

Cr-X-N(X=Si, Zr) 코팅된 유압펌프 부품의 마모특성 향상에 관한 연구
 Improvement of Tribological Properties of Cr-X-N(X=Si, Zr) Coatings
 Deposited on Hydraulic Pump Part

김범석¹, 김정택¹, 이상을¹

(1) 한국항공대학교 항공재료공학과

초 록: 전기 정유압장치는 밸브플레이트, 실린더 배럴, 피스톤, 샤프트등으로 이루어진 유압펌프의 부품에 요구되는 기계적 성질을 향상하기 위하여 이온 질화를 포함한 다양한 연구가 진행 되어지고 있다¹⁾. 그러나 본실험에서는 이온질화시 발생하는 열변형등의 단점을 해결하기 위하여 PVD 박막을 실시하여 유압펌프 부품의 마모특성 향상에 관한 연구를 실시하였다.

1. 서 론

전기 정유압 장치에 사용되는 유압펌프는 반응시간을 절감하기 위해 유압실린더 내에 큰 부피의 오일을 신속하게 공급할 수 있을 뿐 만 아니라 장치의 안정 상태 위치 보정이 정확히 보상될 수 있도록 낮은 작업속도에 의한 적은 양의 기름도 정확하게 분사할 수 있어야 한다. 즉 유압펌프는 가급적 높은 속도로 회전할 수 있어야 하며, 그 반면 정적인 제어 오차를 보상하는 단계에서는 100rpm이하의 저속으로 스틱슬립(stick-slip)없이 회전할 수도 있어야 한다.²⁾

본 실험에서는 유압펌프부품에 플라즈마 질화 실시후 PVD 하드 코팅으로 이루어진 복합처리를 실시하여 부품의 마모특성에 관해 연구를 실시하였다. 오일 환경에서 하중변화를 주면서 고속도 disk-to-disk 마모실험이 수행하였고 PVD코팅된 펌프부품의 결과는 기존의 방법인 플라즈마 질화법에 의한 펌프부품과 비교하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

CrZrN 과 Cr-Si-N 다층박막은 비대칭 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 AISI 4340강으로 제조된 실린더 배럴에 증착되었다. 박막제작을 위한 자세한 코팅 과정은 이전 논문에서 개제 되어 있다^{3),4)}. 실린더 배럴은 박막의 밀착력을 향상하기 위해 전처리로 플라즈마 질화처리를 실시하였다. 또한 PVD 코팅후에도 표면조도를 측정하였다. 이것은 가능한 마모거동을 근간으로 하는 시험부품의 표면조도 영향을 조사하기 위하여 실시하였다. 표면 조도는 a surfecorder SE1700 (Kosaka Lab)를 이용하여 측정하였다. 마찰거동은 고속마모시험기(그림 1.참조)를 이용하여 실시하고 Stribeck 곡선을 기본으로 분석되었고 실험조건은 다음과 같다. 마모속도는 최대 1600 rpm, 감속도는 $(\Delta V/\Delta t) = -0.0053 \text{ m/s}^2$, 오일 분위기에서 하중은 20kgf로 실시하였다. 마모 트랙은 마모실험이후 SEM (HITACHI S-3500H)을 이용하여 관찰하였다.

