(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0012583
(43) 공개일자 2021년02월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B41F 13/08 (2006.01) *B05D 3/02* (2006.01)
B41F 13/02 (2015.01) *B41F 33/00* (2015.01)
G01L 5/00 (2020.01) *G06F 17/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B41F 13/08 (2013.01)
B05D 3/0254 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0090563
(22) 출원일자 2019년07월26일
심사청구일자 2019년07월26일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
이창우
경상남도 창원시 의창구 평산로195번길 37, 301호(서상동)
이종수
서울특별시 은평구 응암로 218-4, 702호(응암동)
김성용
경상남도 진주시 북장대로 70(상봉동)
(74) 대리인
특허법인가산

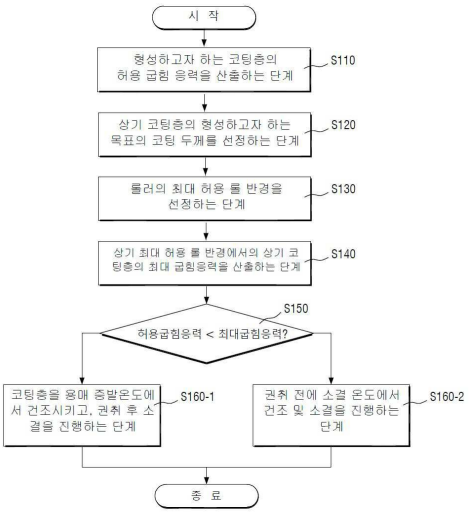
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법**

(57) 요 약

본 발명은 형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력을 산출하는 단계; 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 선정하는 단계; 롤러의 최대 허용 롤 반경을 선정하는 단계; 상기 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 단계; 및 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력과 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 비교하는 단계를 포함하는 롤투롤 인쇄방법에 관한 것으로, 취성 용액의 코팅에 의한 코팅층의 형성 시, 구성 롤(구동롤 및 보조롤)과 코팅층 사이의 반경 응력으로 인한 크랙의 발생을 방지할 수 있다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
B41F 13/02 (2018.08)
B41F 33/00 (2018.08)
G01L 5/00 (2013.01)
G06F 17/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20173010032140
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	에너지기술평가원
연구사업명	에너지기술개발사업
연구과제명	SOFC의 경제성 극대화를 위한 점탄성 전단공정 기반 셀 제조기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국과학기술연구원
연구기간	2018.07.01 ~ 2019.04.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력을 산출하는 단계;

상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 선정하는 단계;

롤러의 최대 허용 롤 반경을 선정하는 단계;

상기 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 단계; 및

상기 코팅층의 허용 굽힘 응력과 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 비교하는 단계를 포함하는 롤투롤 인쇄방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작은 경우, 상기 코팅층을 용매 증발 온도에서 건조시키고, 권취 후 소결을 진행하는 것을 특징으로 하는 롤투롤 인쇄방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작지 않은 경우, 상기 코팅층의 권취 전에 소결 온도에서 건조 및 소결을 진행하는 것을 특징으로 하는 롤투롤 인쇄방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 롤러는 감기롤러인 것을 특징으로 하는 롤투롤 인쇄방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 것은 하기 수학식 (1)을 통해 산출하는 것을 특징으로 하는 롤투롤 인쇄방법.

$$\sigma_{bending} = \frac{E(th_{e,d})}{2R} \quad \cdots \text{수학식 (1)}$$

(단, 수학식 (1)에서, $\sigma_{bending}$은 최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력이고, E는 코팅층의 탄성계수이며, $th_{e,d}$는 코팅층의 목표 코팅 두께이고, R은 롤러의 최대 허용 롤 반경임.)

청구항 6

코팅층이 코팅된 필름이 권취된 롤러의 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 것은 하기 수학식 (1)을 통해 산출되는 것을 특징으로 하는 코팅층의 최대 굽힘응력 산출방법.

$$\sigma_{bending} = \frac{E(th_{e,d})}{2R} \quad \cdots \text{수학식 (1)}$$

(단, 수학식 (1)에서, $\sigma_{bending}$은 최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력이고, E는 코팅층의 탄성계수이며, $th_{e,d}$는 코팅층의 목표 코팅 두께이고, R은 롤러의 최대 허용 롤 반경임.)

