



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0123304
(43) 공개일자 2022년09월06일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/892 (2006.01) G01N 21/88 (2006.01)
G01N 21/89 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01N 21/892 (2013.01)
G01N 21/8901 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7027462
- (22) 출원일자(국제) 2021년01월14일
심사청구일자 2022년08월09일
- (85) 번역문제출일자 2022년08월09일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2021/001089
- (87) 국제공개번호 WO 2021/149588
국제공개일자 2021년07월29일
- (30) 우선권주장
JP-P-2020-006687 2020년01월20일 일본(JP)

- (71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시키키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
- (72) 발명자
오노 히로아키
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이 산부 나이
- 다지리 다이스케
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이 산부 나이
- 요시다 게이스케
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이 산부 나이
- (74) 대리인
특허법인코리아나

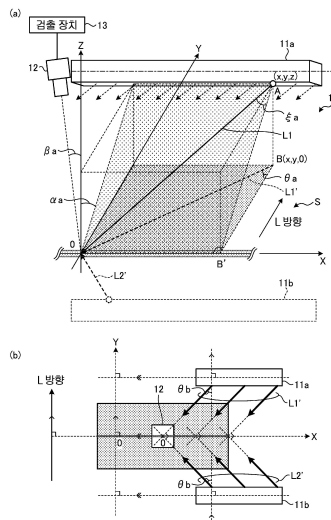
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 표면 검사 장치, 표면 검사 방법, 강재의 제조 방법, 강재의 품질 관리 방법, 및 강재의 제조 설비

(57) 요약

본 발명에 관련된 표면 검사 장치는, 강재의 검사 대상 부위에 사광 조명광을 조사하는 2 개 이상의 사광 라인 광원과, 각 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 화상을 촬영하는 1 개 이상의 라인 센서와, 1 개 이상의 라인 센서에 의해 촬영된 화상을 사용하여 검사 대상 부위에 있어서의 선상의 표면 결함을 검출하는 검출 수단을 구비하고, 2 개 이상의 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광 중, 적어도 2 개의 사광 조명광의 강재의 표면에 대한 정사영이 검사 대상 부위 상에서 직교한다.

대표도 - 도8



(52) CPC특허분류

G01N 2021/8854 (2013.01)

Y02P 90/30 (2015.11)

명세서

청구범위

청구항 1

강제의 검사 대상 부위에 사광 (斜光) 조명광을 조사하는, 2 개 이상의 사광 라인 광원과,

각 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 상기 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 화상을 촬영하는 1 개 이상의 라인 센서와,

상기 1 개 이상의 라인 센서에 의해 촬영된 화상을 사용하여 상기 검사 대상 부위에 있어서의 선상 (線狀) 의 표면 결함을 검출하는 검출 수단을 구비하고,

상기 2 개 이상의 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광 중, 적어도 2 개의 사광 조명광의 상기 강제의 표면에 대한 정사영이 상기 검사 대상 부위 상에서 직교하는, 표면 검사 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 2 개 이상의 사광 라인 광원 중, 적어도 1 개의 사광 라인 광원은, 상기 라인 센서의 시야 내에 있어서, 상기 검사 대상 부위에 대하여 상기 강제의 반송 방향 상류측 또는 반송 방향 하류측에 설치되어 있는, 표면 검사 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 2 개 이상의 사광 라인 광원 중, 적어도 1 개의 사광 라인 광원은, 상기 라인 센서의 시야 내에 있어서, 상기 검사 대상 부위에 대하여 상기 강제의 반송 방향 상류측에 설치되고, 상기 2 개 이상의 사광 라인 광원 중, 적어도 1 개의 사광 라인 광원은, 상기 라인 센서의 시야 내에 있어서, 상기 검사 대상 부위에 대하여 상기 강제의 반송 방향 하류측에 설치되어 있는, 표면 검사 장치.

청구항 4

2 개 이상의 사광 라인 광원을 사용하여 강제의 검사 대상 부위에 사광 조명광을 조사하는 조사 스텝과,

1 개 이상의 라인 센서에 의해 각 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 상기 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 상기 검사 대상 부위의 화상을 촬영하는 촬상 스텝과,

상기 촬상 스텝에 있어서 촬영된 화상을 사용하여 상기 검사 대상 부위에 있어서의 선상의 표면 결함을 검출하는 검출 스텝을 포함하고,

상기 2 개 이상의 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광 중, 적어도 2 개의 사광 조명광의 상기 강제의 표면에 대한 정사영이 상기 검사 대상 부위 상에서 직교하는, 표면 검사 방법.

청구항 5

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 기재된 표면 검사 장치를 사용하여 강제의 선상의 표면 결함을 검출하면서 강제를 제조하는 스텝을 포함하는 강제의 제조 방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 기재된 표면 검사 장치를 사용하여 선상의 표면 결함의 유무에 기초하여 강제를 분류함으로써 강제의 품질을 관리하는 스텝을 포함하는 강제의 품질 관리 방법.

청구항 7

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 기재된 표면 검사 장치와 강제의 제조 설비를 구비하고, 상기 표면 검사

장치는, 상기 강재의 제조 설비로 제조된 강재의 표면을 검사하는, 강재의 제조 설비.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 표면 검사 장치, 표면 검사 방법, 강재의 제조 방법, 강재의 품질 관리 방법, 및 강재의 제조 설비에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 철강 제품의 제조 라인에 있어서 표면의 품질 보증은 매우 중요하다. 이 때문에, 특히 강관 분야에서는, 다양한 종류의 표면 결함을 검출하기 위해서, 오래 전부터 라인 광원과 라인 센서를 사용하여 표면 결함 검사의 자동화가 진행되고 있다 (특허문헌 1 참조). 그러나, 단순히 라인 광원을 사용하여 길이 방향 (강관의 반송 방향)을 따라 조명광을 조사하는 것만으로는, 길이 방향으로 긴 선상 (線狀) 의 표면 결함의 검출은 곤란하다. 그래서, 본 과제를 해결하기 위해서, 조명광에 폭 방향의 성분을 갖게 한 사광 (斜光) 라인 광원이 제안되어 있다 (특허문헌 2 참조). 또, 특허문헌 3, 4 에는, 라인 광원을 사용하여 조명광을 2 방향으로부터 조사하고, 라인 센서를 사용하여 각 조명광의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 차분을 취하는 방법도 제안되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0003] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 2008-275424호
- (특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 2006-242866호
- (특허문헌 0003) 일본 공개특허공보 2017-9523호
- (특허문헌 0004) 일본 공개특허공보 2018-36175호
- (특허문헌 0005) 일본 공개특허공보 2015-125089호
- (특허문헌 0006) 일본 특허공보 제6447637호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 강관 표면에 있어서 검출 대상이 되는 유해한 결함 중에는, 롤 흠집 등의 어느 정도 가늘고 긴 선상 형상을 갖고, 장축 방향이 모든 방향으로 발생할 수 있는 결함이 존재한다. 그러나, 상기 서술한 바와 같이, 특허문헌 1 에 기재된 기술에서는, 길이 방향으로 긴 선상의 표면 결함을 검출할 수 없다. 또, 특허문헌 2 에 기재된 기술에서는, 표면 결함의 장축 방향이 조사 방향과 합치했을 경우, 검출능이 현저하게 저하된다. 또한, 특허문헌 3, 4 에 기재된 기술은, 검출 대상이 되는 표면 결함으로서 장축 방향이 폭 방향 또는 길이 방향으로 향하고 있는 표면 결함만을 상정하고 있고, 장축 방향이 다양한 방향으로 발생할 수 있는 선상의 표면 결함을 고려하고 있지 않다.

[0005] 본 발명은, 상기 과제를 감안하여 이루어진 것으로서, 그 목적은, 장축 방향이 모든 방향으로 발생할 수 있는 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출 가능한 표면 검사 장치 및 표면 검사 방법을 제공하는 것에 있다. 또, 본 발명의 다른 목적은, 장축 방향이 모든 방향으로 발생할 수 있는 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출하여 강재의 제조 수율을 향상 가능한 강재의 제조 방법, 강재의 품질 관리 방법, 및 강재의 제조 설비를 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명에 관련된 표면 검사 장치는, 강재의 검사 대상 부위에 사광 조명광을 조사하는 2 개 이상의 사광 라인

광원과, 각 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 상기 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 화상을 촬영하는 1 개 이상의 라인 센서와, 상기 1 개 이상의 라인 센서에 의해 촬영된 화상을 사용하여 상기 검사 대상 부위에 있어서의 선상의 표면 결함을 검출하는 검출 수단을 구비하고, 상기 2 개 이상의 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광 중, 적어도 2 개의 사광 조명광의 상기 강재의 표면에 대한 정사영(正射影)이 상기 검사 대상 위에서 직교한다.

- [0007] 상기 2 개 이상의 사광 라인 광원 중, 적어도 1 개의 사광 라인 광원은, 상기 라인 센서의 시야 내에 있어서, 상기 검사 대상 부위에 대하여 상기 강재의 반송 방향 상류측 또는 반송 방향 하류측에 설치되어 있으면 된다.
- [0008] 상기 2 개 이상의 사광 라인 광원 중, 적어도 1 개의 사광 라인 광원은, 상기 라인 센서의 시야 내에 있어서, 상기 검사 대상 부위에 대하여 상기 강재의 반송 방향 상류측에 설치되고, 상기 2 개 이상의 사광 라인 광원 중, 적어도 1 개의 사광 라인 광원은, 상기 라인 센서의 시야 내에 있어서, 상기 검사 대상 부위에 대하여 상기 강재의 반송 방향 하류측에 설치되어 있으면 된다.
- [0009] 본 발명에 관련된 표면 검사 방법은, 2 개 이상의 사광 라인 광원을 사용하여 강재의 검사 대상 부위에 사광 조명광을 조사하는 조사 스텝과, 1 개 이상의 라인 센서에 의해 각 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 상기 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 상기 검사 대상 부위의 화상을 촬영하는 촬상 스텝과, 상기 촬상 스텝에 있어서 촬영된 화상을 사용하여 상기 검사 대상 부위에 있어서의 선상의 표면 결함을 검출하는 검출 스텝을 포함하고, 상기 2 개 이상의 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광 중, 적어도 2 개의 사광 조명광의 상기 강재의 표면에 대한 정사영이 상기 검사 대상 부위 상에서 직교한다.
- [0010] 본 발명에 관련된 강재의 제조 방법은, 본 발명에 관련된 표면 검사 장치를 사용하여 강재의 선상의 표면 결함을 검출하면서 강재를 제조하는 스텝을 포함한다.
- [0011] 본 발명에 관련된 강재의 품질 관리 방법은, 본 발명에 관련된 표면 검사 장치를 사용하여 선상의 표면 결함의 유무에 기초하여 강재를 분류함으로써 강재의 품질을 관리하는 스텝을 포함한다.
- [0012] 본 발명에 관련된 강재의 제조 설비는, 본 발명에 관련된 표면 검사 장치와 강재의 제조 설비를 구비하고, 상기 표면 검사 장치는, 상기 강재의 제조 설비에서 제조된 강재의 표면을 검사한다.

발명의 효과

- [0013] 본 발명에 관련된 표면 검사 장치 및 표면 검사 방법에 의하면, 장축 방향이 모든 방향으로 발생할 수 있는 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출할 수 있다. 또, 본 발명에 관련된 강재의 제조 방법, 강재의 품질 관리 방법, 및 강재의 제조 설비에 의하면, 장축 방향이 모든 방향으로 발생할 수 있는 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출하여 강재의 제조 수율을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1 은, 선상의 표면 결함의 단면 형상을 나타내는 도면이다.
- 도 2 는, 표면 결함에 대한 조명광의 조사 방향을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3 은, 조명광의 조사 방향의 변화에 대한 반사광의 SN 비의 변화의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 4 는, 조명광의 조사 방향의 변화에 대한 반사광의 SN 비의 변화의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 5 는, 조명광의 조사 방향의 변화에 대한 반사광의 SN 비의 변화의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 6 은, 일방 및 타방의 조명광이 이루는 각도의 변화에 대한 반사광의 SN 비의 변화의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 7 은, 조명광의 조사 방향의 변화에 대한 반사광의 SN 비의 변화의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 8 은, 본 발명의 일 실시형태인 표면 검사 장치의 구성을 나타내는 모식도이다.
- 도 9 는, 사광 라인 광원의 투광 각도 (α) 와 라인 센서의 수광 각도 (β) 를 나타내는 도면이다.
- 도 10 은, 사광 라인 광원의 배치 위치의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 11 은, 사광 라인 광원의 배치 위치의 다른 예를 나타내는 도면이다.

도 12 는, 라인 센서의 시야 위치에 있어서의 반사광의 휘도 불균일을 설명하기 위한 도면이다.

도 13 은, 도 10 에 나타내는 사광 라인 광원의 배치 위치의 실시예를 나타내는 도면이다.

도 14 는, 도 11 에 나타내는 사광 라인 광원의 배치 위치의 실시예를 나타내는 도면이다.

도 15 는, 요철을 갖는 선상의 표면 결함과 요철이 없는 가늘고 긴 형상의 무해 모양으로 2 방향으로부터 사광 조명광을 조사함으로써 얻어지는 화상을 설명하기 위한 도면이다.

도 16 은, 2 방향으로부터의 사광 조명광에 대하여 선상의 표면 결함의 장축 방향이 동일한 정도 상이한 경우에 얻어지는 화상을 설명하기 위한 도면이다.