2.2 실험 결과

2.2.1 박막 특성

이번 연구에서 조사된 CrSiN and CrZrN 박막의 단면 미

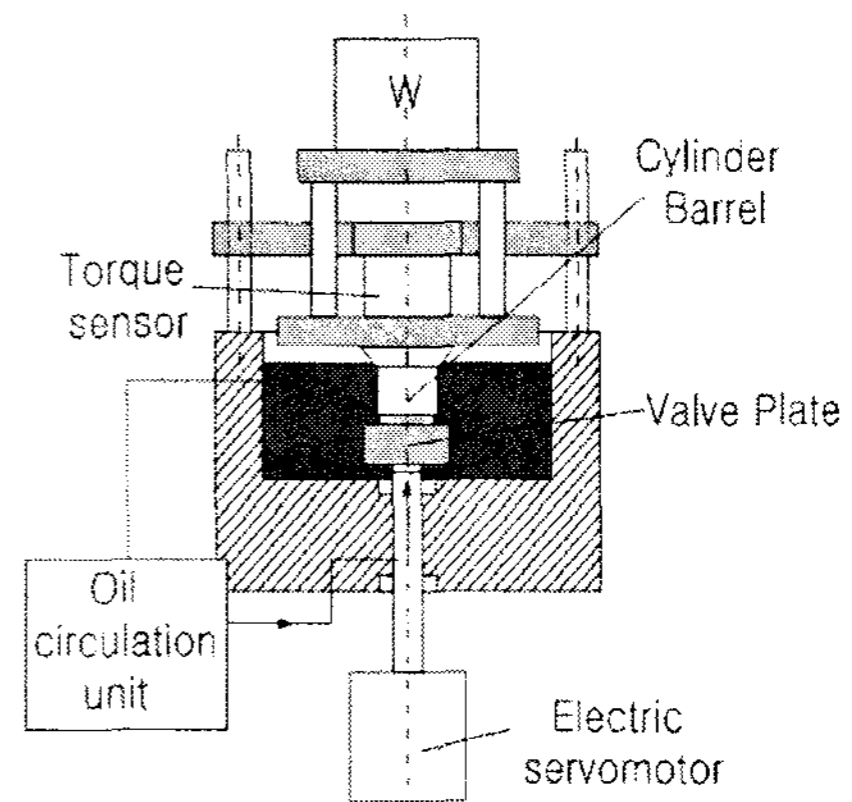


그림 1. 고속마모시험기 계략도

세조적은 그림 2의 (a),(b)에 나타나있다. 그림2(a)의 CrSiN (46.2Cr-9.8Si-44N in at.%) 박막은 조밀한 주상조직으로 되어있고 TEM 관찰결과 격자주기가 17nm인 CrNx과 Si₃N₄층으로 이루어져 다층박막구조를 나타냈다³⁾. 그림2(b)의 CrZrN (35.3Cr-14.5Zr-50.2N in at.%)박막은 fcc b1타입의 구조로 매우 조밀한 형상으로 나타났다⁴⁾. Cr-Si-N 박막의 경도(H)와 탄성계수 (E)은 약 24.2와 355 GPa이고 CrZrN 박막은 각각 33과 405 GPa이다^{3),4)}.

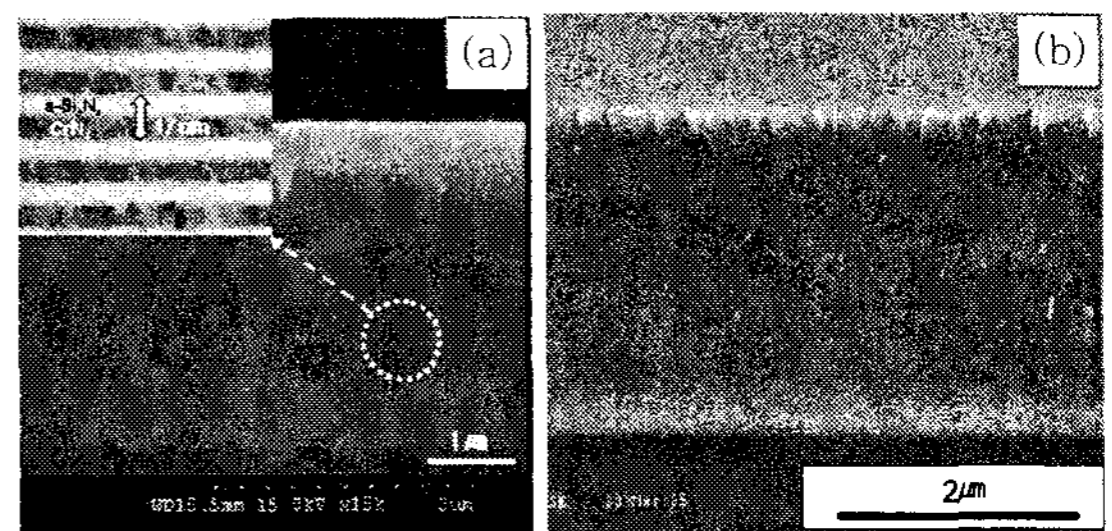


그림 2. 박막의 단면 (a)CrSiN, (b)CrZrN

2.2.2 표면조도

표면조도가 마찰거동에 큰 영향을 미치기 때문에 표면조도는 실린더배럴과 상대제인 밸브플레이트 표면조도를 마모실험전후에 측정 하였다. 결과는 표1.에 나타내었다.

