

SEM/EDX를 이용한 OPC 드럼용 AI 튜브의 표면결합 분석에 관한 연구

김청균[†]

홍익대학교 트라이볼로지 연구센터

On the Surface Defect Analysis of an Aluminum Tube for an OPC Drum using a SEM and EDX

Chung Kyun Kim[†]

Tribology Research Center, Hongik University

Abstract – The surface defects of an aluminum tube for an OPC drum have been analyzed using a scanning microscopy(SEM) and an energy dispersive X-ray analyzer(EDX). The SEM/EDX system, which may provide good information on the surface defects and their distributions, provides an optical diameter of an impurity and a chemical composition. These are strongly related on the coated film thickness and quality of an OPC drum, which is a key element of a toner cartridge for a laser printer. The experimental results show that the local deformations, scratch wear, and flaws are produce the non-uniform coating layers, which may be removed by a manufacturing process of an aluminum tube. The major parameters on the coating quality of an OPC drum are the impurities of an aluminum tube such as silicon, oxygen, calcium, carbon, sulphur, chlorine, and others. These impurities may be removed by an ingot molding, extrusion and drawing, quality control, and packing processes with a strict manufacturing technology.

Key words – SEM/EDX, Surface defect, OPC drum, Aluminum tube, Laser printer

1. 서 론

레이저 프린터의 핵심기술은 컴퓨터에서 전송된 글자, 문서, 이미지 등 다양한 정보를 신호로 공급받아 프린터 용지에 흑색 또는 컬러 토너(toner)를 사용하여 열로 정착하는 것이다. 레이저 프린터의 토너는 종이에 정착되면서 소모되는 파우더로 고급 인쇄물을 제작하는데 널리 사용되고 있다.

레이저 프린터에서 토너가 소모되면 새로운 토너를 간편하고 안정되게 공급하기 위해 개발한 방법이 Fig. 1에서 보여주는 토너 카트리지(toner cartridge)이다. Fig. 2에서 보여준 토너 카트리지를 보면 토너를 저장하고 공급하기 위한 토너용기, 토너용기에 저장된 토너

가루를 \ominus 극성으로 대전하여 롤러표면에 균일하게 묻히는 현상롤러, 컴퓨터에서 전송되는 다양한 정보를 제 공받아 \oplus 극성으로 대전되도록 하여 차후에 \ominus 극성의 토너가루를 받아들일도록 제작된 유기감광(Organic Photo Conductor: OPC) 드럼, OPC 드럼의 표면에 붙어있는 이미지 형상의 토너가 종이로 옮겨가도록 하는 전사롤러, 종이에 붙어있는 토너가루에 열을 가하여 완벽하게 정착하도록 하는 히팅롤러, 롤러에 붙어있는 토너가루를 물리적, 전기적 클리닝 작업을 하기 위한 블레이드 등으로 구성된다.

본 연구에 직접적으로 관련된 OPC 드럼은 1차적으로 와이퍼 블레이드(wiper blade)에 의해 OPC 드럼에 붙어있는 토너가루를 물리적으로 제거한 후에, LSU (laser scanning unit)로부터 읽혀진 정보를 레이저 빔에 의해 데이터가 공급되면 회전빔과 반사거울에 의해

[†]주저자 · 책임저자 : chungkyunkim@empal.com

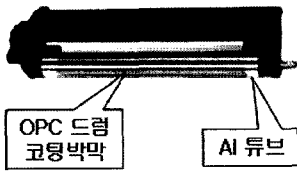


Fig. 1. Toner cartridge for a laser printer.

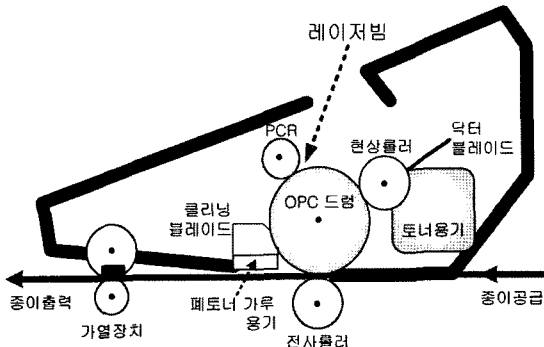


Fig. 2. Schematics of a toner cartridge.

