(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0163733
(43) 공개일자 2022년12월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C23C 2/16 (2006.01) *G06N 20/00* (2019.01)
(52) CPC특허분류
C23C 2/16 (2013.01)
G06N 20/00 (2021.08)
(21) 출원번호 10-2021-0072252
(22) 출원일자 2021년06월03일
심사청구일자 2021년06월03일

(71) 출원인
주식회사 성화이앤씨
경상북도 포항시 남구 효성로93번길 23(효자동, 팍스빌딩 5층 2호)
(72) 발명자
김근영
경상북도 포항시 남구 새천년대로 306 포항효자웰빙타운에스케이뷰 113동 2102호
김경록
경상북도 포항시 남구 새천년대로 306 포항효자웰빙타운에스케이뷰 113동 2102호
(74) 대리인
특허법인이룸리온

전체 청구항 수 : 총 6 항

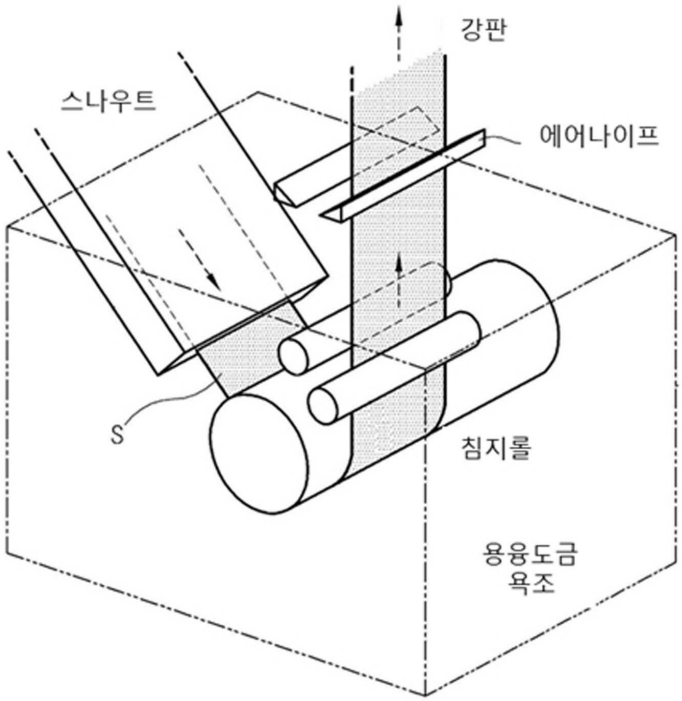
(54) 발명의 명칭 **연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법**

(57) 요 약

본 발명은 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 (a) 도금량 추정 모델식을 사용하여 목표 도금량에 대한 조업 설정치를 산출하기 위해 에어나이프의 분사압력에 대한 압력운용범위와, 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리에 대한 거리운용범위를 설정하고, 상기 거리운용범위 내에서 기준거리를 설정하는

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



단계; (b) 분사압력 추정 모델식에 상기 기준거리를 대입하여 분사압력 값을 연산한 후, 연산된 분사압력 값이 상기 압력운용범위 내에 있는 경우 상기 도금량 추정 모델식에 의하여 산출된 목표 도금량으로 도금량 제어를 실행하는 단계; (c) 상기 (b) 단계에서 분사압력 값이 상기 압력운용범위를 벗어나는 경우 압력운용범위의 상한 값 또는 하한 값으로 조업 설정 분사압력 값으로 고정시키는 단계; (d) 상기 (c) 단계에서 압력운용범위의 상한 값 또는 하한 값을 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리 추정 모델식에 대입하여 에어나이프 노즐과 강판간 거리를 연산하는 단계; (e) 상기 거리 추정 모델식에 의하여 연산된 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리가 상기 거리운용범위 내에 있는 경우 상기 금량 추정 모델식에 의하여 산출된 목표 도금량으로 도금량 제어를 실행하는 단계; 및 (f) 상기 거리 추정 모델식에 의하여 연산된 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리가 상기 거리운용범위를 벗어나는 경우 상기 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리를 상기 거리운용범위의 상한 값 또는 하한 값으로 고정시키고, 상기 도금량 추정 모델식에 의하여 산출된 목표 도금량으로 도금량 제어를 실행하는 단계;를 포함하여 이루어진다.

명 세 서

청구범위

청구항 1

(a) 도금량 추정 모델식을 사용하여 목표 도금량에 대한 조업 설정치를 산출하기 위해 에어나이프의 분사압력에 대한 압력운용범위와, 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리에 대한 거리운용범위를 설정하고, 상기 거리운용범위 내에서 기준거리를 설정하는 단계(S100);

(b) 분사압력 추정 모델식에 상기 기준거리를 대입하여 분사압력 값을 연산한 후, 연산된 분사압력 값이 상기 압력운용범위 내에 있는 경우 상기 도금량 추정 모델식에 의하여 도금량 제어를 실행하는 단계(S200);

(c) 상기 (b) 단계에서 분사압력 값이 상기 압력운용범위를 벗어나는 경우 압력운용범위의 상한 값 또는 하한 값으로 조업 설정 분사압력 값으로 고정시키는 단계(S300);

