



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월23일
(11) 등록번호 10-1288734
(24) 등록일자 2013년07월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/83 (2006.01) G01N 21/892 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-7021180
(22) 출원일자(국제) 2009년03월27일
심사청구일자 2010년09월20일
(85) 번역문제출일자 2010년09월20일
(65) 공개번호 10-2010-0116683
(43) 공개일자 2010년11월01일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2009/056914
(87) 국제공개번호 WO 2009/123296
국제공개일자 2009년10월08일
(30) 우선권주장
JP-P-2008-089364 2008년03월31일 일본(JP)
JP-P-2009-061501 2009년03월13일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP07198627 A
JP08160006 A

(73) 특허권자
제이에프이 스틸 가부시카이가이샤
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방
3고
(72) 발명자
고시하라 다카히로
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이샤 지테크자이
산부 나이
가토 히로하루
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이샤 지테크자이
산부 나이
나가무네 아키오
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이샤 지테크자이
산부 나이
(74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 10 항

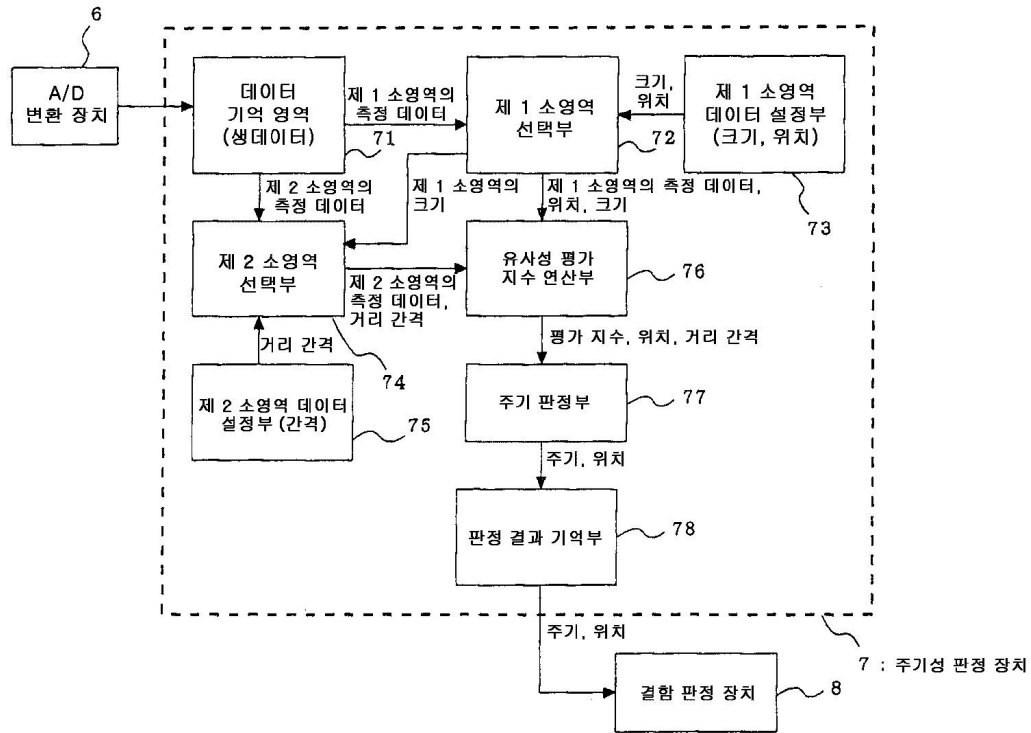
심사관 : 여경숙

(54) 발명의 명칭 주기성 결함 검출 장치 및 그 방법

(57) 요약

주기성 결함 검출 장치는, 센서 (4) 와, 영역 길이가 영역보다 짧은 소영역을 복수, 주기성 결함의 나열 방향으로, 서로 이웃하는 거리 간격이 모두 동일해지도록 떼어놓고, 위치를 결정하고, 그들 복수의 소영역의 위치에 대응한 신호를 센서 출력으로부터 선택하는 소영역 선택 수단 (72, 74) 과, 소영역 선택 수단으로 선택한 복수의 신호 사이에서, 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 산출하는 평가 지수 산출 수단 (76) 과, 소영역의 위치와 거리 간격을 변경하여, 소영역 선택 수단과 평가 지수 산출 수단의 연산 처리를 반복하는 설정값 변경 수단 (73, 75) 과, 평가 지수가 미리 설정된 값보다 높은 경우, 거리 간격을 주기로 판정하는 주기 판정 수단 (77) 을 구비한다. 주기성 결함 검출 방법은, 신호 입력 단계와, 소영역 선택 단계와, 평가 지수 산출 단계와, 설정값 변경 단계와, 주기 판정 단계를 갖는다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

피검체 상의 예측되는 결함 주기보다 긴 길이를 갖는 영역의 성상을 평가하는 신호를 얻는 센서와,

영역 길이가 상기 영역보다 짧은 소영역을 복수, 주기성 결함의 나열 방향으로, 서로 이웃하는 거리 간격이 모두 동일해지도록 떼어내고, 위치를 결정하고, 그들 복수의 소영역의 위치에 대응한 신호를, 상기 센서 출력으로부터 선택하는 소영역 선택 수단과,

그 소영역 선택 수단으로 선택한 복수의 신호 사이에서, 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 산출하는 평가 지수 산출 수단과,

상기 소영역의 위치와 상기 거리 간격을 변경하여, 상기 소영역 선택 수단과 상기 평가 지수 산출 수단의 연산 처리를 반복하는 설정값 변경 수단과,

상기 평가 지수가 미리 설정된 값보다 높은 경우, 상기 거리 간격을 주기로 판정하는 주기 판정 수단과,

상기 주기 판정된 상기 소영역의 신호에 기초하여, 상기 소영역에 주기성 결함이 포함되어 있는지의 여부를 판정하는 결함 판정 수단을 갖는 주기성 결함 검출 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 소영역 선택 수단은,

상기 영역보다 짧은 길이의 소영역의 위치를 1 개 결정하고, 그것을 제 1 소영역으로 하고, 상기 센서 출력으로부터, 상기 제 1 소영역의 위치에 대응한 신호를 선택하는 제 1 소영역 선택 수단과,

상기 제 1 소영역의 위치를 기준으로 하여, 주기성 결함의 나열 방향에 있어서, 거리 간격을 모두 동일하게 떼어내고, 복수의 제 2 소영역을 배치하도록 하고, 상기 센서 출력으로부터, 상기 복수의 제 2 소영역의 위치에 대응한 신호를 선택하는 제 2 소영역 선택 수단을 구비하고,

상기 설정값 변경 수단은, 상기 제 1 소영역의 위치와 상기 거리 간격을 변경하여, 상기 소영역 선택 수단과 상기 평가 지수 산출 수단의 연산 처리를 반복하는 주기성 결함 검출 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 센서는, 자성 금속 부재로 이루어지는 피검체를 여자하고, 누설 자속 신호를 얻는 자기 센서인 주기성 결함 검출 장치.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 소영역의 길이를 상정되는 최대의 결함과 동일한 정도의 길이로 하는 주기성 결함 검출 장치.

청구항 5

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 평가 지수 산출 수단은, 상기 소영역의 각각에서 유사성을 평가하는 값을 산출하고, 그들 값을 조합하여 상기 평가 지수를 구하는 주기성 결함 검출 장치.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 평가 지수 산출 수단은, 상기 소영역의 각각에서 유사성을 평가하는 값을 산출하고, 그들 값을 가산하여

상기 평가 지수로 하는 주기성 결함 검출 장치.

청구항 7

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 소영역의 각각에서 유사성을 평가하는 값은, 상기 소영역 사이의 상관값인 주기성 결함 검출 장치.

청구항 8

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 결함 판정 수단은, 상기 주기 판정 수단에 의해 주기 판정된 상기 소영역을 결함 후보로 하고, 상기 결함 후보의 신호 강도, 폭 방향 길이, 압연 방향 길이 및 결함 형상에 기초하여 결함인지의 여부를 판정하는 주기성 결함 검출 장치.

청구항 9

(a) 피검체 상의 예측되는 결함 주기보다 긴 길이를 갖는 영역의 성상을 평가하는 센서 출력을 얻는 신호 입력 단계와,

(b) 그 영역 길이가 상기 영역보다 짧은 소영역을 복수, 주기성 결함의 나열 방향으로, 서로 이웃하는 거리 간격이 모두 동일해지도록 떼어놓고, 위치를 결정하고, 그들 복수의 소영역의 위치에 대응한 신호를, 상기 센서 출력으로부터 선택하는 소영역 선택 단계와,

(c) 그 소영역 선택 수단으로 선택한 복수의 신호 사이에서, 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 산출하는 평가 지수 산출 단계와,

(d) 상기 소영역의 위치 및 거리 간격을 변경하여 (b) 및 (c) 를 반복하는 설정값 변경 단계와,

(e) (c) 에서 구한 평가 지수가 미리 설정된 값보다 높은 경우에는 상기 거리 간격을 주기로 판정하는 주기 판정 단계와,

(f) (e) 에서 주기 판정된 상기 소영역의 신호에 기초하여, 상기 소영역에 주기성 결함이 포함되어 있는지의 여부를 판정하는 단계를 갖는 주기성 결함 검출 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 소영역 선택 단계는, 상기 영역보다 짧은 길이의 소영역의 위치를 1 개 결정하고, 그것을 제 1 소영역으로 하고, 그 제 1 소영역의 위치를 기준으로 하여, 주기성 결함의 나열 방향에 있어서, 거리 간격을 모두 동일하게 떼어놓고, 복수의 제 2 소영역을 배치하도록 하고, 상기 센서 출력으로부터 상기 제 1 소영역의 위치 및 상기 복수의 제 2 소영역의 위치에 대응한 신호를 선택하고,

상기 설정값 변경 단계는, 상기 제 1 소영역의 위치 및 거리 간격을 변경하여 (b) 및 (c) 를 반복하는 주기성 결함 검출 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 금속, 플라스틱, 기타 재료로 이루어지는 띠형상체나 기둥형상체의 주기적으로 발생하는 주기성 결함을 검출하는 주기성 결함 검출 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 띠형상체나 기둥형상체의 제조 라인에 있어서는, 제품을 반송하기 위해 롤이 사용되는 경우가 있다. 제조 공정에 어떠한 트러블이 발생하면, 이 롤에서 기인되어 강판에 결함이 발생하는 경우가 있다. 이 결함의 검출 방법에 대해, 특히 박강판의 제조 프로세스에 있어서의 예를 설명한다.

[0003] 박강판의 제조 프로세스에 있어서는, 제조 라인 내에 설치되어 있는 롤에 부착된 이물질, 혹은 그 이물질이 롤

에 말려 들어감으로써 물 자체에 생긴 요철이 강판에 전사되어 발생한 물 마크로 불리는 주기성 결함이 발생하는 경우가 있다. 이들 주기성 결함은 물에 생긴 요철이 강판에 전사되어 발생하고, 일단 발생하면 물을 교환하거나, 프로세스를 개선할 때까지 연속적으로 발생하기 때문에, 조기에 발견하여 대책을 강구하는 것은 수율 향상 면에서도 매우 중요하다.

[0004] 종래, 이 주기성 결함의 검출 방법으로서, 주기성 결함의 주기성에 주목한 검출 방법이 많이 제안되어 있다.

[0005] 특허문헌 1 에 기재된 기술은, 주기성을 이용한 방법의 하나이다. 이 방법에서는, 먼저 피검체를 결함 검지용 센서로 계측하고, 그 센서 출력 신호를 예상되는 주기 (상기 특허문헌 1 에서는, 철강 라인의 최종 압연 물의 1 회전에 상당하는 길이) 로 동기 가산을 실시하고, 주기를 갖는 결함 신호를 주기를 가지지 않는 다른 노이즈 성분으로부터 강조하여 취급하는 수법이다. 그러나, 이 방법은 미리 주기가 예상되는 경우에만 사용될 수 없다. 예를 들어 철강의 제조 라인에 있어서는, 결함 발생 원인의 물이 마모되어 직경이 변하는 경우가 있다. 직경이 변하면 당연히 결함의 발생 주기가 변하므로, 상기 방법은 적용이 곤란하다.

[0006] 지금까지, 이 결함의 발생 주기가 변하는 문제에 대처하기 위해 몇 개의 방법이 제안되어 있다.

[0007] 제 1 방법으로는, 피검체를 결함 검지용 센서로 계측하고, 그 센서 출력 신호에 임계값 처리를 실시하여 복수의 홈 후보를 추출하고, 복수의 홈 후보의 간격을 비교하여, 이것이 일치하는 경우, 일치된 간격을 주기로 하여 주기성 결함이 발생한 것으로 판정하는 것이다. 그러나, 이 방법을 실제로 적용하고자 하면 이하의 문제점이 있다.

