

PVD/PACVD 코팅을 통한 부품의 성능과 내구성 향상 Improvement in the performance and reliability of components by PVC/PACVD Coating

김중성, 정용태, 석진우
울리콘발저스코팅코리아(유)

초 록 : 제품 표면에 코팅을 하는 것은 원자재나 디자인을 개선하는 것보다 훨씬 효과적인 결과를 가져온다. 제품에 코팅을 적용하면 성능과 신뢰성이 향상되어 수명이 증가되고, 소형 경량화가 가능해진다. 자동차 엔진과 그 외의 부품에 적용할 경우 에너지 절감 효과가 있고 친환경 요구에 부응할 수 있어 그 효과가 크다. 시스템의 잠재된 성능은 특정 목적에 따라 맞춤형 PVD/PACVD 코팅에 의해서 향상될 수 있고, 실제로도 많은 경우 PVD/PACVD 코팅만이 새로운 설계 솔루션을 실현 가능하게 해준다.

1. 서 론

마찰 및 마모거동은 공구 및 정밀부품의 수명에 영향을 미치는 주된 요인 중 하나이다. 이러한 마찰 및 마모거동은 주로 부품의 표면 특성에 따라 좌우되므로 부품의 표면처리 방법은 매우 중요하다. PVD/PACVD코팅은 신뢰성과 함께 경제성 있는 마찰시스템을 설계하는데 있어 그 우수성을 인정받고 있다.

공작 기계, 섬유 기계, 플라스틱 사출 성형기 및 식품 가공기 등에 PVD/PACVD 코팅이 표준으로 적용되고 있으며 유압펌프 및 밸브의 핵심 부품에 적용되어 그 효과가 증명된 기술이다. 또한 엔진 시스템의 성능을 향상시켜주기 때문에 유명 자동차 회사 및 부품 공급업체에서 사용하고 있다. PVD/PACVD 코팅이 적용되는 대표적인 예로 최첨단 디젤 연료 주입 시스템의 캡 밸브와 그 외의 부품 등이 있다.

오늘날 더욱 단순한 구조, 배기가스 감소, 유효제와 유지보수를 최소화 및 경량화, 고효율을 요구하는 시스템 설계의 요구에 부응하고자 하는 제품 설계자에게 PVD/PACVD 코팅의 성능을 포함한 내마모성, 내부식성 및 마찰저감을 위한 표면처리방법을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 WC/C 코팅

2.1.1 WC/C의 특성

WC/C 코팅은 비정질의 텅스텐카바이드와 탄소 재질(WC/C)이 다층구조를 이루는 코팅의 한 종류이다. 통상 4 μ m이하의 두께로 코팅되며 건조상태에서 0.1~0.2의 마찰계수를 갖는 장점이 있다.

2.1.2 WC/C의 장점

WC/C 코팅은 낮은 마찰계수 덕분에 유효유가 공급되지 않는 건조상태에서도 높은 하중을 견뎌주어, 피로와 마찰을 저감시켜준다. WC/C 1,000HK는 작용압력은 높으나, 비교적 마찰 조건이 양호하고 슬라이딩 속도가 낮은 경우에 적용된다. 특히 건조상태에서 마찰계수가 낮기 때문에 코팅되지 않은 상대재료를 보호해 주고, 만약 상대재료에도 코팅을 한 경우에는 마찰계수를 더욱 줄여준다. 슬라이딩 속도가 높은 경우에 사용되는 WC/C 1,500HK는 높은 경도를 갖고 있어, 연속마찰 조건에서 우수한 초기 길들이기 성능과 표면상태를 보여준다.

2.2 DLC 코팅

2.2.1 DLC 코팅의 특성

DLC는 탄소와 수소로 이루어진 비정질의 코팅이다. 코팅의 구조가 비정질 형태인 Diamond 구조와 흡사하기 때문에 매우 견고하고 안정적이다. DLC코팅은 건조상태에서 마찰계수가 0.1~0.2이고, 표면경도는 2,000HK 이상을 갖는 우수한 코팅이다. 높은 잔류응력을 해결하기 위해 특수 개발된 밀착력 증대기술을 적용하여 과도한 하중에서도 우수한 밀착력을 가진다. 통상 3 μ m 두께로 코팅 가능하다.

2.2.2 DLC 코팅의 장점

비교적 슬라이딩 속도가 높은 조건에서 사용할 수 있는 DLC코팅은 표면경도가 높고 마찰계수가 낮기 때문에 열악한 마모조건에서 부품간의 마모와 용착을 방지해 주고, 마찰 손실을 최소화 해준다. 또한 내부식성을 향상시켜준다. DLC코팅은 제품에 균일하게 분포되기 때문에, 코팅 후처리를 최소화하여 최소의 공차로 설계도록 해준다. 사용 온도가 250 $^{\circ}$ C 이하이기 때문에 저온 열처리 강이라도 조직의 변화 없이 코팅이 가능하다.