OPC 드럼에 이미지가 나타나도록 대전을 걸어준다. 이때 코로나 와이어 또는 PCR(primary charge roller)은 OPC 드럼 표면에 직류 전압(-600 V 또는 -720 V)을 걸어준다. 공급된 전압이 적절하지 않을 경우는 인쇄과정에 그림자 현상, 줄이 생기는 현상 등이 발생한다.

OPC 드럼의 대전특성을 안정적으로 유지하기 위해서는 우선 도체의 AI 튜브를 부도체로 만들기 위한 UCL(under coating layer) 코팅과 전하를 수송하는 물질이 코팅되도록 하기위해 AI 튜브의 표면에 1 μ m 이하의 박막층으로 코팅하는 CGL(charge generation layer) 코팅이 있다. 이들 코팅박막은 레이저 프린터의 인쇄품질과 내마멸 내구성을 결정하는 핵심기술이다. OPC 드럼은 사용함에 따라 코팅박막의 구름마찰 마멸작용에 의해 감광작용이 떨어지고, 그 결과로 드럼에는 토너가루의 전착이 잘 안되어 인쇄품질은 떨어진다. OPC 드럼에 코팅된 박막은 마멸작용에 의해 드럼의 수명은 짧아지고, 특히 토너 카트리지의 재생성을 떨어뜨리는 주요 원인으로 작용한다.

국내외적으로 수행된 OPC 드럼에 대한 연구를 보면 OPC 드럼의 알루미늄 튜브에 대한 해석 및 최적설계 연구[1,2], 종이 굵기에 관련된 연구[3,4], OPC 드럼 표면의 시각적 자동검사 시스템에 관한 연구[5] 등 많지 않다. 특히 OPC 드럼의 코팅박막 불량 원인을 분석하기 위해 필요한 알루미늄 튜브의 표면결함, 발생

원인에 대한 연구는 아직 진행되지 않았다. 따라서 본 실험적 연구에서는 AI 튜브의 결함과 발생원인 등을 SEM/EDX로 분석고찰하고자 한다.

2. OPC 드럼의 소재특성

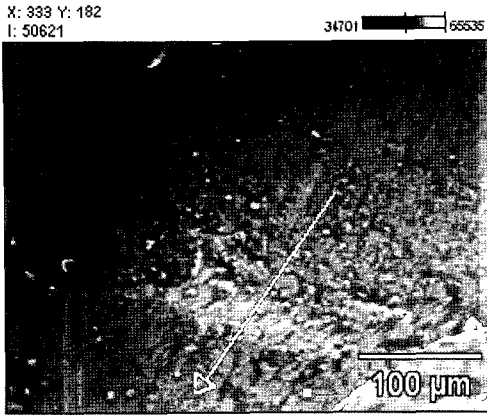
유기감광(OPC) 드럼을 중심으로 PCR, 현상드럼, 전사롤러, 종이 등의 상호접촉 구름마찰 운동과정에서 발생하는 굽힘 작용력은 알루미늄 튜브의 강도에 의해 결정된다. AI 튜브의 강도는 하중을 안전하게 충분히 지지할 수 있어야 대전작용과 토너가루의 균일한 부착과 이탈을 보장할 수 있다. 또한 AI 튜브의 균일한 강도와 표면의 가공정밀도는 튜브의 표면에 UCL, CGL 박막을 완벽하게 입힐 수 있다. 특히 알루미늄 튜브의 표면가공 정도가 불균일하거나 이물질의 혼입, 산화피막 형성 등은 AI 튜브의 표면에 안정된 코팅을 입힐 수 없어 레이저 프린터의 인쇄품질은 떨어지고 내구수명은 급격하게 줄어드는 문제점이 발생한다. 따라서 AI 튜브의 강도와 표면가공 정밀도와 균질성, 소재에 혼입물 침입 정도는 토너입자의 균일한 대전과 인쇄품질을 결정짓게 된다. 즉, 알루미늄 튜브의 표면의 상태는 코팅된 박막에 품질에 의해 결정적으로 영향을 미친다는 사실이다.