[0008] 실제의 제조 라인에서는, 예를 들어 압연 물에서는 압하율이 변하는 등, 물과 강판의 접촉 정도는 반드시 균일하지는 않다. 물과 강판의 접촉이 약한 경우에는 결함의 레벨도 작고, 그 때문에 결함 신호도 약해져 미검출이 되는 경우가 있다. 또, 주기성을 가지지 않는 돌발성 결함이나, 본래 무해한 강판의 표면 조도, (자기식 검출 장치의 경우에는) 자기 특성 등의 경미한 불균일로부터의 신호가 검출되고, 이들이 주기성 결함에 혼재하여 발생하는 경우가 있다. 그 때문에, 결함 후보의 간격을 단순히 비교하여 주기성을 판정하는 방법에서는, 결함 후보의 미검출 혹은 돌발성 결함이나 과검출 등의 노이즈에 의해 홈 후보의 간격이 일치하지 않고, 주기성 결함 및 그 주기성을 정확하게 검출할 수 없다는 문제점이 있다.

[0009] 결함의 발생 주기가 변하는 문제에 대처하기 위한 제 2 방법으로는, 자기 상관을 이용한 검출 방법이 알려져 있다 (예를 들어, 특허문헌 2 참조).

[0010] 자기 상관의 연산 결과에 의해 얻어지는 피크간의 거리가 주기 신호 성분의 주기를 나타내므로, 처리해야 할 신호 계열에 포함되는 주기 신호 성분의 주기를 알지 못해도, 노이즈에 묻힌 신호 계열로부터 주기 신호 성분만을 선택적으로 추출할 수 있다. 그러나, 이 자기 상관을 이용한 검출 방법에 있어서도, 피검체로부터의 센서 출력 신호에 노이즈 성분이 많이 포함되어 있는 경우에는, 주기성 결함의 판정 정밀도가 저하된다는 문제점이 있었다. 또, 이 과검출을 억제하기 위해 검출 감도를 낮추면 이번에는 경 (輕) 결함으로부터의 경미한 신호를 검출할 수 없다는 문제점이 있었다.

[0011] 또, 결함의 발생 주기가 변하는 문제에 대처하기 위한 제 3 방법으로서, 예를 들어 특허문헌 3 에 기재된 검출 방법이 있다.

[0012] 이 검출 방법은, 이동하는 띠형상체 등의 표면을 연속적으로 촬상하고, 촬상 화상으로부터 템플릿 화상 T 를 잘라내고, 길이 방향의 길이가 타깃으로 하는 물 둘레 길이보다 긴 타깃 화상 G 와의 사이에서 화상의 유사성을 비교하여, 주기성을 검출한다. 이 방법에서는, 결함 주기를 정확하게 얻기 위해, 결함부뿐만 아니라 건전부 (健全部) 의 바탕 모양 부분의 상관도 계산한다. 그 때문에, 물 1 둘레분 이상의 범위에서 화상의 유사성을 비교한다. 이 방법에서는, 템플릿 화상과 타깃 화상의 유사성을 평가하는 단계에서, 상호의 화상의 상대적 위치를 조금씩 어긋나게 하여 유사성을 평가하기 때문에, 상기 물의 직경이 마모에 의해 조금 변하는 경우에는 대응 가능하다. 그러나, 이 방식에서는 건전부의 바탕 모양을 주기 정보를 얻기 위해 이용하고 있기 때문에, 바탕 모양이 형성되는 물, 즉 검사 전의 마지막 압연 물 이외에는 적용할 수 없다는 문제점이 있다.

[0013] 실제의 강판의 제조 라인에서는, 검사 전의 최종의 압연 물뿐만 아니라 그것보다 전에 발생한 물성 결함도 검출할 필요가 있다. 구체적으로는, 냉간압연에서는 최종 압연 물의 1 단 (段) 내지는 2 단 전의 압연 물의 결함, CAL 라인에서는 최종의 조질 (調質) 압연 물보다 전의 어닐로 내의 물의 결함이나, 냉간압연시에 발생한 물성 결함 등도 검출해야 한다. 그 때문에, 상이한 직경을 갖는 복수의 물에서 발생하는 결함을 검지할 필요가 있는데, 특허문헌 3 의 검출 방법은 이것에 대응할 수 없다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 평6-324005호
(특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 소58-156842호
(특허문헌 0003) 일본 공개특허공보 2006-105791호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 본 발명의 목적은, 결함의 발생 주기가 변해도 사용할 수 있고, 또, 최종 압연 롤뿐만 아니라 상이한 직경의 복수의 롤에서 발생하는 주기성 결함, 특히 결함이 경미한 경우에도 고정밀도로 판정할 수 있는 띠형상체 등의 주기성 결함 검출 장치 및 그 방법을 제공하는 것이다.
- [0016] 발명자들은, 먼저 종래의 상관 연산의 문제점을 검토하였다. 도 18 은, 통상적인 주기성 결함의 측정 신호에 대해 상관 연산을 모식적으로 나타낸 예이다. 참조 신호와 입력 신호의 신호 파형이 완전하게 일치하거나 또는 유사성이 높을 때에는, 상관 계수의 값이 커지는 것을 이용하여, 상관값이 큰 지점의 간격으로부터, 주기성 결함의 주기를 구한다. 그러나, 주기성 결함의 검출에 적용하는 경우에는, 참조 신호를 입력 신호(요컨대, 결함 검출의 경우에는 센서의 측정 신호)로부터 잘라내어 작성하므로, 도 19 와 같이, 입력 신호의 S/N 이 낮은 경우에는 상관 연산의 S/N 도 향상되지 않는다.
- [0017] 이에 대하여, 발명자들은, 주기성 결함은, 한 번 발생하면 복수 개의 결함이 반복되어(예를 들어, 5 회 이상) 발생한다는 특징에 주목하여, S/N 을 향상시키는 본 발명에 상도하였다. 상관 연산은 1 주기분의 데이터로 주기를 산출할 수 있다는 이점은 있지만, 복수 주기분의 데이터를 이용한 연산은 아니다. 이것에 대해, 본 발명에서는 복수 주기분의 데이터를 활용하여 S/N 향상을 실현하였다.
- [0018] 또한, 본 발명자들은, 추가적인 S/N 향상을 위해서는, 상관 연산을 실시하는 데이터 영역(데이터수)에는 바람직한 범위가 있다는 지견도 얻었다. 요컨대, 상관 연산을 실시하는 데이터 영역으로는, 그 중에서 결함 신호의 데이터수가 차지하는 비율이 높은 것이 바람직하다는 것을 알았다.

과제의 해결 수단

- [0019] 본 발명은, 상기와 같은 지견에 기초하여 이루어진 것으로, 다음과 같은 구성으로 이루어진다.
- [0020] 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 장치는,
- [0021] 피검체 상의 예측되는 결함 주기보다 긴 길이를 갖는 영역의 성상을 평가하는 신호를 얻는 센서와,
- [0022] 영역 길이가 상기 영역보다 짧은 소영역을 복수, 주기성 결함의 나열 방향으로, 서로 이웃하는 거리 간격이 모두 동일해지도록 떼어놓고, 위치를 결정하고, 그들 복수의 소영역의 위치에 대응한 신호를, 상기 센서 출력으로부터 선택하는 소영역 선택 수단과,
- [0023] 그 소영역 선택 수단으로 선택한 복수의 신호 사이에서, 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 산출하는 평가 지수 산출 수단과,
- [0024] 상기 소영역의 위치와 상기 거리 간격을 변경하여, 상기 소영역 선택 수단과 상기 평가 지수 산출 수단의 연산 처리를 반복하는 설정값 변경 수단과,
- [0025] 상기 평가 지수가 미리 설정된 값보다 높은 경우, 상기 거리 간격을 주기로 판정하는 주기 판정 수단을 구비한 것이다.
- [0026] 또, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 장치에 있어서, 상기 소영역 선택 수단은, 이하인 것이 바람직하다.
- [0027] 상기 영역보다 짧은 길이의 소영역의 위치를 1 개 결정하고, 그것을 제 1 소영역으로 하고, 상기 센서 출력으로부터, 상기 제 1 소영역의 위치에 대응한 신호를 선택하는 제 1 소영역 선택 수단과,

- [0028] 상기 제 1 소영역의 위치를 기준으로 하여, 주기성 결함의 나열 방향에 있어서, 거리 간격을 모두 동일하게 떼어놓고, 복수의 제 2 소영역을 배치하도록 하고, 상기 센서 출력으로부터, 상기 복수의 제 2 소영역의 위치에 대응한 신호를 선택하는 제 2 소영역 선택 수단을 구비하고,
- [0029] 상기 설정값 변경 수단은, 상기 제 1 소영역의 위치와 상기 거리 간격을 변경하여, 상기 소영역 선택 수단과 상기 평가 지수 산출 수단의 연산 처리를 반복한다.
- [0030] 또, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 장치에 있어서, 상기 센서는, 자성 금속 부재로 이루어지는 피검체를 여자하고, 누설 자속 신호를 얻는 자기 센서인 것이 바람직하다.
- [0031] 또한, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 장치에 있어서, 상기 소영역의 길이를 상정되는 최대의 결함과 동일한 정도의 길이로 하는 것이 바람직하다.
- [0032] 또, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 장치에 있어서, 상기 평가 지수 산출 수단은, 상기 소영역의 각각에서 유사성을 평가하는 값을 산출하고, 그들 값을 조합하여 상기 평가 지수를 구하는 것이 바람직하다.
- [0033] 또한, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 장치에 있어서, 상기 평가 지수 산출 수단은, 상기 소영역의 각각에서 유사성을 평가하는 값을 산출하고, 그들 값을 가산하여 상기 평가 지수로 하는 것이 바람직하다.
- [0034] 또, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 장치에 있어서, 상기 소영역의 각각에서 유사성을 평가하는 값은, 상기 소영역 사이의 상관값인 것이 바람직하다.
- [0035] 또한, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 장치는,
- [0036] 피검체 상의 예측되는 결함 주기보다 긴 길이를 갖는 2 차원 영역의 성상을 평가하는 신호를 얻는 센서와,
- [0037] 상기 센서의 출력에 기초하여 주기성 결함의 결함 후보를 구하는 주기성 판정 수단과,
- [0038] 상기 결함 후보와 상기 센서 출력에 기초하여 적어도 결함의 유무를 판정하는 결함 판정 수단을 구비하고,
- [0039] 상기 주기성 판정 수단은,
- [0040] 상기 2 차원 영역 내에서 상기 2 차원 영역보다 작은 제 1 의 2 차원 소영역을 선택하고, 이 제 1 의 2 차원 소영역으로부터 주기성 결함의 나열 방향으로 소정 거리씩 떨어진 복수의 제 2 의 2 차원 소영역을 제 1 의 2 차원 소영역과 동일한 크기로 선택하고, 상기 2 차원 소영역에 각각 대응하는 센서 출력의 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 계산하여 유사성을 평가하고, 유사성이 높은 것으로 평가한 경우에는 상기 거리를 주기로 하고, 각 2 차원 소영역에 결함 후보가 존재하는 것으로 판정하는 처리를, 상기 거리를 바꾸면서 반복하는 제 1 연산 처리와,
- [0041] 상기 거리가 주기성 결함이 발생할 수 있는 주기의 범위를 만족할 때까지 상기 제 1 연산 처리를 반복하면, 상기 제 1 의 2 차원 소영역의 위치를 원래의 2 차원 영역 내에서 변경하여 상기 제 1 의 2 차원 소영역이 원래의 2 차원 영역 내의 소정의 범위를 만족할 때까지 상기 제 1 연산 처리를 반복하는 제 2 연산 처리를 실시한다.
- [0042] 또, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 방법은,
- [0043] (a) 피검체 상의 예측되는 결함 주기보다 긴 길이를 갖는 영역의 성상을 평가하는 센서 출력을 얻는 신호 입력 단계와,
- [0044] (b) 그 영역 길이가 상기 영역보다 짧은 소영역을 복수, 주기성 결함의 나열 방향으로, 서로 이웃하는 거리 간격이 모두 동일해지도록 떼어놓고, 위치를 결정하고, 그들 복수의 소영역의 위치에 대응한 신호를, 상기 센서 출력으로부터 선택하는 소영역 선택 단계와,
- [0045] (c) 그 소영역 선택 수단으로 선택한 복수의 신호 사이에서, 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 산출하는 평가 지수 산출 단계와,
- [0046] (d) 상기 소영역의 위치 및 거리 간격을 변경하여 (b) 및 (c) 를 반복하는 설정값 변경 단계와,
- [0047] (e) (c) 에서 구한 평가 지수가 미리 설정된 값보다 높은 경우에는 상기 거리 간격을 주기로 판정하는 주기 판정 단계를 갖는다.
- [0048] 또, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 방법에 있어서, 상기 소영역 선택 단계는, 이하인 것이 바람직하다.
- [0049] 상기 소영역 선택 단계는, 상기 영역보다 짧은 길이의 소영역의 위치를 1 개 결정하고, 그것을 제 1 소영역으로

하고, 그 제 1 소영역의 위치를 기준으로 하여, 주기성 결함의 나열 방향에 있어서, 거리 간격을 모두 동일하게 떼어놓고, 복수의 제 2 소영역을 배치하도록 하고, 상기 센서 출력으로부터 상기 제 1 소영역의 위치 및 상기 복수의 제 2 소영역의 위치에 대응한 신호를 선택하고, 상기 설정값 변경 단계는, 상기 제 1 소영역의 위치 및 거리 간격을 변경하여 (b) 및 (c) 를 반복한다.