도 17 은, 반송 방향 상류측 및 반송 방향 하류측으로부터 조명광을 조사했을 때에 촬영된 화상과 표면 결함의 검출 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] [원리]

[0016] 먼저, 본 발명에 관련된 표면 검사 장치 및 표면 검사 방법의 원리에 대해서 설명한다.

[0017] 램버트의 확산 반사 모델에 의하면, 광량 (I) 의 조명광을 사면에 조사했을 때의 사면으로부터의 조명광의 반사광량 (I₂) 은 이하에 나타내는 수학적 식 (1) 과 같이 나타내어진다. 여기서, 수학적 식 (1) 에 있어서, r 은 사면의 확산 반사율, L 은 사면으로부터 광원을 향하는 정규화 벡터, N 은 사면의 정규화 법선 벡터를 나타낸다. 수학적 식 (1) 에 나타내는 바와 같이, 램버트의 확산 반사 모델에 의하면, 사면으로부터의 조명광의 반사광량 (I₂) 은, 사면으로부터 광원을 향하는 정규화 벡터 (L) 와 사면의 정규화 법선 벡터 (N) 의 내적 (內積) (L · N) 에 비례한다.

수학적 식 1

[0018]
$$I_2 = r(L \cdot N)I \quad \dots (1)$$

[0019] 그래서, 상기 램버트의 확산 반사 모델에 기초하여, 선상의 표면 결함의 장축 방향 및 단축 방향으로부터 조명광을 조사했을 경우의 장축 방향 단면 (斷面) 위치 및 단축 방향 단면 위치의 반사광량에 대해서 고찰한다.

[0020] 선상의 표면 결함의 장축 방향으로부터 조명광을 조사한 경우, 선상의 표면 결함의 단축 방향 단면 위치에서는, 건전부 (健全部) 에 대한 사면의 법선 벡터의 변화 방향이 조명광의 조사 방향인 장축 방향에 대하여 직교하는 방향이다. 이 때문에, 사면으로부터 광원을 향하는 정규화 벡터 (L) 와 사면의 정규화 법선 벡터 (N) 의 내적 (L · N) 은 건전부와 비교해서 별로 변화하지 않는다. 이에 비해, 선상의 표면 결함의 장축 방향 단면 위치에서는, 건전부에 대한 사면의 법선 벡터의 변화 방향이 조명광의 조사 방향인 장축 방향에 대하여 평행한 방향이다. 이 때문에, 조명광의 조사 방향의 앞쪽 및 안쪽 양방에서 내적 (L · N) 이 크게 변화한다. 이에 따라, 선상의 표면 결함의 장축 방향으로부터 조명광을 조사한 경우, 장축 방향 단면 위치의 사면의 기울기가 건전부와 비교해서 크게 변화할 수록, 반사광의 강도 및 SN 비가 커진다. 한편, 선상의 표면 결함의 단축 방향으로부터 조명광을 조사한 경우에는, 단축 방향 단면 위치의 사면의 기울기의 변화가 건전부와 비교해서 클 수록, 반사광의 강도 및 SN 비가 커진다. 또한, 여기서는 건전부의 표면 성상은 똑같다고 하고, 장축 방향으로부터 조명광을 조사한 경우와 단축 방향으로부터 조명광을 조사한 경우에서 노이즈 레벨은 동일하다고 가정하였다.

[0021] 여기서, 선상의 표면 결함의 단면 형상을 도 1 에 나타낸다. 도 1 에 나타내는 바와 같이, 선상의 표면 결함의 장축 방향 단면은 완만하게 변화하고, 건전부에 대하여 사면의 기울기가 작다. 이에 비해, 선상의 표면 결함의 단축 방향 단면은 급준하게 변화하고, 건전부에 대하여 사면의 기울기가 크다. 따라서, 조명광의 조사 방향이 선상의 표면 결함의 장축 방향으로 가까워질수록 반사광의 SN 비가 작아지고, 조명광의 조사 방향이 선상의 표면 결함의 단축 방향으로 가까워질수록 반사광의 SN 비가 커진다. 도 2 에 나타내는 바와 같이, 선상의 표면 결함 (D) 의 바로 위에 촬상 수단 (1) 을 배치하고, 선상의 표면 결함 (D) 의 위치를 회전 중심 위치로 하여 파선을 따라 광원 (2) 을 수평면 내에서 회전시킴으로써 조명광의 조사 방향을 변화시켜 반사

광의 SN 비를 평가한 결과를 도 3 에 나타낸다. 도 3 에 있어서, SN 비 2.5 이상의 산 (山) 부분에서는, 선상의 표면 결함의 단축 방향에 대하여 평행하게 조사광이 조사되고 있다. 또, SN 비 2 근방의 골짜기 (谷) 부분에서는, 선상의 표면 결함의 장축 방향에 대하여 평행하게 조사광이 조사되고 있다. 도 3 에 나타내는 바와 같이, 조명광의 조사 방향에 대하여 반사광의 SN 비가 주기적으로 변화하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 도 2 에 있어서, L 방향은 강재의 반송 방향 (길이 방향) 을 나타내고, X 방향은 강재의 폭 방향을 나타낸다.

[0022] 선상의 표면 결함은, 장축 방향이 항상 동일한 방향에서 발생하는 것과 장축 방향이 강재의 반송 방향에 대하여 랜덤하게 발생하는 것이 있다. 장축 방향이 항상 동일한 방향에서 발생하는 것의 예로는 찰상 등이 있고, 장축 방향이 강재의 반송 방향에 대하여 랜덤하게 발생하는 것의 예로는 가늘고 긴 이물질이 랜덤인 방향에서 밀어넣음으로써 발생하는 것 등이 있다. 선상의 표면 결함의 유출 방지의 관점에서 선상의 표면 결함의 장축 방향이 어느 방향을 향하고 있어도, 고(高)SN 비로 선상의 표면 결함을 검출할 수 있는 것이 바람직하다. 여기서, 선상의 표면 결함의 장축 방향이 어떤 방향을 향해도, 선상의 표면 결함을 안정적으로 검출할 수 있는 광학계를 검토하기 위해서, 반사광의 SN 비의 주기성을 정현파로 근사해 보았다. 반사광의 SN 비를 나타내는 근사식 SN_{L1} 을 이하의 수학식 (2) 에 나타낸다. 여기서, 반사광의 SN 비를 SN_{L1} , 강재의 반송 방향과 선상의 표면 결함의 방향이 이루는 각도를 ϕ , 조명광의 조사 방향을 θ , 임의의 정수 (定數) 를 a 및 b 로 한다. 또, 조사 방향 (θ) 은, 강재의 표면에 정사영했을 경우, 강재의 반송 방향 (L 방향) 을 0° 로 한다.

수학식 2

[0023] $SN_{L1} = a - b\cos(2(\phi - \theta)) \dots (2)$

[0024] 만일, 강재의 반송 방향과 선상의 표면 결함의 방향이 이루는 각도 (ϕ) 를 60° , 정수 a = 3, 정수 b = 2 로 했을 때에 있어서의, 조명광의 조사 방향 (θ) 을 변화와 반사광의 SN 비의 변화를 도 4 에 나타낸다. 도 4 중의 굵은선은, SN 비 = $3 - 2\cos(2(60^\circ - \theta))$ 의 궤적을 나타내고, θ 의 단위는 $^\circ$ (도) 이다. 도 4 에 나타내는 바와 같이, 조명광을 일방향으로부터 조사한 것만으로는, 아무래도 반사광의 SN 비가 낮아지는 조명광의 조사 방향이 발생한다. 그래서, 조명광을 2 방향에서 조사하여 각 조명광의 반사광을 각 반사광마다 촬상하면, 적어도 어느 일방의 광학계에서는 반사광이 고SN 비가 되는 것을 기대할 수 있다. 그래서, 조명광을 2 방향에서 조사하여, 각 조명광의 반사광을 각 반사광마다 촬상한 2 개의 반사광의 SN 비의 변화를 검토하고, 도 5 에 나타내었다. 여기서, 일방의 조명광에 의한 반사광의 SN 비 SN_{L1} 은 수학식 (2) 로 나타내고, 타방의 조명광에 의한 반사광의 SN 비 SN_{L2} 는 이하에 나타내는 수학식 (3) 으로 나타내고, 강재의 반송 방향과 표면 결함의 방향이 이루는 각도 (ϕ) 는 60° 로 하였다. 또, 수학식 (3) 중의 $\Delta\theta$ 는, 일방 및 타방의 조명광이 이루는 각도를 나타낸다. 또, 도 5 에 있어서 굵은선은, 2 개의 조명광마다의 반사광 2 에 대한 SN 비의 최대값의 궤적을 나타낸다.

수학식 3

[0025] $SN_{L2} = a - b\cos(2(\phi - (\theta + \Delta\theta))) \dots (3)$

[0026] 도 5 에 나타내는 바와 같이, 조사 방향 $\theta = 0 \sim 180^\circ$ 의 범위에서는, 수학식 (2) 를 나타내는 파선 (SN_{L1}) 과 수학식 (3) 을 나타내는 일점 쇄선 (SN_{L2}) 의 교점 중, 조사 방향 (θ) 이 작은 쪽이 SN 비의 최소값을 취하는 것을 알 수 있다. 여기서, 수학식 (2) 와 수학식 (3) 을 연립시켜, 파선 (SN_{L1}) 과 일점 쇄선 (SN_{L2}) 의 교점의 좌표 (θ, SN) 를 구하면 이하에 나타내는 수학식 (4) 와 같이 나타내어진다. 수학식 (4) 에 있어서, n 은 정수값을 나타내고, SN 은 교점의 좌표에 있어서의 SN 비 성분을 나타낸다.

수학식 4

$$(\theta, SN) = \left(\varphi - \frac{1}{2}\Delta\theta + \frac{n\pi}{2}, a - b\cos(\Delta\theta + n\pi) \right) \quad \dots (4)$$

[0027]

[0028]

수학식 (4) 에 의하면, 파선 (SN_{L1}) 과 일점 쇄선 (SN_{L2}) 의 교점의 좌표 (θ, SN) 에 있어서의 SN 비성분인 SN 은, n 이 홀수일 때는 a + bcosΔθ, 짝수일 때는 a - bcosΔθ 가 된다. 요컨대, 이 2 개 중의 어느 작은 쪽이, 2 방향의 조사에서 가장 SN 비가 낮은 값이 된다. 그래서, 이하의 수학식 (5) 에 나타내는 함수 f(Δθ) 를 최대화 하는 Δθ 를 산출하면, 선상의 표면 결함의 장축 방향이 어떠한 방향이라도 고SN 비로 선상의 표면 결함을 검출할 수 있다. 또한, 함수 f(Δθ) 는, Δθ 에 대한 함수 a + bcosΔθ 또는 함수 a - bcosΔθ 의 최소값을 나타낸다.

수학식 5

$$f(\Delta\theta) = \min(a - b\cos\Delta\theta, a + b\cos\Delta\theta) \quad \dots (5)$$

[0029]

[0030]

함수 f(Δθ) 를 그래프에 나타내면 도 6 의 굵은선이 되고, 함수 f(Δθ) 를 최대화하는 Δθ 는 90° 이다. 또한, 도 6 에 있어서, 점선은 SN = a - bcosθ 의 궤적을 나타내고, 일점 쇄선은 SN = a + bcosθ 의 궤적을 나타낸다. 그리고, Δθ 가 90° 에 있어서의, 조명광의 조사 방향 (θ) 의 변화에 대한 반사광의 SN 비의 변화를, 도 7 에 나타낸다. 도 7 에 있어서, 점선은 SN = a - bcosθ 의 궤적을 나타내고, 일점 쇄선은 SN = a - bcos(θ - 90°) 의 궤적을 나타낸다. 그리고, 도 7 중의 굵은선은, 2 개의 조명광마다의 2 개의 반사광에 대한, 최대 SN 비의 변화를 나타내고 있다. 도 7 에 나타내는 바와 같이, 일방의 조명광의 조사 방향과 타방의 조명광의 조사 방향이 직교하도록 광원을 설정함으로써, 선상의 표면 결함의 장축 방향이 어떠한 방향에서도 반사광의 SN 비가 임의의 정수 a (도 7 에 나타내는 예에서는 a = 3) 이상으로 할 수 있다.

[0031]

또한, 상기 원리는 2 개의 조명광을 사용하는 경우로 설명했지만, 3 개 이상의 조명광을 사용하는 경우도 동일한 사고방식을 적용할 수 있다. 즉, 상세한 설명은 생략하지만, 3 개 이상의 조명광을 사용하는 경우에 있어서도 조명광의 조사 방향이 균등해지도록 조명광을 배치함으로써, 선상의 표면 결함이 어느 방향을 향해도 SN 비가 저하되는 것을 억제할 수 있다. 예를 들어, 3 개의 조명광을 사용하는 경우, 이웃하는 조명광의 조사 방향이 이루는 각을, 강제 (S) 의 표면에 대한 정사영에 있어서, 강제 (S) 의 표면 상에 있는 검사 대상 부위 상에서, 120 도로 하는 것이 바람직하다. 조사 방향의 수가 많으면 많을수록, 보다 높은 SN 비를 확보할 수 있다.

[0032]

이하, 상기 서술한 본 발명에 관련된 표면 검사 장치 및 표면 검사 방법의 원리에 기초하여 상도된, 본 발명의 일 실시형태인 표면 검사 장치에 대해서 설명한다.