우리나라에서 OPC 드럼의 기본소재로 사용하는 AI 튜브에 대한 표준규격은 KS D 6761, KS D 0004에서 규정하고 있다. 본 연구에서 표면결함을 고찰하기 위해 선정한 OPC 드럼용 AI 튜브의 크기는 A4 용지를 인쇄하는데 널리 사용하는 모델이다.

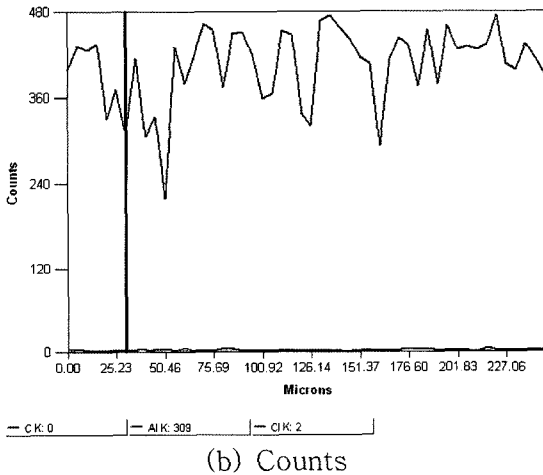
본 실험적 연구에서 소재에 함유된 불순물 특성을 실험하기 위한 선정한 OPC 드럼의 형상은 Fig. 1에서 보여준 것과 같고, 이 드럼의 종류는 KS 규격에 의해 AI 3003TD 보통급의 인발관이다[6]. KS 규격에서 제시한 AI 합금의 질별은 H14로 KS D 0004에서 정의하고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

OPC 드럼의 기계적 강도와 코팅박막의 품질을 결정하는 요소는 AI 튜브의 가공표면 정밀도와 소재에 혼입된 불순물이라 할 수 있다. AI 튜브의 가공 정밀도와 균질성은 코팅박막의 분포를 균일하게 하고, 두께를 일정하도록 하기 때문에 컴퓨터에서 전송된 이미지 정보가 OPC 표면에 안정되게 대전되면서 토너가루의



(a) Scanning direction



(b) Counts

Fig. 3. Image analysis and chemical compositions of an aluminum tube by SEM/EDX analyzer.

균일한 분포가 보장되어 우수한 품질의 인쇄물이 출력된다.

Figs. 3~8은 Al 튜브의 가공표면에 UCL과 CGL 코팅을 한 후, OPC 드럼에서 문제가 있는 경우 샘플링하여 분석한 결함사례에 대한 SEM/EDX 결과를 보여주고 있다.

3-1. 가공표면 결함에 의한 코팅불량

Figs. 3~5는 OPC 드럼의 코팅박막 결함문제가 Al 튜브의 가공정밀도와 가공과정에서 발생한 국부적인 급격한 변형과 흠(flaw), 스크래치 마멸 등과 연계된 경우에 대한 분석결과이다.

Figs. 3~5에서 보여준 SEM/EDX 분석결과에 의하면 알루미늄 표면에 입혀진 코팅막층은 외견상 양호해 보이지만 코팅박막과 Al 가공표면 사이에는 약간 떠있

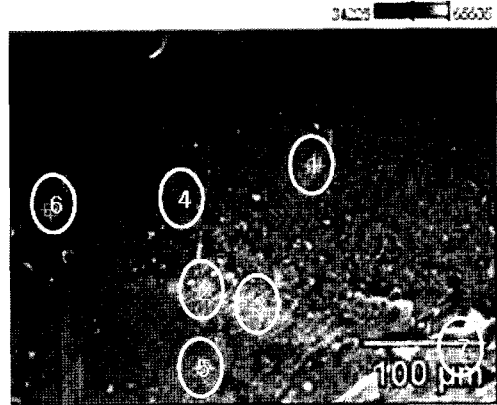
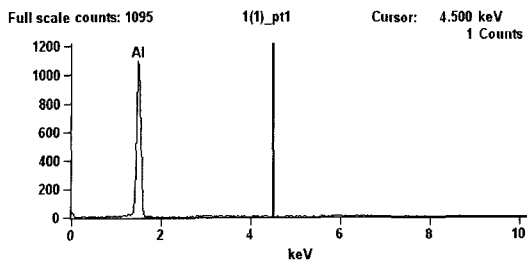