[0050] 또, 본 발명에 관련된 주기성 결함 검출 방법은,

[0051] 피검체 상의 예측되는 결함 주기보다 긴 길이를 갖는 2 차원 영역의 성상을 평가하는 센서 출력을 얻는 제 1 단계와,

[0052] 상기 2 차원 영역 내에서 상기 2 차원 영역보다 작은 제 1 의 2 차원 소영역을 선택하고, 이 제 1 의 2 차원 소영역으로부터 주기성 결함의 나열 방향으로 소정 거리씩 떨어진 복수의 제 2 의 2 차원 소영역을 제 1 의 2 차원 소영역과 동일한 크기로 선택하고, 상기 2 차원 소영역에 각각 대응하는 센서 출력의 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 계산하여 유사성을 평가하고, 유사성이 높은 것으로 평가한 경우에는 상기 거리를 주기로 하고, 각 2 차원 소영역에 결함 후보가 존재하는 것으로 판정하는 처리를, 상기 거리를 바꾸면서 반복하는 제 2 단계와,

[0053] 상기 거리가 주기성 결함이 발생할 수 있는 주기의 범위를 만족할 때까지 상기 제 2 단계를 반복하면, 상기 제 1 의 2 차원 소영역의 위치를 원래의 2 차원 영역 내에서 변경하여 상기 제 1 의 2 차원 소영역이 원래의 2 차원 영역 내의 소정의 범위를 만족할 때까지 상기 제 2 단계를 반복하는 제 3 단계와,

[0054] 상기 결함 후보와 상기 센서 출력에 기초하여 적어도 결함의 유무를 판정하는 제 4 단계를 갖는다.

발명의 효과

[0055] 본 발명에 의하면, 피검체 상의 예측되는 결함 주기보다 긴 길이를 갖는 영역의 성상을 평가하는 신호를 얻는 센서와, 영역 길이가 상기 영역보다 짧은 소영역을 복수, 주기성 결함의 나열 방향으로, 서로 이웃하는 거리 간격이 모두 동일해지도록 떼어놓고, 위치를 결정하고, 그들 복수의 소영역의 위치에 대응한 신호를, 상기 센서 출력으로부터 선택하는 소영역 선택 수단과, 그 소영역 선택 수단으로 선택한 복수의 신호 사이에서, 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 산출하는 평가 지수 산출 수단과, 상기 소영역의 위치와 상기 거리 간격을 변경하여, 상기 소영역 선택 수단과 상기 평가 지수 산출 수단의 연산 처리를 반복하는 설정값 변경 수단과, 상기 평가 지수가 미리 설정된 값보다 높은 경우, 상기 거리 간격을 주기로 판정하는 주기 판정 수단을 구비하고 있고, 이 때문에, 결함의 발생 주기가 변동해도 결함을 용이하게 검출할 수 있고, 또한 다양한 직경의 물에서 발생하는 경미한 주기성 결함으로부터의 경미한 신호라도 고정밀도로 검출할 수 있다.

[0056] 또, 본 발명에 의하면, (a) 피검체 상의 예측되는 결함 주기보다 긴 길이를 갖는 영역의 성상을 평가하는 센서 출력을 얻는 신호 입력 단계와, (b) 그 영역 길이가 상기 영역보다 짧은 소영역을 복수, 주기성 결함의 나열 방향으로, 서로 이웃하는 거리 간격이 모두 동일해지도록 떼어놓고, 위치를 결정하고, 그들 복수의 소영역의 위치에 대응한 신호를, 상기 센서 출력으로부터 선택하는 소영역 선택 단계와, (c) 그 소영역 선택 수단으로 선택한 복수의 신호 사이에서, 신호 패턴 상호의 유사성 평가 지수를 산출하는 평가 지수 산출 단계와, (d) 상기 소영역의 위치 및 거리 간격을 변경하여 (b) 및 (c) 를 반복하는 설정값 변경 단계와, (e) (c) 에서 구한 평가 지수가 미리 설정된 값보다 높은 경우에는 상기 거리 간격을 주기로 판정하는 주기 판정 단계를 갖고 있고, 이 때문에, 결함의 발생 주기가 변동해도 결함을 용이하게 검출할 수 있고, 또한 다양한 직경의 물에서 발생하는 경미한 주기성 결함으로부터의 경미한 신호라도 고정밀도로 검출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0057] 도 1 은, 실시형태 1 에 관련된 주기성 결함 검출 장치의 구성도이다.

도 2 는, 실시형태 1 의 주기성 판정 장치의 기능 블록의 일례를 나타낸 도면이다.

도 3 은, 실시형태 1 의 주기성 판정 장치 및 결함 판정 장치의 처리 과정을 나타낸 플로우 차트이다.

도 4a 와 도 4b 는, 주기성 판정 장치에 의한 연산 처리의 설명도이다.

도 5 는, 실시형태 2 의 주기성 판정 장치 및 결함 판정 장치의 처리 과정을 나타낸 플로우 차트이다.

도 6a ~ 도 6c 는, 데이터 샘플링의 피치와 결함 검출의 관계를 나타낸 설명도이다.

도 7 은, 실시형태 3 에 관련된 주기성 결함 검출 장치의 구성도이다.

도 8 은, 폭 방향 자화의 모식도이다.

도 9 는, 강판 제조 라인에서 발생한 물성 미소 요철 결함의 탐상(探傷)예이다.

도 10 은, 도 9 의 누설 자속 신호에 자기 상관을 실시한 결과를 나타내는 도면이다.

도 11 은, 실시형태 1 의 신호 처리에 의해 구해진 유사성 평가 지수 R 의 예 (예 1) 이다.

도 12 는, 실시형태 1 의 신호 처리에 의해 구해진 유사성 평가 지수 R 의 예 (예 2) 이다.

도 13 은, 실시형태 1 의 신호 처리에 의해 구해진 유사성 평가 지수 R 의 예 (예 3) 이다.

도 14 는, 실시형태 1 의 신호 처리에 의해 구해진 유사성 평가 지수 R 의 예 (예 4) 이다.

도 15a 와 도 15b 는, 연속 소둔 라인에서 발생한 결함의 크기 분포의 조사 결과를 나타낸 도면이다.

도 16a 와 도 16b 는, 도 15 의 데이터에 대해 영역의 창 길이 및 창 폭을 바꾸어 구한 유사성 평가 지수 R 의 S/N 의 예를 나타낸 도면이다.

도 17 은, 실시형태 1 의 측정 신호의 예를 나타낸 도면이다.

도 18 은, 종래의 주기성 결함의 검출 방법을 나타낸 설명도이다.

도 19 는, 종래의 주기성 결함의 검출 방법을 나타낸 설명도이다.

도 20a ~ 도 20c 는, 본 발명의 주기성 결함의 검출 방법의 원리를 나타낸 설명도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0058] 발명을 실시하기 위한 최선의 형태

[0059] 도 20 을 이용하여, 본 발명의 주기성 결함의 검출 원리를 설명한다.

[0060] 도 20 에서는, 이해를 용이하게 하기 위해 1 차원 데이터열로 설명하는데, 후술하는 바와 같이 2 차원 데이터열 이어도 적용 가능하다. 먼저, 도 20a 와 같이, 결함을 포함하는 제 1 소영역 (1) 을 취하고, 이 제 1 소영역과 동일한 크기의 제 2 소영역 (2, 3, 4, 5) (여기서는, 4 개이지만, 특별히 제 2 소영역의 개수는 한정되지 않는다) 을 결함 주기 p_0 과 동일한 간격 (소영역의 크기와 서로 이웃하는 소영역이 떨어져 있는 거리 간격을 가산한 거리 간격을 가리킨다) 으로 데이터열 상에 취한 경우를 생각한다. 그리고, 제 1 소영역 (1) 과 제 2 소영역 (2, 3, 4, 5) 의 각각에서 곱합연산을 실시하면, 얻어지는 4 개의 상관값은 각각 큰 값이 얻어지는데, 또한 이들 4 개를 가산한 값을 유사성 평가 지수 R 로서 산출한다.

[0061] 이와 같이, 도 20a 와 같이 제 1 소영역에 결함 위치가 포함되고, 또한 간격 d 가 결함 주기 p_0 과 정확히 일치했을 때에는, 모든 상관값이 커지므로, 그에 관한 유사성 평가 지수 R 은 확실하게 큰 값이 된다. 한편, 제 1 소영역에 결함이 포함되지 않거나, 혹은 간격 d 가 결함 주기 p_0 과 일치하지 않는 경우에는, 상관값의 어느 것이 우연히 큰 값이어도, 모두가 큰 값이 되는 것은 아니므로, 유사성 평가 지수 R 은 커지지 않는다. 본 발명은, 상기의 생각에 기초하여 이루어진 것으로, 예를 들어 도 20c 와 같이, 간격 d 를 $d' (= d + \Delta d)$ 와 같이 조금씩 바꾸어, 설정한 간격 d 의 각각에 대해 유사성 평가 지수 R 을 구한다. 간격 d 가 소정의 범위 (예를 들어, 상정되는 결함 주기의 최대 길이까지) 를 망라하면, 다음으로 제 1 소영역의 위치 q 를 바꾸고, 상기 서술한 바와 동일하게 간격 d 를 바꾸어 유사성 평가 지수 R 의 계산을 반복하고, 유사성 평가 지수 R 이 미리 설정한 값보다 커지는 경우나 최대값이 되는 경우의 간격 d 로부터 주기성 결함의 주기를 구한다.

[0062] 이상이 본 발명의 원리인데, 이하의 실시형태에서 상세한 내용을 설명한다.

[0063] 실시형태 1.

[0064] 도 1 은, 실시형태 1 에 관련된 주기성 결함 검출 장치의 구성도이다. 도 1 에 있어서, 1 은 강판 (강판 아래에 배치된 기기를 알기 쉽게 투시도로 나타낸다), 2 는 주기성 결함, 3 은 자화기, 4 는 자기 센서, 5 는 증폭기 및 필터 회로를 내장한 신호 전처리 장치, 6 은 A/D 변환 장치, 7 은 주기성 결함 검출기, 8 은 결함 판정 장치이다.

