하이브리드 선형이온원에 의한 유압 기어펌프용 Cr-DLC코팅막의 특성과 효율성능

차순용^a · 김왕렬^b · 박민석^b · 권세훈^a · 정원섭^{a,c*} · 강명창^{a*}
^a부산대학교 하이브리드소재 솔루션 국가핵심연구센터(NCRC)
^b한국생산기술연구원 동남권기술지원본부, ^c부산대학교 재료공학부

Coatings Properties and Efficiency Performance of Cr-DLC Films Deposited by Hybrid Linear Ion Source for Hydraulic Gear Pump

Sun-yong Cha^a, Wang-Ryeol Kim^b, Min-Suk Park^b, Se-hun Kwon,
Won-Sub Chung^{a,c*} and Myung-Chang Kang^{a*}

^aNational Core Research Center for Hybrid Materials Solution, Pusan National University,
San 30, Jangjeon-Dong, Geumjeong-Gu, Busan 609-735, Korea

^bDongnam Technology Application Division, Korea Institute of Technology,
#204, 1274, Jisa-Dong, Gang Seo-Gu, Busan 618-230, Korea

^cSchool of Materials Science and Engineering, Pusan National University,
San 30, Jangjeon-Dong, Geumjeong-Gu, Busan 609-735, Korea

(Received October 20, 2010; Revised November 15, 2010; Accepted November 22, 2010)

Abstract This paper describes the results of the application of Cr-Diamond-like carbon (DLC) films for efficiency improvement through surface modification of spur gear parts in the hydraulic gear pump. Cr-DLC films were successfully deposited on SCM 415 substrates by a hybrid coating process using linear ion source (LIS) and magnetron sputtering method. The characteristics of the films were systematically investigated using FE-SEM, nano-indentation, sliding tester and AFM instrument. The microstructure of Cr-DLC films turned into the dense and fine grains with relatively preferred orientation. The thickness formed in our Cr buffer layer and DLC coating layer were obtained the 487 nm and 1.14 μm . The average friction coefficient of Cr-DLC films considerably decreased to 0.15 for 0.50 of uncoated SCM415 material. The hardness and surface roughness of Cr-DLC films were measured 20 GPa and 10.76 nm, respectively. And then, efficiency tests were performed on the hydraulic gear pump to investigate the efficiency performance of the Cr-DLC coated spur gear. The experimental results show that the volumetric and mechanical efficiency of hydraulic gear pump using the Cr-DLC spur gear were improved up to 2~5% and better efficiency improvement could be attributed to its excellent microstructure, higher hardness, and lower friction coefficient. This conclusion proves the feasibility in the efficiency improvement of hydraulic gear pump for industrial applications.

Keywords : Cr-DLC, Hybrid linear ion source deposition, Friction coefficient, Volumetric efficiency, Hydraulic gear pump

1. 서 론

다이아몬드 탄소박막(Diamond-like Carbon, DLC)

은 비정질(Amorphous)구조를 갖는 고상 탄소박막의 한 형태로, 그 물리화학적 특성이 다이아몬드와 유사하면서도 저온 합성이 가능하고, 표면이 평활하다는

*Corresponding Author : [Tel : +82-51-510-2361; E-mail : kangmc@pusan.ac.kr, wschung1@pusan.ac.kr]

합성기술상의 장점을 가지고 있다. 특히, 고경도, 고윤활성 등의 물리적, 화학적, 광학적 특성과 화학적 안정성 등의 특성으로 인하여 기계부품, 공구, 광학기기, 전자부품, 자동차부품 분야에 다양하고 적용되고 있다[1-3].

DLC 박막의 코팅 방법에는 이온 플레이팅, DC 혹은 RF를 이용한 화학적 기상증착법(CVD), 이온빔을 이용한 스퍼터링, 그리고 laser ablation을 이용한 연구결과가 보고되고 있지만, 이들 증착법들은 이온의 직진성과 집적도가 부족하여 증착되는 면적이 작아 생산성이 떨어지며 접합력과 경도 등 기계적 특성이 낮은 문제를 가지고 있다[4-5]. 한편, 선형이온원(Linear Ion Source, LIS)은 closed-drift 또는 anode-layer ion beam source의 형식으로서, 넓은 면적에 균일한 이온빔을 조사할 수 있고, 비교적 높은 에너지(50~1,500eV)를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다[6].