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 롤러의 최대 허용 롤 반경은, 상기 롤러에 필름이 감겨져 있을 때의 필름의 반경을 포함하는 롤 반경인 것을 특징으로 하는 코팅층의 최대 굽힘응력 산출방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 취성 용액의 코팅에 의한 코팅층의 형성 시 발생될 수 있는 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 롤투롤(Roll-to-Roll) 슬롯 다이(slot die) 공정을 이용한 유연태양전지(flexible solar cell)와 같은 유연 박막 전자소자 생산에 관심이 집중되고 있다. 특히, 슬롯-다이(Slot-die) 공정은 다른 인쇄 방식에 비해 코팅 균일도가 뛰어나 다층(Multi-layer) 전극층 인쇄 및 무반사(anti-reflection; AR)코팅 등의 산업 공정에서 쓰이고 있다.

[0003] 슬롯-다이 공정에서는 유연기판의 이송 속도, 공급 유량(Injection rate), 코팅갭(Coating gap), 용액의 표면장력(Surface tension), 용액의 점도(Viscosity) 등이 중요한 변수라고 할 수 있겠고, 이러한 변수들은 박막의 두께(코팅 두께)에 많은 영향을 끼친다.

[0004] 박막의 두께는 유연전자소자의 성능에 직접적으로 영향을 미친다. 이러한 예로 전도성(Transparency), 투명성(Transmittance), 전극층 사이의 전자 이동도(Mobility) 등을 들 수 있겠다.

[0005] 기존의 산업 공정에서 쓰이고 있는 슬롯-다이 기술은 단층(Single-layer) 인쇄를 통한 코팅 공정으로 주로 쓰이고 있고, 사용되는 물질의 특성(Property)들이 한정적이기 때문에 경험적으로 공정조건을 선택해도 큰 무리가 없었다.

[0006] 그러나 현재 활발히 연구 중인 롤투롤 인쇄 방식을 이용한 전자소자 박막 패터닝 기술은 다양한 물질을 사용할 뿐만 아니라 각 층별로 최적의 성능을 나타내는 박막 두께도 다양하기 때문에 공정 변수에 대한 정밀한 제어가 필요하다. 또한, 시행착오를 방지하고 재료의 소모와 시간 소요를 줄여 다양한 변화에 민감하게 대응하는 것이 필요하다.

[0007] 그렇지만, 현재까지 이러한 롤투롤 슬롯-다이 인쇄 방식에서 원하는 박막 두께를 얻기 위한 제어 기술 특히 박막 형성에 큰 영향을 끼치는 공정 변수를 제어하는 기술에 대한 연구는 제대로 이뤄지지 않고 있다.

[0008] 특히, YSZ(Yttria-Stabilized Zirconia, 이트리아 안정화 지르코니아)와 같은 취성 용액의 코팅에 의한 코팅층의 형성 시, 구성 롤(구동롤 및 보조롤)과 코팅층 사이의 반경 응력으로 인한 크랙의 발생에 대해서는 전혀 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허 10-2011-0049062

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 취성 용액의 코팅에 의한 코팅층의 형성 시 발생될 수 있는 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0011] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 지적된 문제점을 해결하기 위해서 본 발명은 형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력을 산출하는 단계; 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 선정하는 단계; 롤러의 최대 허용 롤 반경을 선정하는 단계; 상기 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 단계; 및 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력과 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 비교하는 단계를 포함하는 롤투롤 인쇄방법을 제공한다.

[0013] 또한, 본 발명은 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작은 경우, 상기 코팅층을 용매 증발 온도에서 건조시키고, 권취 후 소결을 진행하는 것을 특징으로 하는 롤투롤 인쇄방법을 제공한다.

[0014] 또한, 본 발명은 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작지 않은 경우, 상기 코팅층의 권취 전에 소결 온도에서 건조 및 소결을 진행하는 것을 특징으로 하는 롤투롤 인쇄방법을 제공한다.

[0015] 또한, 본 발명은 상기 롤러는 감기롤러인 것을 특징으로 하는 롤투롤 인쇄방법을 제공한다.

[0016] 또한, 본 발명은 상기 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 것은 하기 수학식 (1)을 통해 산출하는 것을 특징으로 하는 롤투롤 인쇄방법을 제공한다.

$$\sigma_{bending} = \frac{E(th_{e,d})}{2R}$$

[0017] ... 수학식 (1)

[0018] (단, 수학식 (1)에서, $\sigma_{bending}$은 최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력이고, E는 코팅층의 탄성계수이며, $th_{e,d}$는 코팅층의 목표 코팅 두께이고, R은 롤러의 최대 허용 롤 반경임.)

[0019] 또한, 본 발명은 코팅층이 코팅된 필름이 권취된 롤러의 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 것은 하기 수학식 (1)을 통해 산출되는 것을 특징으로 하는 코팅층의 최대 굽힘응력 산출방법을 제공한다.

$$\sigma_{bending} = \frac{E(th_{e,d})}{2R}$$

[0020] ... 수학식 (1)

[0021] (단, 수학식 (1)에서, $\sigma_{bending}$은 최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력이고, E는 코팅층의 탄성계수이며, $th_{e,d}$는 코팅층의 목표 코팅 두께이고, R은 롤러의 최대 허용 롤 반경임.)

