



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0129014
(43) 공개일자 2024년08월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/892 (2006.01) G01N 21/88 (2006.01)
G06N 20/00 (2019.01)
- (52) CPC특허분류
G01N 21/892 (2013.01)
G01N 21/8806 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7025500
- (22) 출원일자(국제) 2023년01월31일
심사청구일자 2024년07월29일
- (85) 번역문제출일자 2024년07월29일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/003026
- (87) 국제공개번호 WO 2023/166898
국제공개일자 2023년09월07일
- (30) 우선권주장
JP-P-2022-032278 2022년03월03일 일본(JP)

- (71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시키키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
- (72) 발명자
니이즈마 유야
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2 반 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 치테키자 이산부 나이
- 오노 히로아키
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2 반 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 치테키자 이산부 나이
- (74) 대리인
이철

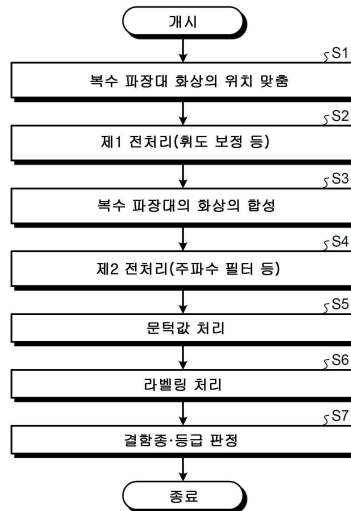
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 금속 재료의 표면 검사 방법, 금속 재료의 표면 검사 장치 및, 금속 재료

(57) 요약

본 발명에 따른 금속 재료의 표면 검사 방법은, 금속 재료의 표면 결함을 광학적으로 검출하는 금속 재료의 표면 검사 방법으로서, 금속 재료의 표면에 대하여 빛을 조사하는 조사 스텝과, 조사 스텝에 있어서 조사된 빛에 의한 금속 재료의 표면으로부터의 반사광을 2개 이상의 상이한 파장대에서 촬상함으로써 복수의 화상을 얻는 촬상 스텝과, 촬상 스텝에 있어서 금속 재료의 표면의 동위치로부터 얻어진 복수의 화상 간의 상대 신호 강도의 정보로부터 금속 재료의 표면에 존재하는 표면 결함을 검출하는 검출 스텝을 포함한다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류

G01N 21/8851 (2013.01)

G06N 20/00 (2021.08)

G01N 2021/8845 (2013.01)

G01N 2021/8858 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

금속 재료의 표면 결함을 광학적으로 검출하는 금속 재료의 표면 검사 방법으로서,
 상기 금속 재료의 표면에 대하여 빛을 조사하는 조사 스텝과,
 상기 조사 스텝에 있어서 조사된 빛에 의한 상기 금속 재료의 표면으로부터의 반사광을 2개 이상의 상이한 파장대에서 촬상함으로써 복수의 화상을 얻는 촬상 스텝과,
 상기 촬상 스텝에 있어서 상기 금속 재료의 표면의 동(同)위치로부터 얻어진 복수의 화상 간의 상대 신호 강도의 정보로부터 상기 금속 재료의 표면에 존재하는 표면 결함을 검출하는 검출 스텝
 을 포함하는, 금속 재료의 표면 검사 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 검출 스텝은, 상기 복수의 화상 간의 상대 강도 또는 당해 상대 강도로부터 계산되는 복수의 양을 특징량으로 하여 기계 학습 수법에 의해 작성된 판정기를 이용하여 상기 표면 결함을 검출하는 스텝을 포함하는, 금속 재료의 표면 검사 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 조사 스텝은, 상기 금속 재료의 표면의 법선 방향에 대한 각도가 60° 이상 90° 미만의 범위 내가 되도록 상기 빛을 조사하는 스텝을 포함하고, 상기 촬상 스텝은, 상기 금속 재료의 표면에 대한 수광 각도가 0° 이상 20° 미만의 범위 내가 되도록 상기 반사광을 수광하는 스텝을 포함하는, 금속 재료의 표면 검사 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 2개 이상의 상이한 파장대의 적어도 1개는 500nm 이하의 파장대인, 금속 재료의 표면 검사 방법.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 2개 이상의 상이한 파장대의 적어도 1개는 650nm 이상의 파장대인, 금속 재료의 표면 검사 방법.

청구항 6

금속 재료의 표면 결함을 광학적으로 검출하는 금속 재료의 표면 검사 장치로서,
 상기 금속 재료의 표면에 대하여 빛을 조사하는 조사 수단과,
 상기 조사 수단에 의해 조사된 빛에 의한 상기 금속 재료의 표면으로부터의 반사광을 2개 이상의 상이한 파장대에서 촬상함으로써 복수의 화상을 얻는 촬상 수단과,
 상기 촬상 수단에 의해 상기 금속 재료의 표면의 동위치로부터 얻어진 복수의 화상 간의 상대 신호 강도의 정보로부터, 상기 금속 재료의 표면에 존재하는 표면 결함을 검출하는 검출 수단
 을 구비하는, 금속 재료의 표면 검사 장치.

청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 기재된 금속 재료의 표면 검사 방법을 이용하여 표면 성상이 보증되어 있는, 금속 재료.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 금속 재료의 표면 결함을 광학적으로 검출하는 금속 재료의 표면 검사 방법, 금속 재료의 표면 검사 장치 및, 금속 재료에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 금속 재료, 특히 철강 제품의 제조 공정에서는, 대량 부적합 방지에 의한 수율 향상의 관점에서, 열간 또는 냉간에서 강재의 표면 결함을 검출하는 것이 요구되고 있다. 여기에서 말하는 강재란, 이음매없는 강관, 용접 강관, 열연 강관, 냉연 강관, 후관 등의 강관이나 형강을 비롯한 철강 제품 및 이들 철강 제품이 제조되는 과정에서 생성되는 슬래브 등의 반제품을 의미한다. 이 때문에, 강재의 표면 결함을 검출하는 방법으로서, 이음매없는 강관의 제조 공정에 있어서의 빌릿(billet)에 빛을 조사하여 반사광을 수광하고, 반사광의 광량에 따라 표면 결함의 유무를 판별하는 방법이 제안되어 있다(특허문헌 1 참조). 또한, 열간 강재로부터 방사되는 자발광과 상호 영향을 미치지 않고, 서로 영향을 미치지 않는 복수의 파장역의 가시광을, 열간 강재 표면의 법선에 대하여 서로 대칭인 경사 방향으로부터 조사하고, 합성 반사광에 의한 상(像) 및 개개의 반사광에 의한 상을 열간 강재 표면의 법선 방향에서 얻고, 이들의 상의 조합으로부터 열간 강재의 표면 결함을 검출하는 방법도 제안되어 있다(특허문헌 2 참조). 또한, 강재 표면의 법선에 대하여 서로 대칭인 경사 방향으로부터 변별 가능한 조명광을 조사하고, 각 방향으로부터 조명된 검사 대상 부위를 각각 촬상한 2개의 화상의 차분 화상으로부터, 오목 형상에 대응하는 명부 및 암부의 배열을 추출하여, 강재의 표면 결함을 검출하는 방법도 제안되어 있다(특허문헌 3 참조).