플라즈마 처리된 실린더 배럴은 높은 Ra (0.1198 μm)값을 가지고 질화후 코팅박막은 CrZrN 코팅은 19.1% 그리고 CrSiN 코팅은 27.2% 만큼 감표면조도가 감소되었다. Cr-Si-N(0.1198 μm \rightarrow 0.0872 μm), CrZrN(0.1198 μm \rightarrow 0.0969 μm), Ra 값의 감소는 마모시험중 박막의 마찰거동에 좋은 효과를 가져다 줄 것으로 예상된다. 마모시험이후에 표면조도의 감소는 CrZrN($\Delta R=0.0413\mu\text{m}$, 42.6%) 으로 코팅

표1. 표면조도 (Ra, μm)

플라즈마 질화						질화 + CrSiN						질화 + CrZrN					
실린더배럴			밸브플레이트			실린더배럴			밸브플레이트			실린더배럴			밸브플레이트		
전	후	ΔR	전	후	ΔR	전	후	ΔR	전	후	ΔR	전	후	ΔR	전	후	ΔR
0.1198	0.0929	0.0269	0.0668	0.0624	0.0044	0.0872	0.0613	0.0259	0.0730	0.0670	0.0065	0.0969	0.0555	0.0413	0.0783	0.0664	0.0119

된 실린더 배럴이 Cr-Si-N ($\Delta R = 0.0259\mu\text{m}$, 29.7%)박막으로 코팅된 배럴보다 더 커진다. 질화된 배럴의 경우, $\Delta R = 0.0269\mu\text{m}$, 22.5%의 가장 작게 감소한 값이 측정되었다. 본 연구에서 사용된 금속의 표면경도는 CrZrN은 3050Hv (33GPa)⁴⁾, CrSiN 경우 2240Hv (22.4GPa), 질화 후 표면 경도는 615Hv, 밸브플레이트는 124 Hv로 알려져 있다. 밸브플레이트와 질화된 실린더 배럴과의 표면 경도의 차이(즉, CrZrN경우 $\Delta H_v = 2926$, CrSiN 경우 $\Delta H_v = 2116$, 질화의 경우 $\Delta H_v = 491$)를 고려하면 마모실험이후 실린더 배럴의 표면조도 감소는 경도의 차이에 따라 반비례한다. 상대제인 밸브플레이트의 경우 마모실험이후 표면조도의 감소정도는 실린더 배럴과 비슷한 양상을 보인다.

2.2.3 Stribeck Curves

CrZrN 과 CrSiN 박막으로 코팅된 실린더 배럴은 오일분위기에서 20kgf의 하중하에서 밸브플레이트를 상대체로 마모실험이 수행되었고 Stribeck 마찰거동은 그림 3.에서 보여진 바와 같이 질화처리된 마찰거동과 비교되었다. 기존 유압펌프에 사용된 질화처리된 실린더 배럴은 코팅된 배럴들보다 높은 약0.09 정지마찰을 보여주었다. CrZrN 코팅은 특히 초기의 200rpm이전의 낮은 속도 범위에서 빠르게 0.01이하로 마찰계수가 떨어지는 우수한 마찰거동을 보여주었다. 정지마찰은 유압펌프구조에서 시작시와 저속가동시의 거동에 강한 영향을 미치는 물성이다. 복합적인 마찰 범위에서 유체 마찰 범위까지의 전이는 CrZrN코팅된 배럴은 약 300rpm에서 그리고 CrSiN코팅된 배럴은 약 900rpm에서 발생한 것으로 나타났다. 900rpm이상의 회전속도에서 CrZrN코팅된 배럴에서 속도증가에 따른 마찰계수의 증가는 속도증가에 따른 유체점성의 증가로 설명될 수 있다. 하지만, 전체 회전속도에 걸쳐 혼합 마찰거동을 보여준 질화된 배럴에 비하여, 특히 시작과 저속가동시의 마찰거동의 잠재적 향상이 유추될 수 있다.