(d) 상기 (c) 단계에서 압력운용범위의 상한 값 또는 하한 값을 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리 추정 모델식에 대입하여 에어나이프 노즐과 강판간 거리를 연산하는 단계(S400);

(e) 상기 거리 추정 모델식에 의하여 연산된 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리가 상기 거리운용범위 내에 있는 경우 상기 도금량 추정 모델식에 의하여 도금량 제어를 실행하는 단계(S500); 및

(f) 상기 거리 추정 모델식에 의하여 연산된 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리가 상기 거리운용범위를 벗어나는 경우 상기 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리를 상기 거리운용범위의 상한 값 또는 하한 값으로 고정시키고, 상기 도금량 추정 모델식에 의하여 도금량 제어를 실행하는 단계(S600);

를 포함하여 이루어진 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 도금량 추정 모델식은 수학식 1로 정의되는 것을 특징으로 하는 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법.

$$C_w = K\,V^{\alpha}\left[\left(\frac{P}{P_a}\right)^{(m-1)/m} - 1\right]^{\beta} L^{\gamma} H^{\delta}$$

―――――수학식 1

여기서, P : 에어나이프의 분사압력, Pa : 주변 대기압, Cw : 도금 두께, V : 라인 이송속도, L : 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리, H : 에어나이프 노즐과 탕면사이의 거리

m : 에어나이프 분사 유체의 기체상수(= 1.4), K : 상수, α : 속도 영향지수, β : 압력 영향지수, γ : 거리 영향지수 δ : 높이 영향지수

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 분사압력 추정 모델식은 수학식 2로 정되는 것을 특징으로 하는 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법.

$$P = P_a\left[\left(\frac{C_w}{K\,V^{\alpha} L^{\gamma} H^{\delta}}\right)^{1/\beta} + 1\right]^{m/(m-1)}$$

―――――수학식 2

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 거리 추정 모델식은 수학식 3으로 정의되는 것을 특징으로 하는 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법.

$$L = \left[\frac{C_w}{K\, V^{\alpha}\, H^{\delta}\, ((P/P_a)^{(m-1)/m} - 1)^{\beta}} \right]^{1/\gamma}$$

-------수학식 3

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 도금량 추정 모델식에 대한 적중률을 높이기 위해 최근 일정기간 동안 조업한 실적치를 이용한 학습을 통해 상기 도금량 추정 모델식 함에 내포된 지수 α, β, γ, δ 및 계수 K를 수학식 4에 의하여 최적화하는 것을 특징으로 하는 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법.

$$Cw' = \alpha \times V' + \beta \times P' + \gamma \times L' + \delta \times H' + K'$$

-------수학식 4

여기서,

$Cw' = Ln(Cw)$, $P' = Ln[(\frac{P}{P_a})^{(m-1)/m} - 1]$, $L' = Ln(L)$, $H' = Ln(H)$, $K' = Ln(K)$

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 압력운용범위는 0.3bar ~ 0.7bar로 하고, 상기 거리운용범위는 7㎜ ~ 13㎜로 하며, 상기 기준거리는 10㎜로 설정되는 것을 특징으로 하는 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 금속판이 용융 금속이 들어있는 욕조를 통과할 때 도금되는 단위 면적당 도금질량을 실시간으로 조절할 수 있는 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 연속 용융도금 설비는 스나우트(Snout)와, 코팅욕조 내의 침지롤로 구성되며, 산세아연도금라인(PGL), 연속아연도금라인(CGL) 등에 주로 적용된다.

[0003] 이러한 연속 용융도금 설비는 가열로(Furnace)를 통과한 금속 띠(Strip)를 용융 금속 욕조에 연속적으로 침지시킴으로써 도금층을 형성하고, 에어나이프(Air knife)에 의하여 도금량 또는 두께가 조절된 후, 조질 압연기(SPM) 및 형상 교정기(T/L) 등을 거치면서 금속 띠를 코팅하여 도금층을 형성하는 장치이다.

[0004] 이러한 연속 용융도금 설비에 있어서, 용융 금속 욕조를 통과하여 나오는 강판(S)에 묻어 올라오는 용융 도금 물질은 욕조 표면 상부에 설치되어 있는 에어나이프에 의하여 소정의 두께로 깎여진다.

[0005] 즉, 용융 도금층의 두께는 라인에 설치되어 사용하는 에어나이프의 분사 압력과 노즐과 금속판 사이의 거리에 따라 달라지며, 또한 금속판의 이송속도 등에 따라 달라진다. 실 조업에서는 이송중인 강판에 대하여 목표 도금 두께가 결정되어 있으며, 이송속도도 정해져 있다. 따라서 설정된 이송속도에 대하여 도금 두께를 맞추기 위해 강판과 강판사이의 거리 또는 에어나이프의 압력을 조절하게 된다.

[0006] 강판 표면에 묻어 있는 도금층은 아직 용융 상태이므로 에어나이프 후단에서 도금층의 두께를 정확하게 측정하는 기술은 아직 정립되지 않은 상태이다. 즉 응고되지 않는 용융 도금 금속의 두께를 측정할 수 있는 적절한 측정기가 아직 기술적으로 실용화 되지 못해 이 시점에서의 도금 두께를 알 수 없다.