최근 자동차부품, 건설기계 및 산업기계 등에 널리 사용되고 있는 유압기어펌프(Hydraulic gear pump)는 인벌류트(Involute) 치형의 스퍼어(Spur) 구동기어와 종동기어를 케이싱 내에 맞물리게 내장하고 두 개의 기어가 회전하면서 오일을 흡수하여 토출하는 구조를 가진다. 고압력과 고마찰의 작업조건에 따른 출력향상과 동력전달의 효율을 증가시키기 위하여 소형화, 경량화, 저진동, 고강도 및 내마멸성이 높은 기어를 요구하고 있다[7].

그러한 작업환경에 대응하기 위한 방안으로 침탄과 질화처리법을 도입하고 있는데, 기어의 더욱 높은 피로강도, 고경도, 낮은 마찰과 마멸, 높은 하중 부당능력을 만족시키기에는 효율상승 등의 효과가 미비한 실정이다[8]. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 금속재료의 표면에 목적하는 효과를 발휘할 수 있는 물질을 코팅하여 그 표면의 특성을 향상시키기 위한 표면개질 연구가 필요하다. 지금까지, 복잡한 스퍼어기어의 증착기술과 유압기어펌프의 성능에 관한 실질적인 학제간의 응용연구에 대하여 거의 보고되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자동차 및 산업기계 등에 널리 사용되고 있는 기어재료인 SCM415 합금강을 모재로 선택하여 새로운 하이브리드 선형이온원(HLIS) 증착장치로 부터 시편과 기어표면간의 밀착력을 높이기 위하여 Cr을 중간층으로 하는 DLC 박막 코팅을 행하였다[9, 10]. 이를 통해 코팅층의 단면

형상, 경도, 마찰계수, 표면조도 값에 대한 코팅막 특성을 알아보았다. 그리고, 스퍼어기어에 있어서 Cr-DLC코팅 전과 후에 대하여 펌프 회전수와 토출 압력에 따른 유량을 측정하여 유압 기어펌프의 기계효율과 용적효율을 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. DLC박막의 하이브리드 증착 및 특성 분석

그림 1은 본 실험에서 사용된 챔버 내에 선형이온원(Linear Ion Source; LIS)과 마그네트론 스퍼터링(Unbalanced Magnetron Sputter; UBMS)시스템의 하이브리드 공정화를 통하여 Buffer layer층인 Cr을 증착과 동시에 DLC층을 증착 할 수 있는 하이브리드 공정 선형이온원(Hybrid Linear Ion Source; HLIS) 방식의 Cr-DLC 박막코팅 장치도이다. 특히 실제 시편에 DLC, TiN, CrN 등의 다양한 하드코팅막을 복합적으로 세척, 증착 및 합성공정에 활용할 수 있는 특징을 가지고 있다.

하이브리드 증착원리는 cathode와 anode사이의 가스흐름을 통해 이온화를 시키고 anode전압의 발생은 anode쪽에 적용된다. 이 전압은 안쪽과 바깥쪽의 팁 사이에서 높은 전자기장을 펼치고, 플라즈마 상태가 된다. 플라즈마 상태의 이온들은 anode전자장에 의해 튕겨나가서 이온 빔이 발생하여 이온들을 재료표면에 증착한다. 이러한 방법은 기존의 증착 방법[4,5]들에 비해 장시간의 코팅공정에도 방전 전류 값이 일정한 안정성과 95%이상의 균일한 박막특성을 재현할 수 있으며, square와는 달리 높은 경도 값과 낮

Fig. 1. Schematic diagram of hybrid coating system using linear ion source and unbalanced magnetron sputter for Cr-DLC films.

Table 1. The typical deposition conditions for Cr-DLC films deposited by hybrid coating system

Process	Voltage (V)	Current (A)	Bias	Temperature (°C)	Time (Min)	Gas Flow (sccm/s)
Ar cleaning	1,400	0.4	- 100	250	60	5(Ar)
Buffer Layer (Cr)	400~500	4	- 100	250	30	70(Ar)
DLC	1,400	0.6	- 100	150	60	5(Ar) 5(C ₂ H ₂)

은 마찰계수를 가지는 DLC박막의 대면적 코팅이 가능한 이점이 있다.