[0033]

[전체 구성]

[0034]

도 8(a), (b) 는, 본 발명의 일 실시형태인 표면 검사 장치의 구성을 나타내는 모식도이다. 도 8(a), (b) 에 나타내는 바와 같이, 본 발명의 일 실시형태인 표면 검사 장치 (10) 는, 강제 (S) 의 표면에 형성된 모든 방향으로 장축 방향을 갖는 선상의 표면 결함을 검출하는 장치이며, 사광 라인 광원 (11), 라인 센서 (12), 및 검출 수단 (13) 을 구비하고 있다. 여기서, 라인 광원은, 발광면이 1 방향으로 긴 선상의 광원을 나타낸다. 한편, 라인 센서는, 선상의 시야를 갖는 촬상 수단을 나타낸다. 단, 본 발명에 있어서의 라인 센서는, 1 라인뿐이라고는 할 수 없다. 예를 들어, 2 차원의 시야를 갖는 에어리어 센서를 사용하는 경우도, 본 발명에 있어서의 「라인 센서」 에 포함된다.

[0035]

또, 도 8(a) 는, 표면 검사 장치의 구성을 비스듬한 위에서 보았을 경우, 도 8(b) 는, 동일한 장치를 강제 (S) 의 바로 위에서 보았을 경우, 즉 강제 (S) 의 표면에 대한 정사영인 경우의 도를 나타낸다. 또 도 8(a), (b) 에서는, 강제 (S) 의 표면과 강제 (S) 의 표면 상에 있는 검사 대상 부위가 존재하는 평면을 XY 평면으로 하고 있다. 여기서, 강제 (S) 의 반송 방향 (L 방향) 을 Y 축으로 한다. 한편, 강제 (S) 의 표면에 있어서, 반송 방향 (L 방향) 과 수직이 되는 방향을 X 축으로 한다. 강제 (S) 가 강판이나 강대인 경우는, X

축은 강제 (S) 의 폭 방향이 된다. 그리고, 강제 (S) 의 표면에 대한 법선 방향을 Z 축으로 한다. X 축, Y 축, 및 Z 축은, 라인 센서 (12) 의 촬상 방향과 강제 (S) 의 표면에 있는 검사 대상 부위가 교차하는 위치를 원점 (0) 으로 하고 있다. 또, 지면에 대해 우측으로 진행하는 방향을 X 축의 정측 (正側) 으로 하고, 강제 (S) 의 L 방향을 Y 축의 정측으로 하고, 사광 라인 광원 (11) 을 배치하는 축을 Z 축의 정측으로 하고 있다. 또 도 8(a) 에서는, 사광 조명광 (L1) 의 발광 위치에 있어서의 임의의 일점 A (발광점 (A) 이라고 부른다, 좌표 (x, y, z)) 를, XY 평면에 정사영한 점을 점 B (좌표 (x, y, 0)), 점 B 를 X 축으로 정사영한 점을 점 B' (좌표 (X, 0, 0)) 로 한다. 또, 검사 대상 부위는, 강제 (S) 의 표면의 일부이며, 강제 (S) 의 폭 방향 (X 방향) 으로 긴 직선이고 또한 강제 (S) 의 폭과 동일한 길이의 선분으로 한다. 도 8(a), (b) 에서는, 열은 그레이 선으로 나타낸다.

[0036] 본 실시형태에서는, 사광 라인 광원 (11) 은 2 개이다. 이 때문에, 이하에서는 사광 라인 광원 (11a, 11b) 으로서 설명한다. 사광 라인 광원 (11a, 11b) 은, 광원의 축 방향에 대하여 직교하는 방향을 0° , 광원의 축 방향을 90° 로 했을 때, 0° 초과 90° 미만의 임의의 각도를 이루는 조명광을 사광 조명광으로 하여 강제 (S) 의 검사 대상 부위에 조사한다. 또, 본 실시형태에 있어서, 강제 (S) 의 폭 방향 (X 방향) 과 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 축 방향 (도 8(a), (b) 중의 일점 쇄선) 이 평행하게 되도록, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 이 배치되어 있다. 즉, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 각각의 축 방향은 X 방향이며, 강제 (S) 의 길이 방향 (Y 방향, L 방향, 또는 강제 (S) 의 반송 방향) 과 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 축 방향이 직각으로 교차하고 있다. 그리고, 본 실시형태에서는, 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광의 조사 방향 (도 8(b) 중의 사광 조명광 성분 (L1') 으로부터의 점선) 과 사광 라인 광원 (11b) 으로부터의 사광 조명광의 조사 방향 (도 8(b) 중의 사광 조명광 성분 (L2') 으로부터의 점선) 이, 강제 (S) 의 표면에 대한 정사영에 있어서 검사 대상 부위 상에서 직교한다. 구체적으로는, 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광 (L1) 및 사광 라인 광원 (11b) 으로부터의 사광 조명광 (L2) (도시하지 않음) 을 강제 (S) 의 표면에 정사영한 사광 조명광 성분 (L1', L2') 이, 강제 (S) 의 검사 대상 부위 상에서 직각으로 교차한다. 보다 구체적으로는, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 은, 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광 (L1) 및 사광 라인 광원 (11b) 으로부터의 사광 조명광 (L2) (도시하지 않음) 을 강제 (S) 의 표면에 정사영한 사광 조명광 성분 (L1', L2') 양방 모두가 광원의 축 방향 (X 방향) 에 대하여 45° 의 기울기를 갖도록 배치되어 있다. 또, 도 8(a), (b) 의 경우에는, 강제 (S) 의 반송 방향 (L 방향) 에 대해서도 45° 의 기울기를 갖도록 배치되어 있다. 이 경우, 사광 라인 광원 (11a) 과 사광 라인 광원 (11b) 은 XZ 평면에 대하여 대칭의 관계가 된다.

[0037] 도 8(a), (b) 에 있어서의 각도의 파라미터에 대해서 설명한다. 사광 라인 광원 (11) 으로부터의 사광 조명광 (L) 에 있어서, YZ 평면에 정사영한 사광 조명광 성분과 강제 (S) 의 표면에 대한 법선 (즉 Z 축) 이 이루는 각도를, 투광 각도 α 로 하고 있다. 구체적으로는, 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광 (L1) 에 있어서, YZ 평면에 정사영한 사광 조명광 성분과 강제 (S) 의 표면에 대한 법선 (즉 Z 축) 이 이루는 각도를, 투광 각도 α_a 로 하고 있다. 마찬가지로, 사광 라인 광원 (11b) 으로부터의 사광 조명광 (L2) (도시하지 않음) 에 있어서, YZ 평면에 정사영한 사광 조명광 성분과 강제 (S) 의 표면에 대한 법선 (즉 Z 축) 이 이루는 각도를, 투광 각도 α_b (도시하지 않음) 로 하고 있다. 투광 각도 (α_a, α_b) 는 Z 축을 0° 로 한다. 여기서, YZ 평면은, 사광 라인 광원 (11) 의 축 방향을 법선으로 하는 면이다. 또, YZ 평면은, 강제 (S) 의 폭 방향을 법선으로 하는 면이다.

[0038] 라인 센서 (12) 의 촬상 방향과 강제 (S) 의 표면에 대한 법선 (즉 Z 축) 이 이루는 각도를 수광 각도 β 로 하고 있다. 이 때, 사광 라인 광원 (11a) 의 축으로부터 라인 센서 (12) 를 보았을 경우의 각도를 수광 각도 β_a 로 한다. 한편, 사광 라인 광원 (11b) 의 축으로부터 라인 센서 (12) 를 보았을 경우의 각도를 수광 각도 β_b (도시하지 않음) 로 한다. 도 8 과 같이 라인 센서 (12) 가 1 개 뿐이기 때문에, $\beta_a = -\beta_b$ 가 된다. 수광 각도 (β, β_a, β_b) 도 Z 축을 0° 로 한다. 또한, 수광 각도 (β, β_a, β_b) 의 이해를 용이하게 하기 위해서 도 8(1) 에서는, 라인 센서 (12) 는 Z 축 상으로부터 각도를 갖게 하여 그리고 있지만, 실제로는 도 8(b) 와 같이 Z 축 상에 있다.

[0039] 사광 라인 광원 (11) 으로부터의 사광 조명광 (L) (도시하지 않음) 에 있어서, XY 평면에 정사영한 사광 조명광 성분 (L') (도시하지 않음) 과 강제 (S) 의 반송 방향 (즉 L 방향 또는 Y 방향) 이 이루는 각을, 조사 각도 θ (도시하지 않음) 로 한다. 더욱 구체적으로는, 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광 (L1) 에 있어서, XY 평면에 정사영한 사광 조명광 성분 (L1') 과 강제 (S) 의 반송 방향 (즉 L 방향 또는 Y 방향) 이 이루는 각을 조사 각도 θ_a 로 한다. 도 8(a) 에서는, 사광 라인 광원 (11a) 의 축 방향과 직교하는 점선 (즉 Y 방향으로 평행) 과 사광 조명광 성분 (L1') 의 각도로 나타내고 있다. 마찬가지로, 사광 라인 광원 (11b) 으

로부터의 사광 조명광 (L2) (도시하지 않음) 에 있어서, XY 평면에 정사영한 사광 조명광 성분 (L2') 과 강재 (S) 의 반송 방향 (즉 L 방향 또는 Y 방향) 이 이루는 각은 조사 각도 θ_b (도시하지 않음) 로 한다. 사광 라인 광원 (11b) 의 축 방향과 직교하는 점선 (즉 Y 방향으로 평행) 과 사광 조명광 성분 (L2') 의 각도로도 나타낼 수 있다. 또, 도 8(b) 에서는, 조명 각도 (θ_a) 는 사광 라인 광원 (11a) 의 축 방향과 직교하는 점선 (즉, Y 방향으로 평행) 과 사광 조명광 성분 (L1') 의 각도, 및, 조명 각도 (θ_b) 는 사광 라인 광원 (11b) 의 축 방향과 직교하는 점선 (즉, Y 방향으로 평행) 과 사광 조명광 성분 (L2') 의 각도로 나타내고 있다. 이상의 설명으로부터, 도 8(a), (b) 에 있어서의 조사 각도 (θ , θ_a , θ_b) 와, 도 2 ~ 도 7 에 있어서의 조사 각도 (θ) 는, 동일한 파라미터가 되는 것을 알 수 있다. 또, 도 8(a), (b) 의 경우, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 조사 각도 (θ_a , θ_b) 가 각각 45° 의 기울기를 갖도록 배치되어 있다.

[0040] 사광 라인 광원 (11) 으로부터의 사광 조명광 (L) 에 있어서, 사광 조명광 (L) 과 임의의 발광점과 이 발광점의 x 좌표가 예상하는 각을 사광 각도 ξ_s 로 한다. 구체적으로는, 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광 (L1) 에 있어서, 사광 조명광 (L1) 과 임의의 발광점 (A) 과 점 (B') 이 예상하는 각을 사광 각도 ξ_a 로 한다. 사광 각도 ξ_a 는, 원점 (0), 점 (B'), 점 (A), 좌표 (0, y, z) 를 잇는 평면상으로 있기 때문에, 앞서 설명한 조사 각도 (θ , θ_a) 와는 상이한 파라미터이다. 사광 각도 ξ_a 는, 점 (A) 과 점 (B') 을 잇는 직선을 0° 로 한다. 마찬가지로, 사광 라인 광원 (11b) 과 사광 조명광 (L2) (도시하지 않음) 에 대해서도, 동일한 각도를 사광 각도 ξ_b (도시하지 않음) 로 한다. 사광 라인 광원 (11a 와 11b) 은, XZ 평면에 대하여 대칭 관계가 되기 때문에 사광 각도 ξ_a 와 마찬가지로, 앞서 설명한 조사 각도 (θ , θ_b) 와는 상이한 파라미터이다. 또, 사광 각도 ξ_b 는, 좌표 (x, -y, z) 와 점 (B') 을 잇는 직선을 0° 로 한다.

[0041] 또한, 본 실시형태에서는, 2 개의 사광 라인 광원을 사용하여 편의상 2 개의 방향에서 사광 조명광을 조사하고 있지만, 3 개 이상의 방향에서 사광 조명광을 조사해도 된다. 바꿔 말하면, 본 발명에 관련된 표면 검사 장치는, 강재의 검사 대상 부위에 2 개 이상의 방향에서 사광 조명광을 조사하는 2 개 이상의 사광 라인 광원과, 각 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 화상을 촬영하는 1 개 이상의 라인 센서와, 1 개 이상의 라인 센서에 의해 촬영된 화상을 사용하여 검사 대상 부위에 있어서의 선상의 표면 결함을 검출하는 검출 수단을 구비하고, 2 개 이상의 사광 조명광 중, 적어도 2 개의 사광 조명광의 강재의 표면에 대한 정사영이 검사 대상 부위 상에서 직교한다.

[0042] 또, 본 발명에 관련된 표면 검사 방법은, 2 개 이상의 사광 라인 광원을 사용하여 강재의 검사 대상 부위에 사광 조명광을 2 개 이상의 방향에서 조사하는 조사 스텝과, 1 개 이상의 라인 센서에 의해 각 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 검사 대상 부위의 화상을 촬영하는 촬영 스텝과, 촬영 스텝에 있어서 촬영된 화상을 사용하여 검사 대상 부위에 있어서의 선상의 표면 결함을 검출하는 검출 스텝을 포함하고, 2 개 이상의 사광 조명광 중, 적어도 2 개의 사광 조명광의 강재의 표면에 대한 정사영이 검사 대상 부위 상에서 직교한다.