2.3 CrN 저온코팅

2.3.1 CrN 저온코팅의 특성

CrN 저온코팅은 코팅 후 표면조도의 증가가 0.02 μ m 이하이고, 코팅층 경도는 1,750HK를 갖는다

2.3.2 CrN 저온코팅의 장점

유효이 불충분하고 기계적 부하가 높은 조건에서 CrN 저온코팅은 우수한 내마모성과 마찰특성을 보여준다. 또한 수용성 전해질 시스템에서 내부식성이 크게 향상된다. 250 $^{\circ}$ C 이하에서 코팅하기 때문에 다양한 종류의 모재에 적용할 수 있다. CrN 저온코팅은 모재의 형상을 보존해 주고, 기존의 CrN 코팅에 비해 오염이나 잔류물을 생성하지 않으므로 후처리 작업이 필요없어 부품가공 공정의 마지막 단계에 적용할 수 있다.

2.4 PVD/PACVD 코팅의 적용사례

앞부분에서 설명된 PVD/PACVD 코팅의 장점을 이용하여 성능과 내구성 향상을 높이기 위하여 자동차부품 및 정밀 부품에 적용된다.

2.4.1 엔진

엔비 향상을 목적으로 엔진 블록을 경량화하기 위해 알루미늄 소재를 사용하는 등의 설계 혁신은 개발적인 측면에서 비용이 너무 높다. 특히 내부 마찰 감소와 이에 따른 출력의 증가에 대해서는 크게 고려되지 않은 것이 사실이다. 엔진 내에서의 마찰 손실은 여러 마찰 부위 중에서도 tappet, piston/connection rod joint, crankshaft, yalve train 및 oil pump에서 주로 발생한다. 마찰 감소는 출력을 증대시킬 뿐만 아니라 연비와 배기가스 저감에도 효과가 있다. WC/C, DLC 및 CrN 저온 등의 코팅은 경주용 자동차에서 그 효과가 입증되었다. 이러한 마모, 마찰이 우수한 코팅을 tappet, wrist pins 및 piston ring과 같은 엔진 부품에 적용하여 성능과 수명을 향상시킬 수 있다.

2.4.2 연료분사

디젤 엔진의 분사 압력은 2000bar 이상으로 상승하기 때문에 연료분사장치와 배기밸브는 최적화 되어야 한다. 그러나 이정도 수준의 고압은 기존에 사용하던 소재로 제작된 연료 분사 시스템의 부품 과도한 스트레스를 주기 때문에, 허용수준 이상의 마모를 발생시킬 수 있다. 하중의 증가와 배어링 간극의 영향으로 윤활 작용이 어려워지고 마모를 촉진시킨다. WC/C, DLC는 소재의 사용영역을 늘려주기 때문에 가혹한 stress로 인해 발생하는 마모와 응착마모로부터 정밀 부품을 보호한다. 동시에, 위급한 상황에서 운전할 수 있는 물성을 갖고 있기 때문에, 윤활제가 부족한 상황에서도 작동 시간을 연장시켜준다. 실제로, 위 코팅은 엔진의 출력력을 향상, 유지보수 간격 증대, 연료소모량 절감 및 탄화물과 같은 오염물질의 배출 저감 등의 효과가 있다.

WC/C와 DLC 코팅의 양산은 common-rail s stem, unit injector s stem의 injector, plunger 및 plain bearing의 기능상 반드시 필요하다. 또 다른 예로 하드 코팅은 상용 자동차와 선박용 디젤 엔진, 발전소에 채용된 in-line 및 distributor pump의 수명을 연장시킨다.

2.4.3 기계구동

차량과 기계의 드라이브 부품 설계의 경향으로는 신소재 개발, 경량화, 고효율화, 부하의 증가, 윤활제 소비 저감 및 유지보수 주기 연장 등이 있다. 이러한 경향은 bearing과 트랜스미션의 마모를 촉진시키는데, 대체 소재개발로는 마모 문제 해결에 한계가 있다.

내마모 코팅은 scuffing과 pitting으로부터 소재를 보호하고 수명을 연장시켜 주므로, 전체적인 시스템의 수명을 증대시킨다.

예를 들면, WC/C 카본 코팅은 중장비와 상용차의 미션, 경주용 자동차의 미션 등에 적용하여 마찰 감소, 출력 증대 효과 및 헬리콥터의 미션에 적용하여 비상상황에서의 안전성 증대 등의 효과로 그 진가를 인정받고 있다. 표면 피로, 마찰 산화, brinelling 방지 및 무윤활 운전의 대표적인 예로 극심한 하중이 작용하는 공업용 롤러베어링의 roller와 race 등에 적용되고 있다.

