(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년05월29일
(11) 등록번호 10-1268783
(24) 등록일자 2013년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/82 (2006.01) *G01B 7/34* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7033820(분할)
(22) 출원일자(국제) 2008년08월20일
심사청구일자 2012년12월26일
(85) 번역문제출일자 2012년12월26일
(65) 공개번호 10-2013-0008093
(43) 공개일자 2013년01월21일
(62) 원출원 특허 10-2009-7024860
원출원일자(국제) 2008년08월20일
심사청구일자 2009년11월27일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2008/065221
(87) 국제공개번호 WO 2009/025384
국제공개일자 2009년02월26일
(30) 우선권주장
JP-P-2007-217180 2007년08월23일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2001296277 A
JP2005227133 A
전체 청구항 수 : 총 21 항

(73) 특허권자
제이에프이 스틸 가부시키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 히비야 고꾸사이 비루
(72) 발명자
코시하라 타카히로
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
카토 히로하루
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
나가무네 아키오
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
(74) 대리인
특허법인 원전

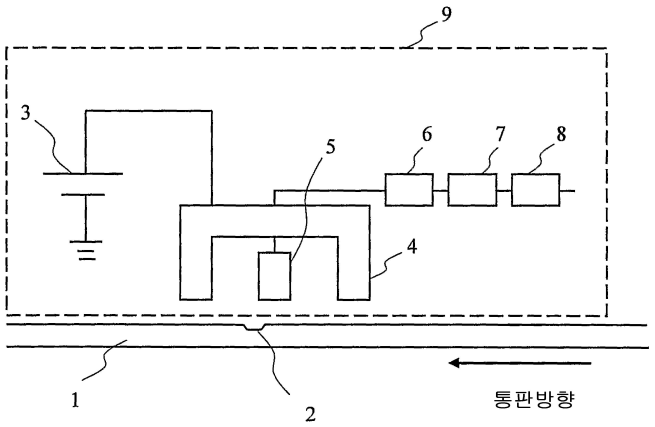
심사관 : 김상우

(54) 발명의 명칭 **자성금속의 요철표면결함의 검출방법 및 장치**

(57) 요 약

자성금속의 요철표면결함의 검출방법은, 0.5~6㎛의 요철표면결함의 변형에 기인하는 신호를 검지하는 것으로 이루어진다. 그 신호는 자속을 인가한 그 자성금속으로부터 누설하는 자속이다. 검출장치는, 자성금속을 자화하는 자화기와, 자성금속의 주행방향에 수직인 방향으로 복수 개 늘어선 자기센서를 갖고, 0.5~6㎛의 요철표면결함의 변형에 기인하는 신호를 검지한다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속에, 자화기로 그 자성금속의 자속밀도가 자기포화한 경우의 자속밀도의 75% 이상 95%미만이 되게 자속을 인가하여, 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 면적이 10㎟~1000㎟인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속 신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 2

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속에, 자화기로 그 자성금속의 자속밀도가 자기포화한 경우의 자속밀도의 75% 이상 95%미만이 되게 자속을 인가하여, 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 곡률반경이 10㎜이상인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속 신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 3

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속에, 자화기로 그 자성금속의 자속밀도가, 자기포화한 경우의 자속밀도의 75% 이상 95%미만인 조건과, 자기포화한 경우의 자속밀도의 95% 이상인 조건을 포함하는 복수의 조건을 조합시킨 형태로 자속의 인가를 행하여, 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 면적이 10㎟~1000㎟인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속 신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 4

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속에, 자화기로 그 자성금속의 자속밀도가, 자기포화한 경우의 자속밀도의 75% 이상 95%미만인 조건과, 자기포화한 경우의 자속밀도의 95% 이상인 조건을 포함하는 복수의 조건을 조합시킨 형태로 자속의 인가를 행하여, 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 곡률반경이 10㎜이상인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속 신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 5

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속에, 자화기로 그 자성금속에 강도가 4000A/m 이상 25000A/m 미만인 자장(磁場)을 인가하여, 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 면적이 10㎟~1000㎟인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속 신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 6

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속에, 자화기로 그 자성금속에 강도가 4000A/m 이상 25000A/m 미만인 자장(磁場)을 인가하여, 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 곡률반경이 10㎜이상인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속 신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 7

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속에, 자화기로 그 자성금속에 자장(磁場) 강도가 4000A/m 이상 25000A/m 미만인 경우와, 자장(磁場) 강도가 25000A/m 이상인 경우의 복수의 조건을 조합시킨 형태로 자장의 인가를 행하여, 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 면적이 10㎟~1000㎟인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속 신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 8

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속에, 자화기로 그 자성금속에 자장(磁場) 강도가 4000A/m 이상 25000A/m 미만인 경우와, 자장(磁場) 강도가 25000A/m 이상인 경우의 복수의 조건을 조합시킨 형태로 자장의 인가를 행하여, 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 곡률반경이 10㎜이상인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속 신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

그 자성금속의 두께가 0.4~2.3㎜인 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 10

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

그 자성금속의 두께t(㎜)에 대한 요철표면결함의 그 두께방향의 크기s(㎛)의 비 s/t가, 9.0~0.63인 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 11

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

그 자성금속과, 그 신호를 검출하는 검출장치와의 간격을 0.5~1.5㎜로 설정하여 행하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 12

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

그 신호가, 결함발생원인이 되는 롤보다 하류공정이고, 어닐링작용(annealing effect)이 있는 공정보다 상류공정에서 발생하는 그 요철표면결함의 변형에 기인하는 물리량인 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 13

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

그 신호가, 결함발생원인이 되는 롤보다 하류공정이고, 조질압연보다 뒤의 공정으로 발생하는 그 요철표면결함의 변형에 기인하는 물리량인 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

청구항 14

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속을 자화시키는 자화기와; 그 자성금속의 주행방향에 수직인 방향을 따라 배치되며, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속신호를 검지하는 복수개의 자기(磁氣)센서; 를 포함하며,

자화기로 그 자성금속의 자기포화한 경우의 자속밀도의 75% 이상 95%미만이 되는 자속을 인가하여, 그 자성금속에 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는, 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 면적이 10㎟~1000㎟인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는 자속신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

청구항 15

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속을 자화시키는 자화기와; 그 자성금속의 주행방향에 수직인 방향을 따라 배치되며, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속신호를 검지하는 복수개의 자기(磁氣)센서; 를 포함하며,