[0007] 현재 운용 중인 도금 두께 측정기는 상온 상태 측정 방식이며, 용융 금속 도금층이 충분히 냉각되는 지점인 하류 지점(약 100m 이상 후단)에 설치되어 운용된다. 따라서 금속판이 에어나이프 지점에서 일정 시간 동안 이송되어 하류의 도금 두께 센서 위치에 도달하는 시점이 되어야 비로소 도금 두께를 측정할 수 있다. 이에 새로운 도금량이 설정되는 시점에서 이 도금량을 맞추기 위해 거리 또는 압력을 변경하더라도 그 결과를 바로 알 수 없고, 일정 시간이 지나서야 센서를 통하여 알 수 있다.

[0008] 이러한 이유로서, 통상적으로 사용되는 실시간 피드백 제어 실행이 불가능하여 이 시간 동안에는 조업자의 경험이나 경험적으로 도출된 관계식을 이용하여 거리나 압력을 설정하는 수밖에 없게 된다. 변경된 거리나 압력이 적용된 시점의 강판이 센서의 위치에 도달하는 순간에 변경된 조건에 대한 도금 두께를 확인하게 된다.

[0009] 여기서 주된 관점은 도금 두께의 오차를 최소화하여 목표 도금량을 맞추어 도금 품질을 유지하는 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 등록특허 제10-1688384호(2016.12.15. 등록)

(특허문헌 0002) 등록특허 제10-0815814호(2008.03.14. 등록)

(특허문헌 0003) 등록특허 제10-1017830호(2011.02.18. 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로,

[0012] 용융도금 공정에서의 도금 두께의 정확도는 강판의 품질 및 생산 원단위 절감에 직결되는데, 도금 두께는 주어진 이송속도에 대하여 거리와 압력을 정확하게 설정해야 얻을 수 있으며, 주어진 조업조건 즉, 도금 두께와 이송속도에 대하여 실시간으로 거리와 압력을 정확하게 도출하기 위한 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명에 따른 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법은 (a) 도금량 추정 모델식을 사용하여 목표 도금량에 대한 조업 설정치를 산출하기 위해 에어나이프의 분사압력에 대한 압력운용범위와, 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리에 대한 거리운용범위를 설정하고, 상기 거리운용범위 내에서 기준거리를 설정하는 단계; (b) 분사압력 추정 모델식에 상기 기준거리를 대입하여 분사압력 값을 연산한 후, 연산된 분사압력 값이 상기 압력운용범위 내에 있는 경우 상기 도금량 추정 모델식에 의하여 산출된 목표 도금량으로 도금량 제어를 실행하는 단계; (c) 상기 (b) 단계에서 분사압력 값이 상기 압력운용범위를 벗어나는 경우 압력운용범위의 상한 값 또는 하한 값으로 조업 설정 분사압력 값으로 고정시키는 단계; (d) 상기 (c) 단계에서 압력운용범위의 상한 값 또는 하한 값을 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리 추정 모델식에 대입하여 에어나이프 노즐과 강판간 거리를 연산하는 단계; (e) 상기 거리 추정 모델식에 의하여 연산된 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리가 상기 거리운용범위 내에 있는 경우 상기 금량 추정 모델식에 의하여 산출된 목표 도금량으로 도금량 제어를 실행하는 단계; 및 (f) 상기 거리 추정 모델식에 의하여 연산된 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리가 상기 거리운용범위를 벗어나는 경우 상기 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리를 상기 거리운용범위의 상한 값 또는 하한 값으로 고정시키고, 상기 도금량 추정 모델식에 의하여 산출된 목표 도금량으로 도금량 제어를 실행하는 단계;를 포함하여 이루어진다.

[0014] 본 발명에 따른 상기 도금량 추정 모델식은 수학식 1로 정의되는 것을 특징으로 한다.

$$C_w = K\,V^{\alpha}\left[\left(\frac{P}{P_a}\right)^{(m-1)/m} - 1\right]^{\beta} L^{\gamma} H^{\delta}$$

[0015] ------수학식 1

[0016] 여기서, P : 에어나이프의 분사압력, Pa : 주변 대기압, Cw : 도금 두께, V : 라인 이송속도, L : 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리, H : 에어나이프 노즐과 탕면사이의 거리

[0017] m : 에어나이프 분사 유체의 기체상수(= 1.4), K : 상수, α : 속도 영향지수, β : 압력 영향지수, γ : 거리 영향지수 δ : 높이 영향지수

[0018] 본 발명에 따른 상기 분사압력 추정 모델식은 수학식 2로 정되는 것을 특징으로 한다.

$$P = P_a\left[\left(\frac{C_w}{K\,V^{\alpha} L^{\gamma} H^{\delta}}\right)^{1/\beta} + 1\right]^{m/(m-1)}$$

[0019] ------수학식 2

[0020] 본 발명에 따른 상기 거리 추정 모델식은 수학식 3으로 정의되는 것을 특징으로 한다.

$$L = \left[\frac{C_w}{K\,V^{\alpha} H^{\delta}\left((P/P_a)^{(m-1)/m} - 1\right)^{\beta}}\right]^{1/\gamma}$$