- [0065] 강판 (1) 에는, 이 예에서는 주기성 결함 (2) 으로서 압연 롤에서 기인된 물성 표면 결함이 압연 방향 (도 1 에서는 진행 방향) 으로 복수 개 존재하는 것으로 한다. 자화기 (3) 와 자기 센서 (4) 의 세트가 강판 (1) 을 사이에 두고 대향하여 강판 (1) 의 폭 방향 (주기성 결함의 나열 방향에 직교하는 방향) 을 따라 복수 배치되어 있다. 자화기 (3) 에는 도시되지 않은 자화 전원으로부터의 직류 전류가 공급되어 자화되어 있고, 자화기 (3) 에 의해 양 자극 사이에 발생한 자속은 강판 (1) 을 통과한다. 여기서, 자화기 (3) 는 강판 (1) 의 폭 방향으로 자속이 흐르도록 설치되어 있다. 또 여기서는, 자화기와 자기 센서의 세트는 강판 (1) 을 사이에 두고 대향하여 설치되어 있지만, 동일한 측에 설치해도 된다. 주기성 결함 (2) 이 강판 (1) 에 존재하면 그 에 의해 자속이 방해받고, 그 변화를 자기 센서 (4) 에 의해 검출할 수 있다.
- [0066] 도 1 의 예에서는, 도면에서 나타내는 진행 방향이 주기성 결함의 나열 방향에 대응하고 있으므로, 강판 (1) 이 압연 라인 등으로 반송되는 것에 맞춰, 주기성 결함 (2) 이 자기 센서 (4) 의 위치에 도달하게 되고, 그 때마다 상기와 같이 신호가 변화하게 된다. 따라서, 강판의 진행 방향의 이동량 (즉, 강판 (1) 의 위치) 에 맞춰, 자기 센서 (4) 의 측정 신호를 시계열적인 데이터로서 수집하면, 주기성 결함 (2) 의 나열 방향의 측정 데이터 (성상을 평가하기 위한 신호) 를 얻을 수 있다.
- [0067] 여기서, 주기성 결함 (2) 의 예상되는 결함 주기의 최대값 (압연 롤이 복수 있는 경우에는 최대 롤 둘레 길이를 기준으로 한다) 보다 긴 거리분 (강판의 이동 거리) 의 측정 데이터를 얻을 필요가 있고, 복수 주기분, 예를 들어 3 내지 5 주기분 정도를 얻도록 설정하는 것이 좋다. 단, 이것에 한정되지 않고, 후술하는 바와 같이, 주기수를 많게 하여 데이터가 수집하여 연산을 실시함으로써, 보다 S/N 이 향상되므로, 상한은 측정 대상의 신호 S/N 의 정도에 맞춰 적절히 결정하면 된다.
- [0068] 폭 방향 전체를 동시에 측정할 수 있는 센서이면, 강판 길이 방향의 전체 길이에 걸쳐 측정할 수 있어, 복수 주기 이상이 되므로 문제는 없지만, 주기성 결함 검사의 경우에는, 일반적으로 비용적인 관점에서, 폭 방향의 일부만을 측정하는 센서로 하여, 센서를 트레이버스시켜 측정하는 경우도 있다. 그 경우에는, 동일한 폭 위치에서 상기 설정한 주기분 (최대 주기의 복수 길이 이상으로, 예를 들어 3 ~ 5 주기분 정도) 을 측정한 후, 폭 위치를 이동하도록 하면 된다.
- [0069] 이렇게 하여 얻어진 자기 센서 (4) 의 출력 신호는 신호 전처리 장치 (5) 에 내장되어 있는 증폭기로 신호 증폭이 실시되고, 그리고, 신호 전처리 장치 (5) 에 내장되어 있는 필터 회로로 노이즈가 제거되고, A/D 변환 장치 (6) 에 보내진다.
- [0070] A/D 변환 장치 (6) 에서는, 이 아날로그 신호를 강판 (1) 위에서 등거리 피치가 되도록 샘플링하여 디지털화한다. 예를 들어 강판 (1) 에 로터리 인코더를 접하는 등 샘플링 펄스를 얻을 수 있다. A/D 변환 장치 (6) 로 디지털화된 데이터는, 주기성 판정 장치 (7) 에 보내진다. 여기서는, 이하의 도 2 에 나타내는 주기성 판정을 실시한다. 또한, 여기서의 샘플링 피치란, 자기 센서 (4) 의 신호를 디지털 데이터로 변환하고, 데이터용 메모리에 기억할 때의 공간 분해능이고, 검출 대상이 되는 결함의 최소 길이를 검출 가능하게 하는 값 (예를 들어, 최소 길이의 1/2 정도 이하) 으로 설정하면 된다.
- [0071] 도 2 는, 주기성 판정 장치 (7) 의 기능 블록도의 일례를 나타낸 설명도이다.
- [0072] 주기성 판정 장치 (7) 는, A/D 변환된 측정 데이터 (여기서는, 자기 센서 (4) 가 폭 방향으로 복수 배치되어 있으므로 2 차원 데이터열이 된다) 를 그대로의 생 (生) 데이터를 기억해 두는 데이터 기억 영역 (71) 과, 제 1 소영역의 데이터를 선택하기 위한 제 1 소영역 선택부 (72) 와, 제 1 소영역의 데이터를 선택할 때 소영역의 크기와 위치를 설정하는 제 1 소영역 데이터 설정부 (73) 와, 제 2 소영역의 데이터를 선택하기 위한 제 2 소영역 선택부 (74) 와, 제 2 소영역의 데이터를 선택할 때 제 2 소영역의 크기와 거리 간격을 설정하는 제 2 소영역 데이터 설정부 (75) 와, 제 1 소영역 선택부와 제 2 소영역 선택부에서 선택된 데이터를 입력하여 유사성 평가 지수를 산출하는 유사성 평가 지수 연산부 (76) 와, 유사성 평가 지수로부터 주기성이 있는지의 여부를 판정하는 주기 판정부 (77) 와, 판정된 결과를 기억하고, 결과를 결함 판정부에 출력하는 판정 결과 기억부 (78) 를 갖는다.
- [0073] 제 1 소영역 데이터 설정부 (73) 에서는 제 1 소영역의 위치를 순차 변경하여, 제 1 소영역 선택부로 설정하고, 제 2 소영역 데이터 설정부 (75) 에서는 제 2 소영역의 거리 간격을 순차 변경하여, 제 2 소영역 선택부 (74) 에 제 2 소영역의 위치를 설정하여, 유사성 평가 지수의 연산을 반복하여 실행한다. 소영역의 크기는 반복 연산하는 동안에는 일정하게 하고, 제 1 소영역 데이터 선택부 (73) 에서 설정되어 있는 소영역의 크기의 값은, 제 2 소영역 선택부 (74) 에 대해 출력되어 동일한 값으로 설정된다. 주기 판정부 (77) 에서는, 산출된 평

가 지수가 유사성이 높은 값으로 평가된 경우에는, 그 때의 거리 간격으로부터 주기를, 위치로부터 주기성 결함 후보가 존재하는 영역을 결정한다.

[0074] 도 3 은, 주기성 판정 장치 (7) 및 결함 판정 장치 (8) 의 처리 과정을 나타낸 플로우 차트이고, 도 4 는 그 연산 처리의 설명도이다.

[0075] (S1) 제 1 소영역 선택부 (72) 는, 도 4a 에 나타내는 바와 같이, 측정한 범위 중, 폭 방향으로 h, 압연 방향으로 l (엘) 의 크기의 영역 1 (기준 영역) 을 선택한다. 또한, 후술하는 단계 S2 이후에 사용하는 d 의 초기 값으로서, d 를 최소 롤 둘레 길이 (결함 주기의 최소값) 의 값으로 설정해 두는 것이 좋다.

[0076] (S2) 제 2 소영역 선택부 (74) 는, 도 4a 에 나타내는 바와 같이, 영역 1 로부터 보아 폭 방향은 동일한 위치에서, 압연 방향으로 거리 d 떨어진 위치에 영역 1 과 동일한 크기로 영역 2 를 선택한다. 동일하게 하여, 영역 1 로부터 2d 떨어진 위치에 영역 3, 3d 떨어진 위치에 영역 4, 4d 떨어진 위치에 영역 5 를 선택한다.

[0077] 또한, 영역 1 은 상기 제 1 소영역에 상당하고, 영역 2 ~ 영역 5 는 상기 제 2 소영역에 상당한다.

[0078] (S3) 유사성 평가 지수 연산부 (76) 는, 영역 1 과 영역 2 의 대응하는 지점에서, 다음의 (식 1) 의 계산을 실시하고, 영역 1 과 영역 2 의 상관값 R_{12} 를 계산한다. 여기서, $x(i, j)$ 는 디지털화된 센서 출력이 측정된 전체 범위 내에서의 폭 방향 i 번째, 압연 방향 j 번째 점의 값으로 한다.

[0079]
$$R_{12} = \sum_i \sum_j x(i, j) * x(i, j + d) \quad \dots \text{(식 1)}$$

[0080] 동일하게 하여 다음의 (식 2) 의 계산을 실시하고, 영역 2 와 영역 3, 영역 3 과 영역 4, 영역 4 와 영역 5 의 대응하는 지점에서 상관값 R_{23} , R_{34} , R_{45} 를 구한다.

[0081]
$$\left. \begin{aligned} R_{23} &= \sum_i \sum_j x(i, j + d) * x(i, j + 2d) \\ R_{34} &= \sum_i \sum_j x(i, j + 2d) * x(i, j + 3d) \\ R_{45} &= \sum_i \sum_j x(i, j + 3d) * x(i, j + 4d) \end{aligned} \right\} \quad \dots \text{(식 2)}$$

[0082] (S4) 유사성 평가 지수 연산부 (76) 는, 다음의 (식 3) 의 계산을 실시하고, 상관값 R_{12} , R_{23} , R_{34} , R_{45} 를 가산하여 유사성 평가 지수 R 을 구한다. 여기서, 복수 영역의 상관값을 가산하는 영역마다의 편차나 편향 등의 영향을 배제하고자 하는 것으로, 주기성 결함을 검출하는 특유의 처리이다.

[0083]
$$R = R_{12} + R_{23} + R_{34} + R_{45} \quad \dots \text{(식 3)}$$

[0084] (S5) 주기성 판정부 (77) 는, 유사성 평가 지수 R 이 미리 설정된 임계값 이상인 경우에는 주기성 결함 후보가 있는 것으로 판정한다.

[0085] (S6) 다음으로, 도 4b 에 나타내는 바와 같이, 상관값을 계산하는 영역 사이의 기준이 되는 거리 d 를 $d + \Delta$ 로 변경하여 ($d + \Delta = d$) 상기 S2 ~ S5 의 처리를 반복한다. 여기서, Δ 는 미리 결정한 영역의 압연 방향의 크기 l (엘) 보다 작은 상수로 한다. 빠짐 없이 평가하기 위해서는, $\Delta < l(\text{엘})/2$ 가 바람직하다. d 의 변경 범위는, 주기성 결함이 발생할 수 있는 주기의 범위 (도 3 의 S6 의 소정의 범위) 로 한다. 강판 (1) 의 라인에서는 롤 마크가 발생할 수 있는 라인 내에 있는 롤의 둘레 길이를 망라하는 것이 바람직하다. 또한, d 의 변경은, 각 롤에 대해 상정되는 둘레 길이의 전후 범위 (예를 들어, 수 10 mm 정도의 범위) 를 실시하면 되므로, 라인 내의 각 롤의 둘레 길이가 크게 상이하여, 주기성 결함이 발생하지 않는 것으로 여겨지는 범위가 있는 경우에는, 그 범위에 d 의 값을 설정하지 않아도 된다.

[0086] (S7) 유사성 평가의 기준이 되는 영역 1 의 위치 q 를 압연 방향으로 Δq 어긋나게 하여 상기 S1 ~ S6 의 처리를 반복한다. 이 때의 1 회의 어긋남량 Δq 로는, 빠짐 없이 평가하기 위해서는 영역의 압연 방향의 크기 l (엘) 의 1/2 보다 작은 값이 바람직하다. 어긋남량 Δq 의 하한은, 디지털화된 센서 출력이 측정된 압연 방향 샘플링 간격인데, 연산 시간이 걸리므로, 적당히 결정하면 된다. 그리고, 영역 1 의 위치 q 가 결함 주기 최대값 (최대 롤 둘레 길이의 값) 이 될 때까지 (도 3 의 S7 의 소정의 범위를 망라할 때까지) 반복함으로써 빠짐 없이 평가할 수 있다. 또한, 전술한 단계 S1 에서, d 의 초기값은 최소 롤 둘레 길이로 설정하는 것으로 했지만, q 의 값이 최소 롤 둘레 길이보다 커진 경우에는, S1 에서의 d 의 초기값을, q 의 값으로 설정해도

된다. 요컨대, 항상, 위치 q 의 값을 0 (제로) 으로부터 결함 주기 최대값 (최대 물 둘레 길이의 값) 까지 실시하면, q 가 d 를 초과하는 범위에서는 계산이 중복되므로, q 가 d 를 초과하는 조건은 계산하지 않도록 하면, 효율적인 계산이 가능해져 바람직하다.

[0087] (S8) 유사성 평가의 기준이 되는 영역 1 의 위치를 폭 방향으로 어긋나게 하여 상기 S1 로부터 S7 의 처리를 반복한다. 이 때의 어긋남량으로는, 빠짐 없이 평가하기 위해 영역의 폭 방향의 크기 h 의 1/2 보다 작은 값이 바람직하다.

[0088] (S9) 이상의 주기성 평가를 실시한 결과, 상기 S5 의 판정에 있어서 주기성 결함 후보가 있는 것으로 판정된 경우에는, 결함 후보의 압연 방향, 폭 방향의 위치, 주기의 길이 및 그 주변 영역의 신호 데이터를 판정 결과 기억부 (78) 에 기억함과 함께 결함 판정 장치 (8) 에 송신한다. 결함 후보의 압연 방향, 폭 방향의 위치는 영역 1 (혹은 영역 2, 3, 4, 5) 의 위치로부터 결정된다.