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 평11-37949호
 (특허문헌 0002) 일본공개특허공보 소59-52735호
 (특허문헌 0003) 일본특허 제6079948호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 특허문헌 1에 기재된 방법에 의하면, 스케일이나 무해(無害) 모양(harmless pattern)의 반사율이 지철 부분의 반사율과는 상이한 점에서, 표면 결함이 아닌 건전부에 발생한 스케일이나 무해 모양을 표면 결함으로 오검출해 버릴 가능성이 있다. 이 때문에, 특허문헌 1에 기재된 방법에서는, 빌릿의 표면 결함(표면 흠집)의 형상이 직선적인 것을 이용하여, 표면 결함과 스케일을 변별하고 있다. 그러나, 강재의 표면 결함에는, 직선 형상의 것에 한정되지 않고, 원 형상 등의 여러가지 형상의 것이 있다. 이 때문에, 특허문헌 1에 기재된 방법을 강재의 표면 결함의 검출 처리에 적용하는 것은 어렵다. 한편, 특허문헌 2에 기재된 방법에서는, 표면 결함, 스케일, 무해 모양 등의 종류가 방대하게 있는 점에서, 단순히 상을 조합하는 것만으로는 스케일이나 무해 모양과 표면 결함을 변별하는 것은 곤란하다. 또한, 방대한 상의 조합에 대응한 검출 로직을 구축하는 것은 현실적으로는 곤란하다. 또한, 특허문헌 3에 기재된 방법에 의하면, 상기 과제를 해결하여 강재 표면의 오목 형상 결함을 정밀도 좋게 검출할 수 있다. 그런데, 강재의 표면 결함은 오목 형상의 것에 한정되지 않고, 이물이 압착한 상태에서 압연 가공을 실시한 경우나 오목 형상 결함부에 스케일이 생성된 경우에, 표면으로부터의 외관상 요철이 보이지 않는 결함도 존재한다. 이 때문에, 특허문헌 3에 기재된 방법만으로는, 강재에 발생하는 표면 결함을 빠짐없이 검출하는 것은 곤란하다.

[0005] 본 발명은, 상기 과제를 감안하여 이루어진 것으로서, 그의 목적은, 금속 재료의 표면 결함을 빠짐없이 정밀도 좋게 검출 가능한 금속 재료의 표면 검사 방법 및 표면 검사 장치를 제공하는 것에 있다. 또한, 본 발명의 다른 목적은, 표면 결함이 없는 고품질의 금속 재료를 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명에 따른 금속 재료의 표면 검사 방법은, 금속 재료의 표면 결함을 광학적으로 검출하는 금속 재료의 표면 검사 방법으로서, 상기 금속 재료의 표면에 대하여 빛을 조사하는 조사 스텝과, 상기 조사 스텝에 있어서 조사된 빛에 의한 상기 금속 재료의 표면으로부터의 반사광을 2개 이상의 상이한 파장대에서 촬상함으로써 복수의 화상을 얻는 촬상 스텝과, 상기 촬상 스텝에 있어서 상기 금속 재료의 표면의 동(同)위치로부터 얻어진 복수의 화상 간의 상대 신호 강도의 정보로부터 상기 금속 재료의 표면에 존재하는 표면 결함을 검출하는 검출 스텝을 포함한다.

[0007] 상기 검출 스텝은, 상기 복수의 화상 간의 상대 강도 또는 당해 상대 강도로부터 계산되는 복수의 양을 특징량으로 하여 기계 학습 수법에 의해 작성된 판정기를 이용하여 상기 표면 결함을 검출하는 스텝을 포함하면 좋다.

[0008] 상기 조사 스텝은, 상기 금속 재료의 표면의 법선 방향에 대한 각도가 60° 이상 90° 미만의 범위 내가 되도록 상기 빛을 조사하는 스텝을 포함하고, 상기 촬상 스텝은, 상기 금속 재료의 표면에 대한 수광 각도가 0° 이상 20° 미만의 범위 내가 되도록 상기 반사광을 수광하는 스텝을 포함하면 좋다.

[0009] 상기 2개 이상의 상이한 파장대의 적어도 1개는 500nm 이하의 파장대이면 좋다.

[0010] 상기 2개 이상의 상이한 파장대의 적어도 1개는 650nm 이상의 파장대이면 좋다.

[0011] 본 발명에 따른 금속 재료의 표면 검사 장치는, 금속 재료의 표면 결함을 광학적으로 검출하는 금속 재료의 표면 검사 장치로서, 상기 금속 재료의 표면에 대하여 빛을 조사하는 조사 수단과, 상기 조사 수단에 의해 조사된 빛에 의한 상기 금속 재료의 표면으로부터의 반사광을 2개 이상의 상이한 파장대에서 촬상함으로써 복수의 화상을 얻는 촬상 수단과, 상기 촬상 수단에 의해 상기 금속 재료의 표면의 동위치로부터 얻어진 복수의 화상 간의 상대 신호 강도의 정보로부터, 상기 금속 재료의 표면에 존재하는 표면 결함을 검출하는 검출 수단을 구비한다.