[0043] 3 방향 이상에서 사광 조명광을 조사하는 경우, 사광 라인 광원의 배치 및 조사 방향을 연구할 필요가 있다. 즉, 각 사광 조명광이 서로 간섭하지 않고, 또한, 사광 조명광의 조사 방향이 균등해지고, 나아가서는 라인 센서의 시야를 확보하도록 제조 라인 상에 사광 라인 광원을 설치할 필요가 있기 때문에, 기구가 복잡해지고 설비가 대규모가 된다. 예를 들어 복수의 광원으로 동일한 위치에 사광 조명광을 조사하는 것이 어려운 경우, 조사 방향마다 검사 위치 및 시야 위치를 강재의 반송 방향으로 상이한 위치로 하고, 후처리에서 위치 맞춤을 실시할 필요가 발생한다. 따라서, 실제로 저비용으로 콤팩트하게 사광 라인 광원을 제조 라인에 설치하는 경우에는, 2 방향으로부터 사광 조명광을 조사하는 것이 바람직하다. 또, 장치의 메인テナンス나 보수성의 관점에서 광원 대수나 카메라 대수는 적을수록 좋고, 또한, 청소 등을 실시할 때에는 기구가 간소한 것이 바람직하기 때문에, 2 개의 사광 라인 광원을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 양자를 실현할 수 있는 2 개의 사광 라인 광원으로 2 개의 방향으로부터 사광 조명광을 조사하는 것이, 가장 바람직하다.

[0044] 라인 센서 (12) 는, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 으로부터 사광 조명광이 조사된 강재 (S) 의 검사 대상 부위의 화상을 촬영하고, 촬영 화상을 나타내는 전기 신호를 검출 수단 (13) 에 출력한다. 또한, 선상의 표면 결함의 장축 방향의 방향에 의한 검출능의 편차를 경감하기 위해서, 사광 라인 광원 (11) 의 투광 각도 (α) 와 라인 센서 (12) 의 수광 각도 (β) 의 관계는, 각 조사 방향에서 가능한 한 동일하게 하는 것이 가장 바람직하다. 사광 라인 광원 (11) 의 투광 각도 (α) 와 라인 센서 (12) 의 수광 각도 (β) 의 정의를 도 9 에 나타낸다. 도 9 는, 사광 라인 광원 (11) 의 축 방향에서 본 도면이다. 도 9 에 나타내는 바와 같이, 사광 라인 광원 (11) 의 투광 각도 (α) 는, 사광 라인 광원 (11) 의 축 방향을 법선으로 하는 면에 대한 정사영에 있어서, 사광 조명광의 조사 방향과 강재 (S) 의 법선 방향이 이루는 각도이다. 마찬가지로, 라인 센서 (12) 의 수

광 각도 (β) 는, 사광 라인 광원 (11) 의 축 방향을 법선으로 하는 면에 대한 정사영에 있어서, 촬상 방향과 강제 (S) 의 법선 방향이 이루는 각도를 나타낸다. 또, 수광 각도 (β) 는, 사광 라인 광원 (11) 의 축으로부터 라인 센서 (12) 를 보았을 경우, 사광 라인 광원 (11) 으로부터 멀어지는 방향의 각도를 정 (正) 으로 하고 있다. 덧붙여서, 가까워지는 방향의 각도는 부 (負) 가 된다. 좀 더 상세하게 설명하면, 도 8(a) 에 있어서의 투광 각도 ($\alpha a, \alpha b$) 와 수광 각도 ($\beta a, \beta b$) 와 각각 동일한 파라미터가 된다.

[0045] 또한, 2 개 이상의 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 따로 따로 수광하여 화상을 촬영하는 방법으로는, 상이한 파장역의 사광 조명광을 사용하는 방법을 예시할 수 있다. 구체적으로는, 조사하는 사광 조명광의 파장 특성이 상이한 파장이 되는 2 개 이상의 사광 라인 광원과, 컬러 라인 센서의 조합이 사용 가능하다. 이 경우, 상이한 파장 특성의 사광 라인 광원이, 2 개 이상의 방향으로부터 조사할 수 있도록 배치한다. 사광 조명광의 파장 특성을 예를 들어 적색의 파장 특성을 구비한 사광 조명광의 사광 라인 광원과 녹색 등의 파장 특성을 구비한 사광 조명광의 사광 라인 광원을 사용하여, 컬러 라인 센서로 화상을 촬상한다.

[0046] 또, 다른 방법으로서, 각 사광 라인 광원으로부터의 각 사광 조명광의 각 조사 타이밍과, 라인 센서의 노광 타이밍을 이용하는 방법도 예시할 수 있다. 구체적으로는, 2 개 이상의 사광 라인 광원을 상이한 타이밍으로 고속으로 명멸 (明滅) 시킴과 함께, 라인 센서의 노광 타이밍을 각 사광 라인 광원의 조사에 맞추어 라인 센서로 촬상한다. 또는, 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광 중, 2 개 이상의 방향으로부터의 사광 조명광을 상이한 타이밍으로 고속으로 명멸시킴과 함께, 라인 센서의 노광 타이밍을 각 사광 조명광의 조사에 맞추어, 라인 센서로 촬상한다. 또한, 사광 라인 광원이 2 개인 경우 또는 사광 조명광이 2 개의 방향으로부터 조사되는 경우에는, 조사되는 사광 조명광은 번갈아 또한 고속으로 명멸하게 된다. 이 경우에는, 각 사광 라인 광원의 사광 조명광의 파장 특성은, 동일하거나, 일부 겹치거나, 또는 상이한 것, 중 어느 것이면 된다. 또 이 경우에는, 각 방향에 있어서의 사광 조명광의 파장 특성은, 동일하거나, 일부 겹치거나, 또는 상이한 것, 중 어느 것이면 된다. 어느 쪽의 경우도, 파장 특성이 상이한 것이, 2 개 이상의 사광 라인 광원마다 또는 2 개 이상의 방향마다의 사광 조명광을 분리하는 점에서는, 가장 바람직하다. 어느 각 반사광마다 수광하는 방법도, 공지 및 미지의 기술 (사광 라인 광원, 컬러 라인 센서, 라인 센서, 및 라인 센서의 동기 제어 수단 등) 을 조합하여 실현할 수 있다. 이상의 방법에 의해 각 사광 라인 광원의 사광 조명광에 의한 화상을 각 반사광마다 따로 따로 얻어도 된다.

[0047] 또한, 서로 직교하는 직선 편광 특성을 갖는 사광 라인 광원을 사용함으로써 각 사광 라인 광원의 사광 조명광에 의한 화상을 각 반사광마다 따로 따로 얻어도 된다. 구체적으로는, 2 개의 사광 라인 광원의 각각의 앞에 1 개씩 직선 편광판을 각도 γ° 및 각도 $(\gamma + 90)^\circ$ (γ 는 임의의 각도) 로 설치하고, 각각 서로 직교하는 편광 성분의 광만 투과시킨다. 여기서, 직선 편광판이란, 입사 광에 대하여 일정 방향의 직선 편광 성분만을 투과시키는 필터인 것을 의미한다. 또, 직선 편광판과 동일한 직선 편광 특성을 갖는 직선 편광판을 각도 γ° 및 각도 $(\gamma + 90)^\circ$ 로 라인 센서에 설치해도 된다. 이 때, 1 개의 카메라 중에 각각 상이한 편광 특성의 화상이 얻어지는 3 개의 라인 센서를 갖는 3 채널 편광 카메라를 사용해도 된다. 또, 사광 라인 광원과 동수 (同數) 의 라인 센서를 사용하여 각각 조사 방향의 광학계를 다른 위치에 설치해도 된다.

[0048] 검출 수단 (13) 은, 라인 센서 (12) 에 의해 촬영된 화상으로부터 선상의 표면 결함을 검출한다. 구체적으로는, 검출 수단 (13) 은, 화상 신호에 대하여 일반적인 웨이딩 보정 처리나 주파수 필터 처리를 실시한 후, 임계값 처리에 의해 표면 결함 신호를 검출한다. 그리고, 검출 수단 (13) 은, 표면 결함 신호의 특징량 등에 의해 선상의 표면 결함을 판정한다. 판정된 표면 결함 정보는 집약되어 품질 보증에 이용된다.

[0049] [사광 라인 광원의 배치 예]

[0050] 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 배치 예에 대해서, 2 종류를 도 10 및 도 11 을 사용하여 설명한다. 도 10 및 도 11 모두, 강제 (S) 위에서 본 도면이며, 굵은 화살표로 나타낸 조사광은 강제 (S) 의 표면에 대한 정사영을 나타내고 있다. 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광의 조사 방향과 사광 라인 광원 (11b) 으로부터의 사광 조명광의 조사 방향이, 강제 (S) 의 표면에 대한 정사영에 있어서 검사 대상 부위 상에서 직교한다. 또, 강제 (S) 의 폭 방향을 X 축으로 하고, 강제 (S) 의 반송 방향을 Y 축으로 하고 있다. L 방향은 강제 (S) 의 반송 방향을 나타내고 있다. Y 방향과 L 방향은 동일하다. 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 배치에는, 도 10 에 나타내는 바와 같이 L 방향의 상류측 또는 하류측에만 배치하는 패턴 (배치 A, 도 10 에 나타내는 예에서는 L 방향의 상류측) 과, 도 11 에 나타내는 바와 같이 L 방향의 상류측과 하류측에 배치하는 패턴 (배치 B) 이 가능하다. 또한, 어느 경우도, 사광 라인 광원 (11a) 의 축 방향과 사광 라인 광원 (11b)

의 축 방향은, 강재 (S) 의 반송 방향 (L 방향) 과 직각으로 교차함과 함께, 강재 (S) 의 폭 방향 (X 방향) 과 평행하게 배치되어 있다. 또, 검사 대상 부위로부터 반사광을 수광하는 라인 센서 (12) 는, X 축 상의 위치에 있는 것이 바람직하다. 배치 A 와 배치 B 에 대해서, 이하에 의해 상세하게 설명한다.

[0051] 먼저, 선상의 표면 결함의 방향성에 의한 감도차를 저감하기 위해서는, 사광 라인 광원 (11a) 의 축 방향을 법선으로 하는 면에 대한 정사영에 있어서의, 사광 라인 광원 (11a) 의 투광 각도 (αa) 와, 사광 라인 광원 (11a) 의 축 방향을 법선으로 하는 면에 대한 정사영에 있어서의, 라인 센서 (12) 의 수광 각도 (βa), 및, 사광 라인 광원 (11b) 의 축 방향을 법선으로 하는 면에 대한 정사영에 있어서의, 사광 라인 광원 (11b) 의 투광 각도 (αb) 와 라인 센서 (12) 의 수광 각도 (βb) 에 대하여, 이하의 수학적 식 (6) 및 수학적 식 (7) 에 나타내는 조건이 충족되어 있는 것이 가장 바람직하다.

수학적 식 6

[0052] $\alpha a = \alpha b \quad \dots (6)$

수학적 식 7

[0053] $\beta a = \beta b \quad \dots (7)$

[0054] 다음으로, 배치 A, B 에서 각각 상기 수학적 식 (6) 및 수학적 식 (7) 에 나타내는 조건을 충족한 경우, 각 배치의 추가적인 상태에 대해서 설명한다.

[0055] 배치 A, B 에 의한 표면 검사를 고려한 경우, 사광 조명이기 때문에 아무래도 라인 센서 (12) 의 시야 위치, 즉, 시야의 폭 방향에 있어서 반사광의 휘도 불균일이 발생하는 경우가 있다. 사광 라인 광원 (11a, 11b1, 11b2) 각각의 위치에 대한 라인 센서 (12) 가 수용하는 휘도 불균일을, 도 12 에 모식적으로 나타낸다. 도 12 의 가로축은 강재 (S) 의 표면에 있어서의 폭 방향 (X 방향) 의 위치, 세로축은 라인 센서 (12) 의 휘도를 나타낸다. 도 12 중에서는, X 축 상의 x_0 으로부터 x_1 까지가 강재 (S) 의 폭이 된다. 이들의 휘도 불균일은 저감되는 것이 바람직하다. 이와 같은 반사광의 휘도 불균일을 저감하기 위해서는, 가능한 한 폭 방향으로 라인 센서 (12) 의 수를 늘리거나, 또는, 화상 신호를 보정하는 등의 대응이 가능하다. 비용이나 메인テナンス성을 고려하면, 가장 바람직한 것은, 표면 결함 검출에 필요한 검출 휘도의 임계값 처리 전에, 건전부의 휘도로 검출 휘도를 정규화하는 웨이딩 보정을 실시하는 것이다. 또한, 배치 A, B 에 있어서 휘도 불균일을 웨이딩 보정 방법이 상이하다. 구체적인 방법에 대해서는, 나중에 개별적으로 설명한다.

[0056] 또, 본 발명에 관련된 표면 검사 장치에 더하여, 정반사 조건으로 얻어진 신호 정보를 추가하여 표면 검사를 실시함으로써, 동일한 선상의 표면 결함에 대한 검출 성능이 향상되는 것이 기대된다. 이 때, 배치 A, B 에서 정반사 조건을 설치하는 광학계의 제약이 상이하다. 이 제약에 대해서도, 나중에 개별적으로 설명한다.

