기능성 코팅 공정 개요

차 례

요약

코팅 공정은 표면의 마모나 부식을 방지하는 목적으로 산업적으로 널리 사용되어 왔으며, 최근에는 대전방지, 향균, 전자파 차폐 등의 기능성을 가지는 재료로 그 활용성이 확대되고 있다. 본 고는 코팅 산업의 산업적 중요성 및 코팅 공정의 분류와 산업적 응용 분야에 대하여 소개하고자 한다.

1. 서론

첨단 기술에 응용되는 대부분의 물질은 복합체(composite)이다. 즉 복합체로 구성된 표면의 물성은 그 물질의 내부 또는 벌크(bulk) 물성과는 구별되는 특징이 있다. 예를 들면 자동차 산업 등에 사용되는 엔지니어링 부품은 경도(hardness)뿐만이 아니라 인성(toughness) 도 또한 동시에 우수하여야 한다. 두 가지 상반되는 물성을 모두 만족하기 위해서는 표면은 경도가 높고 내부 물질은 인성이 좋은 복합체로 구성되어야 한다.

코팅 공정은 표면의 물성을 벌크 물성과 구분지음으로써 얻을 수 있는 독특한 물성 또는 경제적, 공학적 설계를 위하여 요청되는데, 이러한 벌크와 구별되는 표면은 다음과 같은 방법으로 형성될 수 있다. (1) 화학/물리 기상 증착법(chemical or physical vapor deposition), 전착공정(electrodeposition), 열융사공정(thermal spraying) 등의 overlay coating, (2) 다른 물질을 확산시켜 표면의 조성을 변경시키는 확산 코팅(diffusion coating) 또는 화학적 컨버젼 코팅(chemical conversion coating), (3) 표면이 신물질과 기존의 물질로 이루어지도록 외부에서 신물질을 도입하는 이온 플레이팅 공정 (ion implantation) 등이 있다.

특히 코팅된 표면과 기질로 이루어진 복합체의 거동은 표면 및 기질의 두 성분의 특징뿐만이 아니라 두 성분간의 상호 작용 정도에 따라 결정되는데, 이것이 코팅의 기질로의 접착력에 큰 영향을 준다. overlay coating등은 코팅면과 기질의 두 경계가 뚜렷이 구분되지만 이온 플레이팅이나 확산 코팅은 그 경계가 불분명한 경우가 많다.

코팅 산업에 사용되는 물질은 금속/비금속/합금 등 매우 다양하다. 알루미늄, 티타늄, 스테인레스 스틸 등은 자체적으로 형성되는 산화막으로 표면이 보호되는 경우이며, 아연, 크롬, 주석 등을 코팅 금속으로 사용하는 단일 금속 코팅과 아연-알루미늄, 주석-니켈 등의 합금 원소를 사용하는 합금/복합 금속 코팅(alloy/composite metal coating) 이 있다. 금속 코팅의 경우 비교적 크기가 작고, 고가인 정밀한 부품을 보호하기 위하여 사용된다. 비금속 코팅의 가장 대표적인 경우는 페인트, 고무, 플라스틱 등을 이용하는 유기코팅(organic coating)과 법랑과 세라믹 등을 이용하는 무기 코팅(inorganic coating)등이 있으며, 금속, 목재 등에 코팅되는 페인트, 안경/망원경/브라운관에 응용되는 광학 코팅, 전자 부품에 사용되는 진공 증착 등이 그 예가 되겠다.

2. 코팅 산업의 중요성

1950년대 후반부터 본격적으로 발전된 코팅 산업은 현재 실제적으로 거의 모든 엔지니어링 분야와 과학 전반에 걸쳐 응용되고 있으며, 특히 최근 10년간 이와 관련된 장치와 제품의 판매가 급격히 증가하고 있다. 최근의 조사에 따르면 (VDI-Technologiezeutrum-FRG), 전세계적으로 관련 장치의 시장 규모만 보더라도 약 6조원에 이르며(1989년), 관련 산업까지 포함하면 60조원 이상의 큰 시장을 형성하고 있다. 또한 표면 코팅 공학/산업으로 생산된 부품의 최종 시장 규모는 약 600조원에 이르는 막대한 규모이다.

코팅과 관련된 표면 공학은 향후 지속적인 성장산업으로 위치할 것으로 예상되며 이는 기능성 코팅으로 생산된 제품의 성능과 가격 경쟁력이 다음과 같은 측면에서 성장 잠재력이 있기 때문이다.