자화기로 그 자성금속의 자기포화한 경우의 자속밀도의 75% 이상 95%미만이 되는 자속을 인가하여, 그 자성금속에 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는, 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 곡률반경이 10㎜이상인 롤성 미소요철 표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는 자속신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

청구항 16

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속을 자화시키는 자화기와; 그 자성금속의 주행방향에 수직인 방향을 따라 배치되며, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속신호를 검지하는 복수개의 자기(磁氣)센서; 를 포함하며,

자화기로 그 자성금속의 자속밀도가, 자기포화한 경우의 자속밀도의 75% 이상 95%미만인 조건과, 자기포화한 경우의 자속밀도의 95% 이상인 조건을 포함하는 복수의 조건을 조합시킨 형태로 자속의 인가를 행하여, 그 자성금속에 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는, 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 면적이 10㎟~1000㎟인 롤성 미소요철표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는 자속신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

청구항 17

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속을 자화시키는 자화기와; 그 자성금속의 주행방향에 수직인 방향을 따라 배치되며, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속신호를 검지하는 복수개의 자기(磁氣)센서; 를 포함하며,

자화기로 그 자성금속의 자속밀도가, 자기포화한 경우의 자속밀도의 75% 이상 95%미만인 조건과, 자기포화한 경우의 자속밀도의 95% 이상인 조건을 포함하는 복수의 조건을 조합시킨 형태로 자속의 인가를 행하여, 그 자성금속에 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는, 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 곡률반경이 10㎜이상인 롤성 미소요철표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는 자속신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

청구항 18

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속을 자화시키는 자화기와; 그 자성금속의 주행방향에 수직인 방향을 따라 배치되며, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속신호를 검지하는 복수개의 자기(磁氣)센서; 를 포함하며,

자화기로 그 자성금속에 강도가 4000A/m 이상 25000A/m 미만인 자장(磁場)을 인가하여, 그 자성금속에 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는, 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 면적이 10㎟~1000㎟인 롤성 미소요철표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는 자속신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

청구항 19

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속을 자화시키는 자화기와; 그 자성금속의 주행방향에 수직인 방향을 따라 배치되며, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속신호를 검지하는 복수개의 자기(磁氣)센서; 를 포함하며,

자화기로 그 자성금속에 강도가 4000A/m 이상 25000A/m 미만인 자장(磁場)을 인가하여, 그 자성금속에 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는, 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 곡률반경이 10㎜이상인 롤성 미소요철표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는 자속신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

청구항 20

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속을 자화시키는 자화기와; 그 자성금속의 주행방향에 수직인 방향을 따라 배치되며, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속신호를 검지하는 복수개의 자기(磁氣)센서; 를 포함하며,

자화기로 그 자성금속에 자장(磁場) 강도가 4000A/m 이상 25000A/m 미만인 경우와, 자장(磁場) 강도가 25000A/m 이상인 경우의 복수의 조건을 조합시킨 형태로 자장의 인가를 행하여, 그 자성금속에 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는, 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 면적이 10㎟~1000㎟인 롤성 미소요철표면결함이 발생할 때 생기는 변형(strain)에 기인하는 자속신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

청구항 21

표면 조도 Ra=0.5~2㎛인 자성금속을 자화시키는 자화기와; 그 자성금속의 주행방향에 수직인 방향을 따라 배치되며, 그 자성금속으로부터 누설되는 자속신호를 검지하는 복수개의 자기(磁氣)센서; 를 포함하며,

자화기로 그 자성금속에 자장(磁場) 강도가 4000A/m 이상 25000A/m 미만인 경우와, 자장(磁場) 강도가 25000A/m 이상인 경우의 복수의 조건을 조합시킨 형태로 자장의 인가를 행하여, 그 자성금속에 롤로부터 흠이 전사된 때에 발생하는, 요철량(凹凸量)이 0.5~6㎛이고, 곡률반경이 10㎜이상인 롤성 미소요철표면결함이 발생할 때 생기

는 변형(strain)에 기인하는 자속신호를, 자기센서로 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 자성금속(ferromagnetic metal)의 요철표면결함(concavo-convex shape surface defect)의 검출방법 및 장치에 관한 것이며, 특히, 판두께 0.4㎜~2.3㎜의 강판의 Ra=0.5~2㎛의 조면(粗面)중에 요철량 0.5㎛이상 6㎛이하, 면적 10㎟이상의 요철표면결함을 검출하는 요철표면결함의 검출방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 자성금속, 특히, 박(薄)강판의 제조 프로세스에서는, 제조라인 내에 설치되어 있는 롤에 부착된 이물, 혹은 그 이물이 롤에 말려듦으로써 롤 자체에 생긴 요철이 강판에 전사(轉寫)되어 생긴 롤성(性)의 흠이 발생하는 경우가 있다.

[0003] 이들 롤성 결함 중에는, 강판표면의 조도(Ra=0.5~2㎛) 중에서 완만한 윤곽(곡률반경 R≥10㎜)을 갖는 요철량 5㎛이하이지만, 면적은 10㎟이상의 형상을 갖는 요철표면결함을 볼 수 있다. 이것을 이하 미소요철표면결함이라고 호칭한다. 도 4에, 이 미소요철표면결함의 단면의 모식도를 나타낸다. 이, 미소요철표면결함의 크기는 면적으로서는 10㎟~1000㎟정도이지만, 요철은 전술한 바와 같이 5㎛이하이며, 가장 작은 것으로는 1㎛전후, 로 표면조도와 같은 단위의 대단히 작은 것이다.

[0004] 대부분의 비교적 요철량이 큰 롤성 결함은 눈으로 확인이 가능하기 때문에 제조라인에서의 발견도 용이하지만, 이 미소요철표면결함은 요철이 강판의 표면조도와 같은 정도이기 때문에 광학적으로는 차이가 작고, 그대로의 상태로 관찰해도 발견할 수 없으며, 제조라인에서의 발견은 곤란하다. 그런데, 도장되어, 표면조도가 도료에 묻혀 표면이 매끈매끈해지면 명료하게 보이게 되어, 외관상 큰 문제가 된다. 그 때문에, 이 미소요철표면결함을 도장전에 발견하는 것은 품질관리상 중요한 문제이다.

[0005] 미소요철표면결함의 형태로서는, 전술의 롤흠과 같은 점형상의 흠, 선형상 마크, 비틀림마크(buckling mark)와 같이 강판의 길이방향으로 이어지는 흠도 있다.