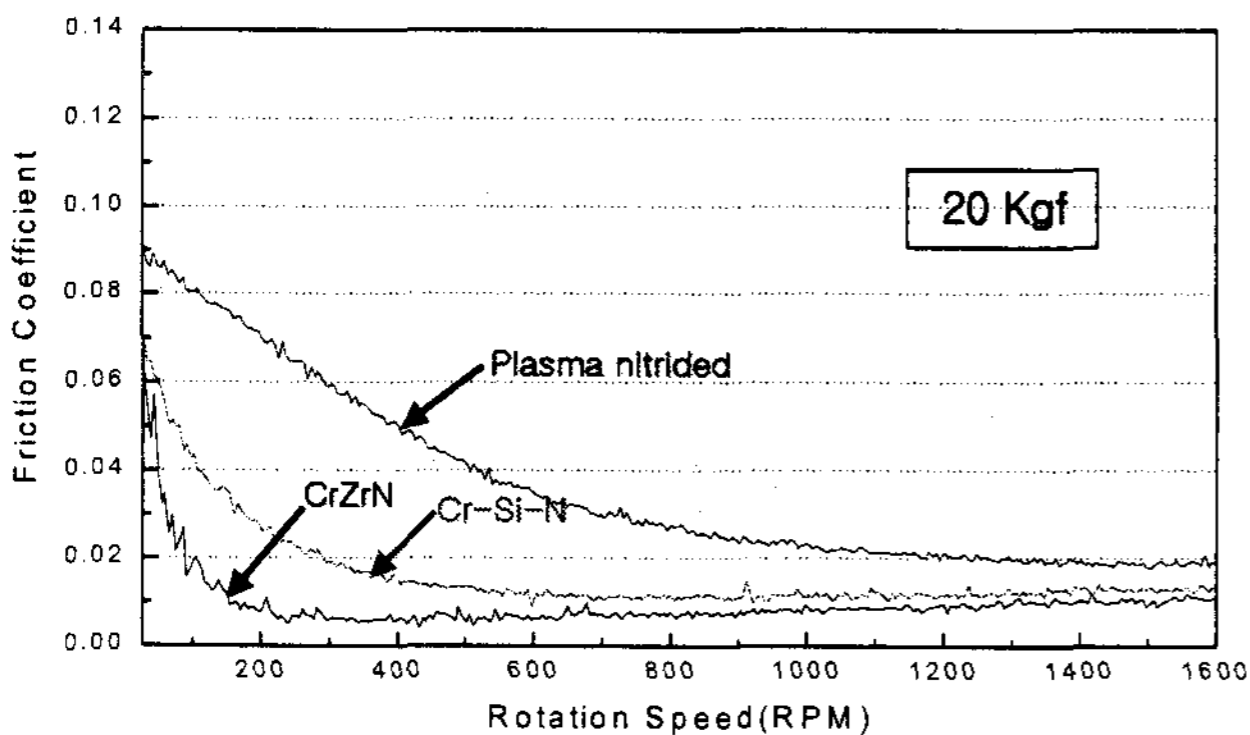


그림 3. Stribeck Curves 20Kgf

2.2.4 마모표면 관찰결과

실린더 배럴의 마모된 표면을 관찰한 결과 그림4와 같았다. 그림4(a)의 질화처리만 실시한 시편의 경우 전형적인 마찰마모형상을 나타냈다. 그림4(b)를 보면 CrSiN의 경우 박막이 국부적으로 균열이 생기거나 옆으로 전파 되는 것을 볼 수 있었다. 이것은 균열이 CrN과 Si₃N₄ 사이 계면에 도달할 때 결합력의 약화 때문에 이러한 계면을 따라 균열

이 전파하는 것으로 예상된다. 하지만 그림4(c)를 보면 CrZrN 박막은 단일 박막이고 결과적으로 계면이 존재하지 않기 때문에 균열이 원주방향으로만 균열이 생기고 CrSiN 같이 계면을 따라 균열이 전파되는것은 관찰할 수 없었다.