[0089] 결함 판정 장치 (8) 에서는, 결함 후보의 신호 강도, 폭 방향의 길이, 압연 방향의 길이, 결함 형상 등의 수치로부터 결함인지의 여부를 판정하고, 결함인 것으로 판정한 경우에는 주기성 판정 장치 (7) 에서 얻어진 주기 d 와 함께 그 결과를 출력한다. 결함 판정 장치 (8) 에서는, 주기성 판정 장치 (7) 에서 얻어진 주기를 기초로 결함부의 신호를 동기 가산하여 S/N 을 향상시킨 후, 상기 판정을 실시해도 된다. 그리고, S9 의 처리가 종료되면, 단계 S6 으로 돌아온다.

[0090] 또한, 상기 플로우 차트는, 처리 순서의 일례이며, 그 처리 순서는 적당히 변경되어도 된다. 예를 들어, 간격 d 를 바꾸는 반복 처리가, 영역 1 의 위치를 변경하는 반복 처리 중에 있는데, 반대여도 되고, S5 의 유사성 평가 지표 R 의 평가 처리에 대해서도, 유사성 평가 지표 R 을 산출할 때마다 실행하도록 설명했지만, 모든 반복 처리가 완료된 후, 유사성 평가 지표 R 의 평가 처리를 실시하도록 해도 된다. 또, S8 의 데이터 영역 1 의 폭 방향 위치의 변경은, 1 차원 데이터를 대상으로 하는 경우에는 실시하지 않아도 된다.

[0091] 결함 판정 장치 (8) 에서 결함부의 신호를 동기 가산하는 경우에는, 결함 후보 위치와 주기를 사전의 단계에서 명확하게 알고 있기 때문에, 이 동기 가산은 영역 1 과 동일한 (내지는 동일한 정도) 크기의 범위를 실시하면 충분하고, 가장 간단하게는 결함 후보를 포함하는 것으로 판정된 시점에서의 영역 1, 2, 3, 4, 5 의 결함부의 신호를 추가함으로써 실현할 수 있다. 동기 가산값 $y(i, j)$ 를 계산하는 식을 식 4 에 나타낸다. 이 $y(i, j)$ 의 값이 규정값을 초과한 경우에 결함으로 판정한다. 이와 같이 함으로써 계산 방식을 간단한 것으로 할 수 있고, 특히 좁은 영역 사이에서의 가산을 실시하는 것뿐이므로, 계산량을 대폭 절약할 수 있다. 또, S5 에서 주기성 결함 없음으로 판정된 데이터에 기초하여, 온라인으로 노이즈 레벨 N 을 결정하고, $y(i, j)$ 가, 예를 들어 $3N$ 을 초과한 경우에 결함으로 판정해도 된다 (요컨대, $S/N > 3$ 인 경우에 결함으로 한다). 또한, N 은, 소정 영역의 최대값이나 평균 제곱 오차에 의해 결정하면 된다.

[0092]
$$y(i, j) = x(i, j) + x(i, j + d) + x(i, j + 2d) + x(i, j + 3d) + x(i, j + 4d) \quad \dots \text{(식 4)}$$

[0093] 또, 폭 방향으로 퍼진 결함인 경우에는, 동일한 압연 방향 위치에 대해 폭 방향으로 적산하면, S/N 이 향상되므로 좋다.

[0094] 이상과 같이, 본 실시형태 1 에 있어서는, 상기와 같은 처리를 하도록 함으로써, 결함의 발생 주기가 변동해도 결함을 용이하게 검출할 수 있고, 또한 다양한 직경의 롤에서 발생하는 경미한 주기성 결함으로부터의 경미한 신호라도 고정밀도로 검출할 수 있다.

[0095] 실시형태 2.

[0096] 통상, 결함계에서는 결함의 무해부와 판별 정밀도를 높이기 위해, 결함 신호의 분해능을 높게 하는 것이 일반적이다. 본 발명에서는, 실시형태 1 에서 설명한 바와 같이, 먼저 제 1 단계로서 측정 신호에 주기성 성분이 포함되어 있는지의 여부를 판정 처리 (즉, 주기성 결함 후보의 검출) 를 실시하고, 주기성 성분이 포함되어 있는 경우 (주기성 결함 후보가 검출된 경우) 에는, 제 2 단계로서 주거나 발생 위치의 정보를 이용하여 결함 유해도를 판정하는 결함 신호를 강조 처리하여, 결함의 종류나 정도 등의 판정을 실시한다.

[0097] 제 1 단계 : 주기성 결함 후보 검출 (주기성 성분의 유무 판정)

[0098] 주기성 평가 (상관 연산에 의한 유사성 평가의 반복 : 상기 서술한 단계 S1 ~ S8) 에 의한 결함 후보 (단계 S5) 의 검출

[0099] 제 2 단계 : 결함 유해도 판정

- [0100] 결함 판정 (단계 S9) 을 실시하여, 결함인지 무해한지를 판정
- [0101] 이와 같이, 2 단계로 처리를 실시하고, 제 2 단계에서 최종적인 결함 판정을 실시하므로, 제 1 단계의 주기성 평가에서는 연산 상의 분해능을 낮춰, 러프한 평가이어 (과검 (過檢) 이 많아져) 도 된다. 요컨대, 이로써, 연산 처리의 부하를 저감시켜 처리 속도를 고속화하는 것이 가능해진다.
- [0102] 이하에, 그 처리 방법을 설명한다. 또한, 본 실시형태 2 는, 실시형태 1 에서 설명한 도 3 의 처리 순서와 동일하고, S1 의 전단 (前段) 에 실시하는 처리이므로, 실시형태 1 과 중복되는 부분의 설명은 생략한다.
- [0103] 도 5 는, 본 실시형태 2 에 관련된 주기 판정 장치 (7) 및 결함 판정 장치 (8) 의 처리 과정을 나타낸 플로우 차트이다.
- [0104] (S11) 샘플링 피치로서 검출 대상 결함의 최소 길이를 검출 가능하게 하는 값으로서 측정하고, 측정 데이터를 입력한다.
- [0105] (S12) 측정 데이터는, 도 2 의 데이터 기억 영역 (71) 에 기억함과 함께, 결함 유해도 판정을 위해 준비한, 일단 도시되지 않은 결함 유해도 판정용 데이터 보존 영역 (데이터 메모리 등) 에 그대로 기억한다.
- [0106] (S13) 입력한 데이터 (측정한 신호) 의 압연 방향에 대해, LPF (로우 패스 필터; 이동 평균이어도 된다) 를 사용한다. 이것은, 그 후 주기성 연산을 실시할 때, 데이터를 추출하므로, 결함 위치와 샘플링 위치가 어긋나도 결함을 검출할 수 있도록 하기 위해서이다. 요컨대, 측정 데이터 그대로, 추출 처리를 실시하면 결함 신호가 남지 않을 가능성이 있는 것을 고려하여, 추출 처리에서 남겨진 데이터에 결함 신호의 정보를 남겨 두기 때문이다.
- [0107] (S14) S13 에서 작성한 데이터를 계측한 샘플링 피치의 수 회에 1 회 (예를 들어, 4 회에 1 회, 2 ~ 8 회에 1 회이어도 된다) 의 비율로 신호를 추출한 주기성 평가용 데이터를 작성한다.
- [0108] (S15) S14 에서 작성한 주기성 평가용 데이터를, 도 2 의 데이터 기억 영역 (71) 에 기억한다.
- [0109] (S16) 이후는, 실시형태 1 과 동일하게 단계 S1 ~ S8 까지의 처리를 실시한다. 또한, (S15) 에서, 주기성 평가용 데이터를 기억하기 위해 주기성 평가용 데이터 보존 영역이, 데이터 기억 영역 (71) 과는 별도로 있고, 그것에 주기성 평가용 데이터를 기억시킨 경우에는, 이 연산은 데이터 영역 (71) 의 데이터 대신에, 주기성 평가용 데이터 보존 영역에 기억된 데이터를 이용하여 실시하게 된다.
- [0110] (S17) 주기성이 있는 것으로 판정된 경우에는, 결함 유해도 판정용 데이터 보존 영역의 데이터를 이용하여 실시 형태 1 에서 설명한 S9 의 처리를 실시하여 결함 판정을 실시한다.
- [0111] 또한, 2 차원 데이터인 경우에는, 압연 방향의 동일한 위치에서 폭 방향으로 연속하여 추출하도록 하면 (폭 방향으로 줄무늬 모양으로 데이터를 사용한다), 타이밍에 따라서는, 도 6a 와 같이 결함이 쉽게 누락되게 된다. 이와 같은 상태를 피하기 위해서는, 검출 대상으로 하는 결함의 최소 결함폭을 w 로 하면, 측정 신호의 폭 방향에 있어서의 공간 분해능을, 예를 들어 $w/2$ 로 하면, 적어도 폭 방향 2 개의 데이터 위치에서 결함 신호가 얻어진다. $w/4$ 로 하면, 폭 방향 4 개의 데이터 위치에서 결함 신호가 얻어진다.
- [0112] 이와 같이, 폭 방향으로 복수의 데이터 위치로부터 결함 신호가 얻어지도록 한 후, 예를 들어 도 6b 와 같이, 폭 방향으로 압연 방향 위치를 어긋나게 하여 추출함으로써, 결함의 누락이 억제된다.
- [0113] 또, 도 6c 와 같이 어긋나게 하는 양은 반드시 데이터 위치 1 개분이 아니어도 된다.
- [0114] 실시형태 3.
- [0115] 도 1 의 실시형태 1 의 계측에서는, 길이 방향으로 여자하도록 했지만, 도 7 과 같이, 연직 방향의 자장을 감지하는 센서를 폭 방향으로 배열하고, 폭 방향으로 자화하도록 해도 된다. 이 경우, 결함에 의해 발생하는 자속은 폭 방향으로 정부 (正負) 의 분포를 가지게 된다 (도 8). 주기성을 평가할 때, 실시형태 1, 2 에서는, 2 차원 영역 사이의 유사성을 평가하고 있는데, 이와 같이 폭 방향 자화에 의해 결함 신호에 특징적인 정부의 피크를 갖게 함으로써, 도 6c 와 같은 데이터 샘플링을 실시했다고 해도 미검출이 되는 확률을 저감시킬 수 있어, 주기성 평가의 정밀도를 높일 수 있다. 이로써, 상기와 같이 추출해도 주기성을 평가할 수 있게 되었다.
- [0116] 또한, 결함 신호가 폭 방향으로 복수의 자기 센서에 걸쳐 발생하는 것에 주목하여, 2 차원 영역과 소영역을 선택하고, 연산을 실시하고, 2 차원적인 특징을 갖는 결함 신호의 2 차원 영역에서의 유사성을 평가함으로써, 주

기성을 평가하는 데에 있어서 보다 양호한 정밀도로 평가를 실시할 수 있게 된다.

[0117] 실시예

[0118] 다음으로, 상기 실시형태 1의 주기성 결함 검출 장치의 적용예에 대해 설명한다.

[0119] 도 9는, 강판 제조 라인에서 발생한 롤성 미소 요철 결함의 탐상예이다. 도면 중에 화살표로 결함 위치를 나타내는데, 결함 신호는 노이즈 신호와 비교하여 차이가 작아 이대로는 자동 검출은 곤란하다. 이 신호에 일반적인 신호 처리를 실시한 예로서 자기 상관 연산을 실시한 결과를 도 10에 나타낸다. 원래의 신호로, 결함 신호와 노이즈 신호의 차이가 작아 자기 상관 연산을 실시해도 결함의 주기(1670 mm)를 검지할 수는 없다.

[0120] 도 11 및 도 12는, 상기 실시형태 1의 신호 처리를 실시한 결과이다.

[0121] 도 11은, 제 1 소영역의 크기로서 폭 방향 8 mm, 압연 방향 50 mm의 영역을 취하고, 이 영역 1 세트에 대해 상관값을 계산하여 유사성 평가 지수로 한 것이다. 도 11에서는, 결함의 주기인 1670 mm의 위치(화살표로 나타낸다)가 다른 주기보다 유사성 평가 지수 R의 값이 커져 있으므로, 요컨대 주기성이 강하여(다른 주기와 비교하여 1.5 배 정도 유사성 평가 지수 R의 값이 크고, 주기성이 강하다) 주기성 결함이 존재하는 것을 알 수 있다. 예를 들어 도 11에서는, 임계값을 $R = 1.5$ 로 설정함으로써, 주기성 결함을 변별할 수 있다.