[0012] 본 발명에 따른 금속 재료는, 본 발명에 따른 금속 재료의 표면 검사 방법을 이용하여 표면 성상이 보증되어 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명에 따른 금속 재료의 표면 검사 방법 및 표면 검사 장치에 의하면, 금속 재료의 표면 결함을 빠짐없이 정밀도 좋게 검출할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 금속 재료에 의하면, 표면 결함이 없는 고품질의 금속 재료를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은, 모양 형상 결함(pattern-like defect)과 무해 모양의 일 예를 나타내는 도면이다.
- 도 2는, 시험에 사용한 장치의 구성을 나타내는 개략도이다.
- 도 3은, 모양 형상 결함부 및 건전부의 신호 강도와 파장의 관계를 비교한 결과를 나타내는 도면이다.
- 도 4는, 조명광의 입사각과, 모양 형상 결함부와 건전부의 신호 강도차와 파장의 관계를 비교한 결과를 나타내는 도면이다.
- 도 5는, 본 발명의 제1 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치의 구성을 나타내는 개략도이다.
- 도 6은, 본 발명의 제2 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치의 구성을 나타내는 개략도이다.
- 도 7은, 본 발명의 일 실시 형태인 표면 검사 처리의 흐름을 나타내는 플로우차트이다.
- 도 8은, 차분 화상의 일 예를 나타내는 도면이다.
- 도 9는, 차분 화상의 일 예를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] (발명을 실시하기 위한 형태)
- [0016] 철강 제품의 일종인 후강판에서는, 표면이 흑피 스케일(mill scale)이라고 불리는 산화막에 덮여, 무해 모양이라고 칭해지는, 철강 제품의 품질에는 영향을 미치지 않는 모양이 발생하는 경우가 있다. 또한, 후강판에서는, 벗겨짐 등의 모양 형상 결함도 표면에 발생하지만, 도 1에 나타내는 바와 같이 휘도의 차에서는 모양 형상 결함과 무해 모양을 구별하는 것은 어렵다. 그래서, 본 발명의 발명자들은, 모양 형상 결함상에는 미소한 적스케일(red scale)(Fe₂O₃)이 생성되기 쉽고, 이 적스케일에 의해 모양 형상 결함은 붉은 기를 띠는(looks reddish) 것에 주목하고, 분광 반사 특성을 이용하여 모양 형상 결함을 검출하는 시험을 행했다. 시험에 사용한 장치의 구성을 도 2에 나타낸다. 도 2에 나타내는 바와 같이, 본 시험에서는, 모양 형상 결함을 갖는 후강판 샘플(SA)을 리니어 스테이지(1)의 위에 올려놓고, 제1 광원(2)으로부터 광대역의 파장을 갖는 조명광(L)을 후강판 샘플(SA)의 표면에 조사하고, 1차원의 시야를 갖는 분광 카메라(3)를 이용하여 각 파장의 분광 화상을 촬영했다.
- [0017] 도 3에 분광 화상을 이용하여 모양 형상 결함부 및 건전부의 신호 강도와 파장의 관계를 비교한 결과를 나타낸다. 도 3에 나타내는 바와 같이, 모양 형상 결함부와 건전부에서는, 단파장측 및 장파장측에 있어서의 신호 강도의 특성이 상대적으로 상이하다. 이는, 단일의 파장만으로는 무해 모양의 신호에 의해 검출이 곤란했던 모양 형상 결함이 파장 간의 신호 강도의 비교에 의해 검출할 수 있는 가능성이 있는 것을 시사한다. 그래서, 415nm의 파장대의 분광 화상(415nm 화상)과 750nm의 파장대의 분광 화상(750nm 화상)에 대하여 휘도의 평균값이 일정해지도록 휘도 보정을 실시한 후, 2매의 분광 화상의 휘도값의 차분을 취한 화상을 도 8에 나타낸다. 도 8에 나타내는 바와 같이, 무해 모양의 신호가 차분에 의해 캔슬되고, 모양 형상 결함의 신호가 강조되고 있다.
- [0018] 이상의 점에서, 상이한 복수의 파장 간의 휘도 정보를 비교함으로써 건전부와 분광 반사 특성이 상이한 모양 형상 결함을 정밀도 좋게 검출할 수 있는 것이 확인되었다. 또한, 도 4에 조명광(L)의 입사각(후강판의 표면 법선 벡터에 대한 각도)과, 모양 형상 결함부와 건전부의 신호 강도차와 파장의 관계를 비교한 결과를 나타낸다. 도 4의 범례에서 20°, 30° 등으로 기재된 것이 입사각이다. 도 4에 나타내는 바와 같이, 조명광(L)의 입사각이 커질수록, 단파장측과 장파장측의 신호 강도차가 커지고 있다. 따라서, 대상의 분광 반사 특성, 즉 색미(色味;hue)의 차를 효율적으로 검출하기 위해서는, 조명광(L)의 입사각을 크게 하면 좋다. 상기의 설명에서는 후강판의 모양 형상 결함에 대해서 서술했지만, 본 발명은 다른 금속 재료의 표면에 발생하는 건전부와 분광 반사 특성이 상이한 표면 결함의 검출에 적용할 수 있다.
- [0019] 이하, 도 5~도 8을 참조하여, 전술한 기술 사상으로부터 상도된, 본 발명의 일 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치에 대해서 설명한다.
- [0020] 도 5는, 본 발명의 제1 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치의 구성을 나타내는 개략도이다. 도 5에 나타내는 바와 같이, 본 발명의 제1 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치(10)는, 도시 화살표 방향으로 반송되는 판 형상의 강재(S)의 표면 결함을 검출하는 장치이다. 본 발명의 제1 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치(10)는, 광원(11), 인코더 및 펄스 생성기(12), 복수의 파장대의 분광 화상을 촬영 가능한 에어리어 센서(13), 화상 처리 장치(14) 및, 모니터(15)를 주요 구성 요소로서 구비하고 있다.
- [0021] 광원(11)은, 인코더로부터 일정 횟수 펄스 신호가 송신될 때마다 펄스 생성기가 출력하는 트리거 신호에 따라서 강재(S)의 표면 상의 검사 대상 부위에 조명광(L)을 조사한다. 광원(11)은, 강재(S) 표면의 법선 방향에 대하여 조명광(L)의 조사 방향이 60° 이상 90° 미만의 범위 내에서 기울어지도록 배치하면 좋다. 이에 따라, 차분 화상으로부터 표면 결함을 정밀도 좋게 검출할 수 있다. 또한, 본 실시 형태에서는 광원(11)을 1개 배치하고 있지만, 광원(11)을 복수 배치해도 좋다. 또한, 본 실시 형태에서는, 광원(11)으로서 제1 광원을 채용했지만, 상이한 복수의 파장대의 성분이 포함되어 있다면, 메탈 할라이드 광원이나 할로겐 광원, 수은등, 백열등 등의 광대역의 특성을 갖는 광원이라도, LED나 레이저 등의 특성의 협대역(narrow band)의 특성을 갖는 광원을 조합해도 좋다. 또한, 강재(S)의 반송 속도가 빠른, 결정된 반송 위치(패스 라인)로부터의 강재(S)의 위치 변동이 큰 등과 같은 경우에는, 촬상 어긋남을 막기 위해 플래시 광원이나 펄스 점등(pulse lighting)을 이용해도 좋다.
- [0022] 에어리어 센서(13)는, 강재(S)의 대략 동일 위치의 상이한 복수의 파장대의 분광 화상을 촬영한다. 촬영되는 복수의 분광 화상은 동축이면 좋지만, 화상 처리에 의해 위치 맞춤을 해도 좋다. 또한, 에어리어 센서(13)로서는, 각 소자에 포개지도록 상이한 파장대를 투과하는 필터를 부착하고, 나중에 복수의 화상을 생성하는 베이어식(Bayer type)이나 프리즘과 복수의 소자를 이용하여 동축이 되도록 조정하는 프리즘식을 들 수 있다. 또한, RGB의 컬러 카메라를 이용하는 것이 염가로 바람직하지만, 2채널이나 4채널 이상의 멀티 밴드 에어리어 센서를

이용해도 좋다. 또한, 변별하고 싶은 건전부와 표면 결함부의 분광 반사 특성에 따라, 에어리어 센서(13)나 광원(11)의 전면(前面) 등의 광로 상에 파장 선택 필터를 설치함으로써, 보다 색미를 부각시킴으로써 검출능을 향상시켜도 좋다. 또한, 건전부와 표면 결함부의 분광 반사 특성의 차가 협대역에서 나타나는 경우, 광량에 여유가 있으면 파장 선택 필터 등에서 수광하는 파장대를 협대역으로 해도 좋다. 또한, 모양 형상 결함을 검출하는 경우에는, 상이한 복수의 파장대 중 적어도 1개가 650nm 이상의 협역의(narrow) 파장대를 포함하고, 적어도 1개가 500nm 이하의 협역의 파장대를 포함하면 좋다.