모재는 자동차구동부품으로 많이 사용되는 SCM415 강재로서, 가스침탄(Gas carburizing) 열처리기에 의해 표면경도는 비커스 경도값 745 kgf/mm²를 가진다. 시편으로서, 지름 20 mm 및 높이 10 mm의 원형(disk type)형상의 시편과 모듈(module) 1.9, 잇수 12, 압력각 25°를 가지는 한 쌍의 구동기어(Driving gear)와 종동기어(Drive gear)로서 인벌류트 치형의 스퍼어기어에 있어서 전처리 단계로 연마(polishing) 후, 5분간 아세톤액에서 초음파 세척을 시행하고 최종적으로 에틸 알콜로 세척 후 건조하였다.

표 1의 증착공정으로 아르곤 가스로 에칭(Etching)을 하고 모재와 최종 DLC박막사이에 스퍼터링(Sputtering)을 통하여 크롬(Cr)의 중간층(Buffer layer)을 증착한 후, DLC박막 코팅을 하이브리드 공정(Hybrid process)으로 수행하였다. 챔버 내 진공은 5.0×10⁻⁵ Torr, 에칭과 버퍼층 증착시의 온도는 250°C, DLC 증착은 150°C에서 anode voltage는 최적의 조건인 1400V로 증착시켰다[6].

Cr-DLC박막의 단면형상과 단면두께는 주사전자현미경(FE-SEM, Field Emission Scanning Electron Microscope, Hitachi S-4800)과 알파스텝(Tencor-10)을 이용하였고, DLC박막 증착 전, 마킹을 하고 증착 후 마킹을 지워 박막의 두께를 측정하였다. 경도는 나노 인덴테이션(Nano-indentation, MTS-XP)으로 측정하였으며 CSM모드를 사용하였고, 모재의 영향을 최소화하기 위하여 0~500 nm를 압자 깊이로 설정하였고, 20군데를 측정하여 평균값을 내었다. 평균 마찰계수는 일반적인 ball-on-disk형태의 장치를 이용하여 지름 8 mm의 볼을 5N의 수직하중 하에서 0.2 m/sec로 sliding test를 통해서 측정하였다. 표면조도는 원자

력간현미경(AFM, Digital instruments Nanoscope IIIa)을 이용하여, 수직 해상도 범위로 WSI: <0.5 nm, PSI: <0.1 nm 값으로 측정하였다.

2.2. 유압기어펌프의 효율시험

유압기어펌프는 구동기어(Driving gear)와 종동기어(Drive gear)가 케이싱 내에서 서로 맞물려 회전해서 이와 이 사이의 공간에 의해서 액체를 압출하는 펌프로써, 그 성능은 일반적으로 효율(Efficiency) 값에 의해 결정된다[11, 12]. 본 연구에 적용된 기어펌프의 효율을 측정하는 시스템 개략도는 그림 2(a)에 나타내었으며, 그 구성은 자체 설계 및 제작한 장치로 구동용 AC모터(Hyundai-Motor, 55 Kw), 압력을 형성시키는 릴리프밸브(Rexroth, ~25 MPa), 유압작동유의 온도를 제어하는 열 교환기(M.S TECH, MSOC-7500F) 그리고 유압탱크(1,000 liter), 회전수와 실제 토오크량을 측정할 수 있는 토오크미터(SETECH, YDNR-50K/YSA-375A 정도: ±0.3%), 토출되는 유량을 측정하는 유량계(SEIM, 정도: ±0.3%), 압력을 측정하는 압력계(KELLER, PA23S/80605, 정도: ±0.1%)로 구성하였다. 시험용 기어펌프의 상세구조는 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 하우징 내에 한 쌍의 스퍼어기어로 모터의 축에 설치하였다.