[0022] 또한, 본 발명은 상기 롤러의 최대 허용 롤 반경은, 상기 롤러에 필름이 감겨져 있을 때의 필름의 반경을 포함하는 롤 반경인 것을 특징으로 하는 코팅층의 최대 굽힘응력 산출방법을 제공한다.

발명의 효과

[0023] 상기한 바와 같은 본 발명에 따르면, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값의 비교를 통하여, 상기 코팅층을 용매 증발 온도에서 건조시키고, 권취 후 소결을 진행하거나, 또는, 상기 코팅층의 권취 전에 소결 온도에서 건조 및 소결을 진행하는 것을 선택함으로써, 취성 용액의 코팅에 의한 코팅층의 형성 시, 구성 롤(구동롤 및 보조롤)과 코팅층 사이의 반경 응력으로 인한 크랙의 발생을 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 일반적인 구조에 따른 롤투롤 인쇄방법을 설명하기 위한 개략적인 도면이다.

도 2는 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법을 설명하기 위한 개략적인 흐름도이다.

도 3은 코팅용액의 Stress-Strain Curve를 도시하는 일예이다.

도 4는 본 발명에 따른 롤투롤 인쇄장치의 일예를 도시하는 실사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0026] 아래 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시를 위한 구체적인 내용을 상세히 설명한다. 도면에 관계없이 동일한 부재번호는 동일한 구성요소를 지칭하며, "및/또는"은 언급된 아이템들의 각각 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.

[0027] 비록 제1, 제2 등이 다양한 구성요소들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 구성요소들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 구성요소는 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 구성요소일 수도 있음은 물론이다.

[0028] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소 외에 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0029] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0030] 공간적으로 상대적인 용어인 "아래(below)", "아래(beneath)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 구성 요소와 다른 구성 요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 구성요소들의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시되어 있는 구성요소를 뒤집을 경우, 다른 구성요소의 "아래(below)" 또는 "아래(beneath)"로 기술된 구성요소는 다른 구성요소의 "위(above)"에 놓여질 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 "아래"는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 구성요소는 다른 방향으로도 배향될 수 있고, 이에 따라 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.

[0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0032] 도 1은 일반적인 구조에 따른 롤투롤 인쇄방법을 설명하기 위한 개략적인 도면이다.

[0033] 도 1을 참조하면, 일반적인 구조에 따른 롤투롤장치는, 소재필름을 풀어주는 풀기롤러(101), 작업이 이루어진 필름을 감아주는 감기롤러(102), 특정 가공공장이 이루어지는 작업롤러(103), 필름에 장력을 부여하는 텐션롤러(104) 등의 주요 롤러와, 필름의 방향을 바꾸어 주거나 처짐을 방지하는 가이드롤러, 필름을 다른 롤러에 밀착시켜 미끌어짐(Slip)을 방지하는 닙롤러(Nip Roller), 필름의 주름을 펴주는 익스팬더롤러(Expander Roller) 등의 보조롤러(105)들을 구비하고 있다. 상기 보조 롤러와 같이 동력이 공급되지 않고 단순히 회전만 하는 롤러들을 통칭하여 아이들러(Idler)라고도 한다.

[0034] 상기 각종 롤러 중 풀기롤러(101)와 감기롤러(102) 그리고 작업롤러(103) 중 어느 하나 이상의 회전 속도가 적절하지 않을 경우, 풀기롤러(101)와 감기롤러(102) 사이에 있는 필름의 이송 속도가 서로 일치하지 아니하여 필름에 미끄럼이 생기거나 주름이 생기거나, 이송속도의 제어난조가 발생하는 등의 문제가 발생한다. 따라서 박막증착과 같이 정밀한 작업이 이루어지는 롤투롤장치에서는 롤러의 회전속도 제어가 아주 중요하다.

[0035] 통상적인 롤투롤장치는 컨트롤러(120)을 구비하여 주요 작업공정이 이루어지는 작업롤러(103)에서 일정한 필름 이송속도를 가지도록 작업롤러(103)의 회전속도를 제어한다. 그리고 풀기롤러(101)와 작업롤러(103) 사이 그리고 작업롤러(103)와 감기롤러(102)사이에 구비된 텐션롤러(104)에서 필름의 장력(Tension)을 측정하는 텐션미터(108)를 구비하여, 필름에 항상 일정한 장력이 작용하도록 풀기롤러(101)와 감기롤러(102)의 회전속도를 제어한다.