[0021] ------수학식 3

[0022] 본 발명에 따른 상기 도금량 추정 모델식에 대한 적중률을 높이기 위해 최근 일정기간 동안 조업한 실적치를 이용한 학습을 통해 상기 도금량 추정 모델식 함에 내포된 지수 α, β, γ, δ 및 계수 K를 수학식 4에 의하여 최적화하는 것을 특징으로 한다.

$$Cw' = \alpha \times V' + \beta \times P' + \gamma \times L' + \delta \times H' + K'$$

[0023] ------수학식 4

[0024] 여기서,

[0025] Cw' = Ln (Cw), $P' = \mathrm{Ln}\left[\left(\frac{P}{P_a}\right)^{(m-1)/m} - 1\right]$, L' = Ln (L), H'= Ln(H), K'= Ln(K)

[0026] 본 발명에 따른 상기 압력운용범위는 0.3bar ~ 0.7bar로 하고, 상기 거리운용범위는 7mm ~ 13mm로 하며, 상기 기준거리는 10mm로 설정되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따른 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법은 주어진 조업 조건에 대하여 도금 두께를 목표한 값으로 정확하게 조절하게 되어 도금 강판의 품질 및 작업 원단위를 절감할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

[0028] 또한 본 발명은 전용 제어 시스템에 의하여 실현되므로 조업자의 개입이 불필요하며, 항상 균일한 정확도를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명에 따른 연속 용융금속 설비를 나타내는 사시도,

도 2는 도 1에 의한 연속 용융금속 설비에 의한 도금 과정을 나타내는 개념도,

도 3은 본 발명에 따른 연속 용융금속 설비의 도금량 제어시스템을 나타내는 개념도,

도 4는 본 발명에 따른 도금량 제어방법을 나타내는 논리흐름도,

도 5는 본 발명에 따른 도금량 제어시스템의 제어 과정을 나타내는 개략도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 설명하기 위하여 이하에서는

본 발명의 바람직한 실시례를 예시하고 이를 참조하여 살펴본다.

[0031] 먼저, 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시례를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니며, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 또한 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0032] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0033] 도 1 내지 도 5에 도시된 바와 같이 본 발명에 따른 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법을 구현하기 위한 연속 용융금속 라인의 도금 두께 제어시스템은 다음과 같이 구성된다.

[0034] 강판(S) 위에 묻어 있는 도금 물질을 깎아 내는 에어나이프(10)와, 에어나이프(10)의 분사유체용 배관에 장착되어 분사압력을 실시간으로 측정하는 압력측정센서(20)와, 에어나이프(10)의 후단에 배치되어, 금속판에 도금된 물질이 응고된 상태에서 도금 두께(Cw_fb)를 실시간으로 측정하는 상온용 도금 두께 측정센서(50)(이하 '도금량 측정센서'라 함)와, 에어나이프와 강판 간의 거리를 조절하는 거리조절장치(30)와, 탕면으로부터의 에어나이프의 높이를 조정하는 높이조절장치(40)를 포함하여 구성된다.

[0035] 또한 도금량 추정 모델식으로부터 압력 및 거리를 실시간으로 연산하고, 기존 조업 데이터를 사용하여 소정의 학습을 거쳐 새로운 도금량 추정 모델식을 도출하는 연산기(70)와, 강판(S)이 에어나이프(10) 지점에서 도금량 측정센서(50) 위치까지 이송하는데 소요되는 시간을 산정하고, 압력측정센서(20)-도금량 측정센서(50)-거리측정센서 등 각종 센서로부터 신호를 수집 저장하고, 수집된 데이터를 연산기(70)로 실시간으로 전달하며, 연산기(70)로부터 전달된 압력 설정치와 거리설정치를 실시간으로 제어하는 주제어기(60)를 포함하여 구성된다.

[0036] 상기한 바와 같이 구성된 도금 두께 제어시스템은 분사부가 분사유체를 강판(S)의 표면에 일정 압력으로 분사하여 도금층을 깍아낸다. 이러한 분사부는 분사 노즐을 갖춘 에어나이프(10)와, 에어나이프의 분사 노즐 챔버에 소정의 압력을 유지하기 위하여 분사유체를 보내주는 송풍기 또는 압력제어 밸브(80)로 구성된다.

[0037] 또한 주제어기(60)에 압력 설정값이 입력되면 압력제어기(61)는 송풍기 또는 압력제어 밸브(80)를 제어함으로써 분사유체가 에어나이프(10)를 통하여 일정 압력으로 분사될 수 있도록 한다.

[0038] 이때, 압력제어기(61)는 압력측정센서(20)에 의하여 측정되는 압력을 실시간으로 피드백 받아 송풍기 또는 압력제어 밸브(80)를 사용하여 설정된 압력과 동일하도록 제어하게 된다.

[0039] 본 발명에서 도금량(Cw), 라인 이송속도(V)(이하 '이송속도'라 함), 에어나이프(10)의 분사압력(P)(이하 '분사압력'이라 함), 에어나이프(10)와 강판)(S)간의 거리(L)(이하 '거리'라고 함) 및 탕면으로부터의 에어나이프(10)의 높이(H)(이하 '높이'라고 함) 등의 관계를 나타내는 도금량 추정 모델식은 수학식 1과 같다.