기어펌프의 성능을 평가하는 척도인 효율은 용적효율(volumetric efficiency)과 기계효율(mechanical efficiency)로 정의하고 있다[11]. 용적효율 η_v 는 펌프 내부의 마찰과 누유를 배제한 이론유량 즉 1회전의 이론유량(V_{th})에 회전수(n)를 곱한 유량에 대하여 실제 실험에 의한 유량(Q)의 값으로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\eta_v = \frac{Q}{V_{th}n} = 1 - q \doteq 1 - \frac{k_1 + k_2}{V_{th}} S^3 \frac{p}{\mu n} \quad (1)$$

여기서, q: 펌프 내부 누설량, K1은 기어 끝면 마찰

Fig. 2. Efficiency experimental apparatus and spur gear shape in the hydraulic gear pump. Spur gear was established at ④ position.

면의 마찰계수, K_2 는 기어 측면 마찰면의 마찰계수, S 는 측면간극(0.01 mm), μ 는 유압오일의 점도($0.46 \text{ cm}^2/\text{s}$), P 는 압력을 의미한다. 용적효율 이론 식에서 K_1 , K_2 , S , μ , n 의 값들 중 설계 값인 S 와 오일의 특성으로 나타나는 μ , n 의 값을 제외한 K_1 , K_2 마

찰계수를 낮추는 것이 효율상승의 가장 효과적인 방법이다. 용적효율의 실험은 KS B 6307 기어펌프 및 나사펌프의 시험 및 검사방법에 준하여 이론유량 $6(\text{cc}/\text{rev})$ 인 기어펌프를 일정한 회전수(n) 상태에서 펌프 토출측(outlet)에 일정한 압력(P)을 형성한 후, 펌프의 실제 유량(Q)을 측정하여 용적 효율식 (1)에 근거하여 그 값을 얻었다.

또한, 기어펌프의 기계효율 η_m 은 펌프내부의 마찰에 의한 손실동력을 포함한 실제 기어펌프의 구동에 필요한 실 소요 토오크(T_a)을 손실동력을 배제한 이론 토오크(T_{th})로 나눈 값으로서 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\eta_m = \frac{L_{th}}{L_s} = \frac{PV_{th}n}{PV_{th}n + W_s + W_\delta} \quad (2)$$

여기서, L_{th} 는 이론 동력($=P \cdot V_{th}$) 으로서 이론 토오크(T_{th})와 동일한 값을 가지며, L_s 는 실 동력($=P \cdot V_{th} + W_s + W_\delta$)으로 실 소요 토오크(T_a)를 의미한다. 그리고 W_s 는 기어 끝면에서의 마찰에 의한 손실동력, W_δ 는 기어 측면에서의 마찰에 의한 손실동력을 의미한다. 기계효율에서 기어 마찰에 의한 손실동력 W_s , W_δ 를 감소시킴으로서 효율상승을 가져올 수 있다. 기계효율 실험 또한 KS B 6307 기어펌프 및 나사펌프의 시험 및 검사방법에 준하여 표 2의 조건으로 일정한 회전수(n)로 기어펌프를 구동한 상태에서 펌프 토출 측에 일정한 압력을 형성한 후, 펌프의 실 소요 토오크(T_a)를 측정하였다.

이러한 방법으로, 구동과 종동의 한 쌍 스퍼어 기어에 있어서 SCM415의 강재와 강재 그리고 Cr-DLC증착한 강재와 강재를 유압기어펌프에 실제로 장착하였다. 성능테스트는 예비 시운전 후(running test, 펌프 회전수 1800 rpm, 토출 압력 0.3~18 MPa, 3분간 구동), 표 2에 주어진 조건과 같이 회전수 500~3000 rpm에서 토출압력 0.3 MPa~18 MPa까지 변화해가면서 유량과 토오크를 5~10회 측정하여 평균값을 나타내었고, 관련 이론식 (1)과 (2)에 대입하여 유압기어펌프의 용적 및 기계효율 값을 비교 평가하였다.