Fig. 4. Non-uniform surface SEM image with a deformed local area for an aluminum tube of an OPC drum.

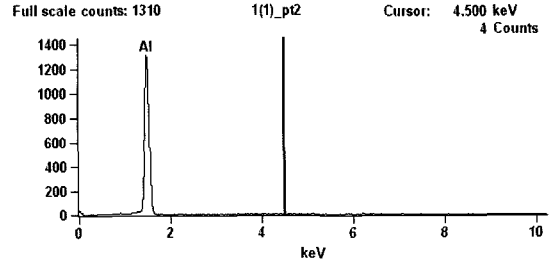
는 굴곡진 변형지역이 있어 박막은 불균일하고, 불안정하다. 이러한 OPC 드럼을 사용하여 프린트 작업을 반복적으로 진행하면 알루미늄 표면에 불완전하게 형성된 코팅박막은 곧 깨져서 인쇄품질이 떨어진다. 따라서 Fig. 3과 같은 가공표면을 갖는 Al 튜브는 사전에 제거하는 것이 좋다.

Fig. 3(a)은 Al 가공표면에 국부적인 작은 변형층, 스크래치 결함 등에 의해 코팅막이 안정적으로 입혀지지 않은 경우이다. 이것을 입증하기 위해 Fig. 3(a)에서 화살표 방향을 따라 성분을 분석한 결과를 Fig. 3(b)에서 제시하고 있다. Fig. 3(b)은 가공표면에 Al이 균일하게 형성된 것으로 보아 Al 표면의 코팅불량은 이물질 혼입에 의한 것이 아니라 국부적 변형이 원인으로 작동하고 있음을 알 수 있다. 비록 C와 Cl의 원소가 극미하게 검출되었지만, 이것은 가공 및 운반과정에서 발생한 혼합물로 OPC 드럼의 코팅박막에 직접적으로 영향을 미치는 않을 것으로 보인다.

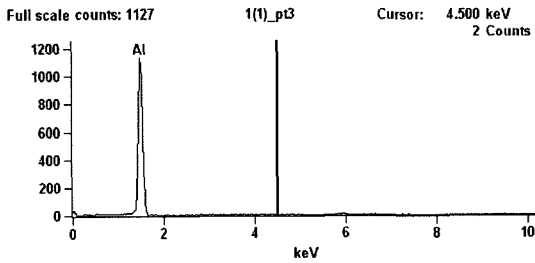
Al 표면의 가공결함에 의해 OPC 드럼 코팅이 불량하게 형성되었다는 것을 입증하기 위해 Figs. 4와 5와 같은 EDX 분석결과를 제시한다. 즉, Fig. 4의 Al 가공표면에서 불량발생의 원인을 제공할 것으로 의심되는 7개 지점을 EDX로 분석하여 Al 이외의 다른 이물질이 혼입되어 불량 코팅박막의 원인으로 작용하는가를 알아보기 위한 결과를 Fig. 5에서 제시한다. Fig. 4에서 결함부위라고 지목되는 7곳의 성분분석을 수행한 결과 알루미늄 성분 이외에는 특별한 이물질 성분을 찾아낼 수 없다는 결과를 Fig. 5에서 제시한다. 따라서 Fig. 3의 코팅불량 원인은 이물질 혼입이나 결정