수학식 1

[0040]
$$C_w = K\, V^{\alpha} \left[\left(\frac{P}{P_a} \right)^{(m-1)/m} - 1 \right]^{\beta} L^{\gamma} H^{\delta}$$

[0041] 여기서, P : 에어나이프의 분사압력, Pa : 주변 대기압, Cw : 도금 두께, V : 라인 이송속도, L : 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리, H : 에어나이프 노즐과 탕면사이의 거리이고, m : 에어나이프 분사 유체의 기체상수(= 1.4), K : 상수, α : 속도 영향지수, β : 압력 영향지수, γ : 거리 영향지수 δ : 높이 영향지수이다.

[0042] 상기 도금량 추정 모델식은 유체공학적 해석을 통하여 유도되었으며, 해당 에어나이프에 대하여 동일한 시점에 측정된 이동속도(V), 도금량 설정치(Cw), 분사압력(P), 거리(L) 및 높이(H)로 이루어진 많은 조업 실적치(Cw_fb)를 사용하여 함수에 내재된 지수 α, β, γ, δ, 그리고 계수 K를 추정하게 된다.

[0043] 실조업에서는 강종 및 강판크기(두께, 폭)에 따라 라인 이송속도(V)가 정해져 있으며, 또한 각각 강판(S)에 대하여 목표 도금량(Cw_ref)이 정해져 있다. 아울러 에어나이프의 높이(H)는 조업 경험에 따라 적정하게 설정될

수 있다.

[0044] 이 경우 욕조를 통과하여 수직 방향으로 이송되는 강판(S)의 표면에 부착된 용융도금액은 강판이 에어나이프(10)에 도달하기까지 자중에 의하여 아래로 흘러내린다. 그러므로 욕조의 탕면에서 부터의 거리에 따라 강판에 부착한 용융금속액의 량이 달라진다. 이에 따라 욕조의 탕면 에서부터 에어나이프까지의 높이(H)가 변화하면 강판(S)에 부착하여 에어나이프 지점에 유입되는 용융도금액 두께가 달라진다. 유입되는 용융 도금액이 많으면 에어나이프가 일정 두께로 절삭할 때 더 높은 분사 압력이 필요하게 된다.

[0045] 다만 본 발명에서는 전술한 바와 같이 에어나이프의 높이(H)가 조업 경험에 따라 적정하게 설정되지만, 필요에 따라서는 높이제어기(65)에 의하여 높이조절장치(40)를 제어함으로써 에어나이프의 높이를 조절하여 도금량을 제어하는 것도 가능하다.

[0046] 이를 통해 연속 용융금속 설비의 도금량 제어방법은 도 1 내지 도 5에 도시된 바와 같이 (a) 단계로부터 (f) 단계를 통하여 구현된다.

[0047] 먼저 본 발명에 따른 (a) 단계(S100)에서는 도금량 추정 모델식을 사용하여 목표 도금량(Cw_ref)에 대한 조업 설정치(Cw_fb)를 산출하기 위해 에어나이프의 분사압력에 대한 압력운용범위(0.3bar ~ 0.7bar)와, 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리(L)에 대한 거리운용범위(7㎜ ~ 13㎜)를 설정하고, 상기 거리운용범위 내에서 기준거리(10㎜)를 설정하게 된다.

[0048] 아울러 (b) 단계(S200)에서는 분사압력 추정 모델식에 기준거리를 대입하여 분사압력(P) 값을 연산한 후, 연산된 분사압력 값이 압력운용범위 내에 있는 경우 도금량 추정 모델식을 통해 산출된 목표 도금량(Cw_ref)으로 도금량 제어를 실행하게 된다.

[0049] 또한 (c) 단계(S300)에서는 (b) 단계(S200)에서 분사압력(P) 값이 압력운용범위를 벗어나는 경우 압력운용범위의 상한 값(0.7bar) 또는 하한 값(0.3bar)으로 조업 설정 분사압력 값으로 고정시키게 된다.

[0050] 이 경우 (d) 단계(S400)에서는 (c) 단계(S300)에서 압력운용범위의 상한 값 또는 하한 값을 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리 추정 모델식에 대입하여 에어나이프 노즐과 강판간 거리(L)를 연산하게 된다.

[0051] 이렇게 연산된 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리(L)가 거리운용범위 내에 있는 경우 도금량 추정 모델식을 통해 산출된 목표 도금량(Cw_ref)으로 도금량 제어를 실행하는 (e) 단계(S500)를 거치게 된다.

[0052] 아울러 (f) 단계(S600)에서는 거리 추정 모델식에 의하여 연산된 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리(L)가 거리운용범위를 벗어나는 경우 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리(L)를 거리운용범위의 상한 값(13㎜) 또는 하한 값(7㎜)으로 고정시키고, 도금량 추정 모델식을 통해 산출된 목표 도금량(Cw_ref)으로 도금량 제어를 실행하게 된다.

[0053] 이 경우 도금량 추정 모델식은 상기한 바와 같이 수학식 1과 같이 정의된다.

[0054] 또한 실제 조업시 강판의 이송속도(V), 이 강판에 대하여 목표 도금량(Cw_ref)는 생산 계획에 따라 정해져 있으며, 에어나이프의 높이(H)는 조업 경험에 따라 일정 범위 내에서 변경될 수 있다.