Table 2. Performance test conditions of hydraulic gear pump using spur gear

Pump speed (rpm)	Outlet pressure (MPa)	Temperature (°C)	Hydraulic Oil
500,750,1000,1400	0.4,5,10,15,18	45	ISO VG46
1800,2200,2600,3000			(GS Kaltex : RANDO 46)

3. 실험결과 및 고찰

3.1. Cr-DLC 코팅막의 특성

그림 3은 표 1의 증착조건을 사용하여, 아세틸렌(C_2H_2)가스와 아르곤(Ar)가스 분위기에 크롬(Cr) 타겟을 이용하여 증착된 중간층과 DLC층의 절단면 형상을 전자현미경으로 관찰한 사진이다. 코팅층의 두께 중에서 크롬 중간층의 두께는 487 nm이고, DLC코팅층의 두께는 1.14 μm 정도로 박막이 형성되었으며, 가장 아래의 모재와 DLC박막 사이 버퍼층이 우선배향성 이론을 바탕으로[13], 일정한 방향성을 나타내며 증착된 것을 관찰 할 수 있다. 또한, 하이브리드 선형이온원에 의하여 모재와 중간층, DLC층의 접합부 구조는 증착 시의 높은 이온에너지를 갖기 때문에 치밀한 구조를 나타냈으며, 각 층마다 균열, 핀홀(pin hole)과 같은 결함은 관찰되지 않았다.

나노 인덴테이션 하중 방법에 의한 Cr-DLC코팅막

Fig. 3. The cross-sectional FE-SEM images of DLC films and Cr layer on the SCM415 substrate.

Fig. 4. The hardness value and surface displacement of Cr-DLC films using nano-indentation method.

의 경도 값을 측정된 결과는 그림 4에 나타내었다. 모재의 영향을 최소화하기 위하여 0~500 nm를 압흔 깊이로 설정하였고, 통상적으로 박막의 경도를 10~20% 이내의 경도로 추정하는 것에 따라 100 nm에서 20회 측정된 평균값 인 20 GPa의 경도 값을 얻었다. 이 값은 기존에 보고되고 있는 W-DLC 코팅에 의한 16~18 GPa값[14]에 비하여 약간의 경도 향상효과가 얻어짐을 알 수 있고, 이러한 경도 향상효과는 내마멸성이 좋을 것[15]으로 간접적으로 판단할 수 있으며 향후 내마멸성 실험을 통하여 그 결과를 조사할 계획이다.

Cr-DLC박막의 특징 중의 하나인 저 마찰을 확인하기 위해 지름 8 mm 볼을 사용, 5N으로 마찰계수(Friction coefficient)를 측정된 결과, 그림 5와 같이 마찰계수 값이 0.15로 SCM415강재의 0.50[16]에 비하여 현저하게 감소됨을 알 수 있으며, 기존에 보고된 Si를 중간층으로 한 DLC코팅에서의 임의 사이클 구간에서 시작되는 마찰계수의 천이단계가 거의 발생하지 않고, 순수 DLC코팅의 안정된 마찰계수의 거동과 거의 일치하는 특성을 보였다[13, 14]. 이는 크롬계 입자의 접촉계면에서의 우수한 기계적 거동과 앞서 살펴본 그림 3의 절단면 형상에서 관찰한 결함의 부재로 인하여 얻어진 결과로 추측된다.

그림 6은 AFM의 접촉모드를 이용하여 코팅의 중심선 표면조도 값을 측정된 결과로서, 약 10.76 nm로 측정되었다. 하이브리드 선형이온원의 사용으로, 방전 전류 값이 매우 일정하게 되어 안정성있게 값

Fig. 5. The friction coefficient value of the Cr-DLC films against a steel ball. The friction coefficient of SCM415 material was reported to 0.50 [16].

Fig. 6. The surface roughness profiles of Cr-DLC films using AFM device. The dense-gray color means a deeper valley.

은 굴이 적게 나타나서 균일한 박막특성을 재현할 수 있었다.

3.2. 유압기어펌프의 효율특성 평가

유압기어펌프의 성능을 좌우하는 작동조건의 영향을 알아보기 위하여, 표 2의 펌프 회전수(speed)와 토출 압력(outlet pressure)의 변화에 따른 유량의 특성을 그림 7에 나타내었다.