[0057] 또한, 배치 A 에 대해서 설명한다. 배치 A 에서는, 1 개의 라인 센서 (12) 로 2 방향의 사광 조명광을 변별하기 위해서, 수학적 식 (6) 및 수학적 식 (7) 에 나타내는 조건을 충족하는 배치로 하는 것에, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 투광 각도 ($\alpha a, \alpha b$) 와 라인 센서 (12) 의 수광 각도 ($\beta a, \beta b$) 에 제한이 없다. 또, 웨이딩 보정 방법에 관해서는, 배치 A (즉, 사광 라인 광원 (11a 와 11b1) 을 사용한다) 의 경우에는, 사광 라인 광원 (11a, 11b1) 으로 휘도가 높아지는 위치 및 낮아지는 위치가 라인 센서 (12) 의 시야 양단에서 역전하기 때문에, 웨이딩 보정 처리를 각 반사광마다 실시하는 것이 바람직하다.

[0058] 배치 A 의 구체예를 도 13(a), (b) 에 나타낸다. 또 이 예에서는, 조사하는 각 사광 조명광의 파장 특성이 상이한 파장이 되는 2 개의 사광 라인 광원 (11a, 11b) 과, 컬러 라인 센서 (12) 의 조합으로 설명한다. 도 13(a), (b) 에 나타내는 배치에서는, 강재 (S) 의 반송 방향 상류측에 2 색의 사광 라인 광원 (11a, 11b) 을 배치한다. 사광 라인 광원 (11a, 11b) 은, 각각 색이 상이한 단색광을 조사할 수 있다. 사광 라인 광원 (11a) 의 축 방향과 사광 라인 광원의 축 방향은, 대개 동일 선 상에 있다. 이들 사광 라인 광원 (11a, 11b) 을 사용하여, 사광 조명광의 강재 (S) 의 표면에 대한 정사영이 검사 대상 부위 상에서 직교하도록, 2 방향으로부터 사광 조명광을 조사하였다. 그리고, 검사 대상 부위로부터의 반사광을 컬러 라인 센서 (12) 로

수광하였다. 사광 라인 광원 (11a, 11b) 은, 2 세트의 광학계의 투수광 각도 조건을 동일하게 하기 위해서 (즉, 수학식 (6) 및 수학식 (7) 에 나타내는 조건을 충족시키기 위해서), 투광 각도 αa 와 투광 각도 αb 를 동일하게 하고, 강제 (S) 의 폭 방향의 2 방향으로 조사 가능한 것을 사용하였다. 또한, 2 세트의 광학계의 차이를 인정한다면 다소 투광 각도 (αa , αb) 가 상이해도, 본 원리의 효과가 어느 정도 얻어진다. 이 때, 사광 조명광의 색은 폭 방향에 대하여 일방으로부터의 조사를 적색, 타방으로부터의 조사를 녹색으로 하여, 컬러 라인 센서를 사용하였다. 과장에 관해서는, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 과장역과 컬러 라인 센서의 분광 감도 특성이, 각각 중복하는 일이 없으면 본 광학계는 성립한다.

[0059] 또한, 이 예는 상이한 과장의 사광 조명광을 조사하는 사광 라인 광원과 컬러 라인 센서의 조합에 의해, 각 사광 라인 광원으로부터의 사광 조명광의 검사 대상 부위에 있어서의 반사광을 각 반사광마다 수광하여 화상을 촬영했지만, 과장 특성이 동일하거나, 일부 겹치거나 또는 상이한 사광 조명광을 조사하는 사광 라인 광원과 라인 센서의 조합이어도 된다. 이 경우, 고속으로 사광 라인 광원의 발광 타이밍과 라인 센서의 노광 타이밍을 전환함과 함께, 조사 타이밍과 노광 타이밍을 맞춘다.

[0060] 또한, 사광 라인 광원과 라인 센서를 복수 세트 상이한 장소에 설치해도 된다. 또한, 컬러 라인 센서의 수광 각도 (βa , βb) 는 최적인 각도를 선정하면 된다. 또한, 투광 각도 (αa , αb) 와 상이한 각도이면, 정반사 조건을 추가하는 것도 가능하다. 이것은, 정반사 조건으로 가장 감도가 좋아지는 선상의 표면 결함에 대응하기 위한 것이며, 청색의 통상 라인 광원 (폭 방향으로 조사 성분을 갖지 않는다) 을 추가함으로써 청색 채널에 정반사 화상을 취득하는 것이 가능해진다.

[0061] 또한, 배치 B 의 광학계를 설명한다. 배치 B 에서는, L 방향의 상류측과 하류측의 2 방향으로부터 사광 조명광을 조사한다. 이 때, 1 개의 라인 센서 (12) 로 2 방향의 사광 조명광을 변별하는 경우, 라인 센서 (12) 의 수광 각도 (βa , βb) 를 동일하게 하여 상류측 및 하류측 중 어느 쪽으로 기울어져 있으면, 한쪽은 사광 라인 광원에 대해 앞측, 다른 한쪽은 사광 라인 광원에 대하여 반대측에 위치하게 된다. 따라서, 라인 센서 (12) 의 수광 각도 (βa , βb) 를 0° 로 하여 강제 (S) 의 바로 위에 설치하는 것이 가장 바람직하다. 또, 배치 B (즉, 사광 라인 광원 (11a) 과 사광 라인 광원 (11b2) 을 사용한다) 의 경우, 사광 라인 광원 (11a, 11b2) 으로 휘도가 높아지는 위치 및 낮아지는 위치가 동일하기 때문에, 복수의 라인 센서 (12) 의 신호를 선형 결합 등으로 통합하여 셰이딩 보정 처리를 실시해도 된다.

[0062] 배치 B 의 구체예를 도 14(a), (b) 에 나타낸다. 또 이 예에서는, 조사하는 각 사광 조명광의 과장 특성이 상이한 과장이 되는 2 개의 사광 라인 광원 (11a, 11b) 과, 컬러 라인 센서 (12) 의 조합으로 설명한다. 도 14(a), (b) 에 나타내는 배치에서는, 반송 방향 상류측의 조명광의 색을 적색, 반송 방향 하류측의 조명광의 색을 녹색이 되도록, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 을 배치하였다. 또, 이들 사광 라인 광원 (11a, 11b) 을 사용하여, 사광 조명광의 강제 (S) 의 표면에 대한 정사영이 검사 대상 부위 상에서 직교하도록, 2 방향으로부터 사광 조명광을 조사하였다. 그리고, 검사 대상 부위로부터의 반사광을 컬러 라인 센서 (12) 를 사용하여 수광하였다. 컬러 라인 센서 (12) 는, 2 세트의 광학계의 투수광각 조건을 동일하게 하기 위해서 (즉, 수학식 (6) 및 수학식 (7) 에 나타내는 조건을 충족시키기 위해서, 수광 각도 (βa , βb) 가 0° 가 되도록 설치하였다. 또한, 2 세트의 광학계의 차이를 인정한다면 다소 바로 위로부터 어긋남이 존재해도, 본 원리의 효과가 어느 정도 얻어진다. 이 때, 가능한 한 2 세트의 광학계의 어긋남 (즉, 투광 각도 (αa , αb) 의 어긋남 및 수광 각도 (βa , βb) 의 어긋남) 이 작아지도록 반송 방향 상류측 및 반송 방향 하류측의 사광 라인 광원 (11a, 11b) 을 조정하면 된다. 또한, 바로 위로부터 각도를 변경함으로써, 정반사 조건의 설치가 가능해지는 효과도 얻어진다.

[0063] 또한, 본 실시형태에서는, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 사광 조명광 (L1, L2) 을 강제 (S) 의 표면 상에 정사영했을 때, 사광 조명광 성분 (L1', L2') 이 사광 라인 광원의 축 방향에 대하여 45° 의 기울기를 갖도록 배치했지만, 일방의 사광 조사광이 사광 라인 광원의 축 방향에 대하여 ω° 의 기울기를 갖고, 타방의 사광 조명광이 사광 라인 광원의 축 방향에 대하여 ψ° 의 기울기를 가질 때, $\omega^\circ + \psi^\circ = 90^\circ$ (이 식은 $(90^\circ - \omega^\circ) + (90^\circ - \psi^\circ) = 90^\circ$ 로부터 도출할 수 있다) 가 되면 동일한 효과가 얻어진다. 그러나, 2 개 이상의 광학계에서의 투광 각도 (α) 와 수광 각도 (β) 에 있어서의 각각의 차이가 작게 끝나는 것, 백그라운드 노이즈 변화 등에 의한 검출 성능차가, 사광각이 보다 커지는 것에 의한 반사광의 휘도 불균일을 저감할 수 있기 때문에, 사광 조명광 성분이 사광 라인 광원의 축 방향에 대하여 45° 의 기울기를 갖는 것이 가장 바람직하다.

[0064] 또, 본 실시형태에서는, 강제 (S) 의 반송 방향 (L 방향) 과 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 축 방향이 각각 직

각이 되도록, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 이 배치되어 있는 예로 설명했지만, 본 발명은 그 배치에 한정되지 않는다. 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광의 조사 방향과 사광 라인 광원 (11b) 으로부터의 사광 조명광의 조사 방향이, 강재 (S) 의 표면에 대한 정사영에 있어서 검사 대상 부위 상에서 직교하고 있으면, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 각각의 축 방향과 강재 (S) 의 반송 방향이 직각이 아니라, 작은 쪽의 각도가 직각 (요컨대 90°) 이하의 각도를 갖고 있어도, 본 발명의 효과를 얻을 수 있다. 특히, 제조 설비의 레이아웃상의 문제로부터 직각으로 할 수 없는 경우에는, 사광 조명의 효과를 기대할 수 있는 범위에서 작은 쪽의 각도를 직각 이하로 해도 된다. 사광 조명의 효과를 고려하면, 사광 라인 광원 (11a, 11b) 의 축 방향과 강재 (S) 의 반송 방향이 이루는 작은 쪽의 각도는, 경험상 60° 이상인 것이 바람직하고, 80° 이상인 것이 보다 바람직하다. 사광 라인 광원의 배치로는, 90° 에 가까우면 가까울수록 보다 이상적인 형태가 된다.

[0065] 또, 본 실시형태에서는, 라인 센서 (12) 로 설명했지만, 라인 센서 (12) 대신에, 에어리어 센서를 사용해도 된다. 에어리어 센서를 사용하는 경우에는, 에어리어 센서의 시야로부터 선상의 시야만 추출하여 사용하는 것이 가장 바람직하다. 또, 본 실시형태에서는, 라인 센서 (12) 는 1 대인 경우로 설명을 했지만, 라인 센서 (12) 는 1 대 뿐만 아니라, 복수 대 사용하여 각 광원의 반사광을 수광해도 된다. 단, 위치 맞춤의 정밀도 등을 고려하면, 라인 센서가 1 대인 것이 가장 바람직하다. 또, 본 실시형태에서는, 검사 대상 부위는 선으로서 설명했지만, 그것에 한정되지 않는다. 검사 대상 부위는 라인 센서 (12) 또는 에어리어 센서의 시야에 의해, 점, 선 및 면의 어느 형태로도 가능한 것은 말할 필요도 없다. 또, 본 실시형태에서는, 본 발명에 관련된 2 방향으로부터의 사광 조명광을 조사하고 있는 광학계만의 경우로 설명을 했지만, 본 발명은 그것에 한정되지 않는다. 예를 들어, 상기 2 방향으로부터 사광 조명광을 조사하고 있는 광학계에, 정반사 광학계 등의 완전히 상이한 광학계를 조합하여, 본 발명이 검사 대상으로 한 동일한 선상의 표면 결함에 대한 검사를 실시해도 된다.

[0066] 또한, 2 방향으로부터 사광 조명광을 조사함으로써 얻어진 2 매의 화상을 화상 처리함으로써, 양호한 정밀도로 선상의 표면 결함을 검출할 수 있다. 도 15(a), (b) 는, 요철을 갖는 선상의 표면 결함과 요철이 없는 가늘고 긴 형상의 무해 모양으로 2 방향으로부터 사광 조명광을 조사함으로써 얻어지는 화상을 설명하기 위한 도면이다. 도 15(a) 에 나타내는 바와 같이, 선상의 표면 결함 (D) 에서는, 사광 조명광의 조사 방향에 대하여 감도가 크게 상이하기 때문에, 사광 조명광의 조사 방향에 의해 화상의 농담이 크게 변화한다. 이에 비해, 도 15(b) 에 나타내는 바와 같이, 요철이 없는 가늘고 긴 형상의 무해 모양 (P) 에서는, 사광 조명광의 조사 방향에 대하여 감도가 별로 변화하지 않기 때문에, 사광 조명광의 조사 방향에 의해 화상의 농담이 변하지 않다. 따라서, 사광 조명광의 조사 방향이 상이한 2 매의 화상을 비교하여, 차나 비 등을 사용하여 화상의 농담의 변화를 파악함으로써, 선상의 표면 결함과 무해 모양을 구별할 수 있다.