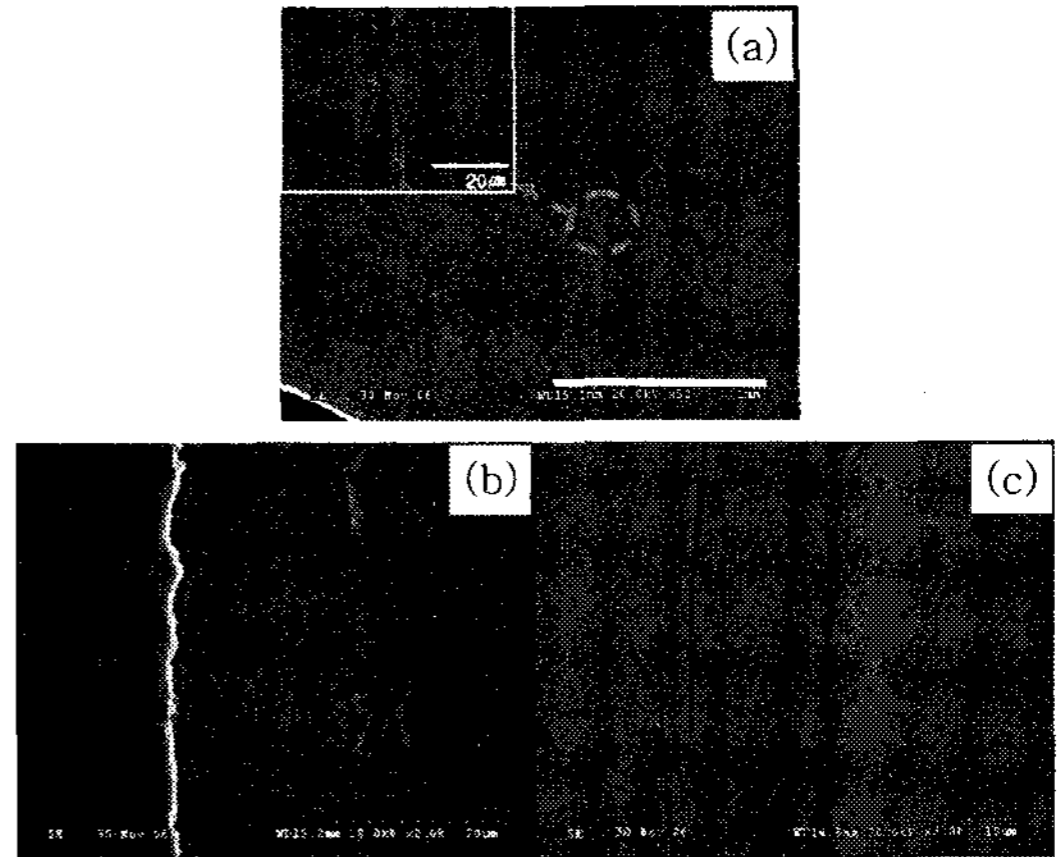


그림4. 마모트랙
(a)plasma-nitride, (b)CrSiN, (c)CrZrN

3. 결 론

1. 질화된 배럴에 PVD코팅의 적용을 통해, 표면조도는 CrZrN코팅의 경우 19.1% CrSiN코팅의 경우 27.2%만큼 감소했다.
2. 플라즈마 질화처리된 펌프부품보다 PVD코팅된 부품에서 마모특성이 많이 향상되었다. CrZrN 코팅은 특히 초기의 200rpm이전의 낮은 속도 범위에서 빠르게 0.01이하로 마찰계수가 떨어지는 우수한 마찰거동을 보여주었다.
3. 이 연구를 통해, CrZrN코팅은 유압펌프부품의 마모 특성향상을 위해 특히 토크 효율 향상을 위해 성공적으로 적용 할 수 있을 것으로 사료된다.

감 사 의 글

본 연구는 과학재단 (M20604005402- 06B040040210)의 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- [1] D.Howe, Sensors and Actuators A, Phys., 81(2000) 268
- [2] 홍예선, "사축식 유압 피스톤 펌프의 저속 마찰 특성 개선" 유공압시스템학회지 제1권 제3호 PP.7~13 2004년 9월 .
- [3] G.S. Kim, B.S. Kim, S.Y. Lee, Surf. Coat. Technol., 200(2005) 1814.
- [4] B.S. Kim, G.S. Kim, S.Y. Lee, J.H. Hahn, Surf. Coat. Technol., 200(2005) 1669.
- [5] N. N, "Secondary by Name But Not By Nature", Aircraft Technology Engineering & Maintenance -April/May, PP. 28~33, 2001