[0006] 이들 미소요철표면결함은 롤에 생긴 요철이 강판에 전사되어 생기고, 일단 발생하면 롤을 교환하거나 프로세스를 개선하거나 할때까지 연속적으로 발생하기 때문에, 조기에 발견하여 대책을 강구하는 것은 수율향상의 점에서도 지극히 중요하다.

[0007] 이러한 미소요철표면결함을 찾기 위해서, 제철 프로세스의 각 검사라인에서는 모든 코일에 대해, 조업 중에 강판의 주행을 한번 정지하여 검사원이 지석연마(rasping with whetstone)을 행한 후에 목시(目視)검사를 하고 있다. 지석연마를 행하면, 요부(凹部)에 비교해서 철부(凸部)가 지석에 더 닿아 반사율(反射率)이 높아지므로, 요철부의 차이가 명확해져 눈으로 확인가능해진다. 이를 지석연마검사라고 호칭하고 있다.

[0008] 그렇지만, 이러한 방법은 검사라인을 정지해서 행하지 않으면 안되고, 또한 상당한 시간을 필요로 하므로 작업능률을 저하시킨다고 하는 문제가 있었다. 그에 대한 대책으로서, 요철이 수㎛정도로 완만한 윤곽을 갖는 요철성 결함을 자동검사하는 방법의 개발이 행하여져 왔다. 이러한, 자동표면검사장치의 예로서는, 특허문헌1, 특허문헌2, 특허문헌3 및 특허문헌4에 개시된 기술이 있다.

[0009] 그렇지만, 특허문헌1에 개시된 기술은, 경면(鏡面)을 대상으로 한 검사기술이며, 표면조도가 큰 대상에 적용하려고 하면, 흠의 요철에 의한 수속광(收束光)·발산광이, 표면조도에 의한 확산광에 섞여버리기 때문에, 흠를 검출할 수 없다고 하는 문제가 있다.

[0010] 또한, 특허문헌2에 개시되어 있는 기술은, 강판을 대상으로 한 것이지만, 역시 스텐레스 강판등과 같이 경면성이 높은 대상이 아니면 유효하지 않다. 또한, 조명광과 수직인 방향의 요철결함에 대하여는 유효하지만, 평행한 방향의 요철결함은 충분한 검출능을 얻을 수 없다고 하는 문제가 있다.

[0011] 또한, 특허문헌3에 개시되어 있는 기술은, 연마하기 전의 표면이 거친 웨이퍼를 대상으로 하고 있지만, 전체 광량에 의해 흠의 유무를 판정하고 있기 때문에, 흠에 의한 명확한 신호는 검출할 수 없다. 따라서, 검출정밀도가 낮다고 하는 문제가 있다.

[0012] 그 때문에, 특허문헌4에 개시된 기술이 개발되었지만, 이 기술은, 장치의 검출능은 대단히 높은 것이지만, 그 한편으로, 입사각으로서 90도 가까이의 큰 각도를 필요로 하기 때문에 장치의 실 조업라인에의 배치가 곤란하다. 광학계의 조정이 곤란하다고 하는 문제가 있었다.

[0013] 대상을 미소요철표면결함으로 한정하지 않고 널리 결함검출법에 대해 살펴보면, 자속(磁束)을 피검체에 인가(印加)하는 검출방법에 대해서는, 특허문헌5에 개시되어 있는, 누설자속탐상방법(漏洩磁束探傷方法)을 이용해서 내부개재물을 검출하는 기술이 있다. 그리고, 이 누설자속탐상방법에 의해도 표면형태변화에 기인해서 발생하는 누설자속신호(형상이 변화됨에 기인한 자속흐름의 변화나 흐트러짐에 의한 신호)에 의해, 표면결함을 검출함이 가능하다고 기재되어 있다.

[0014] 그러나, 이 누설자속탐상의 신호강도는, 표면결함의 형상변화량(요철량)에 대응하기 때문에, 자동검사의 대상으로 될 수 있는 표면결함의 형상변화량(요철량)에는 하한이 있고, 그 하한은 100㎛정도라고 당업자간에 생각되고 있다(비특허문헌1). 즉, 형상변화량이 100㎛정도이하의 표면결함을 확실하게 검출하는 것은 곤란하며, 100㎛정도이하의 형상변화에 기인해서 발생하는 신호는, 다른 목적(예를 들면, 내부개재물의 검출)의 탐상에서의 잡음원이라고 하는 정도의 신호로밖에 될 수 없다고 하는 인식이다.

[0015] 한편, 단순하게는 비교할 수 없지만, 내부개재물의 검출의 경우에도, 마찬가지로, 검출신호는 결함사이즈에 대응하므로, 검사대상의 강판판두께방향의 결함사이즈에도 하한이 존재하고, 그 하한은 10㎛정도인 것이 당업자간에는 생각되고 있다 (비특허문헌2 내지 5).

[0016] 부언하면, 누설자속탐상에서는, 판두께가 두꺼워지면 두께방향의 탐상범위가 넓어짐으로 인해 강판에 기인하는 지합노이즈(background noise)가 커지고, 강판의 자화(磁化)에 필요한 자화력이 커지며, 강판 표면의 평탄도가 나빠져 센서로 강판의 스캐닝(scanning)이 곤란해지는 등의 이유에 의해, 판두께가 두꺼울수록 탐상이 곤란해지는 경향이 있다. 앞의 비특허문헌에 나타난 개재물계(介在物計)로는, 캔용 용도의 엷은 강판을 대상으로 하고 있음을 고려하면, 본원이 대상으로 하는 강판판두께의 상한치 2.3㎜에서는, 내부개재물을 검출한다고해도, 그 검출가능한 결함 사이즈의 하한치는 10㎛(강판판두께방향의 크기)에 비해 훨씬 커지게 됨을 생각할 수 있다.

[0017] 또한, 비특허문헌6에는, 일본철강연맹의 철강기술정책위원회 압연정정(壓延精整)시스템 냉연조사WG가 1994년9월~1995년7월에 행한 지석검사 수준의 흠검출에 관한 탐색조사의 결과(지석검사 수준의 흠검출 시드(seed)기술에 관한 탐색조사결과보고서)가 개시되어 있지만, 본 발명의 대상이 되는 미소요철표면결함의 자동검출에 관해, 과거에 접근한 예는, 광을 이용한 검출방법이 주이며, 누설자속탐상방법에 의해 접근한 예는 눈에 띄지 않는다.