그림 7(a)는 기어펌프의 토출압력이 18 MPa 인 경우에, 펌프 회전수의 변화에 따른 유량의 관계를 나타내고 있는데, 앞서 설명한 이론 식에서 예상한 바와 같이 모든 토출 압력에서 거의 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한, 코팅하지 않은 기어펌프와 Cr-DLC를 증착한 기어펌프의 유량을 비교해 보면 펌프 회전수 증가에 따라 유량차이가 500 rpm에서 0.1 lpm이고 3000 rpm에서는 0.4 lpm로 더 큰 유량 차이를 보였다. 이러한 결과는 기어 측면 및 끝면의 마찰계수의 영향으로 판단되며 펌프 회전수에 비례하여 기어펌프의 유량 증가로 기인하여 더 큰 유량 차이가 나타난다고 생각된다. 한편, 그림 7(b)는 각각의 펌프 회전수에 대하여 기어펌프의 압력을 0.3 MPa~18 MPa로 증가함에 따라 유량의 특성을 나타낸 결과로서, 압력의 증가에 따라 유량은 점차적으로 감소하다가 10 MPa이상의 압력에서는 거의 일정한 경향을 보인다. 유량이 감소하는 이유는 펌프 내부

(a) Flow rate according to pump speed

(b) Flow rate according to outlet pressure

Fig. 7. Comparisons of flow rate according to changes of pump speed and outlet pressure for uncoated and Cr-DLC coated hydraulic gear pump.

누설량(q)이 증가하기 때문이며, 10 MPa이상의 압력에서 안정화된 것은 기어의 변형이 서서히 증가하다가 하우징 면과 접촉되어 더 이상 변형되지 못하게 되고, 펌프내부의 각 부품들간 틈새가 일정하게 유지되면서 내부 누설량이 증가하지 않기 때문이다[12].

용적 효율식 (1)에 근거하여, 그림 7에서 얻어진 유량 값을 본 실험에 사용된 이론유량에 회전수를 곱한 값으로 나누게 되면 용적 효율선도가 얻어진다. 여기서의 이론유량은 기어펌프의 1회전의 이론유량(6 cc/rev)에 회전수를 곱한 값으로 펌프의 마찰, 누설 손실을 배제한 유량이다.

그림 8(a)는 각각의 펌프 회전수에 대하여 토출 압력의 증가에 따른 용적효율의 결과를 나타낸 것으로

(a) Volumetric efficiency according to outlet pressure at the each pump speed

(b) Mechanical efficiency according to outlet pressure at the pump speed 3000rpm

Fig. 8. Volumetric efficiency and mechanical efficiency curve according to changes of outlet pressure for uncoated and Cr-DLC coated hydraulic gear pump.

서, 용적효율은 토출 압력의 증가에 따라 감소하다가 10 MPa에서 거의 일정한 경향을 보이는데, 이러한 결과는 그림 7(b)의 결과와 동일한 현상을 설명할 수 있다. 또한 코팅 전후의 결과를 비교해보면, 무코팅의 스퍼어기어를 적용한 기어펌프의 용적효율은 Cr-DLC를 증착한 스퍼어기어를 적용한 기어펌프의 용적효율에 비하여 750 rpm에서 4.4%, 2200 rpm에서 2.3%, 3000 rpm에서 2.2% 낮게 나타났다. 이러한 결과는 무코팅의 스퍼어기어를 적용한 기어펌프인 경우가 내부 누설량이 더욱 많다는 것을 의미한다. 여기서, 내부 누설량은 식 (1)에서 압력(P)과 마찰계수(K1, K2), 측면 틈새(S)와 비례하며 오일의 점도(μ)

와 반비례한다. 따라서, 본 실험에서의 동일한 압력, 측면 틈새 및 오일점도 조건에 대해서, 용적효율은 내부 누설량에 의한 부품간의 마찰계수 값의 영향이 지배적임을 알 수 있다. 그림 4, 5에서 살펴본 바와 같이, Cr-DLC코팅에 의한 스퍼어기어의 경도 증가와 마찰계수값의 감소로 인하여 실제로 유압기어펌프에서 약 2~5% 정도의 용적 효율 상승효과를 얻었다.