[0036] 만약 풀기롤러(101)와 작업롤러(103) 사이의 텐션롤러(104)에서 필름의 장력이 낮을 경우에는 작업롤러(103)의 회전속도는 일정하게 유지되어야 하므로 풀기롤러(101)의 회전속도를 감소시켜 필름의 장력이 증가되도록 하고, 필름의 장력이 높을 경우에는 풀기롤러(101)의 회전속도를 증가시켜 필름의 장력이 감소되도록 한다. 그리고 만약 감기롤러(102)와 작업롤러(103) 사이의 텐션롤러(104)에서 필름의 장력이 낮을 경우에는 감기롤러(102)의 회전속도를 증가시켜 필름의 장력이 증가되도록 하고, 필름의 장력이 높을 경우에는 풀기롤러(101)의 회전속도를 감소시켜 필름의 장력이 증가되도록 한다.

[0037] 롤러의 구동에는 회전속도의 조절이 가능한 교류서보모터(109, AC Servo Motor)가 많이 사용된다. 교류서보모터는 감속기(110)와 서보앰프(111)를 구비하고 있고, 속도제어기(112)를 구비하여 회전 속도를 조절한다.

[0038] 상기와 같은 제어를 함에 있어서, 작업롤러(103)의 경우 필름이 항상 일정한 지름의 롤러를 지나므로 필름의 이송 속도(v)는 롤러의 반지름(r)에 회전속도(ω)를 곱한 값(v=rω)이 되어 롤러의 회전속도 제어가 비교적 간단하다. 그러나 풀기롤러(101)와 감기롤러(102)의 경우 작업이 진행됨에 따라 필름이 감긴 반지름(r)이 계속 변하므로, 롤러의 회전속도 제어가 어렵다.

[0039] 한편, 이와 같이, 통상적인 롤투롤장치에서는, 풀기롤러(101)와 감기롤러(102)의 경우 작업이 진행됨에 따라 필름이 감긴 반지름(r)이 계속 변하게 되고, 특히, 감기롤러(102)의 경우, 롤투롤장치에 의해 형성되는 코팅층이 필름층에 형성된 상태로 상기 감기롤러(102)에 감기기 때문에, 코팅층의 두께에 따라서도 상기 감기롤러(102)의 반지름은 다양하게 변화하게 된다.

[0040] 이때, 상술한 바와 같이, YSZ(Yttria-Stabilized Zirconia, 이트리아 안정화 지르코니아)와 같은 취성 용액의 코팅에 의한 코팅층의 형성 시, 상기 감기롤러(102)와 코팅층 사이의 반경 응력으로 인한 크랙이 발생하게 된다.

[0041] 하지만, 구성 롤러(구동롤러 및 보조롤러), 예를 들면, 상기 감기롤러와 코팅층 사이의 반경 응력으로 인한 크랙의 발생에 대해서는 전혀 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이며, 따라서, 본 출원인은, 취성이 높은 재료를 통해 코팅층을 형성하더라도, 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법을 제공하고자 한다.

[0042] 도 2는 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법을 설명하기 위한 개략적인 흐름도이다.

[0043] 도 2를 참조하면, 먼저, 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법은, 형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력을 산출하는 단계를 포함한다(S110).

[0044] 이때, 형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘을 산출하는 것은, 형성하고자 하는 코팅층의 코팅용액의 Stress-Strain Curve를 통해 산출할 수 있다.

[0045] 도 3은 코팅용액의 Stress-Strain Curve를 도시하는 일예이다.

[0046] 도 3에서의 코팅용액은 YSZ 용액으로, 탄성계수(Elastic Modulus)는 200GPa에 해당하고, 파손강도(Failure strength)는 40MPa에 해당한다.

[0047] 즉, 도 3에 도시된 바와 같이, YSZ 파손강도는 40MPa로 굽힘 응력은 최대 40MPa을 초과할 수 없으므로, 형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력은 40MPa로 산출될 수 있다.

[0048] 결국, 이러한 형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력은, 형성하고자 하는 코팅층의 재료에 따라 달라질 수 있는 것으로, 본 발명에서 형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력의 범위를 제한하는 것은 아니다.

[0049] 다음으로, 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법은, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 선정하는 단계를 포함한다(S120).

[0050] 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께는, 사용자의 필요에 의해 선정할 수 있는 것으로, 본 발명에서 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 제한하는 것은 아니다.

[0051] 예를 들어, 상기 코팅층으로 YSZ 층을 형성하는 경우, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 10 내지 30㎛로 선정할 수 있으며, 다만, 상술한 바와 같이, 본 발명에서 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 제한하는 것은 아니다.