[0018] 이상으로부터, 누설자속탐상에 의해 본 발명이 검출대상으로 하는, 강판표면을 지석연마로서, 겨우 눈으로 확인할 수 있는 정도의 미소요철표면결함을 누설자속탐상으로 검출하고자 하는 것은, 누설자속탐상의 기술자에게는 완전히 상정밖이었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0019] (특허문헌 0001) JPS58-086408 A

(특허문헌 0002) JPH05-256630 A

(특허문헌 0003) JPH06-058743 A

(특허문헌 0004) JP 2000-298102 A

(특허문헌 0005) JPH08-160006 A

비특허문헌

[0020] (비특허문헌 0001) 일본철강협회 품질관리부회 NDI부문(기능전승기술검토회)편 2001년2월28일 철강제품의 누설자속탐상법

(비특허문헌 0002) CAMP-ISIJ Vol.10(1997)-289 박강판 고정밀도 개재물검사장치의 개발

(비특허문헌 0003) 일본 철강협회 생산기술부문 제131회 제어기술부회 치바2CGL 가우지(gouge)결함장치의 개

발 2004년6월

(비특허문헌 0004) CAMP-ISIJ Vol.7(1994)-1270 온라인 미소비금속개재물검사장치의 개발

(비특허문헌 0005) 카와사키제철 기보 31 1999 4.211-215 박강판제조에 있어서의 내부품질의 온라인 계측 및 검사기술

(비특허문헌 0006) 철강연맹 강기술정책위원회 압연정정시스템 냉연조사WG 1995년7월 지석검사 수준의 흠검출 시드기술에 관한 탐색조사결과보고서

발명의 내용

해결하려는 과제

[0021] 본 발명은, 표면조도가 Ra=0.5~2㎛정도인 조도의 피검사대상물에서 통상 눈으로 확인이 곤란하고, 지석연마검사에 의해 검출되는, 자동검출이 곤란한 요철이 수㎛정도의 요철결함을 확실하게 검출할 수 있는 실용적인 요철표면결함의 검출방법 및 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0022] 본 발명은, 이상의 지견에 의거하여 안출된 것이며, 그 요지는 이하와 같다.

[0023] [1] 0.5~6㎛의 요철표면결함의 변형(strain)에 기인하는 신호를 검지(檢知)하는 자성금속의 요철표면결함의 검출방법.

[0024] [2] 그 자성금속의 두께가 0.4~2.3㎜인 [1]에 기재된 검출방법.

[0025] [3] 그 자성금속의 두께 t(㎜)에 대한 그 요철표면결함의 그 두께방향의 크기 s(㎛)의 비 s/t가, 9.0~0.63인 [1]에 기재된 검출방법.

[0026] [4] 그 신호가, 자속을 인가한 그 자성금속으로부터 누설하는 자속인 [1]에 기재된 검출방법.

[0027] [5] 그 자속을 인가한 그 자성금속의 자속밀도가, 자기포화한 경우의 자속밀도의 75%이상 95%미만인 [4]에 기재된 검출방법.

[0028] [6] 그 검지를, 그 자속을 인가한 그 자성금속의 자속밀도가, 자기포화한 경우의 자속밀도의 75%이상 95%미만인 조건과, 자기포화한 경우의 자속밀도의 95%이상인 조건을 포함하는 복수의 조건을 조합시켜 행하는 [4]에 기재된 검출방법.

[0029] [7] 그 자성금속에 인가하는 자장(磁場)의 강도가 4000A/m이상 25000A/m미만인 [4]에 기재된 검출방법.

[0030] [8] 그 검지를, 그 자성금속에 인가하는 자장의 강도가, 4000A/m이상 25000A/m미만인 경우와, 25000A/m이상인 경우를 조합시켜 행하는 [4]에 기재된 검출방법.

[0031] [9] 그 자성금속과, 그 신호를 검지하는 검출장치와의 간격을 0.5~1.5㎜로 설정해서 행하는 [1]에 기재된 검출방법.

[0032] [10] 그 신호가, 결함발생원인으로 되는 롤보다 하류(下流)공정이고, 어닐링(annealing)작용이 있는 공정보다 상류공정에서 발생하는 그 요철표면결함의 변형에 기인하는 물리량인 [1]~[9] 중 어느 하나에 기재된 검출방법.

[0033] [11] 그 신호가, 결함발생원인이 되는 롤보다 하류의 공정이고, 조질(調質)압연보다 뒤의 공정에서 발생하는 그 요철표면결함의 변형에 기인하는 물리량인 [1]~[9] 중 어느 하나에 기재된 검출방법.

[0034] [12] 자성금속 피검체(被檢體)의 요철량 0.5㎛이상 6㎛이하의 미소요철표면결함을 검출하는 미소요철표면결함의 검출방법이며, 상기 피검체의 결함부의 변형에 기인하는 신호를 검지함으로써 상기 표면결함을 검출하는 것을 특징으로 하는 미소요철표면결함의 검출방법.

[0035] [13] [1]~[9] 중 어느 하나에 기재된 검출방법을 사용한 자성금속의 제조방법.

[0036] [14] [10]에 기재된 검출방법을 사용한 자성금속의 제조방법.

[0037] [15] [11]에 기재된 검출방법을 사용한 자성금속의 제조방법.

[0038] [16] 자성금속 피검체의 요철량 0.5㎛이상 6㎛이하의 미소요철표면결함을 검출하는 미소요철표면결함의 검출장치이며, 상기 피검체의 결함부의 변형에 기인하는 신호를 검지함으로써 상기 표면결함을 검출하는 것을 특징으로 하는 미소요철표면결함의 검출장치.

[0039] [17] 자성금속을 자화하는 자화기(磁化器)와, 자성금속의 주행방향에 수직인 방향으로 복수개 늘어선 자기(磁氣)센서에 의해, 0.5~6㎛의 요철표면결함의 변형에 기인하는 신호를 검지하는 자성금속의 요철표면결함의 검출장치.

발명의 효과

[0040] 본 발명은, 표면조도가 거친 피검사 대상물에 있어서 통상 눈으로 확인이 곤란하고, 지석연마검사에 의해 검출되는 자동검출이 곤란한, 요철이 수㎛정도로 완만한 윤곽을 갖는 미소요철표면결함을 확실하게 검출할 수 있게 되었다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1은 본 발명의 실시예에 의한 장치 구성예를 나타내는 도면이다.

도 2(a)~도 2(d)는 어닐링 전후에서의 누설자속탐상결과, 및 형상계측결과의 일 예를 나타낸 도면이다.