[0023] 에어리어 센서(13)는, 펄스 생성기로부터 출력되는 트리거 신호에 따라서 광원(11)과 동기하여 분광 화상을 촬영한다. 강제(S)의 단부가 촬영되어 있는 분광 화상을 제외하고, 분광 화상의 각 채널의 휘도값은 포화(saturation)하고 있지 않은 것으로 한다. 또한, 본 실시 형태에서는 장파장대 및 단파장대의 빛을 포착하는 2채널의 에어리어 센서를 이용했지만, 별도 3 이상의 파장대를 3채널 이상의 에어리어 센서로 촬상하는 장치 구성으로 해도 좋다. 또한, 에어리어 센서(13)는, 강제(S)의 표면의 법선 방향에 대한 수광 각도가 0° 이상 20° 미만의 범위 내가 되도록 반사광을 수광하면 좋다.

[0024] 화상 처리 장치(14)는, 에어리어 센서(13)의 각 채널로부터 입력된 분광 화상 간에서 후술하는 차분 처리를 행함으로써 검사 대상 부위에 있어서의 표면 결함을 검출한다. 그리고, 화상 처리 장치(14)는, 에어리어 센서(13)로부터 입력된 분광 화상, 차분 처리 후의 분광 화상 및, 표면 결함의 검출 결과에 관한 정보를 모니터(15)에 출력한다.

[0025] [제2 실시 형태]

[0026] 도 6은, 본 발명의 제2 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치의 구성을 나타내는 개략도이다. 도 6에 나타내는 바와 같이, 본 발명의 제2 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치(20)는, 도시의 화살표 방향으로 반송되는 판 형상의 강제(S)의 표면 결함을 검출한다. 제1 실시 형태인 금속 재료의 표면 검사 장치(10)와의 차이는, 광원(11)을 라인 광원(21)으로 하고, 에어리어 센서(13)를 라인 센서(22)로 하고 있는 점이다. 라인 센서(22)를 이용함으로써 시야가 1라인 상만으로 되고, 제1 실시 형태와 비교하여, 광학 조건이 안정된다는 메리트가 있는 한편, 반송 중의 반송 위치(패스 라인)로부터의 강제(S)의 위치 변동에 약한 등의 디메리트도 존재한다.

[0027] 이러한 구성을 갖는 금속 재료의 표면 검사 장치(10, 20)는, 이하에 나타내는 표면 검사 처리를 실행함으로써, 검사 대상 부위에 있어서의 모양 형상 결함부와 무해 모양을 갖는 건전부를 변별한다. 여기에서 서술하는 모양 형상 결함이란, 이물이 압착하거나, 오목 형상 결함 상에 스케일이 생성되거나 하는 등 하여, 표면으로부터의 외관상 요철이 존재하지 않는 결함으로 한다. 또한, 무해 모양을 갖는 건전부란, 흑피 스케일 등의 두께 수~수십 μ m 정도의 지철 부분과는 광학 특성이 상이한 표면 피막이나 표면 성상을 갖는 부분을 의미하고, 표면 검사 처리에 있어서 노이즈 요인이 되는 부분이다.

[0028] [표면 검사 처리]

[0029] 도 7은, 본 발명의 일 실시 형태인 표면 검사 처리의 흐름을 나타내는 플로우차트이다. 도 7에 나타내는 표면 검사 처리는, 화상 처리 장치(14)에 대하여 표면 검사 처리의 실행 지령이 입력된 타이밍에 개시가 되고, 표면 검사 처리는 스텝 S1의 처리로 진행된다.

[0030] 스텝 S1의 처리에서는, 화상 처리 장치(14)가, 상이한 복수의 파장대의 분광 화상의 위치가 화소 단위로 어긋나 있는 경우, 위치 맞춤 처리를 실시한다. 분광 화상을 동측에서 촬상할 수 없는 경우, 상이한 복수의 파장대의 분광 화상 간에 위치 맞춤이 필요해진다. 위치 맞춤 방법은, 각 파장대의 분광 화상의 위치 어긋남의 형태에 따라 변화하고, 필요에 따라서 평행 이동이나 선형 변환, 화소를 1대 1 대응시키는 등의 처리를 실행하면 좋다. 이에 따라, 스텝 S1의 처리는 완료하고, 표면 검사 처리는 스텝 S2의 처리로 진행된다.

[0031] 스텝 S2의 처리에서는, 화상 처리 장치(14)가, 상이한 파장대의 복수의 분광 화상에 대하여 휘도의 평균값을 일정하게 하는 보정이나 휘도 불균일 보정, 신호 강도의 정규화 처리 등의 제1 전처리를 실행한다. 이에 따라, 스텝 S2의 처리는 완료하고, 표면 검사 처리는 스텝 S3의 처리로 진행된다.

[0032] 스텝 S3의 처리에서는, 화상 처리 장치(14)가, 상이한 파장대의 복수의 분광 화상을 비교하여, 분광 반사 특성의 차이를 활용하여 모양 형상 결함만을 강조한 합성 처리 화상을 생성한다. 구체적으로는, 화상 처리 장치(14)는, 분광 반사 특성의 차이가 큰 2매의 분광 화상을 선정하고, 2매의 분광 화상의 휘도의 차나 비 등을 산출함으로써 합성 처리 화상을 생성한다. 2매의 분광 화상의 차분 화상을 합성 처리 화상으로서 생성하는 경우에 대해서 설명한다. 이 경우, 화상 처리 장치(14)는, 이하의 수식 (1)에 나타내는 바와 같이, 제1 분광 화상

Ib의 휘도값(예를 들면 단과장측의 과장대에 대응하는 감도 특성을 갖는 제1 채널의 휘도값) Ib(x, y)로부터 제 2 분광 화상 Ir의 휘도값(예를 들면 장과장측의 과장대에 대응하는 감도 특성을 갖는 제2 채널의 휘도값) Ir(x, y)을 감산함으로써 차분 화상 Id1의 휘도값 Id1(x, y)을 산출한다.