[0055] 주어진 속도에 대하여 목표 도금량(Cw_ref)을 맞추기 위해 에어나이프의 분사압력(P)과 거리(L)를 조절하게 되는데 분사압력 및 거리에 대한 추정 모델식은 각각 수학식 2와 수학식 3과 같다.

수학식 2

[0056]
$$P = P_a \left[\left(\frac{C_w}{K\, V^{\alpha}\, L^{\gamma}\, H^{\delta}} \right)^{1/\beta} + 1 \right]^{m/(m-1)}$$

수학식 3

$$L = \left[\frac{C_w}{K\, V^{\alpha}\, H^{\delta}\, ((P/P_a)^{(m-1)/m} - 1)^{\beta}} \right]^{1/\gamma}$$

[0057]

[0058] 여기서, 지수 α, β, γ, δ 그리고 계수 K는 각각의 상수이며, 많은 조업 데이터 조합, 즉 도금량(Cw), 라인속도(V), 에어나이프의 분사압력(P), 에어나이프의 노즐과 강판 간의 거리(L), 높이(H)(|k=1,…,n)으로부터 최소 자승법으로 적용하여 추정하여 구하게 된다. 용융도금공정의 도금 재질은 아연, 아연-알루미늄 혼합물질, 알루미늄-실리콘 혼합물질 등으로 다양하며, 도금 물질에 따라 α, β, γ, δ, K 의 조합이 달라진다. 여기서 도금량, 라인속도, 압력은 측정치로서 정확한 값으로 취할 수 있으나, 에어나이프 노즐과 강판 간의 거리는 설비의 설치작업 정확도와 강판의 길이방향 변형인 반곡량에 따라 어느 정도의 오차가 발생할 수 있다. 실제 물리적 거리와 설비에 장착된 길이 센서로 측정된 거리와의 오차를 바이어스라고 칭한다. 이 바이어스의 량은 거리와 관련된 지수 γ 가 1.0 으로 추정될 때 까지 바이어스의 량을 변경하여 간접적으로 구하여 진다. 이러한 바이어스의 량은 한번 결정되면, 영구적으로 사용할 수 있다.

[0059] 한편 압력운용범위는 분사유체 공급용 장치 용량에 따라 결정되며, 일반적으로 0.3bar ~ 0.7bar로 제한되며, 거리운용범위는 7㎜ ~ 13㎜로 제한된다. 기본거리는 거리운용범위의 중간값이 10㎜로 설정될 수 있다.

[0060] 이러한 압력운용범위, 거리운용범위 및 기준거리를 이용한 제어 잘차에 대한 흐름도는 도 4에 도시되어 있으며, 이하에서는 이에 대하여 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0061] 먼저 주어진 이동속도에 대하여 목표 도금량을 구현하는 분사압력 및 거리를 결정해야 한다. 일반적으로 강판의 형상 및 진동폭을 고려하여 강판과 에어나이프 노즐 사이의 거리(L)는 최소 7㎜ 이상으로 하며, 기본값으로는 10 ㎜로 한다. 도금량(Cw)을 제어하기 위한 압력운용범위는 도금 표면 품질을 위하여 상기한 바와 같이 0.3bar ~ 0.7bar로 정하고, 거리운용범위는 7㎜ ~ 13㎜ 로 정한다. 너무 낮은 압력에서는 도금 품질이 저하되고, 너무 높은 압력에서는 아직 응고되지 않은 용융도금액의 파편이 발생하여 에어나이프 노즐을 막는 경우가 종종 발생할 수 있다.

[0062] 라인의 이송속도(V)와 목표 도금량(Cw_ref)이 연산기(70)로 전달되면, 연산기(70)에서는 도금량 추정 모델식을 사용하여 이에 적합한 압력을 계산한다. 이때, 거리(L)는 전술한 바와 같이 기본적으로 10 ㎜으로 설정한다. 분사압력(P)을 계산은 상기한 바와 같은 수학식 2, 즉 분사압력 추정 모델식에 의하여 계산된다.

[0063] 이때 계산된 압력이 0.3bar ~ 0.7bar 사이에 있으면, 계산된 압력을 주제어기(60)에 인가하여 압력제어기(61)에 의한 압력제어를 실행하고, 실제 측정된 압력 실적치(P_fb)에 대한 도금량을 측정하게 된다.

[0064] 만약 계산된 압력이 0.7bar를 초과하면, 압력 설정치를 0.7bar로 고정하고, 수학식 3, 즉 거치 추정 모델식으로부터 거리(L)를 다시 계산하게 된다. 계산된 거리가 7㎜ ~ 10㎜ 범위 내에 있으면 그 거리 설정치(L_ref)를 거리제어기(63)에 인가하여 도금량 제어를 실행하게 된다. 또한 계산된 거리가 7㎜ 이내이면, 거리를 7㎜로 고정하여 도금량 제어를 실행하게 된다.