도 3은 변형과 누설자속의 관계를 나타내는 도면이다.

도 4(a)~(b)는 요철표면결함의 단면형상을 나타내는 모식도이다.

도 5는 강(强)자화조건과 약(弱)자화조건의 비교를 나타내는 도면이다.

도 6은 자장의 강도와 신호 수준, S/N의 관계를 나타내는 도면이다.

도 7은 C%가 상이한 3개의 강철에서의 B-H커브를 나타내는 도면이다.

도 8은 냉연강판의 제조공정예의 모식도이다.

도 9는 리프트오프와 S/N의 관계예1을 나타내는 도면이다.

도 10은 리프트오프와 S/N의 관계예2를 나타내는 도면이다.

도 11은 작은 또는 큰 결함측정의 양상을 모식적으로 나타내는 도면이다.

도 12(a)~(b)는 본 발명의 평가대상으로 사용한 결함 샘플의 형태를 나타내는 도면이다.

도 13은 도 12(a)의 결함의 두께방향의 크기에 대한, 누설자속신호의 S/N의 관계를 나타내는 도면이다.

도 14는 결함의 두께방향의 크기와 측정대상강판의 판두께의 관계를 나타내는 도면이다.

도 15는 도 14의 세로축을 0~10㎛, 가로축을 0~1.5㎜의 범위로 확대한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 본 발명자들은, 본 발명의 대상이 되는, 롤에 의해 생기는 미소요철표면결함(롤성 미소요철표면결함)을 계측하기 위해, 먼저, 이들의 복수 매의 결함에 대하여 X선 회절측정을 행하고, 그 물리성상을 해석하였다. 그 결과, 이들의 롤성 미소요철표면결함은, 그 발생과정에서, 롤로부터 흠이 전사된 때에 생긴 것으로 생각되는 변형이 존재함을 확인했다.

[0043] 거기서, 발명자들은, 형상기인의 신호만으로는 충분히 검출할 수 없지만, 변형을 합쳐서 검출함으로써, 본 발명이 대상으로 하는 롤성 미소요철표면결함을 검출할 수 있는 가능성에 착안하여, 이 결함발생시에 생기는 변형을 자기적인 방법에 의해 계측할 수 없는지, 실험으로 확인키로 하였다. 거기서, 먼저 간이한 누설자속탐상장치를 만들고, 롤성 미소요철표면결함을, 복수 매의 탐상를 행하여 신호가 검출됨을 확인하였다. 그후, 그 샘플의 변형이 충분히 제거되도록 850℃에서 10분간의 어닐링(소둔)을 시행하고, 다시 누설자속탐상를 행하였다. 그 결과, 어닐링전에 검출된 신호가, 어닐링후에는 대폭으로 신호 수준이 저하하는 것을 확인했다. 도 2는, 어닐링

전후에서의 누설자속탐상결과, 및 형상계측결과의 일 예를 나타낸 것이다.

[0044] 도 2에 나타낸 결함은, 요철량 5㎛과 미소요철표면결함으로서는 최소 수준보다 약간 큰 결함의 데이타를 나타냈다. 도 2(a), 도 2(b)는 어닐링전의 상태이고, 도 2(c), 도 2(d)는 어닐링후의 상태이다. 또한 도 2(a), 도 2(c)는 길이방향(통판(通板)방향)에 대한 형상분포이고, 도 2(b), 도 2(d)는 길이방향(통판방향)에 대한 누설자속탐상장치에서의 검출신호의 값을 나타내고 있다. 또한, 결함부에서는, 어닐링의 전후에서 X선 회절측정에 의해 계측된 변형량이 0.00217로부터 0.00067로 대폭 감소한 결과를 얻을 수 있었다. 도 2(b), 도 2(d)의 결과로부터도, 어닐링의 전후에, 결함부에서, 누설자속신호도 0.85V로부터 0.41V로 반감되어 있다. 이 결함은 최소 수준보다 약간 큰 편의 결함이기 때문에, 누설자속신호수준이 약1/2로 되어도 아직 빠듯하게 검출가능한 수준이지만, 변형을 제거함으로써 크게 신호가 저하됨을 확인할 수 있다.

[0045] 또한, 도 3은 변형과 누설자속의 관계를 나타내는 도면이다. 요철이 거의 같은 정도인 복수의 롤성 미소요철표면결함의 X선 회절측정을 행하여, 변형을 계측하고, 누설자속탐상결과에 대하여 플롯팅(plotting)한 것이다. 도 3으로부터 변형과 누설자속신호에 강한 상관이 있는 것을 알 수 있다. 이 점으로부터도, 변형을 누설자속에 의해 검출되고 있음을 확인할 수 있다.

[0046] 이상으로부터, 발명자들은, 단순히 조도와 같은 단위의 요철인 롤성 미소요철표면결함의 요철형상에 기인하는 신호만으로는, 결함을 검출할 수 없지만, 롤성 미소요철표면결함이 발생할 때에 생기는 내부변형의 신호를 요철에 기인하는 신호에 맞춰서 검출함으로써, 자속을 이용한 검출방법(여기서 말하는 자속을 이용한 검출방법이란, 예를 들면 직류 누설자속탐상, 교류 누설자속탐상, 와류(渦流)탐상, 잔류 자속측정, 자분(磁紛)탐상 등이다.)에 의해 검출할 수 있음을 발견하였다. 이 발견에 의거하여, 이 미소요철표면결함의 특성에 맞춰서 각종 조건을 최적화하여 본 발명에 이르렀다.

[0047] 여기서, 누설자속탐상에서의 변형의 검출원리에 대해 이하에 설명한다. 변형에 의해 누설자속신호가 생기는 것은, 변형에 의해 피검대상물의 결정(結晶)의 격자(格子)간격이 변화하고, 그에 의해 스핀 간의 상호작용에 변화가 생기며, 그 결과, 자기특성이 바뀌는 것이 원인인 것으로 생각된다. 이에 대하여, 통상의 누설자속탐상에서는, 신호 수준을 향상시키기 위해 및 측정대상의 자기적 특성(투자율(透磁率))의 불균일에 의한 노이즈의 영향을 배제하기 위해, 포화 자기 수준에서 계측하는 것이 일반적이다.