[0122] 도 12는, 영역의 크기는 도 6과 동일하고, 영역의 조합을 4 세트 취하여 상관값을 계산하고 서로 더해 유사성 평가 지수로 한 것이다. 도 12에서는, 다른 주기보다 더욱 유사성 평가 지수 R의 값이 크고 주기성이 높아(다른 주기와 비교하여 4 ~ 5 배 유사성 평가 지수 R이 크고 주기성이 강하다) 주기성 결함이 존재하는 것을 확실히 알 수 있다. 예를 들어 도 12에서는, 임계값을 $R = 2.5$ 로 설정함으로써, 주기성 결함의 변별 정밀도를 보다 향상시키는 것이 가능하게 되었다. 이와 같이 유사성 평가 지수를 이용하여 변별 임계값을 설정함으로써, 결함 판정이 가능해진다.

[0123] 이와 같이, 유사성을 평가하기 위해 4 세트의 영역 사이에서 상관값을 구하여 서로 더함으로써 결함의 주기성을 보다 확실히 검지할 수 있는데, 2개의 영역 사이의 상관값을 유사성의 지표로 해도 주기성을 얻는 것은 가능하다. 상관값을 구하는 영역의 세트의 수를 늘릴수록 유사성 평가 결과, 즉 얻어진 주기의 신뢰성이 향상되는데, 그 반면 계산량이 팽대해진다. 결과의 신뢰성과 계산량의 관계로부터 3 세트에서 5 세트 정도가 적당하고, 상기 4 세트가 최적이다.

[0124] 또한, 상기의 식(3)의 예에서는, 4 세트의 영역 사이에서의 상관값을 가산하여 유사성 평가 지수로 했지만, 곱셈하고, 가중시켜 서로 더하는 등의 다른 수법에 의해도 상관없다.

[0125] 또, 상기 예에서는 상관값을 구하는 영역은 서로 이웃하는 2 세트로 하고 있지만, 이것은, 피검체의 주행에 있어서 폭 방향으로 어긋나는(편차) 영향을 가능한 한 작게 하기 위해 중요하다. 특히, 철강 라인에서는, 주행시에 사행으로 불리는 폭 방향의 편차가 있기 때문에 이 계산 방식에 의한 효과가 크다. 단, 주행시의 편차가 작은 피검체의 경우에는, 반드시 서로 이웃하는 2 세트가 아니어도 된다. 예를 들어, 최초의 기준 위치와, 2 영역째, 3 영역째, 4 영역째 …… 각각의 상관을 계산함으로써, 심플한 계산 방법으로 하는 것이 가능하다.

[0126] 또, 상기 예에서는, 유사성 평가 방법으로서 상관값을 사용하는 방식의 예를 나타냈지만, 차분 적산 처리 등 다른 유사성을 평가하는 방식이어도 된다.

[0127] 다음으로, 제 1 소영역의 크기를 바꾼 결과를 도 13 및 도 14에 나타낸다.

[0128] 도 13은 도 11에 대해, 도 14는 도 12에 대해, 제 1 소영역을 압연 방향 100 mm의 크기로 하고, 그 이외의 조건은 동일하게 하여 계산한 것이다. 이 측정 데이터에서는, 압연 방향 100 mm의 크기로 한 것이, 유사성 평가값이 나빠지고, 영역의 크기에 따라 유사성 평가값이 변화되는 것을 판독할 수 있다. 이 이유는, 결함 사이즈에 비해 제 1 소영역을 지나치게 크게 하면, 결함 신호의 데이터수에 대해 노이즈 신호의 데이터수가 증가하여, 노이즈 신호의 영향이 커지므로, 상관값의 S/N이 나빠진다.

[0129] 그런데, 철강 라인에 있어서의 롤성 결함 중에서도, 강판 표면의 조도($R_a = 0.5 \sim 2 \mu m$) 중에서 완만한 윤곽(곡률 반경 $R \geq 10 mm$)을 갖는 요철량 $5 \mu m$ 이하인데, 면적은 $10 mm^2$ 이상인 형상을 갖는 결함은, 미소 요철 결함으로 불리며 특히 검출이 곤란한 결함이다. 이 결함은, 발명자들이 연속 소둔 라인에서 발생한 결함 크기의 분포를 조사한 결과, 도 15a와 도 15b에 나타내는 바와 같이, 폭 방향의 길이 2 mm에서 8 mm 정도, 압

연 방향의 길이 3 mm 에서 50 mm 정도가 주된 것이었다. 이 미소 요철 결함을 측정 대상으로 하는 경우에는, 상관값을 계산하는 영역의 크기는, 이 결함의 사이즈의 최대에 상당하는 크기에 상당하는, $h = 8 \text{ mm}$, $l = 50 \text{ mm}$ 정도로 하는 것이 적당하다. 몇 개의 크기를 바꾼 샘플 (최소급 사이즈의 결함 (길이 3 mm $\times$ 폭 3 mm), 최대급 사이즈의 결함 (길이 50 mm $\times$ 폭 10 mm)) 에 대해 상관값을 계산하는 영역 (제 1 소영역, 제 2 소영역) 의 창틀의 폭 (h), 길이 (l) 를 바꾸어 (식 3) 의 유사성 평가 지수 R 을 계산하였다. 대표적인 결과 도 16a 와 도 16b 에 나타낸다.

[0130] 도 16a 와 도 16b 의 세로축은 결함부와 건전부에서의 평가 지수의 값의 비 (S/N 으로 호칭) 이다.

[0131] 이 데이터로부터, 소영역은 길이 : 10 mm $\sim$ 100 mm, 폭 : 1 mm $\sim$ 30 mm ($S/N \geq 2$) 가 적용 범위이고, 길이 : 20 mm $\sim$ 80 mm, 폭 : 2 mm $\sim$ 20 mm ($S/N \geq 2.5$) 가 바람직한 범위이고, 길이 : 25 mm $\sim$ 62 mm, 폭 : 7 mm $\sim$ 11 mm ($S/N \geq 3$) 가 보다 바람직한 범위이다.

[0132] 상정되는 결함의 최대 폭, 길이에 대해 영역의 창틀의 폭, 길이를 각각 1/4 이상, 2 배 이하로 하면 S/N 이 2 이상이 되어 결함의 자동 검출에 대응 가능하고, 상정되는 결함의 최대 폭, 길이에 맞춰 영역의 창틀의 폭, 길이를 대체로 동일한 정도로 하면 S/N 이 3 이상이 되어 최적인 것을 알 수 있다.

[0133] 또, 도 17 에 나타내는 바와 같이 본 실시예의 자기 센서에서의 측정 신호는, 압연 방향으로 약 10 mm 정도의 퍼짐을 갖고 있기 때문에, 도 9 에서는 결함 사이즈의 상대비만큼 바람직한 범위에 큰 차이가 나타나지 않았다. 또, 바람직한 범위의 하한은 결함 최대 사이즈이면 되는데, 바람직한 범위의 상한은 이 측정 신호의 퍼짐이 기준이라고도 생각되므로, 바람직한 범위를 다른 표기를 하면, 결함 최대 사이즈의 1/4 이상, 또한, 신호의 최소 퍼짐의 10 배 이하이고, 보다 바람직하게는, 결함 최대 사이즈의 2/5 이상, 또한, 신호의 최소 퍼짐의 8 배 이하이고, 더욱 바람직하게는, 결함 최대 사이즈의 1/2 이상, 또한, 신호의 최소 퍼짐의 6 배 이하가 된다.

[0134] 또한, 상기 실시형태에서는 누설 자속 탐상의 예를 나타냈지만, 피검체의 성상을 평가하는 방법이면 반드시 누설 자속 탐상이 아니고 다른 방법이어도 되고, 통상적인 카메라를 사용한 표면 결함계, 적외광을 사용한 센서, 서모그래피, 초음파 센서, 와류 센서 등의 다른 결함을 검출하는 수단이어도 된다.

[0135] 또, 상기 특허문헌 3 의 기술은, 광학식의 결함 검사를 실시하고, 얻어진 신호의 건전부의 노이즈인 바탕 모양이 최종 압연 롤의 둘레 길이와 동일한 주기성을 갖는 것을 이용하고 있다. 그러나, 누설 자속 탐상에서는 건전부의 노이즈는, 표면의 요철뿐만 아니라, 압연시의 압하율, 온도 불균일 등의 미묘한 조건에 따라 발생하는 변형의 영향을 받으므로, 누설 자속 탐상에서는 건전부의 노이즈는 최종의 압연 롤과 동일한 주기를 갖는다고 할 수 없다. 이 때문에, 특히 누설 자속 탐상에서는 결함부의 주변 영역마다 유사성을 평가하는 것에 의한 효과가 크다.

[0136] 또, 누설 자속의 센서로는, 홀 소자, 코일, 자기 저항 소자, SQUID 등의 자기 센서를 사용할 수 있다. 또, 폭 방향으로 센서를 복수 개 배열하고 있지만, 1 개 내지는 복수 개의 센서를 트래버스시키는 방식이어도 된다. 또, 전체 폭을 탐상하고 있는데, 폭 방향의 일부 영역을 탐상하는 방식이어도 된다. 특히, 주기성 연속 결함이면, 폭 방향의 일부 영역을 어느 길이로 탐상하고, 폭 방향으로 위치를 바꾸어 반복 탐상하는 방식이어도 된다.

[0137] 여기서, 자화기 (3) 는 강판의 폭 방향으로 자속이 흐르도록 설치되어 있다. 또, 여기서는, 자화기와 자기 센서의 세트는 강판 (1) 을 사이에 두고 대향하여 설치되어 있지만, 동일한 측에 설치해도 된다.

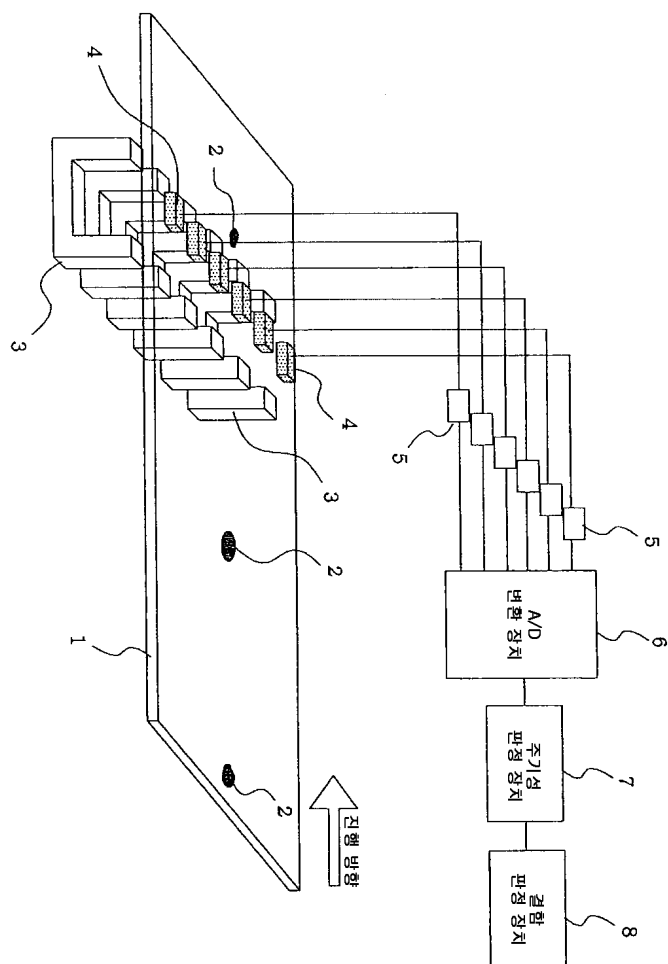
부호의 설명

- [0138] 1 : 강판
2 : 결함
3 : 자화기
4 : 자기 센서
5 : 신호 전처리 장치
6 : A/D 변환 장치

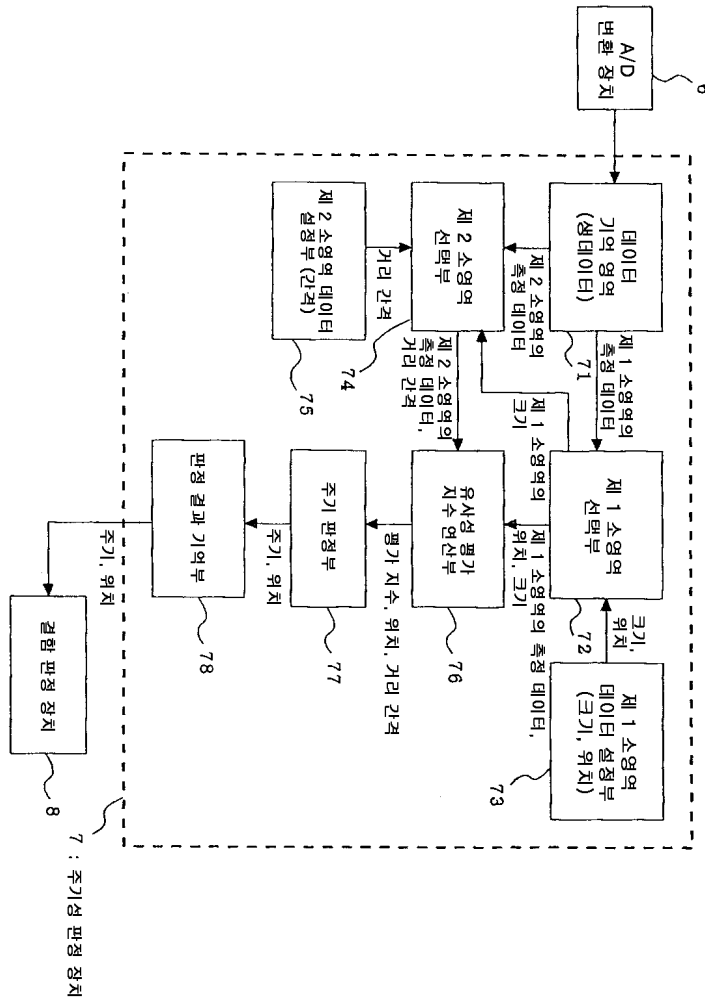
- 7 : 주기성 판정 장치
- 8 : 결합 판정 장치
- 71 : 데이터 기억 영역
- 72 : 제 1 소영역 선택
- 73 : 제 1 소영역 데이터 설정부
- 74 : 제 2 소영역 선택부
- 75 : 제 2 소영역 데이터 설정부
- 76 : 유사성 평가 지수 연산부
- 77 : 주기 판정부
- 78 : 판정 결과 기억부