$$Id1(x, y) = Ib(x, y) - Ir(x, y) \quad \dots(1)$$

[0033]

분광 화상 Ib, Ir은 화소수 X×Y의 화상으로 한다. 또한, 분광 화상 Ib, Ir의 각각에 설정한 직행 2축의 xy 좌표계에 있어서 x 좌표는 1≤x≤X로 하고, y 좌표는 1≤y≤Y로 한다. 또한, 본 예에서는, 합성 처리 화상으로서 차분 화상을 생성했지만, 이하에 나타내는 수식 (2)를 이용한 휘도값의 비의 화상을 합성 처리 화상으로서 생성해도 좋다. 또한, 2매의 분광 화상의 휘도값에 대하여 따로 따로 문턱값 처리를 실행한 후에 AND 처리를 실시하여 합성 처리 화상을 생성해도 좋다.

$$Id1(x, y) = Ib(x, y)/Ir(x, y) \quad \dots(2)$$

[0035]

또한, 본 처리는 2매의 분광 화상만으로 실행 가능하지만, 특히 3매 이상의 분광 화상에 유효한 수단으로서 이하에 나타내는 수법 (a)~(c)를 들 수 있다. 이에 따라, 스텝 S3의 처리는 완료하고, 표면 검사 처리는 스텝 S4의 처리로 진행된다.

[0036]

(a) 공간 변환법

[0037]

3채널, 특히 컬러 화상에 유효한 수법으로서, 분광 반사 특성(색미)의 영향을 추출하는 화상을 색공간의 변환에 의해 생성하는 수법이다. 변환 후의 색공간에는 HSV 공간이나 HLS 공간이 있고, 각각 hue(색상) 정보에 분광 반사 특성의 정보가 나타난다. 그 외, XYZ, L*u*v*, L*a*b* 공간으로 변환하여, 휘도 성분을 정규화한 후에 각 색의 화상의 휘도값에 대하여 문턱값 처리를 실시해도 좋다.

[0038]

(b) 통계적 다변량 해석법

[0039]

각 화소의 각 과장대의 휘도값을 특징량 벡터로 하여, 통계적 다변량 해석에 의해 분광 반사 특성이 상이한 부분을 추출하는 수법이다. 일 예로서, 대상의 검사 영역을 충분히 크게 분할하고, 각 영역에 있어서 전체 화소의 각 과장대의 휘도값을 특징량 벡터로 하고 주성분 분석(PCA)을 실시하여, 각 화소의 마할라노비스 거리(Mahalanobis distance)를 그 화소의 대표값으로 하여 화상을 재구축한다. 모양 형상 결함부는 색미가 상이하기 때문에, 마할라노비스 거리가 건전부와 비교하여 큰 것이 기대된다. 여기에서는 주성분 분석에 대해서 설명했지만, 혼합 가우시안 모델이나 독립 성분 분석이나 회귀 모델을 이용하여 모델로부터의 괴리도를 마찬가지로 산출해도 마찬가지로의 효과가 얻어진다.

[0040]

(c) 기계 학습법

[0041]

각 화소의 각 과장대의 휘도값을 특징량 벡터로 하는 점까지는 통계적 다변량 해석법과 동일하지만, 미리 각 특징량 벡터에 대하여 모양 형상 결함부나 건전부를 교사불입(supervised)하고, 일반적인 교사 있음 학습(supervised learning)에 의해 판정기를 작성하여 화소마다 모양 형상 결함부인지 건전부인지를 판정하는 수법이다. 특징량을 클러스터링하는 수법으로서, k-means나 커널법(kernel method), 결정목법(decision tree method), 혼합 가우시안 모델, 회귀 모델 등을 이용해도 좋다. 본 수법을 이용하는 경우, 후술하는 문턱값 처리는 불필요하고, 직접 결함 후보가 되는 화소를 추출할 수 있다.

[0042]

스텝 S4의 처리에서는, 화상 처리 장치(14)가, 합성 처리 화상에 대하여 주파수 필터 등을 이용한 제2 전처리를 실행함으로써 표면 결함부를 강조한 화상을 생성한다. 이에 따라, 스텝 S4의 처리는 완료하고, 표면 검사 처리는 스텝 S5의 처리로 진행된다.

[0043]

스텝 S5의 처리에서는, 화상 처리 장치(14)가, 스텝 S4의 처리에 의해 얻어진 화상의 휘도값에 대하여 문턱값 처리를 실행함으로써 2치화 화상을 생성한다. 이에 따라, 스텝 S5의 처리는 완료하고, 표면 검사 처리는 스텝 S6의 처리로 진행된다.

[0044]

스텝 S6의 처리에서는, 화상 처리 장치(14)가, 2치화 화상에 대하여 필요에 따라서 팽창 수축 처리 등의 처리에 의해 연결·고립점 제거를 실시한 후, 인접한 픽셀을 블롭(blobs)(덩어리(specks))으로 간주하여 라벨 부착하는 라벨링 처리를 실시한다. 그리고, 화상 처리 장치(14)는, 라벨링 처리에서 추출된 블롭을 표면 결함 후보부로 한다. 이에 따라, 스텝 S6의 처리는 완료하고, 표면 검사 처리는 스텝 S7의 처리로 진행된다.

[0045]

[0046] 스텝 S7의 처리에서는, 화상 처리 장치(14)가, 스텝 S6의 처리에 의해 얻어진 각 표면 결함 후보부에 대해서 표면 결함의 종류나 등급(무해를 포함함)을 판정한다. 판정 수법은 수동으로 판정 물을 정해도 좋고, 회귀 모델(선형 회귀, 로지스틱 회귀(logistic regression), 중회귀, 서포트 벡터 머신(support vector machine), 비선형 커널 등), 결정목 모델, 랜덤 포레스트(random forest), 베이즈(Bayesian) 추정 모델, 혼합 가우시안 모델, 이들 모델을 부스팅한 수법 등의 특징량을 이용한 일반적인 기계 학습 방법으로 자동 생성해도 좋다. 이 경우, 특징량에 복수의 분광 화상의 휘도값의 각 대표값(평균값·최대) 및 각 대표값끼리가 비교 가능한 값(합·차·비) 등을 더함으로써, 분광 반사 특성을 가미한 판정이 가능해진다. 또한, 데이터의 N수가 충분히 얻어지면, 콘벌루션 뉴럴 네트워크(convolutional neural network)를 이용해도 좋다. 또한, 복수의 기계 학습 수법을 조합해도 좋다. 판정 결과는, 모니터(15)에 표시되고, 가이던스에 이용하거나, 서버에 수집되어, 강재(S)의 출하 여부·손복(maintenance) 필요 여부의 판단 등에 이용되거나 한다. 이에 따라, 스텝 S7의 처리는 완료하고, 일련의 표면 검사 처리는 종료한다.