[0048] 그러나, 통상의 누설자속탐상과 마찬가지로, 피검체를 대단히 강하게 자화하여 자기포화시키면 스핀이 동일방향으로 모여버려서, 변형에 의한 신호가 나오기 어려워짐이 예상되므로, 자기포화보다 낮은 자화 수준(회전자화영역)쪽이 변형으로부터의 신호가 더 강하게 얻어져, 그 자화 수준이 바람직하다고 생각된다. 이는, 강판에 외부로부터 힘을 가하여 강판 전체에 변형을 생기게 한 상태에서의 B-H커브의 측정데이타와, 변형을 가하지 않는 상태에서의 B-H커브의 측정 데이타를 비교하면, 자기포화영역보다 작은 자화 수준의 영역(회전자화영역)에서 큰 차이가 생김에 대응하는 것으로 생각된다.

[0049] 이상으로부터, 롤성 미소요철표면결함의 계측에서는, 변형으로부터의 신호도 계측하고 있어 그 변형에 기인한 신호를 감도 좋게 계측함에는 포화 자화보다 작은 자화 수준의 계측이 유리하게 되는 것으로 생각된다. 또한, 여기서 말하는 피검체에 인가하는 자장의 강도란, 피검체를 자화하는 자화기로부터 발생하는 자장의 총합이 아니고, 피검체의 피검대상영역에 직접 걸려있는 자장, 즉 피검체의 피검대상영역에서 B-H커브를 그리게 했을 때의 H에 상당하는 양이다.

[0050] 또한, 통상, 이들의 누설자속탐상장치는, 최종 라인에서의 제품검사에 사용할 수 되고 있고, 결함발생시로부터 탐상까지의 사이에 다양한 공정이 존재한다. 이들 공정의 중에는, 예를 들면, 결함발생시에 생긴 변형이 열에 의해 제거되는, 통판(通板)시의 장력 등의 다른 스트레스에 의해 변형이 개방되는 등의 현상이 생겨, 변형이 개방된 상태로 되는 공정이 있고, 그러한 공정에서는 변형에 기인한 신호를 검출할 수 없는 우려가 있어, 검출을 행하는 장소도 검토가 필요하다.

[0051] 도 8은 냉연강판의 제조공정 예의 모식도이다. 냉연강판의 주된 제조공정은, 냉간압연후, 소둔(어닐링), 또한 조압(調壓)을 행하는 것이다. 통상, 본 발명의 검출대상인, 롤성 미소요철표면결함은, 냉간압연의 압연롤, 냉간압연후의 어닐링공정의 소둔로(燒鈍爐) 내의 롤, 어닐링후의 조압롤에 의해 생긴다.

[0052] 냉연강판의 제조공정에서는, 통상, 압연시에 생기는 경화의 영향을 배제하기 위해 소둔공정 등의 열공정이 부가된다. 이 열공정에서는, 재결정온도까지 승온하는 경우가 있다. 이 열공정에 의해 열이 가해지면, 상기 실험과 동일하게 결함신호가 약해져버림이 우려된다. 그 때문에, 도 8에 나타낸 「위치A」와 같이 결함발생원인이 되는 롤의 직후 내지는, 「위치B」와 같이 결함발생원인이 되는 롤보다 뒤이면서, 변형이 개방되는 수준의 열공정(어

닐링작용이 있는 공정)보다 전에 계측할 필요가 있다.

[0053] 또한, 일단 열공정에 의해 변형이 제거된 후에도, 조질압연(조압)에 의해 다시 변형이 부여된다. 여기서, 결함부는, 요철의 영향으로 정상부와 비교해서 상이한 크기의 변형이 부여됨으로해서, 열공정후라도 도 8에 나타낸 「위치C」와 같이 조압후라면 결함을 검출하는 것이 가능해진다.

[0054] 상기의 발생원인이 되는 모든 롤에 의해 생기는 결함을 검출함에는, 조압후에 계측함이 바람직하고, 또한, 결함발생시의 피드백, 위치트래킹이 용이하다는 점과, 제조라인을 통판할 때의 텐션 등으로 변형의 상태가 변화되는 것을 생각할 수 있으므로, 도 8에 나타낸 「위치C」조질압연 직후에 계측하는 것이 가장 좋다.

[0055] 또한, CGL, EGL 등의 라인에서 만들어지는 아연도금강판이나 주석도금강판 등의 표면처리강판에서도, 공정에 도금처리 등의 표면처리공정이 부가되는 것을 제외하고, 조압까지의 기본적인 공정은 동일하고, 설치개소에 대해서도 동일하다.

[0056] 또한, 소둔공정(CAL), 도금공정(CGL, EGL)에서 조압을 행하지 않는 경우라도, 예를 들면 리코일링라인(recoiling line) 등의 정정(精整)라인(refining/temper line)에서 조압을 행하고, 그 후에 설치해도 동일하다.

[0057] 특히, 도금공정, 및 그 이후의 공정에서 표면의 도금층에만 요철이 전사되고, 바탕의 금속에는 영향을 주지 않는 결함이 생기는 경우가 있지만, 이들의 결함을 검출하는 경우는, 조압에 의해, 바탕금속에 변형을 발생시키고 나서 검출하는 편이 더 좋기 때문에, 특히 조압 후에 계측하는 방법이 바람직하다.

[0058] 또한, 재압연 등에 의해 큰 압하율의 압연을 실행하면 결함자체가 소멸함으로해서, 롤성 결함을 검지하는 관점에서라면, 결함발생 후에 큰 압하율의 압연 전에 계측하는 것도 중요하다는 것은 말할 필요도 없다. 또한, 큰 압하율의 압연에 의해 결함자체는 소멸하지만, 결함의 재발생방지의 관점에서, 이처럼 큰 압하율의 압연을 할 경우라도 결함을 검지하는 것은 중요하다.

[0059] **실시예**

[0060] 도 1은 본 발명의 실시예에 의한 장치구성 예를 나타내는 도면이다. 도 1에서, 1은 강판, 2은 롤성 미소요철표면결함, 3은 직류전원, 4은 자화기(磁化器), 5은 자기센서, 6은 증폭기, 7은 필터회로, 8은 결함판정기, 및 9는 롤성 미소요철표면결함검출장치를 각각 나타낸다.

[0061] 강판(1)에는, 두께방향으로 수㎛로 조도와 같은 수준의 롤성 미소요철성 결함(2)이 존재하고 있다. 강판(1)에는 롤성 미소요철표면결함검출장치(9)가 설치되어 있다. 롤성 미소요철표면결함검출장치는, 이하의 구성으로 이루어진다. 자화기(4)와 자기센서(5)가 강판(1)의 같은 쪽에 배치되어 있다. 자화기(4)에는 자화전원(3)으로부터의 직류전류가 공급되어 자화되어 있다.