[0052] 다음으로, 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법은, 롤러의 최대 허용 롤 반경을 선정하는 단계를 포함한다(S130).

[0053] 상기 롤러는 구동롤러 또는 보조롤러일 수 있으며, 다만 본 발명에서, 상기 코팅층이 크랙이 가장 많이 발생하는 부분은 상기 구동롤러 중 상기 감기롤러에 해당할 수 있으므로, 본 발명에서 상기 롤러는 감기롤러인 것이 바람직하다.

[0054] 도 4는 본 발명에 따른 롤투롤 인쇄장치의 일예를 도시하는 실사진이다.

[0055] 도 4에 도시된 바와 같이, 롤투롤 인쇄장치는 풀기롤러 및 감기롤러 등을 포함할 수 있으며, 이때, 상기 롤러의 최대 허용 롤 반경은, 상기 롤러에 필름이 감겨져 있을 때의 필름의 반경을 포함하는 롤 반경을 의미하며, 예를 들어, 상기 롤러가 감기롤러인 경우, 상기 감기롤러에 코팅층이 형성된 필름이 감겨져 있을 때의 필름의 최외각까지의 반경을 롤 반경이라 정의할 수 있다.

[0056] 이때, 상기 롤러의 최대 허용 롤 반경을 선정하는 것은, 상기 롤러에 필름이 감겨져 있는 상태에서 주변의 다른 구성들과 중첩(또는 접촉)되지 않는 범위 내에서 선정할 수 있다.

[0057] 예를 들어, 상기 롤러가 감기롤러인 경우, 상기 감기롤러에 코팅층이 형성된 필름이 감겨져 있는 상태에서, 상기 감기롤러가 주변의 다른 구성들과 중첩(또는 접촉)되지 않는 범위 내에서, 상기 감기롤러에 코팅층이 형성된 필름이 최대한 감겨질 수 있는 상태를 감기롤러의 최대 허용 롤 반경으로 선정할 수 있다.

[0058] 따라서, 본 발명에서 롤러의 최대 허용 롤 반경은 사용자에 의해 적절히 선정될 수 있으며, 예를 들어, 상기 롤러가 감기롤러인 경우, 본 발명에서 상기 감기롤러의 최대 허용 롤 반경은 40㎜일 수 있으며, 본 발명에서 롤러의 최대 허용 롤 반경의 범위를 제한하는 것은 아니다.

[0059] 다음으로, 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법은, 상기 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 단계를 포함한다(S140).

[0060] 상기 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 것은 하기 수학식 (1)을 통해 산출할 수 있다.

[0061]
$$\sigma_{bending} = \frac{E(th_{e,d})}{2R} \quad \text{... 수학식 (1)}$$

[0062] (단, 수학식 (1)에서, $\sigma_{bending}$은 최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력(이하, "최대 굽힘응력"이라 함.)이고, E는 코팅층의 탄성계수이며, $th_{e,d}$는 코팅층의 목표 코팅 두께이고, R은 롤러의 최대 허용 롤 반경(이하, "최대 허용 롤 반경"이라 함)임.)

[0063] 즉, 상기 수학식 (1)에서 E(코팅층의 탄성계수)는 형성하고자 하는 코팅층의 재료에 따라 결정될 수 있는 것으로, 상술한 바와 같이, 형성하고자 하는 코팅층이 YSZ 층인 경우, 상기 탄성계수(Elastic Modulus)는 200GPa에 해당할 수 있다.

[0064] 또한, 상기 수학식 (1)에서 $th_{e,d}$(코팅층의 목표 코팅 두께)는 S120 단계의 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께에 해당하는 것으로, 예를 들어, 상기 코팅층으로 YSZ 층을 형성하는 경우, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 10 내지 30㎛로 선정할 수 있다.

[0065] 또한, 상기 수학식 (1)에서 R(롤러의 최대 허용 롤 반경)은 S130 단계의 롤러의 최대 허용 롤 반경에 해당하는 것으로, 예를 들어, 상기 롤러가 감기롤러인 경우, 본 발명에서 상기 감기롤러의 최대 허용 롤 반경은 40㎜일 수 있다.

[0066] 이때, 상기 수학식 (1)에서 E(코팅층의 탄성계수)는 형성하고자 하는 코팅층이 정해지는 경우 고정된 값에 해당하고, 또한, R(롤러의 최대 허용 롤 반경)도 롤투롤 인쇄장치가 정해진 경우 고정된 값에 해당할 수 있다.