2.4.4 유체기술

산업의 방향이 경량화, 고압화, 고속화 되고 있기 때문에 유압기계들은 더욱 가혹한 마모조건에서 신뢰성을 가져야 하며, 윤활과 부식의 문제를 해결해야 한다..

하드코팅은 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안을 제시한다. PVD/PACVD 코팅을 적용하여 냉각기, 에어컨, 유압펌프 및 유압밸브 등의 마모를 줄이고 수명을 연장시킬 수 있다. 더욱이 코팅은 청동, 초경 및 세라믹과 같은 고가의 소재를 저가의 소재로 대체할 수 있도록 해준다.

2.4.5 그 외의 제품

긴 수명과 신뢰성을 필요로 하는 기계장비에서 정밀부품은 고도의 사양을 만족시켜야 하는데, PVD/PACVD 코팅은 기계 부품의 성능, 신뢰성, 수명을 현격 향상시키기 때문에, 요구되는 모든 사양을 만족시켜줄 수 있다. 많은 Mechanical 엔지니어링 분야에서 성능향상과 품질의 측면에서 코팅을 적용하면, 수명이 증가되며 유지보수기간이 연장되고 운영비용이 절감되기 때문에 절대적인 도움이 된다.

PVD/PACVD 코팅은 RCC (Registration and Consulting Compan)와 FDA (Food and Drug Administration)로부터 식품 산업에 대한 인증을 받았다.

2.4.5.1 Machine tools

가공기계를 이전보다 더욱 정밀하고 빠르게 가공해야 하기 때문에, 그에 따라 tool에 걸리는 높은 응력과 마찰력에 의하여 제품의 정밀도와 품질이 떨어지게 된다. WC/C 코팅은 정밀가공을 가능하게 할 뿐 아니라, gearbox, clamping

s stem, lead screw, guide rail, disc cam과 같은 가공 tool에 맞춤형 내마모성을 제공한다.

2.4.5.2 Injection moulding machines

ejector, gate, core와 같은 sliding 요소들에 WC/C 코팅을 적용하면 마모와 scuffing으로부터 효과적으로 보호될 수 있다. 완제품을 오염시키지 않기 위해 윤활제와 이형제를 사용하지 않는 경우 코팅이 반드시 필요하다. 내용착 마모의 덕분으로, PVD/PACVD 코팅은 screw tip, backflow yalye, nozzle 및 shutoff needle에 용해물의 응착마모를 감소시켜준다.

2.4.5.3 Textile machinery

섬유 기계에서 미세 섬유분자가 존재한다는 것은 다른 경우보다 연삭 마모가 심하다는 것을 의미한다. PVD/PACVD 코팅은 매끄러운 표면과 높은 경도를 갖기 때문에, weft arn holder, thread guide, gripper 및 shear와 같은 부품의 내마모 성능 향상을 위한 최상의 방법이다.

2.4.5.4 Food processing machinery

식품 가공 기계류에 사용되는 부품은 대부분 austenitic stainless steel로 만들어진다. 그러나, 이 steel은 비교적 경도가 낮기 때문에, 마모와 scuffing이 쉽게 발생한다. 음식물과 접촉하는 소재는 음식물과 화학반응이 없어야 하기 때문에, 많은 경우 윤활제나 전통적인 코팅은 사용될 수가 없다. PVD/PACVD 코팅은 이러한 요건을 만족시키며, 때문에 FDA의 승인도 획득하였다. ejector, gate, core와 같은 sliding 요소들에 WC/C 코팅을 적용하면 마모와 scuffing으로부터 효과적으로 보호될 수 있다.

2.4.5.5 Medical technology

의료 기구는 청결해야 하기 때문에 윤활제를 사용할 수 없다. 그러나 이로 인해 외과용 수술 기기는 더욱 쉽게 마모가 발생한다. WC/C와 DLC 카본 코팅은 이런 면에서 다양한 효과가 있다.

3. 결 론

PVD/PACVD 코팅은 실용적인 측면에서 많은 이점이 있으므로 광범위한 조건에 적용될 수 있다.

PVD/PACVD 코팅은 신뢰성과 수명 향상, 건조윤활에서의 보호, 고가의 소재의 대체, 출력 향상과 중량 감소, 윤활제 및 유지보수의 필요성 경감, 부식 감소, 환경 친화성, 후공정의 제거등의 특성으로 인하여 모든 산업분야에 걸쳐 성능과 신뢰성 향상, 수명 증가, 소형 경량화의 실현을 가능하게 해주는 엔지니어링 프로세스이다.