[0062] 자화기(4)에 의해 양 자극간에 발생된 자속은, 강판(1)을 지난다. 결함(2)이 강판(1)에 존재하면, 결함(2)이 발생할 때 생긴 변형이 결함(2)의 주위에 있고, 그에 의해 자속이 방해를 받아, 그 변화를 자기센서(5)에 의해 검출할 수 있다. 자기센서(5)의 출력신호는 증폭기(6)에서 신호증폭이 행해지고, 그후, 필터회로(7)에서 노이즈가 제거되어, 8의 결함판정기에 의해 일정한 값이상의 신호가 부합되는(correspond) 개소를 결함으로 판정한다.

[0063] 본 실시예에서는, 직류신호를 이용해서 누설자속탐상를 행하는 예를 나타냈지만, 교류신호를 이용해도 상관없다. 그 경우는, 동기검파회로(同期檢波回路)가 필요하게 된다. 또한, 자화기와 자기센서를 강판에 대하여 같은 쪽에 배치하고 있지만, 직류신호를 이용하는 경우는, 강판을 사이에 두고 대향해서 배치되어도 상관없으며, 교류신호를 이용하는 경우라도, 여자주파수(勵磁周波數)가 판두께에 대해 충분히 작은 경우는, 마찬가지로 강판을 사이에 두고 대향되게 배치해도 상관없다.

[0064] 또한, 결함판정기(9)에서는, 결함으로부터의 신호강도를 바탕으로 결함의 판정을 행하고 있지만, 신호강도가 어느 값이상인 점의 길이, 폭, 면적과 조합해서 판정해도 상관없으며, 그들 중 2개이상을 조합시켜 판정해도 상관없다. 또한, 교류신호를 이용하는 경우는 교류신호의 위상을 이용하여 판정해도 상관없다.

[0065] 본 발명자들은 성분을 바꾼 몇개의 강종에 대해, 먼저 B-H커브의 측정을 행한, 결과를 도 7에 나타낸다. C%가 상이한 3개의 강철에 있어서의 B-H커브를 나타내고 있으며, A는 극저탄강(C%-0.0-0.002), B는 저탄강(C%-0.03-0.06), 및 C는 법랑강(enameled steel)(C% 약0.0009)을 나타내고 있지만, 강종의 다름에 의해 B-H커브에 다름은 보이지 않았다. 또한, 그후 그들 강종에 대해 롤성 미소요철표면결함의 탐상을 행하였다. 이하에, 그 결과의 대표예(극저탄의 예)를 나타낸다.

[0066] 도 5는 강자화조건과 약자화조건의 비교를 나타내는 도면이며, 강한 자화조건(48000A/m)과 약한 자화조건(8000A/m)에 있어서의 롤성 미소요철표면결함의 탐상예이다. 신호 수준이 저하하고 있음을 알 수 있다. 자장의 값을 바꾸면서 동일한 측정을 되풀이하여, 자장에 대해 신호 수준, 노이즈 수준, S/N을 플롯팅(plotting)한 것이 도 6이다.

[0067] 도 6으로부터 알 수 있는 바와 같이, 4000A/m이상, 25000A/m미만에서, S/N이 5이상으로 높아져 검출에 적합하다라는 것을 알 수 있다. 이 자장은, 도 7에 보는 바와 같이 강을 대상으로 한 경우에 자속밀도가, 포화 자화상태에서의 자속밀도의 95%로부터 75%에 상당하고 있다.

[0068] 또한, 도 6에서 25000A/m이상 특히 40000A/m을 넘은 자장에서 신호 수준이 증가하고 있다(단, 한편으로 노이즈 수준도 증가하고 있기 때문에 S/N은 그다지 증가되지 않음). 이는, 결함의 요철로부터의 신호 성분이 증가하고 있기 때문인 것으로 생각된다. 결함의 요철로부터의 신호는, 종래 사용되어 온 포화 자화 수준에서의 계측이 바람직하다. 여기서 자장이 25000A/m이상으로 되는 자속밀도는, 도 7로부터 포화 자화상태의 95%이상에 상당한다. 특히, 40000A/m이상은 99%에 상당한다.

[0069] 롤성 미소요철표면결함에 있어서도, 작은 경우에 수㎛로 극미소로 되는 경우는 있지만 요철은 존재함으로, 이처럼 요철기인의 신호도 얻을 수 있다. 거기서, 25000A/m미만의 자장강도에 의한 탐상으로 변형으로부터의 신호를 검지하고, 25000A/m이상의 자장강도에 의한 탐상으로 요철로부터의 신호를 검지한다고 하는 2조건의 탐상를 조합시킴으로써, 결함의 검출능을 향상시킬 수 있다. 또한, 요철로부터의 신호성분과 변형으로부터의 신호성분을 비교함으로써, 요철량과 변형량의 비교가 가능해져서, 예를 들면 요철량이 작고 변형이 큰 경우는 압하율이 높은 롤에서 발생한 결함으로 추정하는 등 결함의 발생원인이 되는 롤의 위치의 특정이 가능해진다.

[0070] *또한, 본 실시예에서는, 자속밀도의 값은, 미리 측정한 B-H커브를 바탕으로, 자장의 강도로부터 구하고 있다. 또한, 자장의 강도에 관해서는, 피검체의 대상위치 근방의 공간의 값을 측정해서 이용해도 상관없다.

[0071] 또한, 본 실시예에서는 직류의 누설자속을 사용하여 계측을 행하였지만, 변형에 기인하는 신호를 검지하면, 교류의 누설자속법, 와류탐상법, 자분탐상법, 이어도 상관없다.

[0072] 또한, 본 실시예에서는, 자기센서로서 홀소자(hall element)를 사용했지만, 자기를 감지하는 것이면 코일, 자기저항소자, SQUID 등을 시용해도 상관없다. 또한, 자기센서는 단수로 사용해도 복수로 사용해도 상관없다. 복수의 자기센서를 사용하는 경우는, 비검체의 주행방향에 수직이면서 비검체에 평행하게 나열하여 사용함으로써 동시에 넓은 면적의 검사가 가능해진다. 그 경우, 자기센서와 자기센서의 피치는, 피치가 지나치게 크면 결함이 자기센서 사이를 통과할 때에 놓침이 생기고, 반대로, 피치가 지나치게 작으면 효율이 나빠지는 문제가 생긴다. 자기센서의 피치는, 0.5㎜~3㎜의 사이이면 검출가능하지만, 0.8㎜~2㎜의 사이가 검출감도와 효율의 점에서 가장 적합하다.