[0067] 다만, $th_{e,d}$(코팅층의 목표 코팅 두께)는 S120 단계의 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께에 해당하는 것으로, 동일한 코팅층의 재료를, 동일한 롤투롤 인쇄장치를 사용하여 코팅층을 형성한다고 가정시, 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께는 달라질 수 있으므로, 결국, 동일한 코팅층의 재료를, 동일한 롤투롤 인쇄장치를 사용하여 코팅층을 형성한다고 가정시, $\sigma_{bending}$(최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력(이하, "최대 굽힘응력"이라 함.))은 $th_{e,d}$(코팅층의 목표 코팅 두께)의 값에 의해 달라질 수 있음을 확인할 수 있다.

[0068] 따라서, 본 발명에서는, 동일한 코팅층의 재료를, 동일한 롤투롤 인쇄장치를 사용하여 코팅층을 형성한다고 가정시, $th_{e,d}$(코팅층의 목표 코팅 두께)의 값에 의해, $\sigma_{bending}$(최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력(이하, "최대 굽힘응력"이라 함.))값을 산출할 수 있다.

[0069] 다음으로, 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법은, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력과 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 비교하는 단계를 포함한다(S150).

[0070] 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작은지 여부를 비교하는 단계를 포함한다.

[0071] 이때, 상술한 바와 같이, 동일한 코팅층의 재료를, 동일한 롤투롤 인쇄장치를 사용하여 코팅층을 형성한다고 가정시, $th_{e,d}$(코팅층의 목표 코팅 두께)의 값에 의해, $\sigma_{bending}$(최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력(이하, "최대 굽힘응력"이라 함.))값을 산출할 수 있다.

[0072] 예를 들어, 상기 코팅층으로 YSZ 층을 형성하는 경우, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 10 내지 30㎛로 선정할 수 있는데, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 10㎛인 경우, 또는, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 20㎛인 경우에 각각, $\sigma_{bending}$(최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력(이하, "최대 굽힘응력"이라 함.))값을 산출할 수 있다.

[0073] 보다 구체적으로, 상술한 수학식 (1)에서, R(롤러의 최대 허용 롤 반경)의 값이 40mm이고, E(코팅층의 탄성계수)의 값이 200GPa라고 가정시, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께가 10㎛인 경우의 $\sigma_{bending}$(최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력(이하, "최대 굽힘응력"이라 함.))값은 25MPa에 해당하고, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께가 20㎛인 경우의 $\sigma_{bending}$(최대 허용 롤 반경에서의 코팅층의 최대 굽힘응력(이하, "최대 굽힘응력"이라 함.))값은 50MPa에 해당한다.

[0074] 이때, 상술한 S110 단계에서, 형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력은 40MPa로 산출될 수 있으므로, 따라서, 본 발명에서는 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력(40MPa)과 상기 코팅층의 최대 굽힘응력(25MPa 또는 50MPa)을 비교할 수 있으며, 즉, 동일한 코팅층의 재료를, 동일한 롤투롤 인쇄장치를 사용하여 코팅층을 형성한다고 가정시, $th_{e,d}$(코팅층의 목표 코팅 두께)의 값에 의해, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력(40MPa)과 상기 코팅층의 최대 굽힘응력(25MPa 또는 50MPa)을 비교할 수 있다.

[0075] 다음으로, 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법은, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작은 경우(YES), 상기 코팅층을 용매 증발 온도에서 건조시키고, 권취 후 소결을 진행한다(S160-1).

[0076] 이때, 상기 용매란, 예를 들어, YSZ(Yttria-Stabilized Zirconia, 이트리아 안정화 지르코니아)와 같은 취성 용액에서의 용매를 의미한다.

[0077] 보다 구체적으로, 상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께가 20㎛인 경우에 있어서, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력값은 40MPa이고, 상기 코팅층의 최대 굽힘응력값은 50MPa이기 때문에, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작은 경우(YES)에 해당하고, 이 경우, 상기 코팅층을 용매 증발 온도에서 건조시키고, 권취 후 소결을 진행한다.

[0078] 일반적으로, 필름에 코팅층을 형성한 이후에, 상기 코팅층을 포함하는 필름을 감기롤러에 권취하기 전에, 상기 코팅층을 소결온도에서 건조 및 소결을 진행하게 된다.

[0079] 하지만, 상술한 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작은 경우, 상기 코팅층을 포함하는 필름을 감기롤러에 권취하기 전에, 상기 코팅층을 소결온도에서 건조 및 소결을 진행하는 경우, 상기 코팅층에 크랙이 발생하게 되며, 따라서, 본 발명에서는 S150 단계의 조건이 YES인 경우, 즉, 상술한

상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작은 경우에는 상기 코팅층을 용매 증발 온도에서 건조시키고, 권취 후 소결을 진행한다.