[0047] 이상의 설명으로부터 명백한 바와 같이, 본 발명의 일 실시 형태인 표면 검사 처리에서는, 강재(S)의 표면에 대하여 빛을 조사하고, 조사된 빛에 의한 강재(S)의 표면으로부터의 반사광을 2개 이상의 상이한 파장대에서 촬상하고, 강재(S)의 표면의 동위치로부터 얻어진 복수의 화상 간의 상대 신호 강도의 정보로부터 강재(S)의 표면에 존재하는 표면 결함을 검출한다. 이에 따라, 강재(S)의 표면 결함을 빠짐없이 정밀도 좋게 검출할 수 있다. 또한, 본 발명의 일 실시 형태인 표면 검사 처리를 이용하여 강재(S) 등의 금속 재료의 표면 결함의 유무를 조사하고, 표면 결함 발생 상황(발생물이나 결함의 크기 등)이 소정의 허용 기준 이하인지 아닌지를 확인하는 품질 보증을 실시한다. 이에 따라, 표면 성상이 보증된 금속 재료를 제공할 수 있다. 실무적으로는, 예를 들면, 납품서나 검사 증명서 등에 표면 결함 발생 상황이 소정의 허용 기준 이하인지 아닌지를 기재함으로써 품질을 보증할 수 있다.

[0048] 실시예

[0049] [실시예 1]

[0050] 실시예 1로서, 본 발명을 이용하여 후강판의 표면 결함을 검출한 예를 나타낸다. 표면 결함은, 후강판의 제조 과정에 있어서 강판 표면에 압착한 형태로 되어 있고, 강판 표면으로부터 보았을 때에 요철부는 존재하지 않는다. 후강판의 표면 결함에 있어서, 415nm의 파장대의 분광 화상과 750nm의 파장대의 분광 화상을 촬상하여, 평균값이 일정하게 되도록 휘도 보정을 실시하고, 차분을 취한 화상을 도 8에 나타낸다. 흑피 스케일 등의 무해 모양의 신호가 차분에 의해 캔슬되고, 모양 형상 결함의 신호만 강조되어 있다. 이에 따라, 표면 결함부와 건전부의 분광 반사 스펙트럼의 특징을 살리고, 장파장측의 빛을 촬상한 분광 화상과 단파장측의 빛을 촬상한 분광 화상의 차분 화상을 생성함으로써, 표면 결함을 정밀도 좋게 검출할 수 있는 것이 확인되었다. 후강판의 제조 조건에 따라서는, 건전부에 표면 결함부와 유사한 표면 반사 스펙트럼을 갖는 표층 스케일이 생성되는 경우가 있지만, 기계 학습 수법에 의해 작성된 판정기를 이용하여, 차분 화상으로부터 추출된 표면 결함부를 변별함으로써, 과검출을 억제하여 정밀도 좋게 표면 결함을 검출할 수 있다.

[0051] [실시예 2]

[0052] 실시예 2로서, 본 발명을 이용하여 후강판의 적스케일을 검출한 예를 나타낸다. 후강판의 표면에는, 적스케일, 흑스케일 및, 스케일이 벗겨진 지철 부분이 얼룩 형상으로 존재하고 있다. 열간에서 제조된 강재의 스케일은, 산화가 진행됨에 따라서 층 형상이 되고, 지철에 가까운 순으로 뷔스타이트(FeO), 마그네타이트(Fe₃O₄) 및, 헤머타이트(Fe₂O₃)로 구성되는 경우가 많다. 표면의 스케일이 뷔스타이트나 마그네타이트를 중심으로 구성되는 경우, 흑스케일이 되고, 기계적인 강도도 높아 벗겨지기 어려운 균일한 스케일이 되기 쉽다. 한편으로, 표면의 스케일이 헤머타이트를 중심으로 구성되는 경우에는, 적스케일이 되고, 기계적 강도가 낮아 벗겨지기 쉬운 불균일한 스케일이 되기 쉽다. 적스케일은, 가공성에 문제를 일으키는 것 외에, 벗겨지기 쉬운 성질로부터 공장 내의 설비에 부착되어 오염되거나, 최종 제품의 색조에 얼룩을 발생시키거나 하는 점에서 기피되는 경향이 있어, 표면 결함의 일종으로서 취급하는 경우가 있다. RGB의 컬러 카메라로 촬상한 후강판의 표면 화상에 대해서, R 성분 및 B성분의 화상의 휘도의 평균값이 일정해지도록 휘도 보정을 실시하여, R성분의 화상과 B성분의 화상에서 차분을 취한 화상을 도 9(a), (b)에 나타낸다. R채널은 650nm 이상의 협역의 파장대, B채널은 500nm 이하의 협역의 파장대에서 촬상을 행할 수 있도록, 카메라 소자 및 필터를 설계했다. 도 9(a), (b)에 나타내는 바와 같이, 흑스케일이나 지철 부분의 신호가 차분에 의해 캔슬되고, 적스케일의 신호만이 강조되어 있는 것을 알 수 있다. 이상의 점에서, 본 발명에 의하면, 적스케일과 흑스케일의 분광 반사 스펙트럼의 특징을 살리고, 장파장측의 빛을 촬상한 2차원 화상과 단파장측의 빛을 촬상한 2차원 화상의 차분 화상을 작성함으로써, 적스케일을

정밀도 좋게 검출할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 실제의 운용에 있어서는, 후강판 전체면에 대한 적스케일 발생 영역의 비율이나 정도를 산출함으로써 품질 보증을 행하거나, 적스케일의 발생 분포를 압연 공정에서의 온도 제어나 디스케일링 설비의 이상(abnormality) 검지에 이용하거나 할 수 있다.

[0053] 이상, 본 발명자들에 의해 이루어진 발명을 적용한 실시의 형태에 대해서 설명했지만, 본 실시 형태에 의한 본 발명의 개시의 일부를 이루는 기술 및 도면에 의해 본 발명이 한정되는 일은 없다. 즉, 본 실시 형태에 기초하여 통상의 기술자 등에 의해 이루어지는 다른 실시의 형태, 실시예 및, 운용 기술 등은 모두 본 발명의 범주에 포함된다.

[0054] (산업상의 이용 가능성)

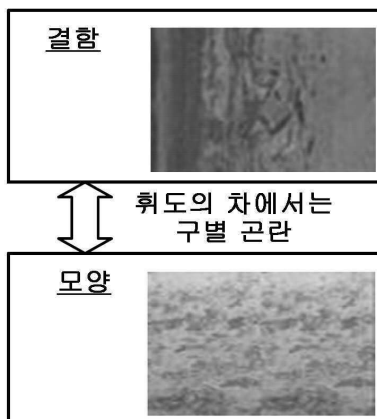
[0055] 본 발명에 의하면, 금속 재료의 표면 결함을 빠짐없이 정밀도 좋게 검출 가능한 금속 재료의 표면 검사 방법 및 표면 검사 장치를 제공할 수 있다. 또한, 본 발명에 의하면, 표면 결함이 없는 고품질의 금속 재료를 제공할 수 있다.