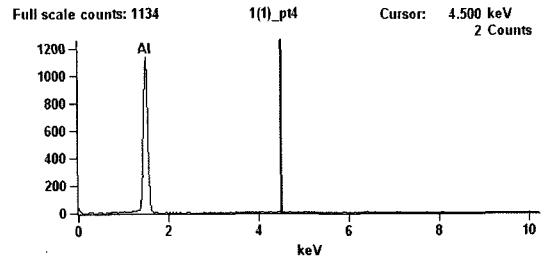
(a) Point 1



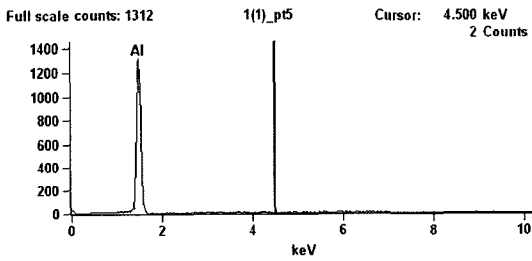
(b) Point 2



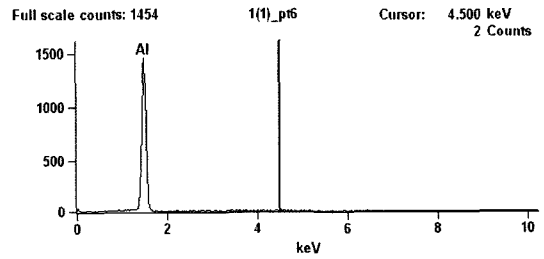
(c) Point 3



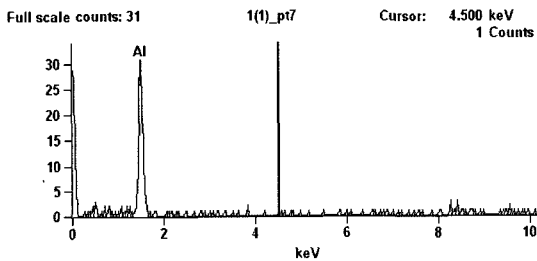
(d) Point 4



(e) Point 5



(f) Point 6



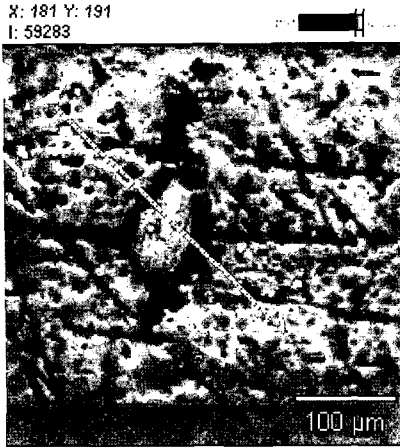
(g) Point 7

Fig. 5. Impurity of an aluminium tube based on the EDX chemical composition analyzer.

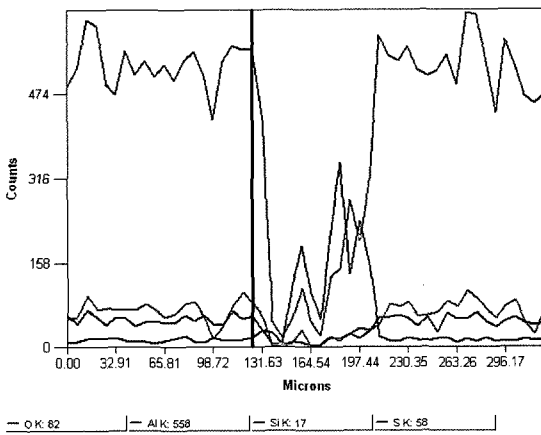
입자 경계면의 흠에 의한 것이라기보다는 표면에 형성된 작은 변형결함에 의해 발생된 것으로 추정된다.

OPC 드럼 표면에 형성된 국부적인 불균일한 가공불량, 스크래치 마모, 흠 등에 의한 코팅불량 원인은 비교적 간단하게 해결될 수 있다. 즉, Al 튜브에 양질의

코팅박막을 입하기 위해서는 Al 표면의 균일한 가공이 중요하고, 또한 Al 가공제품의 운반, 저장과정에서 스크래치, 흠 등이 발생되지 않도록 세심한 공정관리를 유지하면 된다.