[0065] 만약 계산된 압력이 0.3bar 이내로 예측되면, 압력 설정치(P_ref)를 0.3bar로 고정하고, 수학식 3인 거리 추정 모델식으로부터 거리를 다시 계산하게 된다. 이 경우 계산된 거리가 10㎜ ~ 13㎜ 범위 내에 있으면 그 거리 설정치(L_ref)를 거리제어기(63)에 인가하여 도금량 제어를 실행하게 된다. 다만 계산된 거리가 13㎜를 초과하면, 거리를 13㎜로 고정하여 도금량 제어를 실행하게 된다.

[0066] 이 경우 도금량 모델 함수에 내재된 지수 α, β, γ, δ 는 분사공기와 도금층의 상호거동에 의하여 물리적으로 결정되는 상수이며, 계수 K 는 에어나이프의 형상 및 분사유체의 종류에 따라 달라진다. 이들 지수와 계수는 다음과 같이 구해진다.

[0067] 전술한 바와 같이 수학식 1인 도금량 추정 모델식 함수에서 좌우에 자연 로그를 취하면 다음과 같은 다변수 선형 함수식, 즉 수학식 4가 유도된다.

수학식 4

[0068] $$Cw' = \alpha \times V' + \beta \times P' + \gamma \times L' + \delta \times H' + K'$$

[0069] 여기서, Cw' = Ln (Cw), $P' = Ln[(\frac{P}{P_a})^{(m-1)/m} - 1]$, L' = Ln (L), H'= Ln(H), K'= Ln(K) 이다.

[0070] 이와 같은 선형함수의 계수 α, β, γ, δ, 그리고 K' 는 일정 조업 기간 동안에 수집된 동일시점에서의 이송속도(V), 도금량 실적치(Cw), 분사압력(P), 거리(L), 높이(H) 등의 데이터 조합을 사용하여 최소 자승법을 적용하여 온라인 또는 오프라인에서 계산할 수 있다. 이들 지수 및 계수는 한 번 결정된 뒤에도 시간이 지남에 따라 에어나이프의 형상의 변형 등에 의하여 에어나이프의 특성이 미세하게 변하게 되므로, 도금량 적중률의 지속적으로 유지하기 위하여 주기적으로 다시 추정하여 교체하도록 한다.

[0071] 이와 같이 본 발명은 도면에 도시된 일실시례를 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시례가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

[0072] 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0073] 10 : 에어나이프

20 : 압력측정센서

30 : 거리조절장치

40 : 높이조절장치

50 : 도금량 측정센서

60 : 주제어기

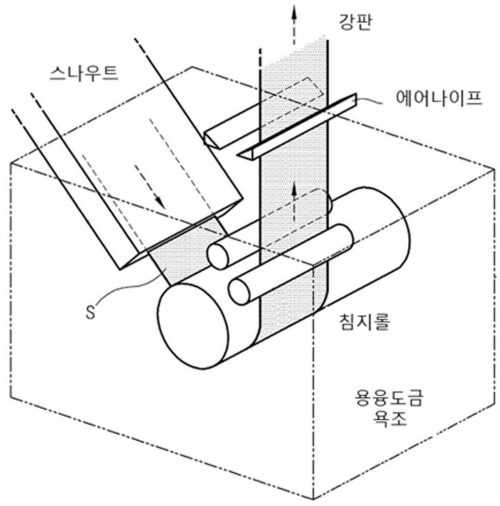
61 : 압력제어기 63 : 높이제어기

65 : 거리제어기

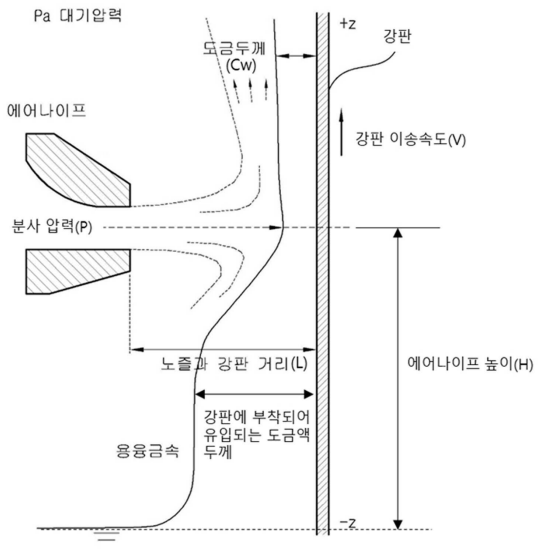
70 : 연산기(도금량 추정 모델식)