부호의 설명

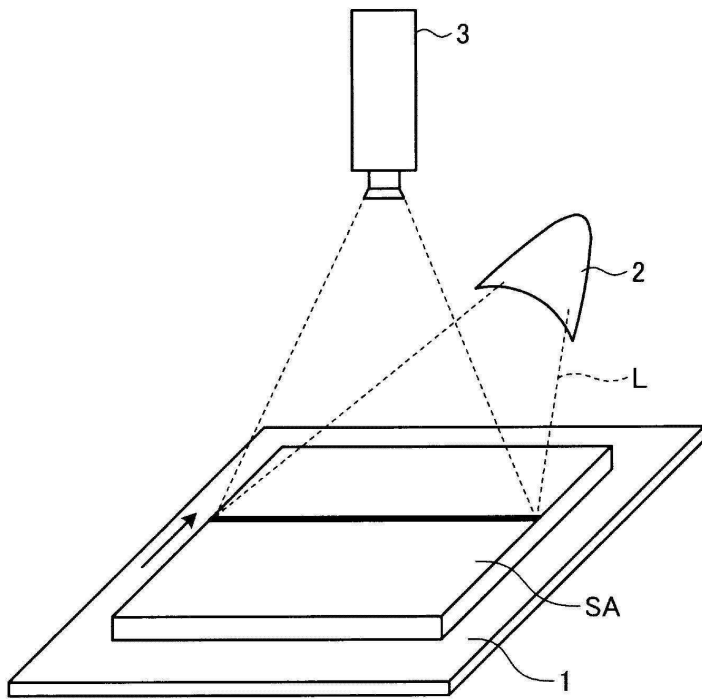
- [0056] 1 : 리니어 스테이지
 2 : 체논 광원
 3 : 분광 카메라
 10, 20 : 금속 재료의 표면 검사 장치
 11 : 광원
 12 : 인코더, 펄스 생성기
 13 : 에어리어 센서
 14 : 화상 처리 장치
 15 : 모니터
 21 : 라인 광원
 22 : 라인 센서
 L : 조명광
 S : 강제
 SA : 후강판 샘플