[0067] 또, 선상의 표면 결함의 방향과 사광 조명광의 조사 방향의 관계성에 따라서는, 요철을 갖는 선상의 표면 결함이었다고 해도 화상의 농담의 변화량이 변화한다. 2 방향으로부터의 사광 조명광 중, 일방의 사광 조명광의 조사 방향이 선상의 표면 결함의 장축 방향에 대하여 평행에 가깝고, 타방의 사광 조명광의 조사 방향이 수직에 가까운 경우에는, 화상의 농담차가 크게 나타난다. 그러나, 예를 들어 도 16 에 나타내는 바와 같이, 2 방향으로부터의 사광 조명광에 대하여 선상의 표면 결함 (D) 의 장축 방향이 동일한 정도 상이한 경우에는, 화상의 농담차가 별로 발생하지 않는다. 이 경우, 요철을 갖는 선상의 표면 결함이면, 결함부 영역 내부에서 사광 조명광의 조사 방향에 따라 상이한 농담이 발생하지만, 무해 모양의 경우에는 결함부 영역 내부에서도 동일한 외관이 되므로, 화상을 비교함으로써 구별할 수 있다.

[0068] 또한, 무해 모양을 효율적으로 구별하고자 하는 경우에는, 2 방향에서 얻어진 화상의 차분을 취하는 것도 유효하다 (특허문헌 5 참조). 예를 들어, 철강 제품에서는 성분이나 프로세스에 의해 표면 전체면에 무해 모양이 발생하는 경우가 존재한다. 이 때, 종래의 임계값 처리에 의한 결함 검출 및 화상 처리에 의한 결함 판정을 실시하고자 하면, 임계값 처리에 의해 강판 전체면을 결함 후보로서 인식한다. 이 때문에, 방대한 결함 후보에 의해, 처리 속도가 늦어 검사가 성립하지 않는, 그 후의 화상 처리로 무해인 신호를 구별할 수 없다고 하는 과제가 발생한다. 이와 같은 조건에 있어서도, 2 방향에서 조사한 2 화상의 차분을 취함으로써 평평한 무해 모양의 신호만 제거하고, 요철에 의해 일방만 감도를 갖는 가늘고 긴 형상의 표면 결함이나 영역 내부에서 외관이 상이한 표면 결함은 차분 처리에 의해 신호가 남는다.

[0069] 전술한 차분 처리를 실시하는 경우, 시야의 각 위치에서 2 방향으로부터 조사한 2 종류의 광학계의 투광각 및 수광각이 동등한 것이 바람직하다 (특허문헌 6 참조). 2 종류의 광학계에서 투광각 및 수광각이 상이하면, 비록 대상이 평평해도, 경면성·확산성이 상이한 부위가 차분 처리로 제거될 수 없어 신호로서 남는다. 따라서, 차분 처리를 실시하는 경우에는, 도 10 에 나타내는 바와 같은 L 방향의 상류측 또는 하류측에만 배치하

는 패턴 (배치 A) 이 아니라, 도 11 에 나타내는 바와 같은 L 방향의 상류측과 하류측에 배치하는 패턴 (배치 B) 이 바람직하다. 즉, 상류측으로부터의 조사광과 하류측으로부터의 조사광의 강재 (S) 의 표면에 대한 조사영이 라인 센서의 시야가 되는 검사 대상 부위 상에서 직교하고, 게다가 2 개의 광원의 투광 각도 (α) 및 조사 각도 (θ) 가 동등한 것이 바람직하다.

[0070] 또한, 본 실시형태에 있어서의 강재는, 강대, 박(薄) 강판, 후(厚) 강판, 슬래브, 조강 (條鋼), 형강 (形鋼), 열연 강판 또는 냉연 강판을 포함한다.

[0071] [실시예]

[0072] 실제로, 모든 방향으로 장축 방향을 가질 가능성이 있는 선상의 표면 결함을 촬상하여 검사한 결과를 나타낸다. 광학계는 도 14 에 나타낸 배치 B 의 광학계를 이용하여, 투광 각도 ($\alpha a, \alpha b$) 를 25° , 수광 각도 ($\beta a, \beta b$) 를 0° 로 설정하였다. 강재의 반송 방향 (L 방향) 상류측 및 반송 방향 (L 방향) 하류측으로부터 조명광을 조사했을 때에 촬영된 화상과 선상의 표면 결함의 검출 결과를 도 17(a), (b) 에 나타낸다. 반송 방향 하류측으로부터 조명광을 조사했을 경우, 도 17(b) 에 나타내는 바와 같이, 점선 동그라미로 둘러싸인 표면 결함 부분의 검출은 곤란하였다. 이에 비해, 반송 방향 상류측으로부터 조명광을 조사한 경우에는, 도 17(a) 에 나타내는 바와 같이, 실선 동그라미로 둘러싼 지점에 검출 가능한 레벨의 표면 결함 신호를 확인할 수 있었다. 이와 같이, 본 발명에 의하면, 편측으로부터만의 사광 조명광의 조사에서는 감도 부족으로 놓칠 우려가 있는 선상의 표면 결함이라도 검출할 수 있는 것이 확인되었다.

[0073] 이상, 본 발명자들에 의해 이루어진 발명을 적용한 실시형태에 대해서 설명했지만, 본 실시형태에 의한 본 발명의 개시의 일부를 이루는 기술 및 도면에 의해 본 발명은 한정되는 일은 없다. 예를 들어, 본 발명의 일 실시형태인 표면 검사 장치 또는 표면 검사 방법을 이용하여, 선상의 표면 결함을 검출하면서 강재를 제조함으로써, 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출하여 강재의 제조 수율을 향상할 수 있다. 또, 본 발명의 일 실시형태인 표면 검사 장치 또는 표면 검사 방법을 이용하여, 선상의 표면 결함의 유무에 기초하여 강재를 분류함으로써 강재의 품질을 관리할 수 있다. 바꿔 말하면, 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출하여 강재의 제조 수율을 향상할 수 있다. 또, 본 발명의 일 실시형태인 표면 검사 장치 또는 표면 검사 방법을 이용하여, 공지 또는 기존의 제조 설비로 제조된 강재의 표면을 검사함으로써, 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출하여 강재의 제조 수율을 향상할 수 있다. 이와 같이, 본 실시형태에 기초하여 당업자 등에 의해 이루어지는 다른 실시형태, 실시예, 및 운용 기술 등은 모두 본 발명의 범주에 포함된다.

산업상 이용가능성

[0075] 본 발명에 의하면, 장축 방향이 모든 방향으로 발생할 수 있는 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출 가능한 표면 검사 장치 및 표면 검사 방법을 제공할 수 있다. 또, 본 발명에 의하면, 장축 방향이 모든 방향으로 발생할 수 있는 선상의 표면 결함을 양호한 정밀도로 검출하여 강재의 제조 수율을 향상 가능한 강재의 제조 방법, 강재의 품질 관리 방법, 및 강재의 제조 설비를 제공할 수 있다.

부호의 설명

- [0076]
- 1 : 촬상 수단
 - 2 : 광원
 - 10 : 표면 검사 장치
 - 11a, 11b : 사광 라인 광원
 - 12 : 라인 센서, 컬러 라인 센서
 - 13 : 검출 수단
 - D : 선상의 표면 결함
 - S : 강재
 - L1 : 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광

L2 : 사광 라인 광원 (11b) 으로부터의 사광 조명광 (도시하지 않음)

L1' : 사광 라인 광원 (11a) 으로부터의 사광 조명광을 강제 (S) 의 표면에 정사영한 사광 조명광 성분

L2' : 사광 라인 광원 (11b) 으로부터의 사광 조명광 (도시하지 않음) 을 강제 (S) 의 표면에 정사영한 사광 조명광 성분

Θ : 조사 방향 (강제의 표면에 정사영했을 경우), 조명 각도 (강제의 표면에 정사영했을 경우)

Θ_a, Θ_b : 조명 각도 (강제의 표면에 정사영했을 경우)

$\alpha, \alpha_a, \alpha_b$: 투광 각도

β, β_a, β_b : 수광 각도

ξ_a, ξ_b : 사광 각도

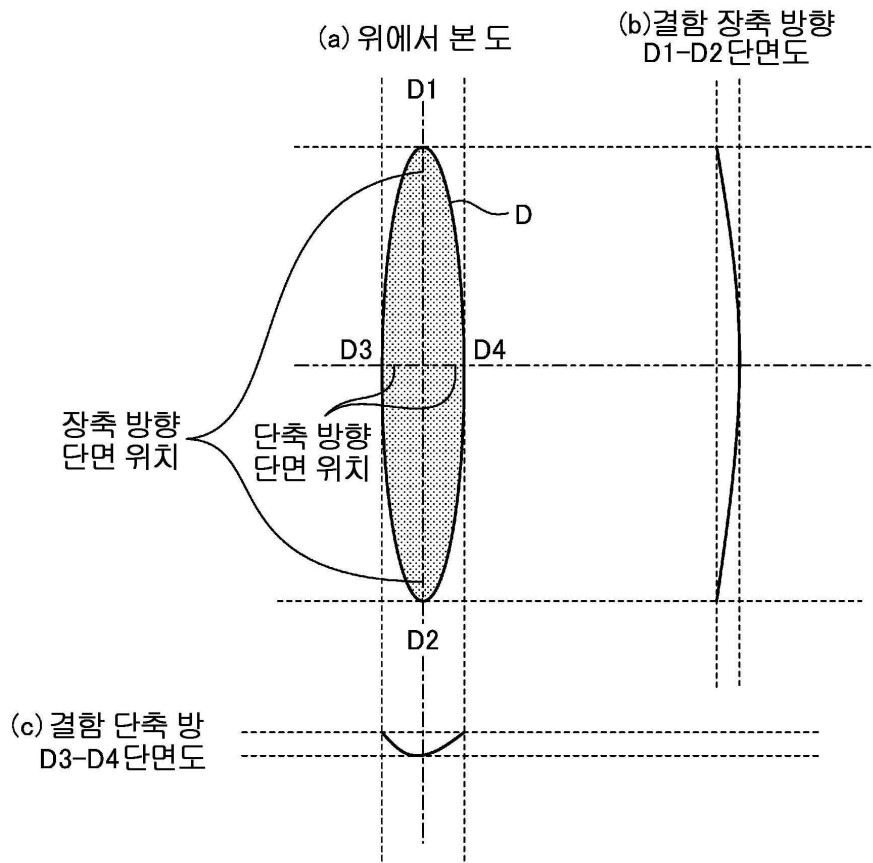
γ : 1 개의 직선 편광판의 설치 각도 (단위는 $^\circ$)

ω : 사광 라인 광원의 축 방향에 대한, 일방의 사광 조사광의 기울기 (단위는 $^\circ$)

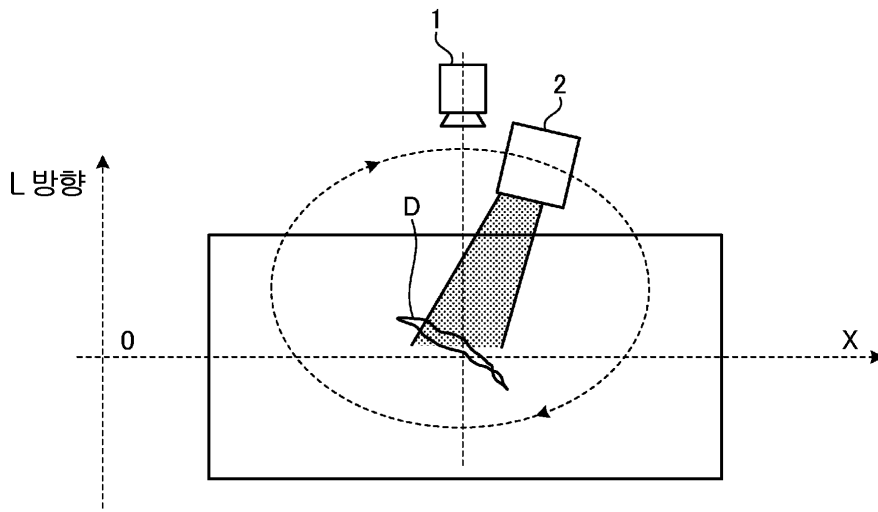
ψ : 사광 라인 광원의 축 방향에 대한, 타방의 사광 조명광의 기울기 (단위는 $^\circ$)