그림 8(b)는 기어펌프의 최고 회전수인 3000 rpm에서 토출 압력을 0.3 MPa에서 18 MPa까지 증가할 때 측정된 토오크를 이론 토오크로 나누어 기계효율을 나타낸 결과로서, 여기서의 이론 토오크는 압력에 1회전당 유량을 곱한 값이다. 기계효율은 토출 압력의 상승에 따라 약간 증가하다가 10 MPa 이상의 압력에서 감소하는 경향을 보인다. 이는 앞서서 언급한 바와 같이 기어의 변형이 증가하다가 하우징면과 접촉되어 마찰저항이 증가하면서 기어회전에 대한 저항이 증대되었기 때문이다. 한편, 무코팅의 스퍼어기어를 적용한 기어펌프의 기계효율은 Cr-DLC를 증착한 스퍼어기어의 기어펌프에 비하여 약 5% 정도의 효율 저하가 발생했다. 이러한 현상은 기계효율 이론식 (2)에 근거하여 기어마찰에 의한 손실(W_s , W_g)로 설명할 수 있으며, 실제로 Cr-DLC에 의한 마찰계수의 저하는 기계효율의 증가효과에 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 선형이온원(LIS)과 마그네트론 스퍼터링에 의한 하이브리드코팅시스템에 의하여 SCM415재질의 원형 시편과 유압기어펌프용 스퍼어기에 Cr-DLC를 증착하여 코팅특성과 기어펌프의 효율을 평가한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

하이브리드 선형이온원에 의하여 크롬(Cr) 중간층과 DLC코팅층의 두께는 각각 487 nm와 1.14 μ m 정도로 일정한 방향성을 가지며, 치밀한 조직 구조를 나타냈다. Cr-DLC코팅에 의한 스퍼어기어의 마찰계수는 SCM415 강재의 0.50에 비하여 0.15정도의 매우 낮은 마찰계수 특성을 보였고, 중심선 표면조도는 10.76 nm값을 우수한 표면특성을 가졌다. Cr-DLC 박막을 유압기어펌프용 스퍼어기에 적용한 결과, 무코팅에 비하여 용적 및 기계효율은 높은 정도와 낮은 마찰계수에 의하여 2~5% 정도 상승됨을 확인하

었다. 이러한 결과를 통하여 Cr-DLC코팅은 유압기어 펌프에 적용 가능함을 알 수 있으며, 향후 코팅층의 밀착력실험(Adhesion test)을 통한 내마멸시험을 수행하여 유압기어펌프의 수명시험과의 관계를 조사할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 선도연구센터육성사업 학제간융합분야(NCRC)(2010-0008-277)와 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- [1] N. Renevier: Surf. Coat. Technol., **142-144** (2001) 67.
- [2] J. Robertson: Surface and Coating Technology, **50** (1992) 185.
- [3] C. H. Lee: J. Korean Power Metal. Inst., **16** (2009) 185 (*Korean*).
- [4] J. Robertson: Diamond & Related Materials, **2** (1993) 984.
- [5] J. Robertson: Surface and Coating Technology, **50** (1992) 185.
- [6] W. R. Kim, U. C. Jung, H. H. Jo, M. S. Park and W. S. Chung: J. Kor. Inst. Surf. Eng., **42** (2009) 175 (*Korean*).
- [7] J. Ivantysyn and M. Ivantysynova: Hydrostatic Pumps and Motors, Academia Book International (2001)
- [8] S. Hogmark, S. Jacobson, M. Larsson and U. Wiklund: Modern Tribology Handbook New York, CRC Press (2000).
- [9] K. R. Lee, K. Y. Eun, I. Kim and J. Kim: Thin Solid Films, **377** (2000) 261 (*Korean*).
- [10] Wei Dai, Guosong Wi and Aiying Wang: Diamond & Related Materials **19** (2010) 1307.
- [11] Naoki Insu, Daisuke Ogata and Harumistu Sasaki: Powder Metallurgy World Congress Part2 (2006) 940.
- [12] H. Walker: Gear Pump Teeth, Automobile Eng., **478** (2005) 347.
- [13] H. S. Ahn: Trans. KSMTE, **16** (2007) 212 (*Korean*).
- [14] W. Carlos, Silva, Mourae, R. T. Jose, Albano Cavaleiro and Branco: Solid State Science, **11** (2009) 1778.
- [15] M. S. Kim and S. P. Hong: J. Kor. Inst. Surf. Eng., **42** (2009) 173 (*Korean*).
- [16] Lu Long: A Doctoral Dissertation of Gyeongsang National Univ., Gyeong Sang National Univ., (2004) 105 (*Korean*).