도면

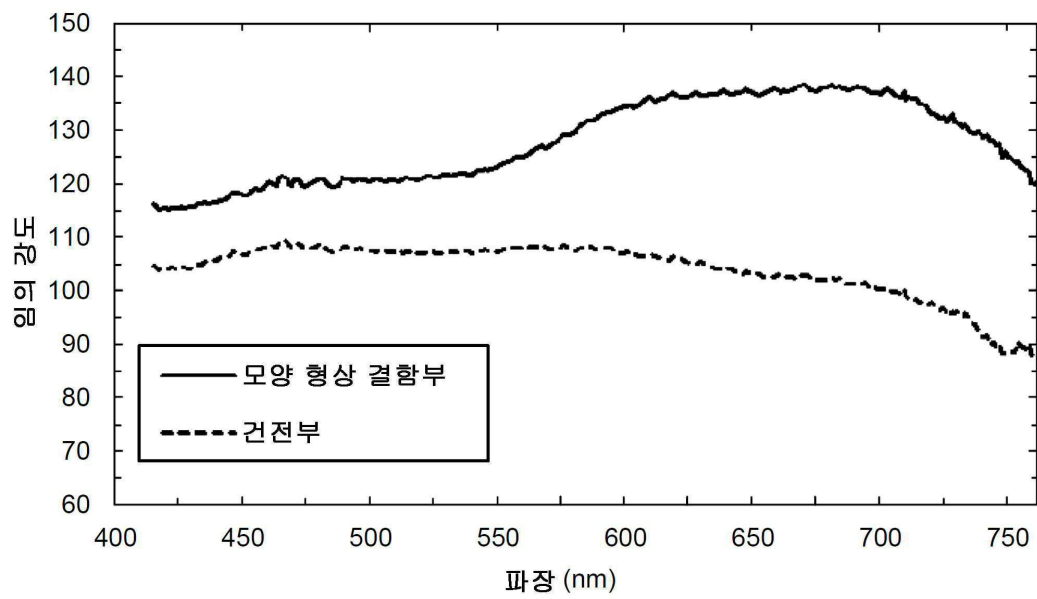
도면1



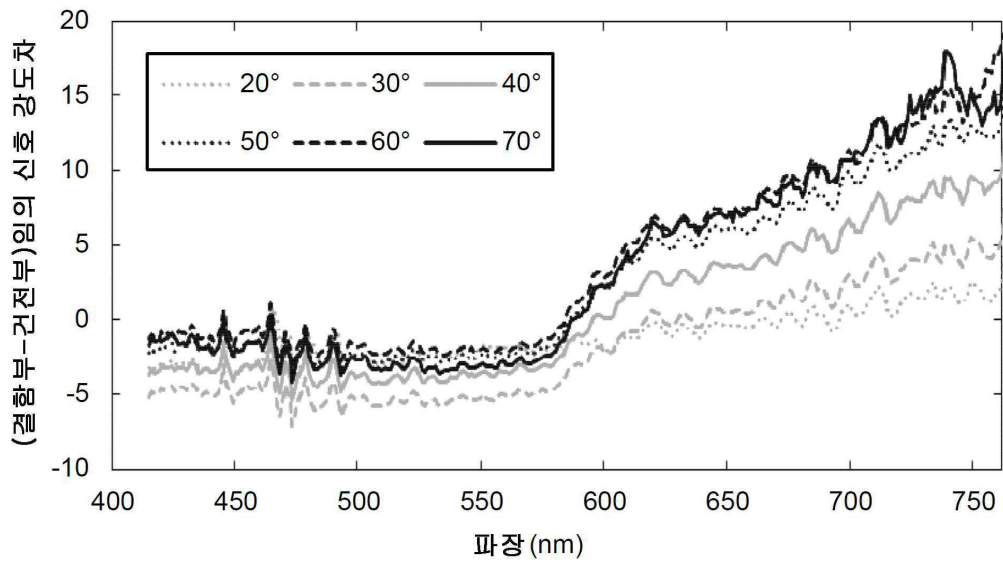
도면2



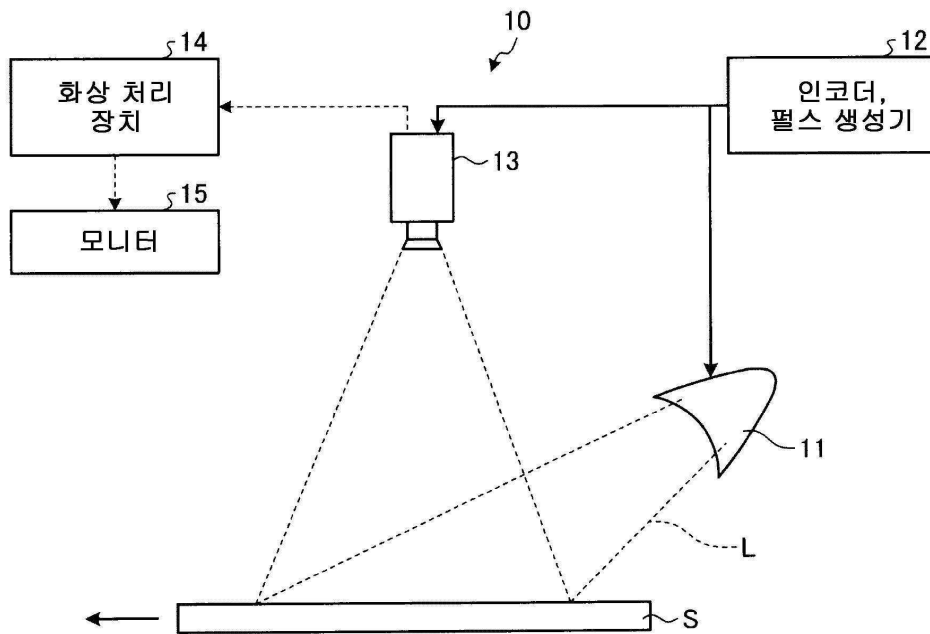
도면3



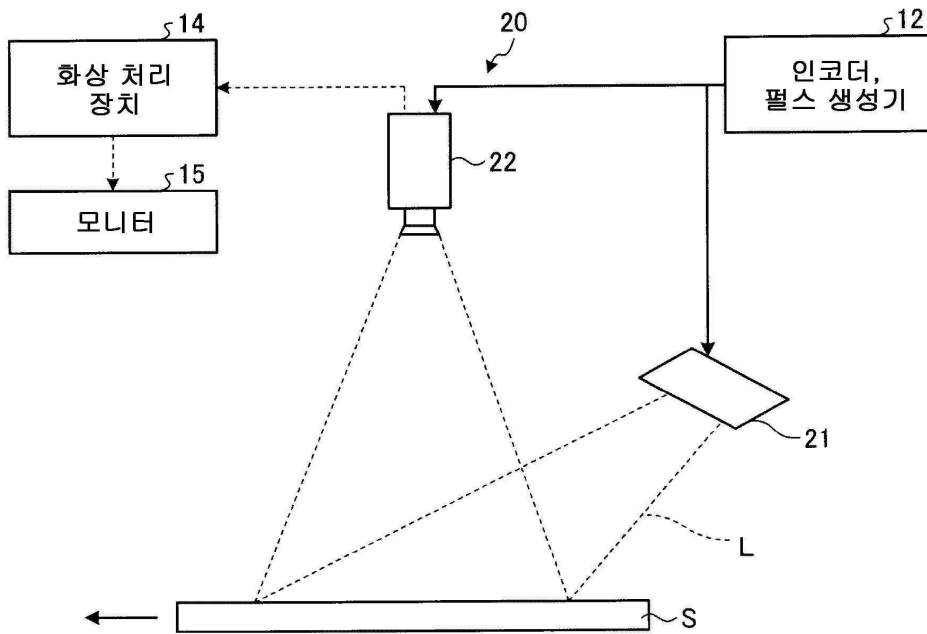
도면4



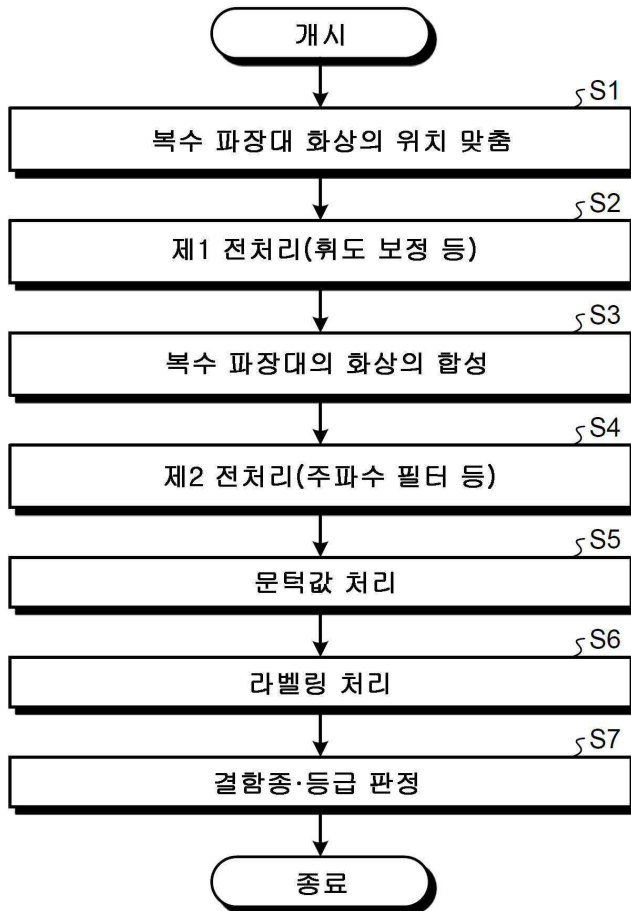
도면5



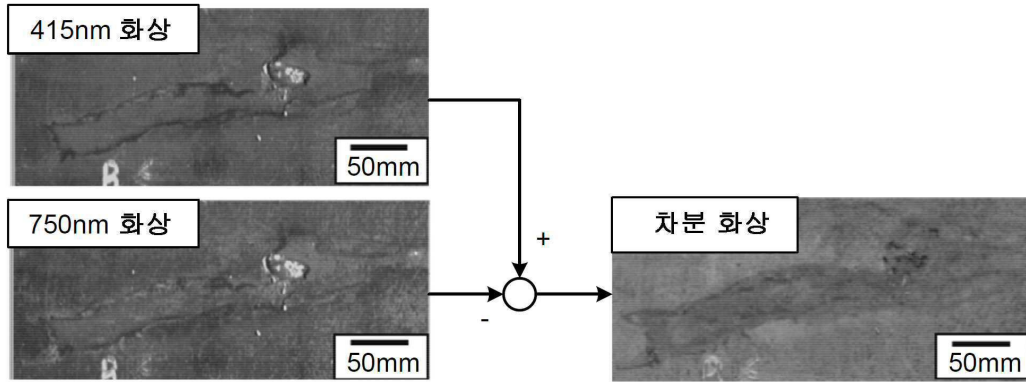
도면6



도면7



도면8



도면9