(a) Scanning direction



(b) Counts

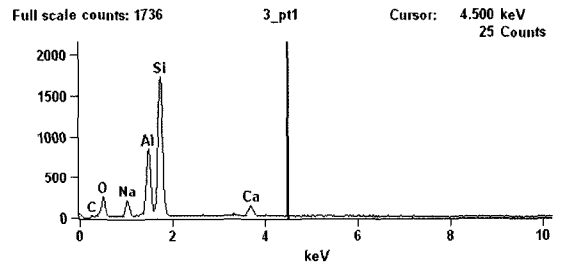
Fig. 6. Image analysis and chemical compositions of an aluminum tube with an elliptical impurity by SEM/EDX analyzer.

3-2. 이물질 혼입에 의한 코팅불량

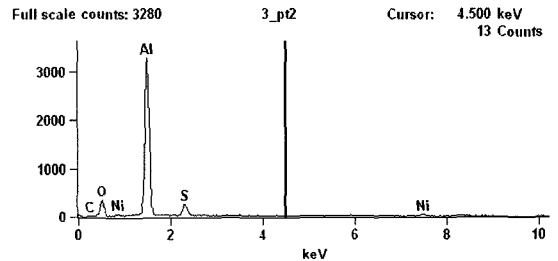
Fig. 6은 알루미늄 표면에 혼입된 이물질로 인해 OPC 드럼의 표면코팅이 잘 진행되지 않아 발생한 불량품 사례를 보여주고 있다. Fig. 6(a)은 알루미늄 표면에 형성된 타원형의 작은 입자의 실제성분과 불량원인을 파악하기 위해 화살표 방향을 따라서 EDX 분석을 수행하였다. Fig. 6(b)의 분석결과에 의하면, 타원형의 이물질에서는 규소성분이 절대적으로 많았고, 그 다음으로 산소, 황 등이 일부 검출되었지만, 그 주변에서는 절대적으로 많은 Al 소재가 측정되었다. 이것은 Al 소재의 표면에 모래나 흙 등에 묻어있던 규소성분이 잉고트, 압출 및 인발가공 등의 공정에서 혼입되었을 것이고, 산소는 제조공정에서 불가피하게 혼입되는 것으로



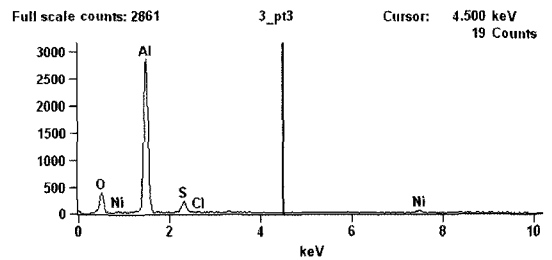
Fig. 7. SEM image with an elliptical impurity of an aluminum tube for an OPC drum.



(a) Point 1



(b) Point 2



(c) Point 3

Fig. 8. Impurity of an aluminium tube based on the EDX chemical composition analyzer.

로 생각된다. 따라서 Fig. 6의 코팅불량 원인은 규소 이물질 혼입에 의해 발생되었을 가능성이 대단히 높다. 이것을 규명하기 위해 Figs. 7~8의 EDX 분석작업을 수행하였다.

Fig. 7은 OPC 드럼의 코팅표면에 형성된 이물질 성분을 정밀하게 분석하기 위해 타원형 이물질 형상을 포함하여 그 주변 3곳을 관찰한 SEM 결과를 보여주고 있다. 타원형 이물질을 분석한 Fig. 8(a)의 실험결과에 의하면, 타원형 이물질은 규소성분이 대부분이고 Al이 그 다음으로 혼입되어 있으며, 산화피막, Na, Ca, C 등과 같은 다양한 불순물이 혼입되어 있다. 이것은 OPC 드럼의 박막형성을 어렵게 만드는 이물질들로 제조과정에서 모래성분이 혼입되었고, 산화현상이 진행되었으며, 손이나 바닥물에 섞여있는 Na, Ca 성분들이 녹아들어 갔고, 제조과정에서 C 또한 혼입된 것으로 생각된다. Fig. 8(b)은 이물질 주변을 분석한 결과로 Si 성분이 없는 대신에 S, Cl, 산소 성분 등이 혼입된 것이 특징적이고, Fig. 8(c)에서는 S, Cl, 산소 등이 불순물로 혼입된 코팅막 불량량의 제조원인을 제공할 단서들이 발견되었다.