도면

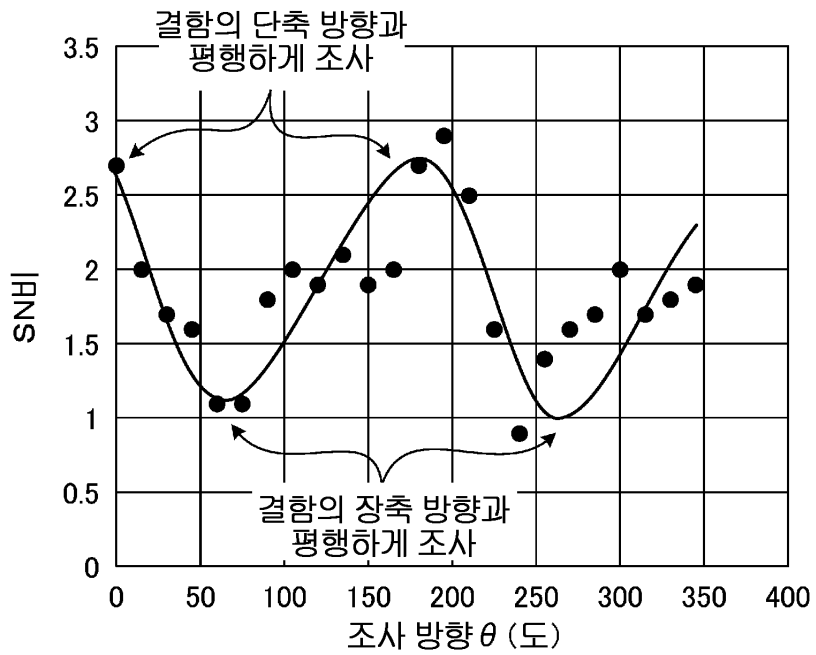
도면1



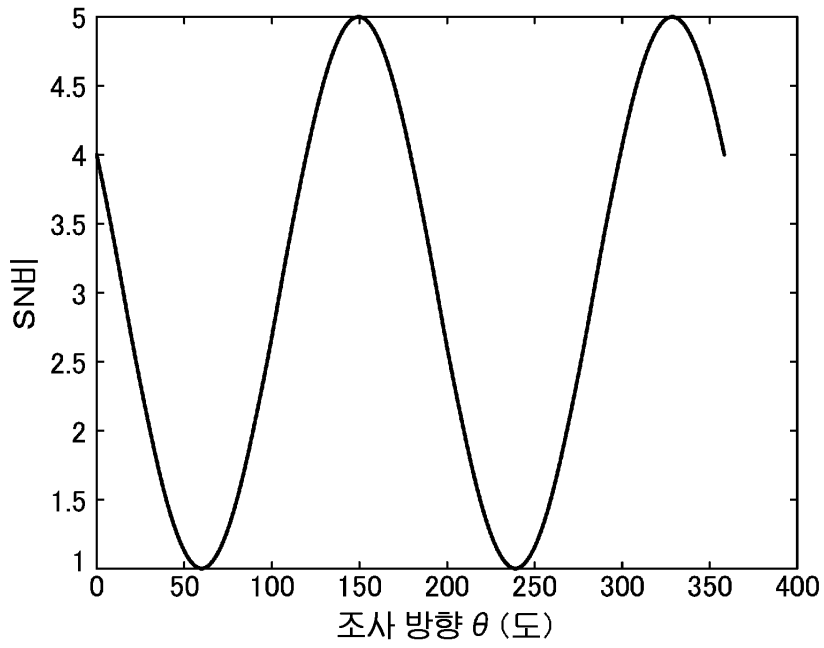
도면2



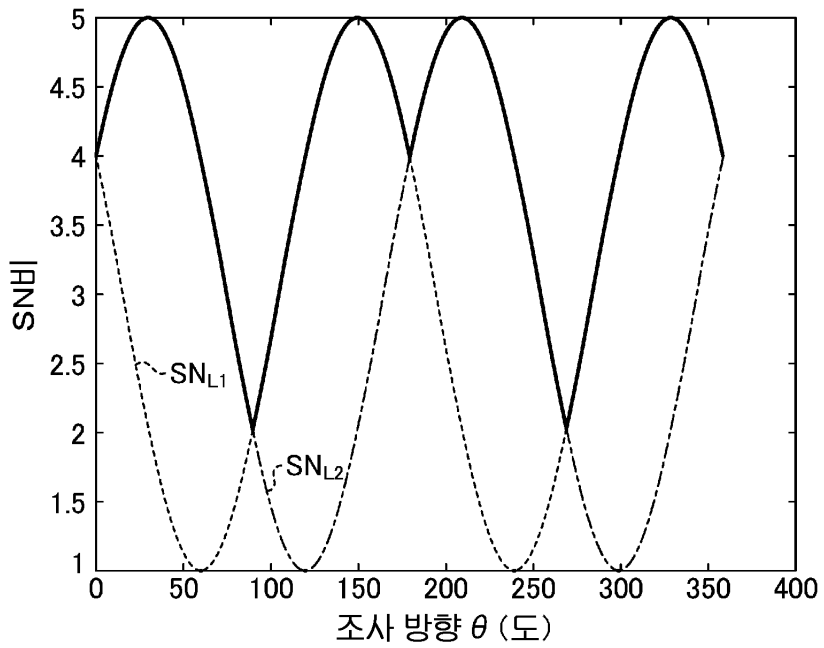
도면3



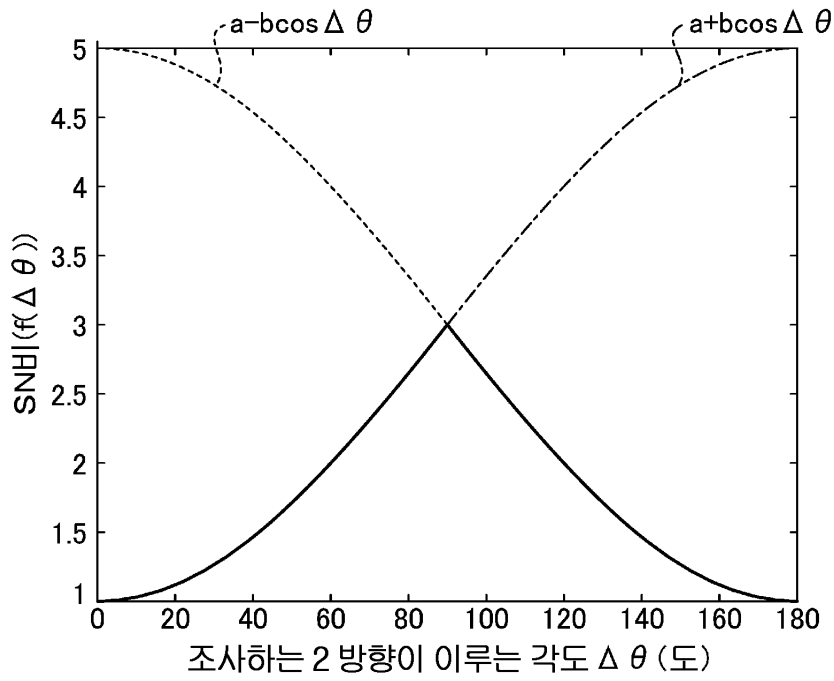
도면4



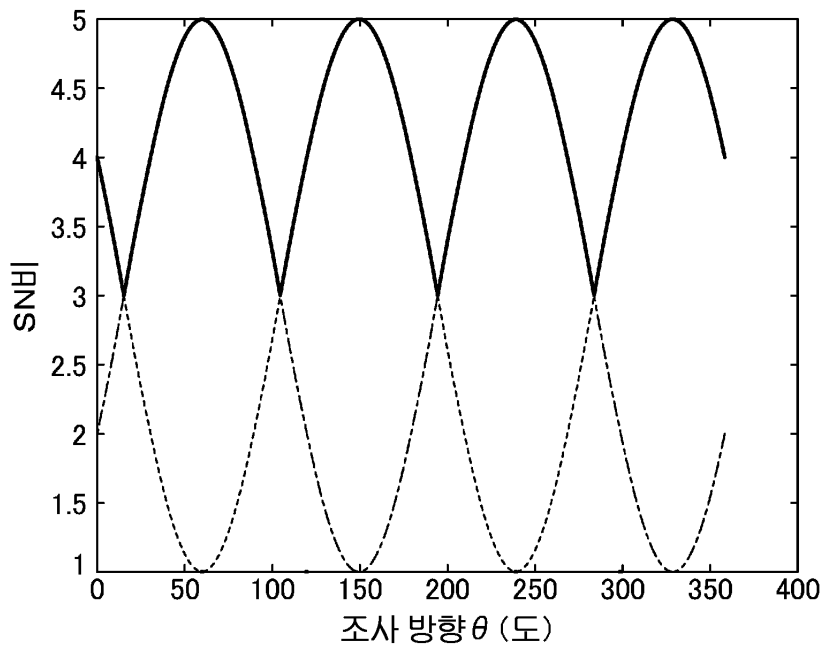
도면5



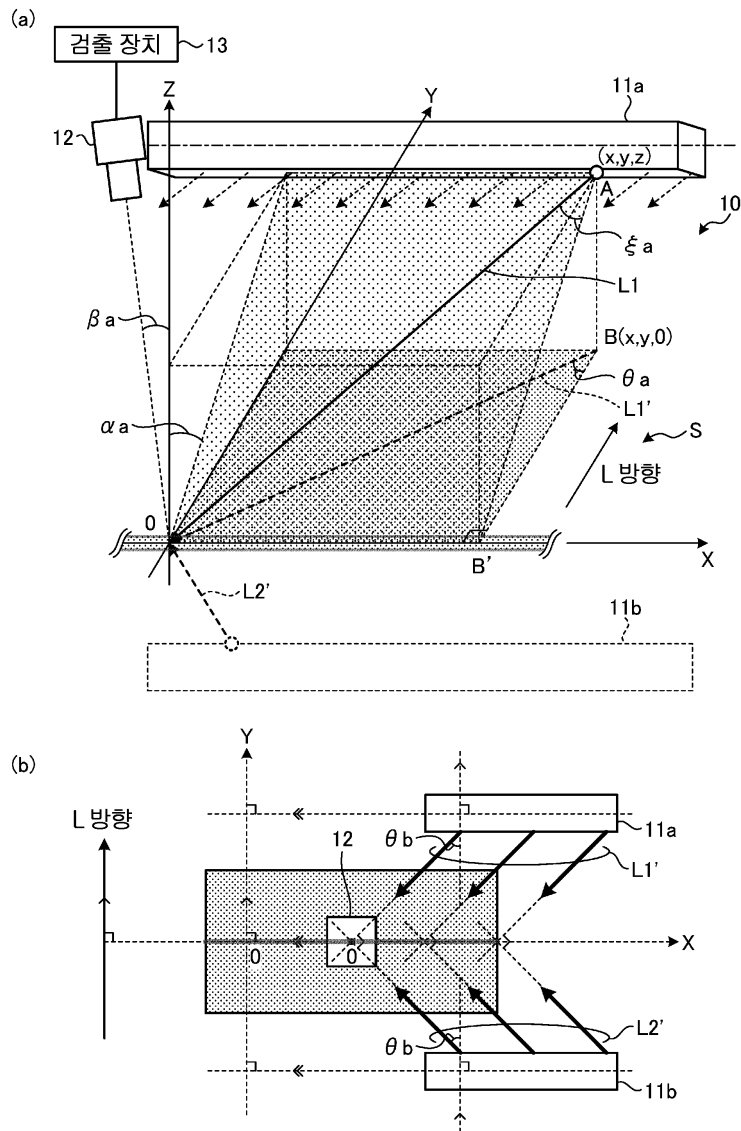
도면6



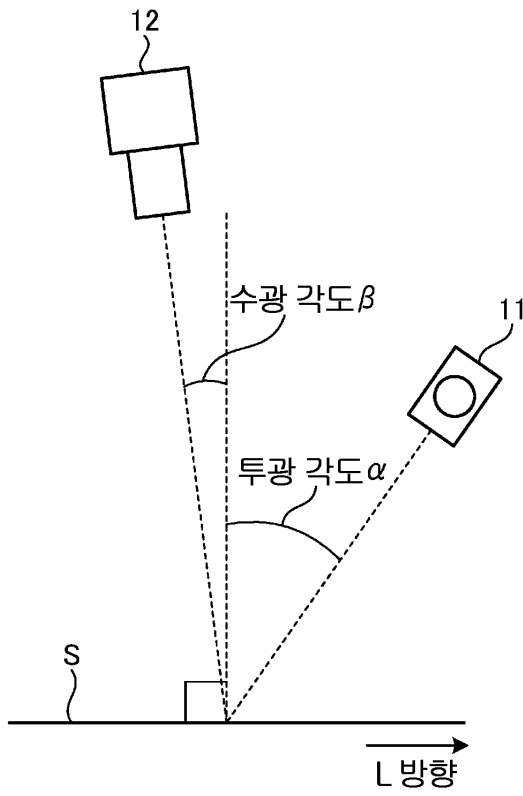
도면7



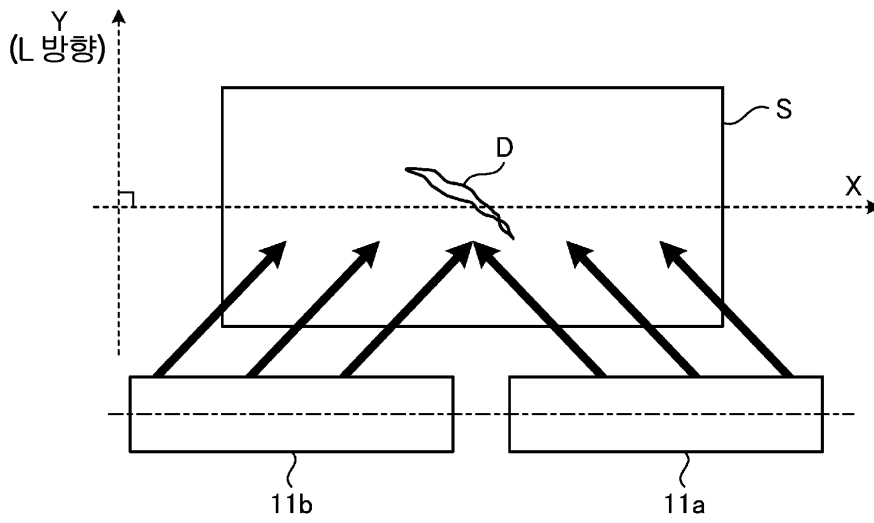