도면

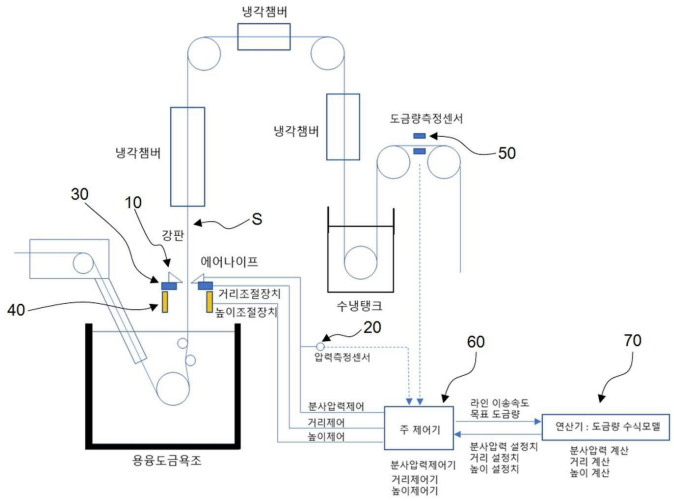
도면1


강판
스나우트
에어나이프
S
침지롤
용융도금
욕조

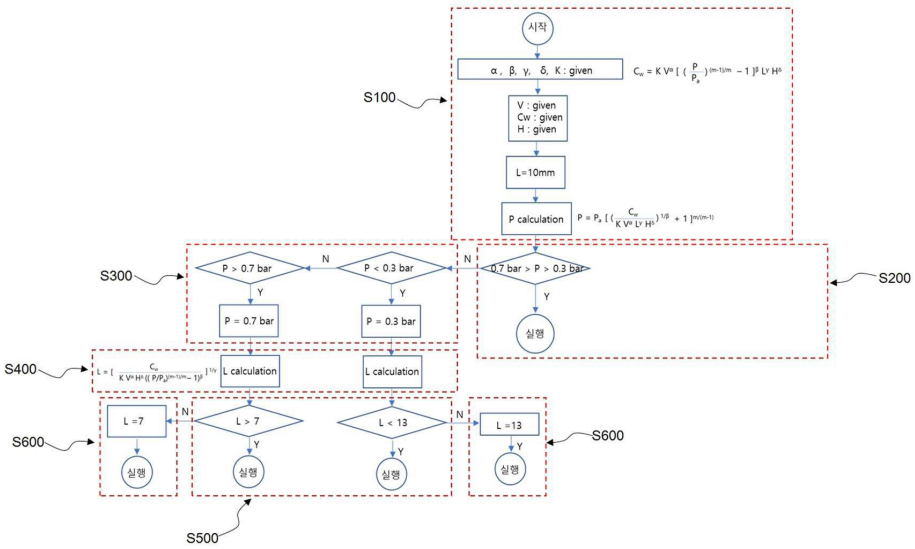
도면2


Pa 대기압력
도금두께
(Cw)
+z
강판
에어나이프
강판 이송속도(V)
분사 압력(P)
노즐과 강판 거리(L)
에어나이프 높이(H)
강판에 부착되어
유입되는 도금액
두께
용융금속
-z

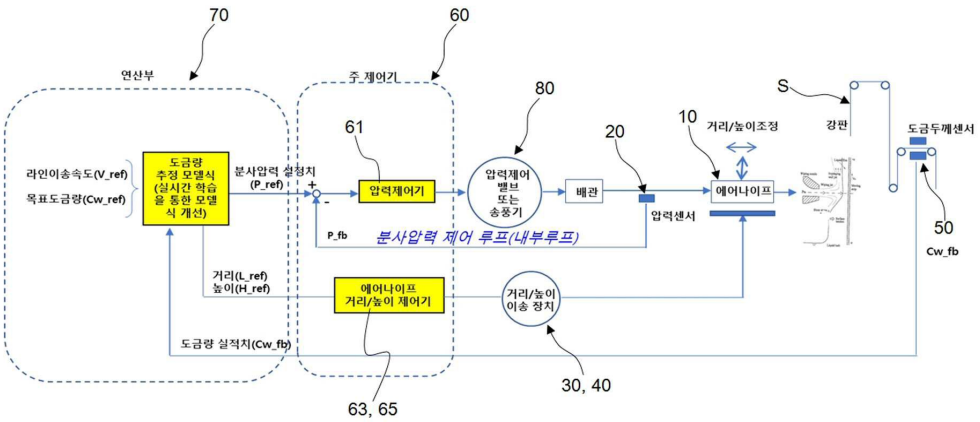
도면3


냉각챔버
냉각챔버
냉각챔버
도금량측정센서
50
30
10
S
강판
에어나이프
40
거리조절장치
높이조절장치
수냉탱크
20
압력측정센서
60
70
분사압력제어
거리제어
높이제어
주 제어기
라인 이송속도
목표 도금량
연산기 : 도금량 수식모델
분사압력 설정치
거리 설정치
높이 설정치
분사압력 계산
거리 계산
높이 계산
용융도금욕조
분사압력제어기
거리제어기
높이제어기

도면4


시작
α , β, γ, δ, K : given
V : given
Cw : given
H : given
L=10mm
P calculation
S100
S200
S300
S400
S500
S600
P > 0.7 bar
P < 0.3 bar
0.7 bar > P > 0.3 bar
P = 0.7 bar
P = 0.3 bar
실행
L calculation
L =7
L > 7
L < 13
L =13
N
Y

도면5


70
60
연산부
주 제어기
80
61
S
10
거리/높이조정
강판
도금두께센서
20
라인이송속도(V_ref)
목표도금량(Cw_ref)
도금량 추정 모델식 (실시간 학습을 통한 모델식 개선)
분사압력 설정치 (P_ref)
+
-
압력제어기
압력제어 밸브 또는 송풍기
배관
에어나이프
압력센서
50
Cw_fb
P_fb
분사압력 제어 루프(내부루프)
거리(L_ref)
높이(H_ref)
에어나이프 거리/높이 제어기
거리/높이 이송 장치
도금량 실적치(Cw_fb)
30, 40
63, 65