이물질 혼입에 의해 발생된 코팅 불량품 사례를 제시한 Figs. 6~8의 실험결과를 요약하면, Al 소재에 규소나 산화물질과 같은 고경도의 이물질 침입으로 OPC 드럼의 코팅박막 형성과 내구성 보장을 어렵게 한다. 따라서 Al 튜브를 제조하는 공정에 Si 성분의 혼입을 배제하기 위해 공장의 바닥을 모래나 흙, 시멘트만으로 깔지 말고, 시멘트 바닥에 페인트로 코팅하고 먼지나 이물질이 침입하지 못하도록 진공청소를 실시하고 실내환경의 오염도를 관리하는 것이 필요하다. 또한, 소재에 묻어있는 Na, Ca 등의 성분은 제조, 운반, 저장과정에서 사람의 손이나 주변의 바닥바람 등에 의해 미량 혼입된 것으로 Al 튜브 제조과정에서 손으로 제품을 만지지 않도록 장갑을 사용해야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 OPC 드럼의 기본소재로 사용되는

Al 튜브표면에 입히는 코팅박막의 불량발생 원인을 분석하기 위해 SEM/EDX 분석법을 사용하였다. Al 튜브의 표면에 형성되는 코팅박막의 불량원인은 기계적인 표면결함(표면가공 정밀도, 가공에 따른 국부적인 변형, 스크래치, 결정입자 경계면 흠 등)과 이물질 혼입에 의해 알루미늄 소재와의 분명한 경계면인 것으로 고찰되었다.

따라서 Al 표면에 형성된 기계적인 결함은 가공정밀도를 균일하고 정밀하게 유지하면 되고, 특히 제조공정에서 부주의한 취급으로 발생하는 스크래치나 외부충격을 배제해야 한다. 반면에 제조공정에서 이물질 혼입에 의한 코팅결함은 특히 바닥면의 청결도와 황사현상에 의한 이물질 혼입을 차단할 수 있도록 환경개선, 최선의 대책은 클린룸에서 Al 튜브를 제조하는 것이다. 그렇지 못할 경우는 공장의 바닥은 최소한 시멘트 바닥면에 페인트를 칠하고 이물질 혼입을 차단하기 위해 주기적으로 진공청소를 하는 것이 필요하다. 또한 제조공정에서 작업자가 손으로 알루미늄 제품을 직접 만지는 것은 절대적으로 피해야 하고, 이것을 해결하기 위해 청결한 장갑이나 비닐장갑을 사용하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

1. 김청균, “토너카트리지 OPC 드럼용 Al 튜브의 응력 및 변형거동에 관한 연구”, 윤활학회지, Vol. 23, No. 3, pp. 89-94, June 2007.
2. 김청균, 오경석, “다구찌 실험법을 이용한 OPC 드럼용 튜브의 최적설계 연구”, 윤활학회지, Vol. 23, No. 3, pp. 103-108, June 2007.
3. 구도현, 한순홍, “프린터의 급지기구 설계 전문가 시스템”, KMIS '94 추계학술대회 논문집, 1994.
4. Mittal, S. and Dym, C. L., “PRIDE: An Expert System for the Design of Paper Handling Systems”, IEEE Computer, Vol. 19, July 1986.
5. 김영철, 이동현, 김경웅, “이중범프포일 공기베어링의 성능해석”, 한국윤활학회지, Vol. 23, No. 3, pp. 123-129, 2007.
6. “이음매 없는 알루미늄 및 알루미늄합금관 KSD 6761”, 한국표준협회, 2002.