도면

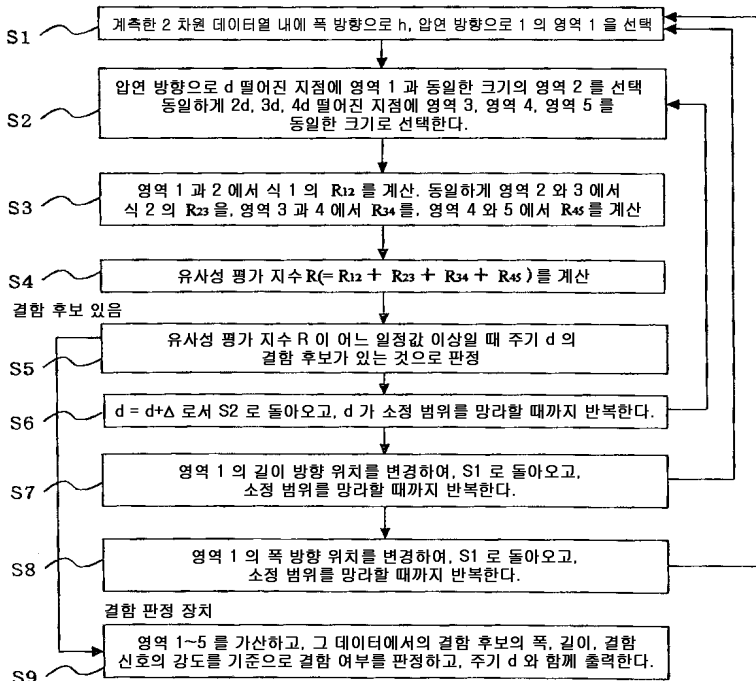
도면1



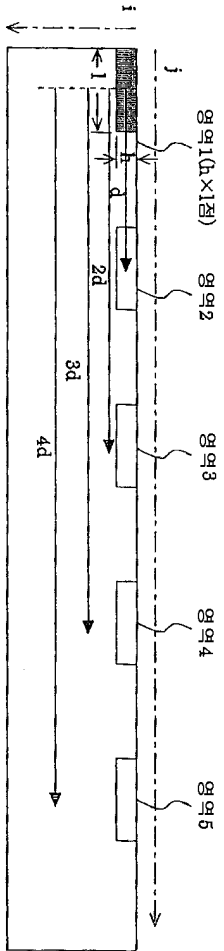
도면2



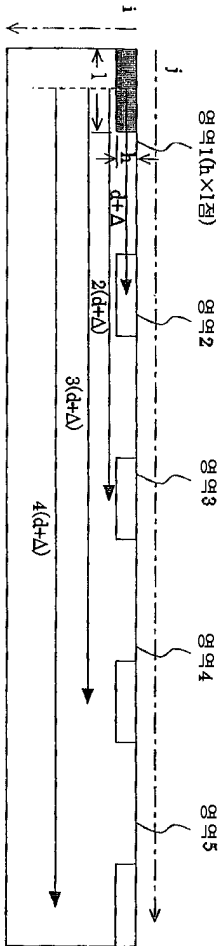
도면3



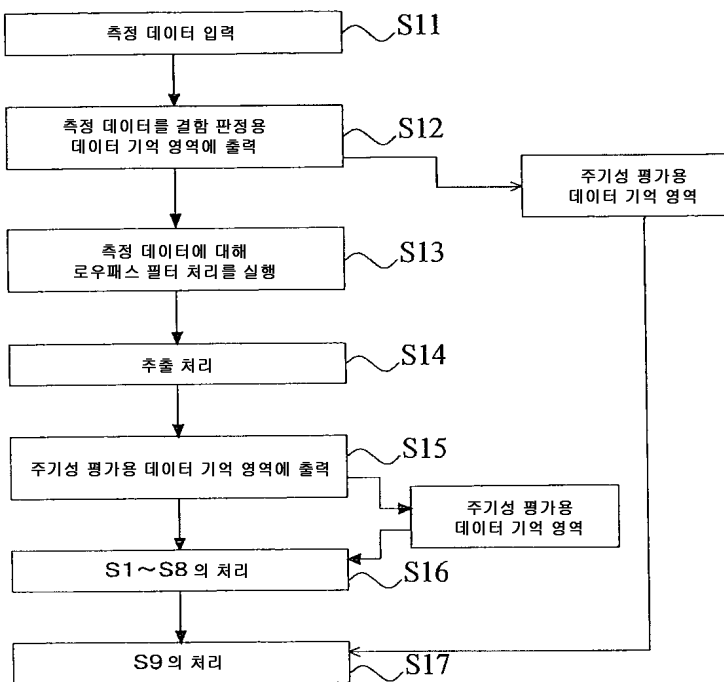
도면4a



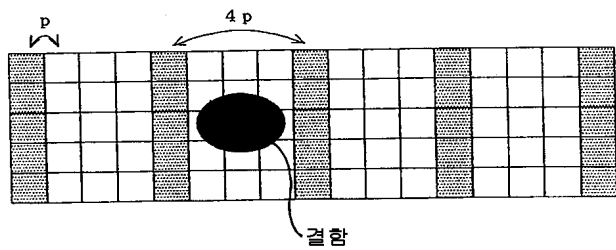
도면4b



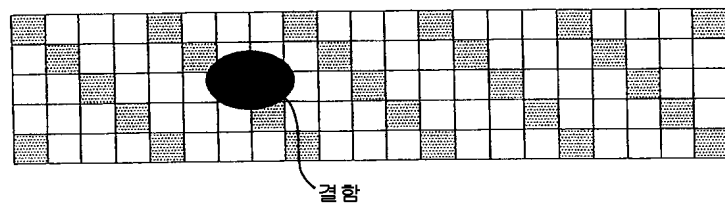
도면5



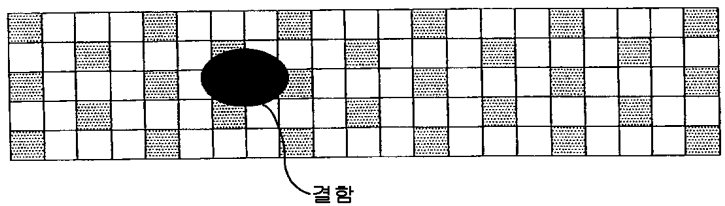
도면6a



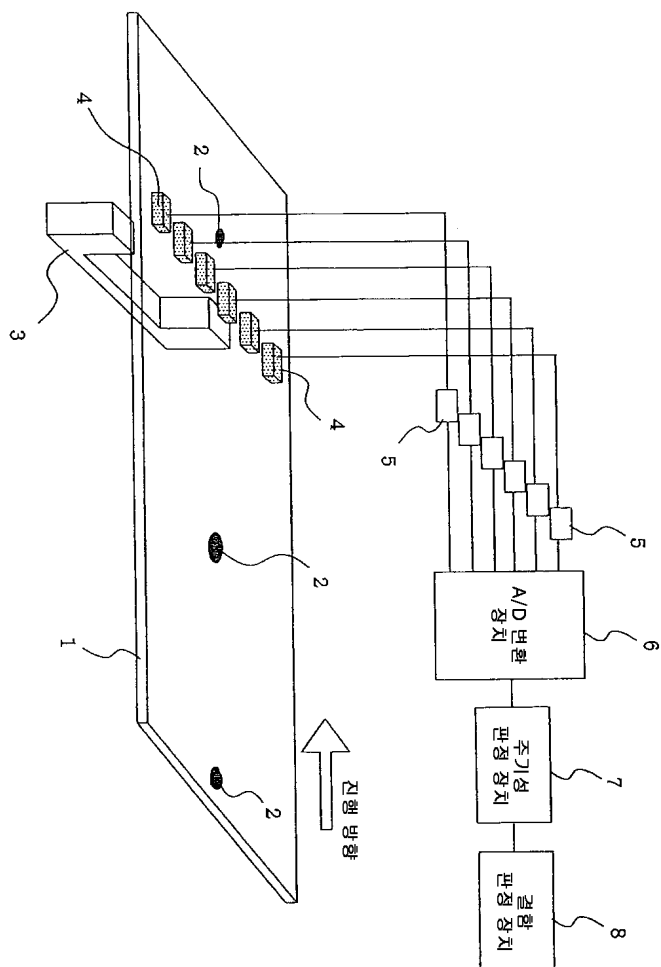
도면6b



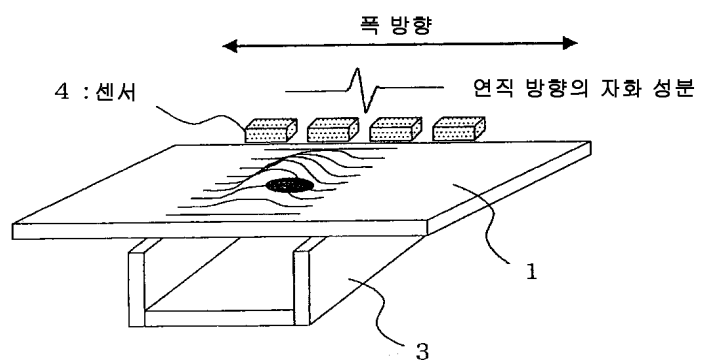
도면6c



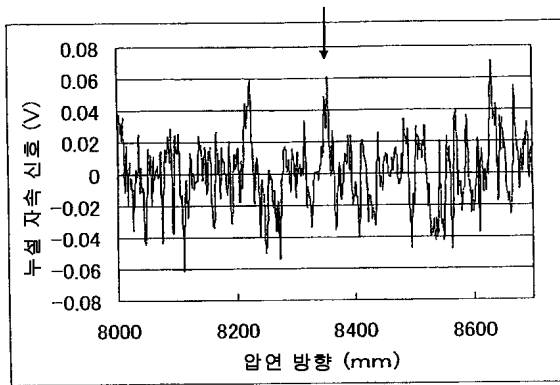
도면7



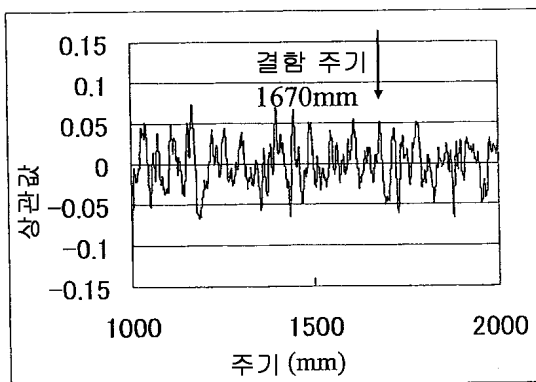
도면8



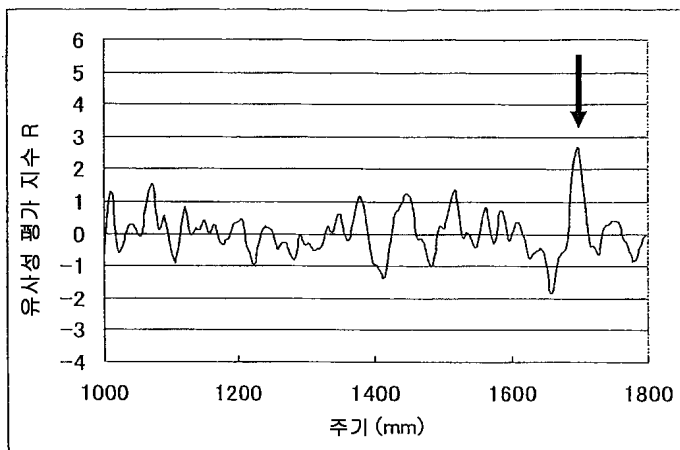
도면9



도면10

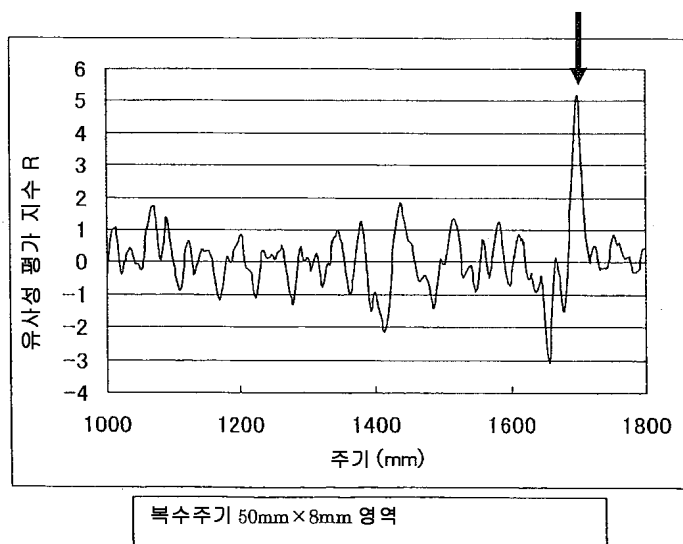