- 완전히 새로운 제품의 개발
- 기존에 해결되지 못한 공학적 문제의 해결
- 공학적 또는 심미적인 측면에서 기존 제품의 기능성 향상
- 환경적 측면: 표면 부식 등으로 발생되는 오수 등의 감소

3. 코팅 공정의 분류

코팅 공정은 관점에 따라 여러 가지 분류법으로 나눌 수 있는데, 기준에 따라 몇 가지 공정은 서로 중복이 될 수도 있기 때문에 엄밀하게 구분 짓기가 어렵다. Campbell 등은 박막/후막 형성의 화학적 방법을 다음 표 1과 같이 나누었다.

이와는 반대로 Schiller 등에 의한 물리적 방법에 의한 분류는 그림 1의 진공 증착 기술의 분류표와 같이 나눌 수 있다.

또한 재료 과학적인 측면에서는 코팅되는 물질의 차원 즉 원자/분자 수준, 액체 방울 또는 벌크 물질에 따른 분류로 Table 2에 나타내었으며, 대표적인 코팅 공정을 비교하여 Table 3에 나타내었다.

4. 응용 분야

현대 산업에서 코팅 기술을 응용한 대표적인 분야를 아래와 같이 나타내었다.

- 기능성 광학 제품: 레이저 공학 (반사 및 투과 레이져), 거울, 자동차 반사 거울, 반사/난반사 코팅, 광흡수 코팅, 태양광 흡수체 등
- 전자 산업: 전기 전도체, 절연체, 태양 전지 등
- 기계 산업: 윤활 필름, 내마모성 코팅, 확산 방지 장치, 절삭공구 등의 내구성 코팅 등
- 화학 산업: 부식 방지 코팅, 촉매 코팅, 엔진 날개 및 터빈, 배터리, 해양 구조물 코팅 등

보다 자세한 사항은 이후로 계속되는 원고에서 설명할 것이다.

5. 첨단 코팅 분야

기능성 코팅 공정을 이용한 첨단 연구 분야는 다음과 같다.

- 레이저 반사경 등의 고 효율 반사 표면 코팅
- 고온에서 운전되는 터빈의 날개를 위한 열확산 방지 코팅
- 정유 및 석탄 산업 등 고온의 부식환경에서 사용되는 밸브나 기타 부속품을 위한 부식/침식 및 열저항 코팅
- 첨단 절삭 공구 코팅

- 윤활제를 사용하지 않는 내마모 코팅
- 핵 반응 발전 반응기를 위한 방사능 차폐 코팅
- 구조용 고강도/고인성 세라믹 코팅
- 초미립입자
- 다이아몬드 또는 유사 다이아몬드 코팅

6. 앞으로 소개할 분야

이상으로 기능성 코팅에 관한 개략적인 내용을 소개하였다. 앞으로 약 10회에 걸쳐서 raw material for surface coating, thermal spray coating, electodeposition coating, physical vapor deposition coating, chemical vapor deposition coating, polymer coating, weld surface coating, characterization of surface coating, industrial applications of functional coating 등에 관한 정보를 제공할 계획이다.

