법을 이용한 공구파손 검출에 관한 실험적 연구," 한국정밀공학회지 제 13권 11호, pp.100-105, 1996.
10. L.E. Toth, "Transition Metal Carbides and Nitrides," Academic Press, New York and London pp.106, 1971.