도면8



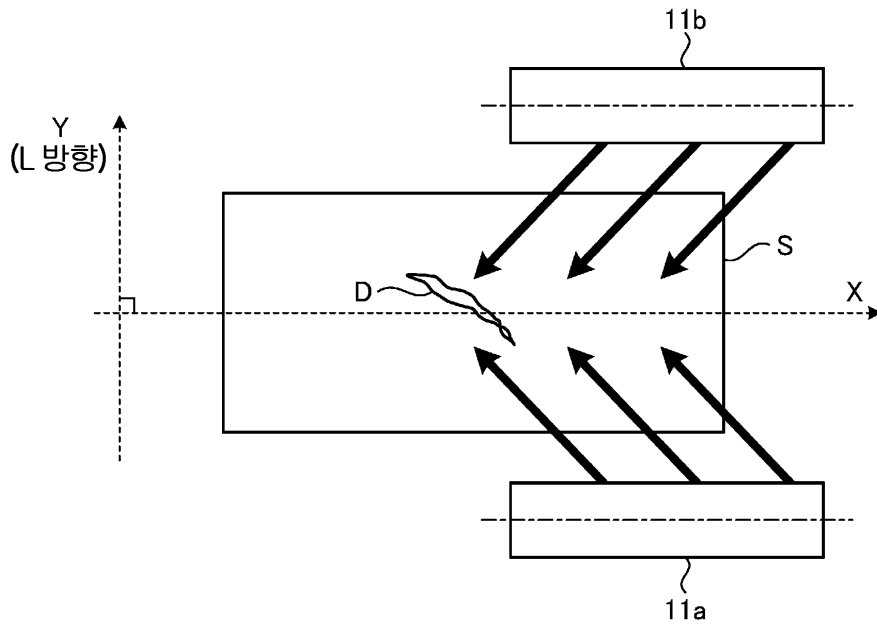
도면9



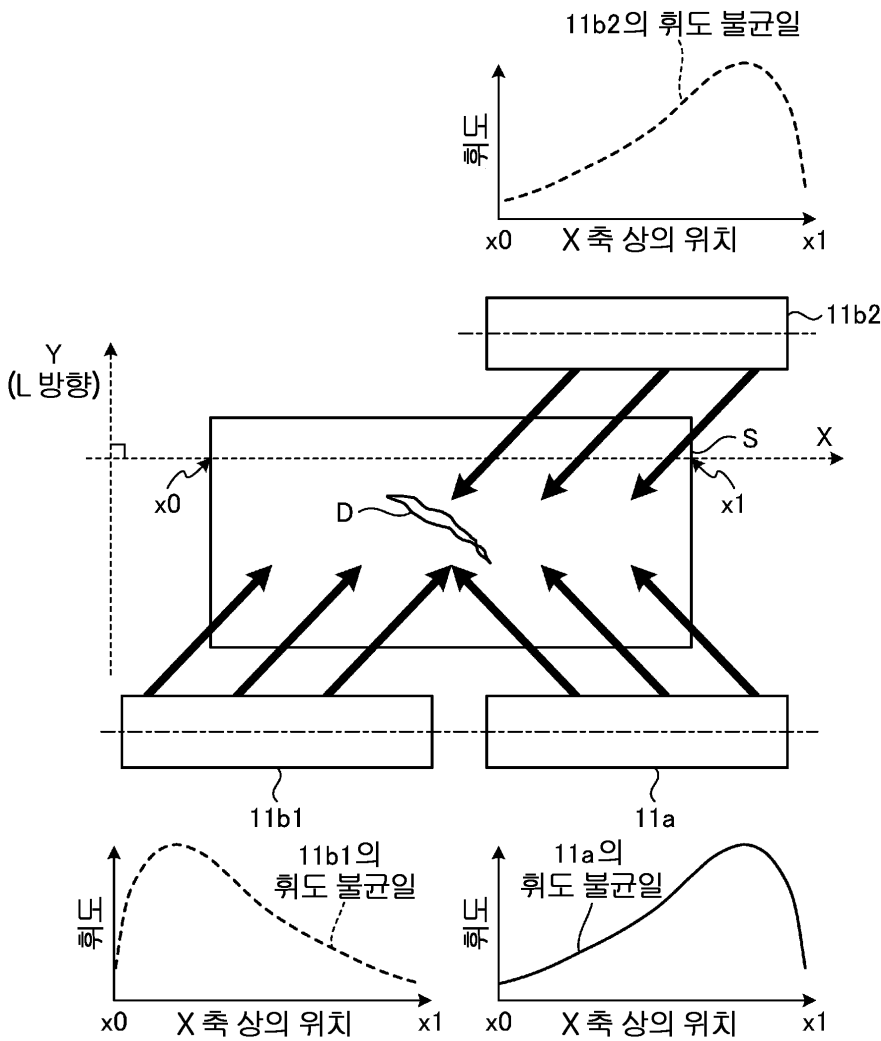
도면10



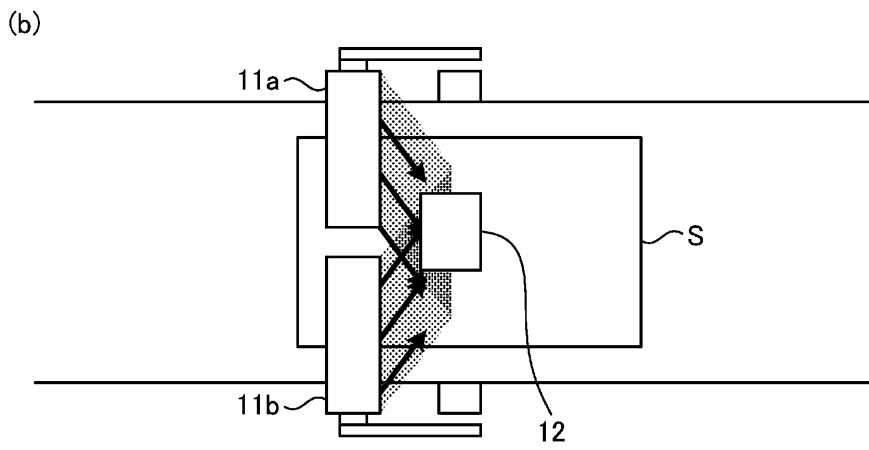
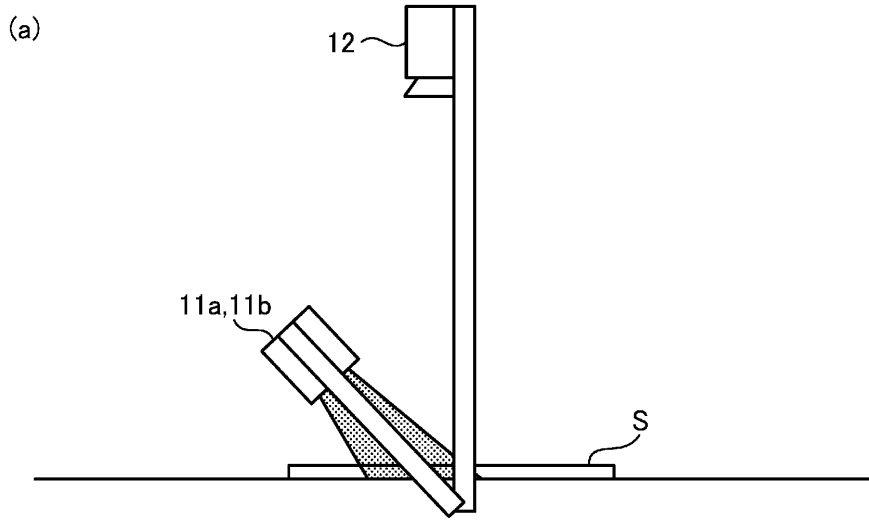
도면11



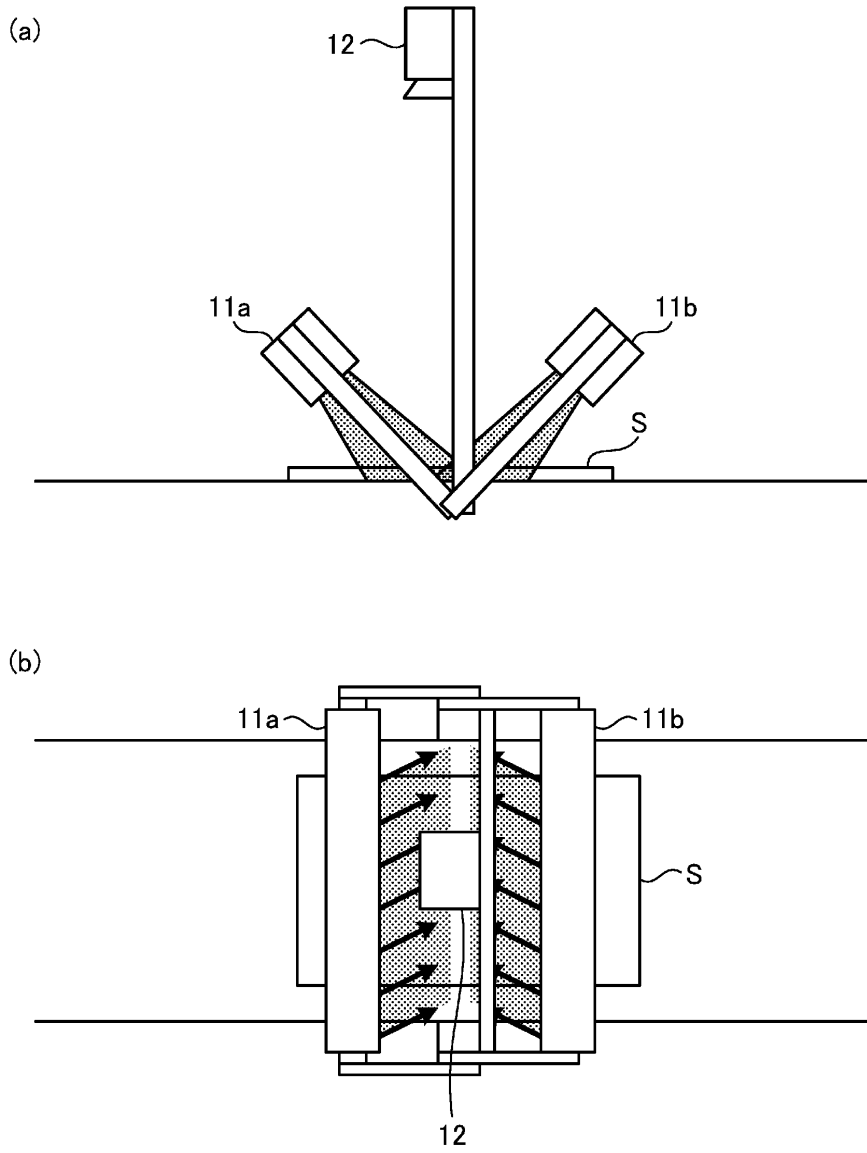
도면12



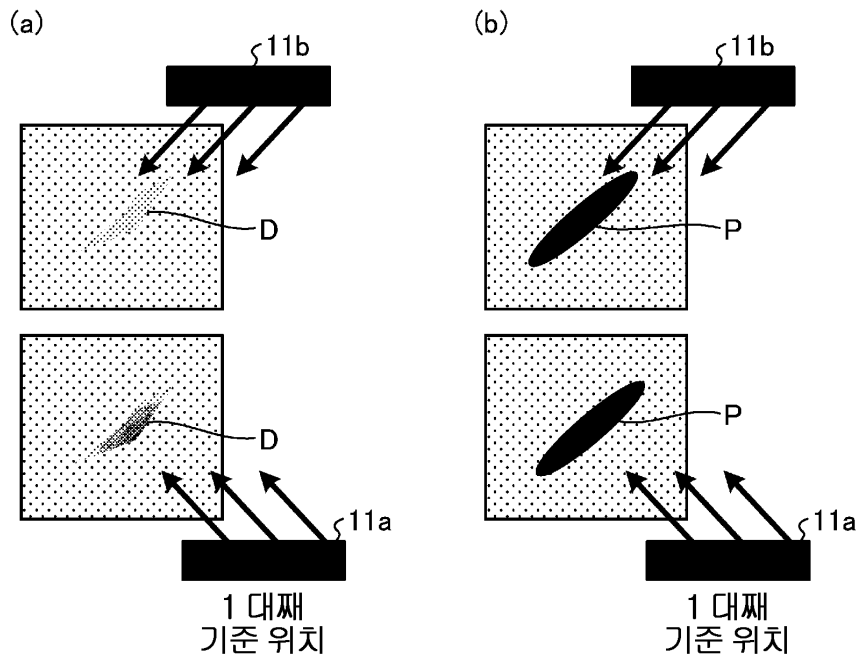
도면13



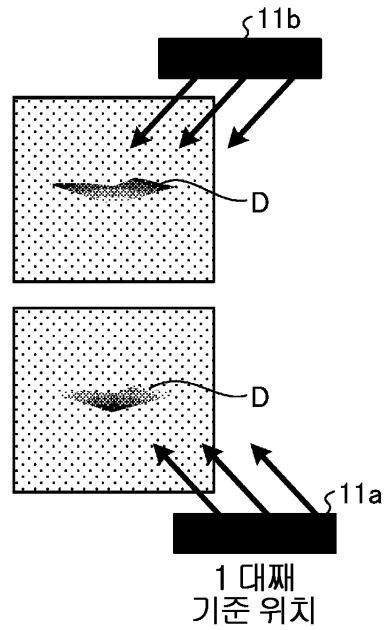
도면14



도면15



도면16



도면17