[0080] 이로써, 본 발명에서는 취성 용액의 코팅에 의한 코팅층의 형성 시, 구성 롤(구동롤 및 보조롤)과 코팅층 사이의 반경 응력으로 인한 크랙의 발생을 방지할 수 있다.

[0081] 계속해서, 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 코팅층의 크랙을 방지할 수 있는 롤투롤 인쇄방법은, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작지 않은 경우(NO), 상기 코팅층의 권취 전에 소결 온도에서 건조 및 소결을 진행한다(S160-2).

[0082] 즉, 상술한 바와 같이, 일반적으로, 필름에 코팅층을 형성한 이후에, 상기 코팅층을 포함하는 필름을 감기롤러에 권취하기 전에, 상기 코팅층을 소결온도에서 건조 및 소결을 진행하게 되고, 이후, 건조 및 소결이 진행된 상기 코팅층을 포함하는 필름을 감기롤러에 권취하게 된다.

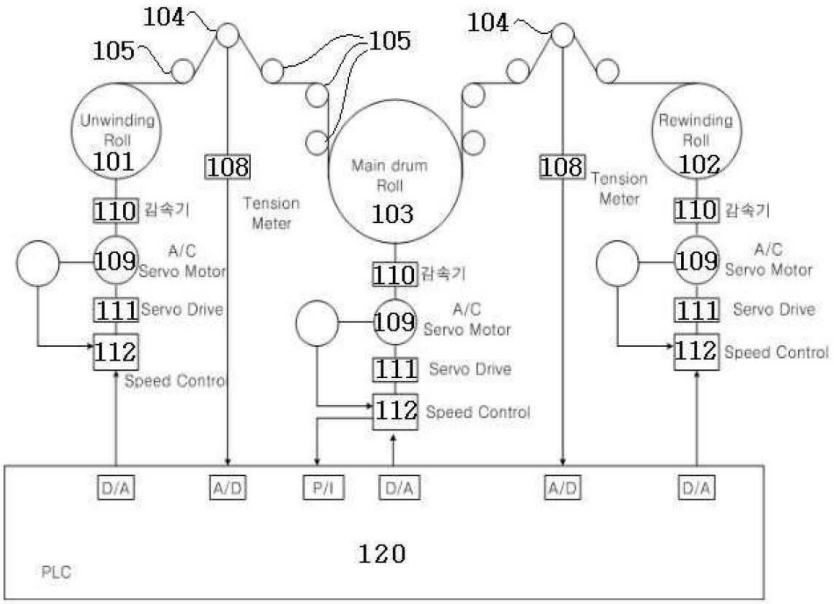
[0083] S160-2 단계의 경우, 이러한 일반적인 공정을 의미하는 것으로, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값보다 작지 않은 경우, 소결온도에서 건조 및 소결을 진행한 이후에 권취공정을 진행하더라도, 상기 코팅층에 크랙이 발생하지 않기 때문에, 일반적인 공정에 따라, 상기 코팅층을 포함하는 필름을 감기롤러에 권취하기 전에, 상기 코팅층을 소결온도에서 건조 및 소결을 진행하게 되고, 이후, 건조 및 소결이 진행된 상기 코팅층을 포함하는 필름을 감기롤러에 권취하게 된다.

[0084] 이상과 같이, 본 발명에서는, 상기 코팅층의 허용 굽힘 응력의 값이 상기 코팅층의 최대 굽힘응력의 값의 비교를 통하여, 상기 코팅층을 용매 증발 온도에서 건조시키고, 권취 후 소결을 진행하거나, 또는, 상기 코팅층의 권취 전에 소결 온도에서 건조 및 소결을 진행하는 것을 선택함으로써, 취성 용액의 코팅에 의한 코팅층의 형성 시, 구성 롤(구동롤 및 보조롤)과 코팅층 사이의 반경 응력으로 인한 크랙의 발생을 방지할 수 있다.