Figure 1. Survey of vacuum deposition techniques

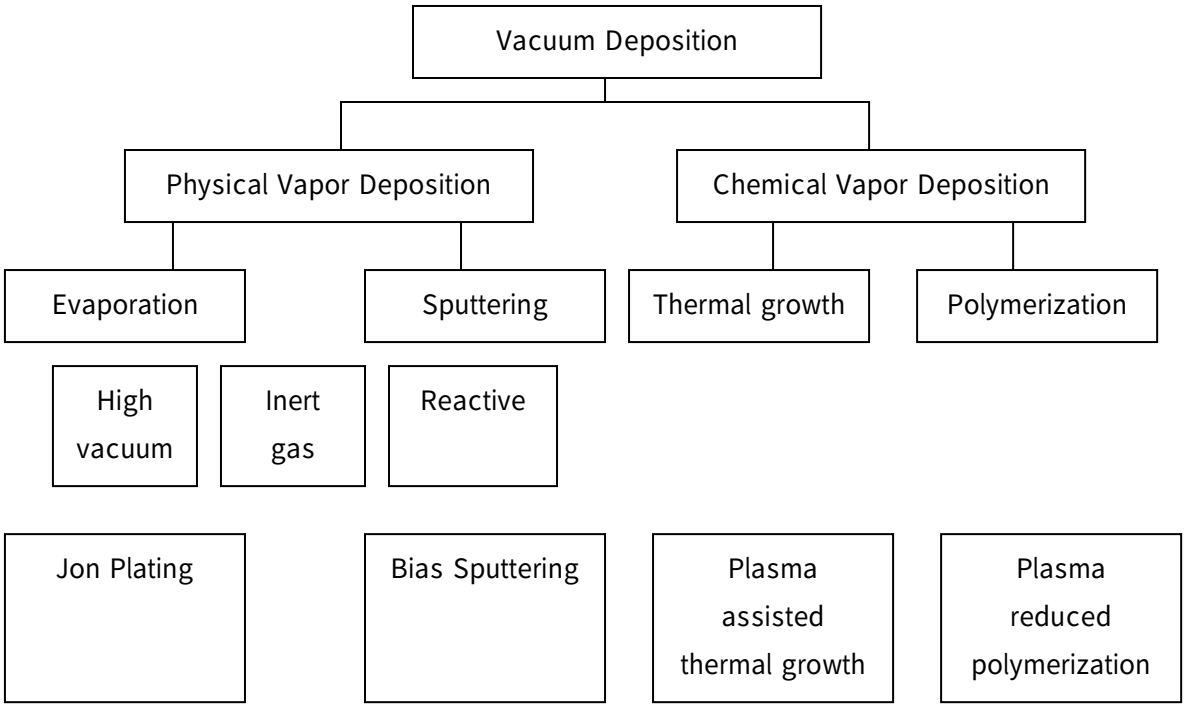

Table 1. Chemical Methods of Film Preparation

Basic Class		Method
Thin Film	Formation from the medium	Electroplating Ion Plating Chemical Reduction Vapor Phase Reduction Plasma Reduction
	Formation from substrate	Gaseous Anodization Thermal Reduction Plasma Reduction
Thick Film		Glazing Electrophoresis Flame Spraying Painting

Table 2. Methods of Fabricating Coatings

Atomic Deposition	Surface Modification
Electrolytic Environment - Electroplating - Electroless Plating - Fused Salt Electrolysis - Chemical Displacement Vacuum Environment - Vacuum Evaporation - Ion Beam Deposition - Molecular Beam Epitaxy Plasma Environment - Sputter Deposition - Activated Reactive Evaporation - Plasma Polymerization - Ion Plating Chemical Vapor Environment - Chemical Vapor Deposition : Reduction Decomposition Plasma Enhanced - Spray Pyrolysis Liquid Phase Epitaxy	Chemical Conversion - Electric Oxidization - Fused Salts Chemical-Liquid Chemical-Vapor - Thermal - Plasma Leaching Mechanical - Spot Peening Thermal Surface Enrichment - Diffusion from Bulk Sputtering Ion Implanation
Bulk Coatings	**Particulate Deposition**
Wetting Processes - Painting - Dip Coating Electrostatic Spraying - Printing - Spin Coating Cladding - Explosive - Roll Bonding Overlaying - Weld Coating	Thermal Spraying - Plasma Spraying - D-Gun - Flame Spraying Fusion Coatings - Thick Film Ink - Enameling - Electrophoretic Impact Plating

Table 3. Comparison of Surface Coating Processes and Deposits

	Vapor deposition	Electro-deposition	Thermal Spraying
Thickness/mm	0.001-0.2	0.02-0.5	0.1-1
Component geometry	Versatile	Versatile	Access to internal surface
Component size	Limited by chamber size	Limited by plating bath	No limit
Substrate material	Almost limitless	Almost limitless	Almost limitless
Substrate temperature/C	30-1000	100	200
Pretreatment	PVD – ion bombardment CVD – various	Chemical cleaning and etching	Clean and roughen surface
Post-treatment	Non/stress relief	Non/stress relief	Non
Coating porosity/%	Nil to small	Nil to small	1-15
Bond strength/MPa	High	100	20-140
Bond mechanism	Atomic, surface force	surface force	Mechanical
Control of coating thickness	Good	Good	Fairly good
Distortion of substrate	Low	Low	Low

Table 3. Comparison of Surface Coating Processes and Deposits (continued)

	Spray fusion	Welding
Thickness/mm	0.5-1.5	1-20 or more
Component geometry	Controlled by size of torch or gun	
Substrate material	Metals or alloys of higher melting point than coating	
Substrate temperature	1050	1400
Pretreatment	Clean and roughen surface	Mechanical cleaning
Post-treatment	Substrate annealing/stress relief as required	
Coating porosity/%	Nil	Nil
Bond strength/MPa	High	High
Bond mechanism	Metallurgical	Metallurgical
Control of coating thickness	Moderate	Moderate–variable Mechanized-good
Distortion of substrate	Moderated	Can be high, depending on substrate geometry