도면11

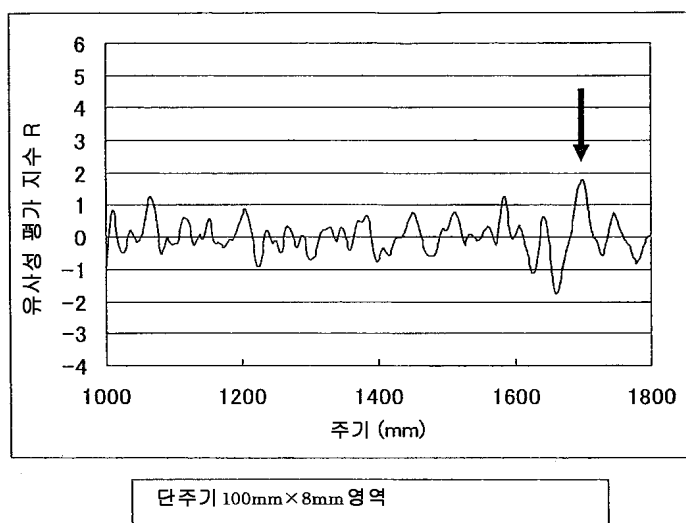


단주기 50mm×8mm 영역

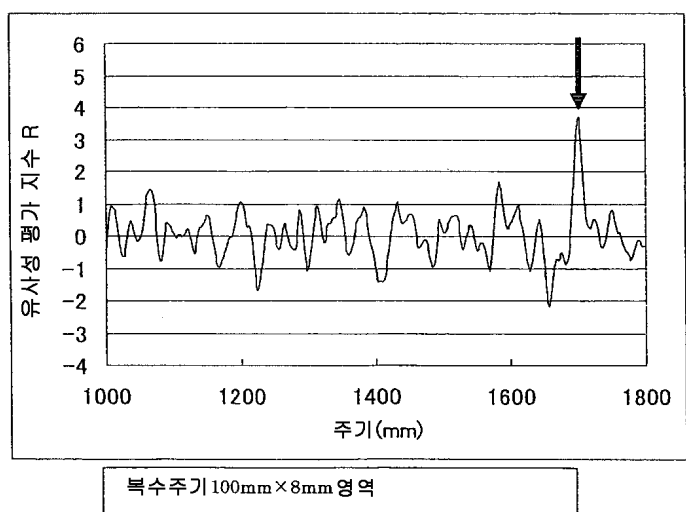
도면12



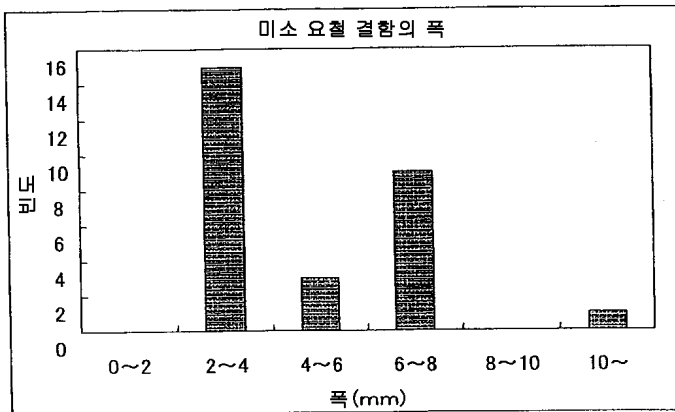
도면13



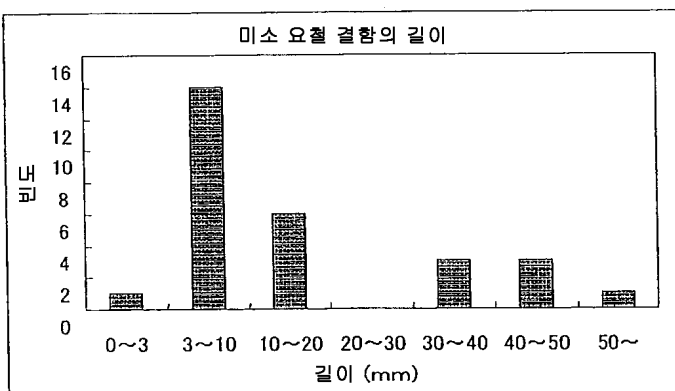
도면14



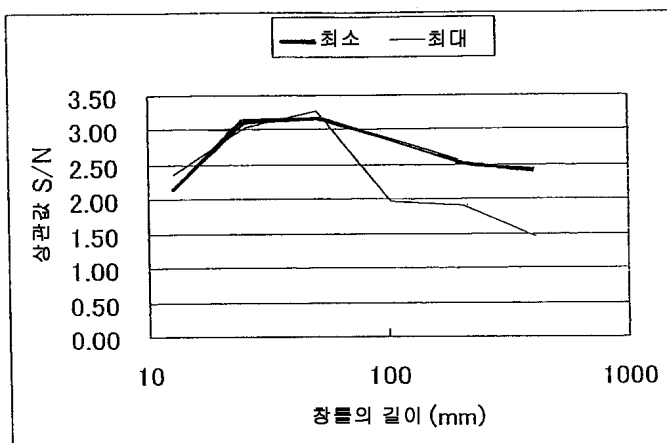
도면15a



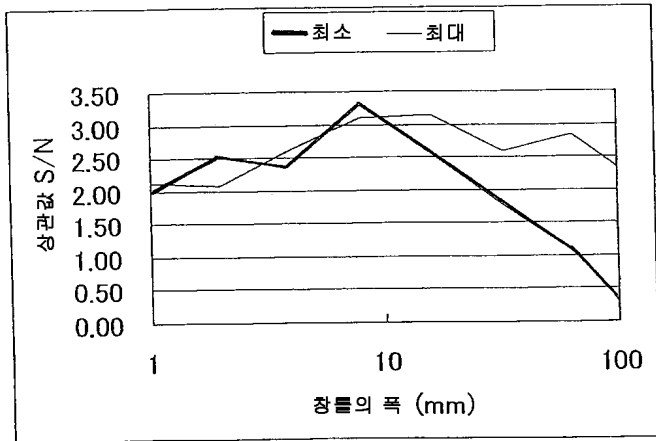
도면15b



도면16a

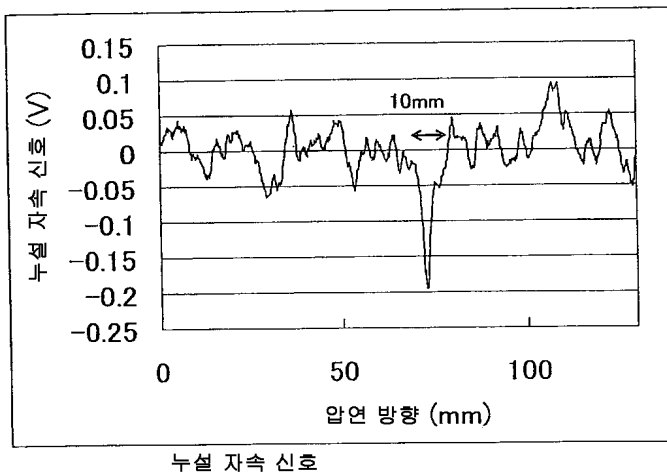


도면16b



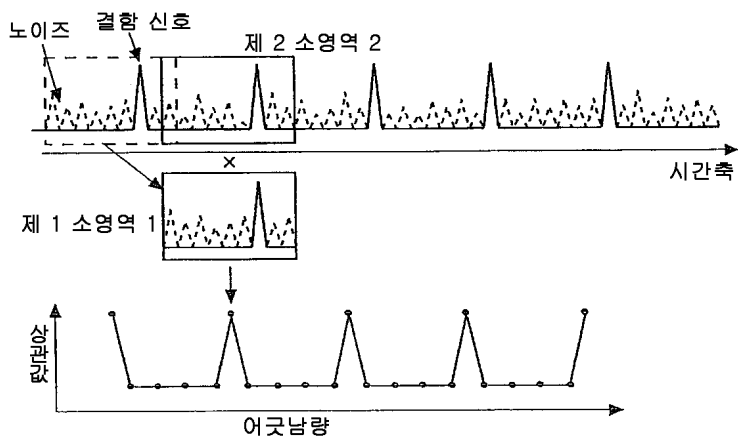
도면17

3×3mm의 결함의 탐상에

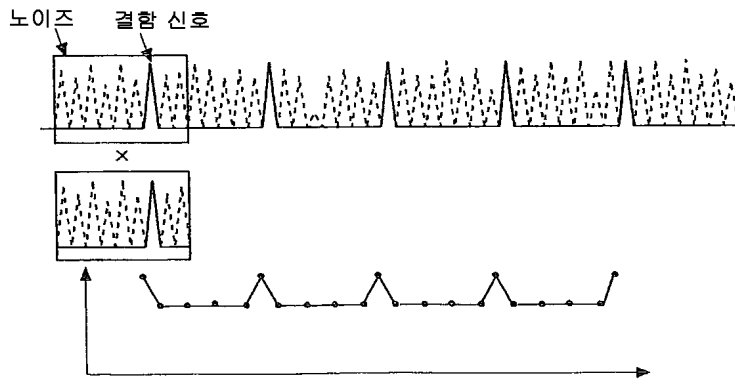


누설 자속 신호

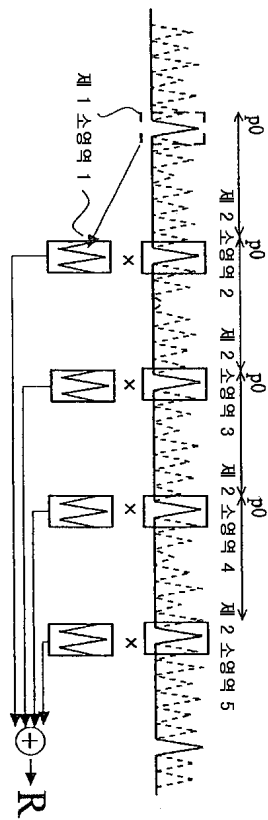
도면18



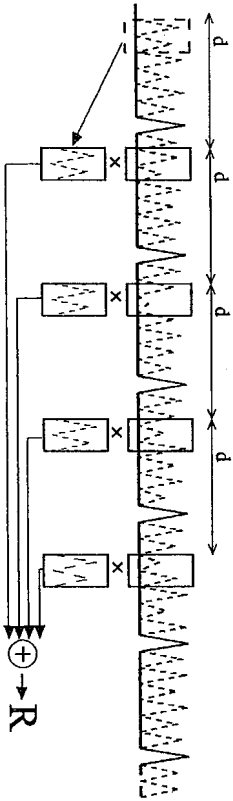
도면19



도면20a



도면20b



도면20c