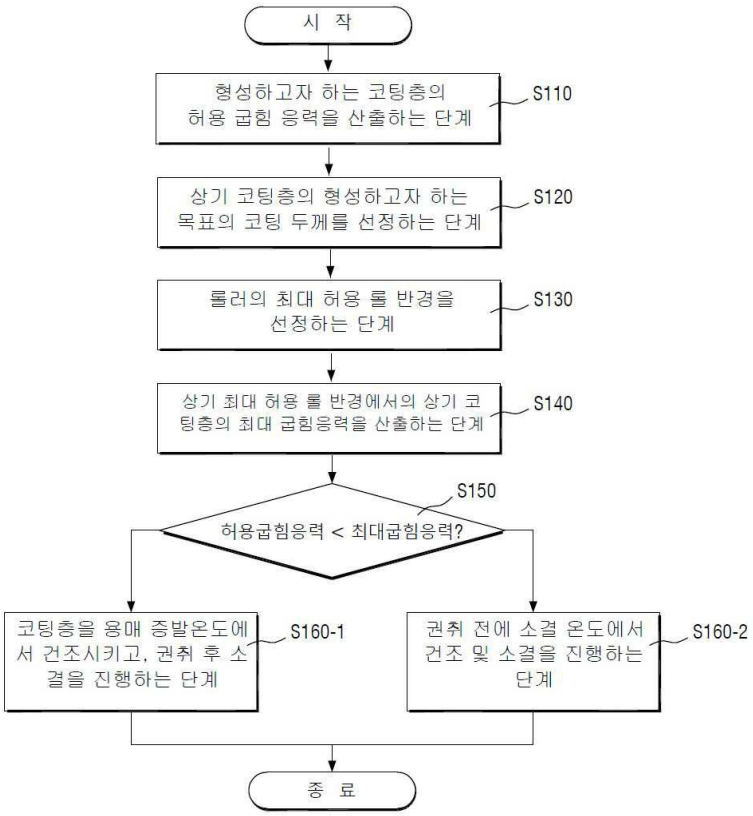
[0085] 이상과 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

도면

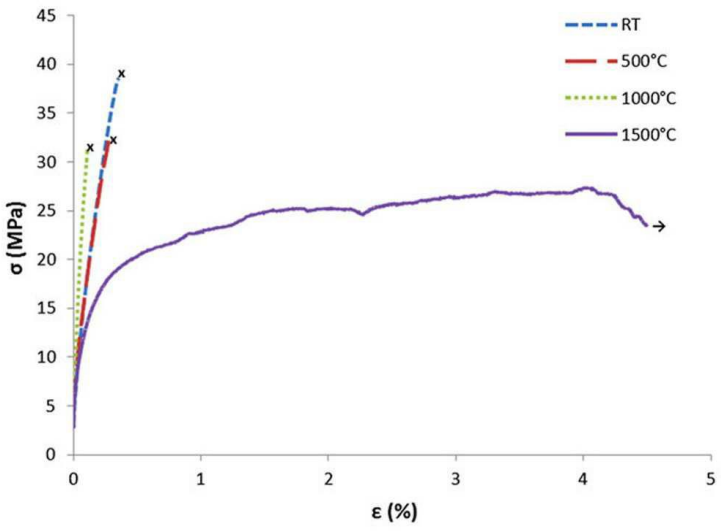
도면1



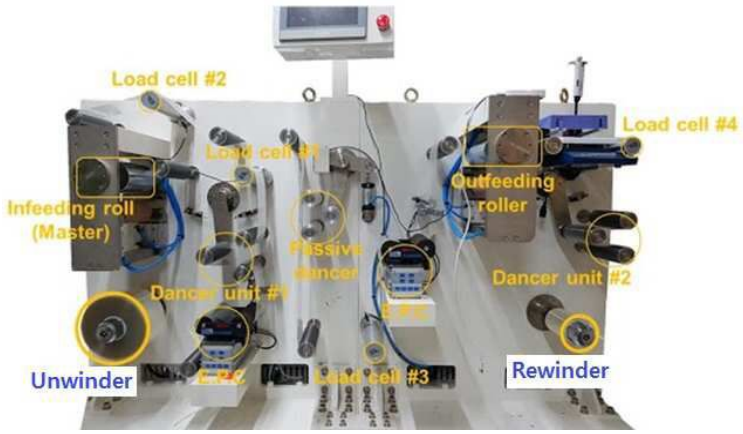
도면2


시 작
형성하고자 하는 코팅층의 허용 굽힘 응력을 산출하는 단계
S110
상기 코팅층의 형성하고자 하는 목표의 코팅 두께를 선정하는 단계
S120
롤러의 최대 허용 롤 반경을 선정하는 단계
S130
상기 최대 허용 롤 반경에서의 상기 코팅층의 최대 굽힘응력을 산출하는 단계
S140
S150
허용굽힘응력 < 최대굽힘응력?
코팅층을 용매 증발온도에서 건조시키고, 권취 후 소결을 진행하는 단계
S160-1
권취 전에 소결 온도에서 건조 및 소결을 진행하는 단계
S160-2
종 료

도면3


RT
500°C
1000°C
1500°C
σ (MPa)
ε (%)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
0
1
2
3
4
5

도면4


Load cell #2
Load cell #4
Load cell #1
Outfeeding roller
Infeeding roll (Master)
Passive dancer
Dancer unit #2
Dancer unit #1
Unwinder
Load cell #3
Rewinder