[0073] 또한, 본 실시예에서는, 리프트오프(lift-오프)를 1㎜로 하고 있다. 이는 이하와 같은 지견에 의한 것이다. 롤성 미소요철표면결함 중에서도 특히 작은 결함에는, 누설자속신호 수준이 대단히 작은 것이 있다. 이들의 결함을 검출하기 위해서는, 상술한 바와 같은 대책에 부가해서 센서와 비검체의 거리인 리프트오프를 더 최적화할 필요가 있다.

[0074] 통상, 철강라인에서의 지석연마 검사에서 문제가 되는 결함은, 전술한 바와 같이 조도 수㎛ 중에 조도와 같은 정도(수㎛정도)의 요철로서 곡률반경R이 10㎜이상인 결함이다. 이들은, 강판면상에서 φ4㎜~30㎜정도, 면적으로 하여 10㎜^{2}~1000㎜^{2}정도의 크기의 결함인 것이 많다. 통상, 누설자속탐상방법에서는, 리프트오프는 작으면 작을수록 감도가 높아져 유리하다. 그러나, 이들의 요철량은 수㎛로 작지만, 면적이 큰 결함을 검출하기 위해서는, 리프트오프가 지나치게 작으면 결함의 극히 일부의 부분으로부터의 신호만을 검지하는 것으로 되어, 결함검출 상에서는 센서를 복수 늘어놓을 필요가 생기는 등 효율이 나빠지는 문제가 생긴다.

[0075] 도 9는 리프트오프와 S/N의 관계예1을 나타내는 도면이다. 도 10은 리프트오프와 S/N의 관계예2를 나타내는 도면이다. 각각, 리프트오프와 S/N의 관계를 조사한 그래프이며, 도 9에서는, 본 발명에서 주로 검출대상으로 하는 요철이 수㎛정도의 비교적 작고, 면적이 큰, 샘플a: 길이 15㎜ 폭 4㎜와 샘플b: 길이 10㎜ 폭 4㎜를 리프트오프를 바꾸어서 측정하고, 도 10에서는, 요철이 수10㎛정도의 비교적 크고, 면적이 작은, 샘플c: 길이 1㎜ 폭 2㎜, 와 샘플d: 길이 1㎜, 폭 2㎜를 측정한 것이다. 상기 실시예에서는, 센서로서 감자부(感磁部)의 면적이 φ0.2㎜이하정도의 홀소자를 이용하고 있다.

[0076] 도 10에 나타내는 면적이 작은 결함의 경우는, 종래로부터 알려져 있는 바와 같이, 리프트오프가 작은 쪽이 S/N이 높은 경향이 확인되었지만, 이에 대하여, 도 9와 같이 면적이 큰 결함의 경우(상기 결함a, b의 실효적인 결함 직경으로 생각하면, φ5㎜이상정도)에는, 리프트오프가 1㎜전후에서 S/N이 가장 높아지는 경향이 확인되었다. 또한, 리프트오프 0.5~1.5㎜에서 S/N=2이상이므로 적용가능하지만, 도 9의 중앙의 일점쇄선으로 나타낸 S/N=3의 선은, 자동검출가능한 수준을 나타낸 것이며, 이로부터 리프트오프 0.8㎜~1.2㎜의 범위가 자동검출 가능해지는 적합한 범위이다. 또한, 특히 리프트오프 1㎜에서 S/N이 좋고, 0.9㎜~1.1㎜가 가장 적합한 범위인 것을 알 수 있다.

[0077] 이하에, 이 현상에 대해, 도 11을 이용하여, 고찰한다. 도 11은, 면적이 작은 것(상기 결함의 c, d에 대응)과 면적이 큰 것(상기 결함의 a, b에 대응)의 결함을 측정하는 양상을 모식적으로 나타내는 도면이다.

[0078] 통상, 누설자속탐상에서는, 피검체에 가까울수록 결함으로부터의 누설자속밀도가 높아지므로, 리프트오프가 작을수록 결함신호가 강하게 검출되고, 리프트오프가 클수록 결함신호가 낮게 검출됨이 알려져 있다. 여기서, 고찰을 더 진행하면, 센서가 검출하는 검출영역은 리프트오프가 커짐에 따라, 크게 된다.

[0079] 통상, 검출이 곤란한 결함은, 요철이 작은 동시에 면적도 작은 결함이다. 이러한 결함은, 센서의 검출영역에 비해, 원래 작으므로, 리프트 오프가 커지면, 센서 검출영역내에 차지하는 결함면적은 작아져 간다(도 11(a)참조). 이때, 검출영역에 포함되는 신호는 평균화되어 검출되게 되므로, 결함신호는, 주변의 정상부로부터의 신호(백그라운드(background) 노이즈 신호)로 평균화되어, 신호강도는 더 내려가게 된다. 한편으로, 정상부로부터의 신호는 거의 같은 수준이므로, 결함신호 정도의 신호강도는 떨어지지 않는다. 이처럼, 면적이 작은 결함의 경우는, 이 결함신호의 저하정도가 피검체에 기인하는 노이즈의 저하의 정도에 비해 강하기 때문에, 리프트 오프가 멀어질수록 S/N이 감소해가는 것으로 생각된다. 따라서, 종래 검출하고자 했던 면적이 작은 결함에서는, 리프트오프는 작은 쪽이 검출에 유리했다.

[0080] 한편, 이번 측정대상으로 하고 있는 요철량은 미소하지만 면적이 큰 결함(φ5㎜상당이상)이다. 이 결함을 검출하는 경우에서도, 리프트 오프가 커지면, 결함신호와 피검체에 기인하는 노이즈 신호는 함께 작아지지만, 결함의 사이즈가 크기 때문에, 리프트 오프를 크게 해도, 센서의 검출영역에 대하여 결함이 큰 상태로 되어 있는 동안까지는(도 11(b)참조), 센서의 검출영역내에서의 결함이 차지하는 면적은 변화하지 않기 때문에, 정상부로부터의 신호와 평균화되지 않으므로, 결함신호의 저하는 거의 없다.

[0081] 한편, 노이즈 신호는, 리프트 오프를 어느 정도 크게 할때까지는, 램덤(random)노이즈 성분이, 가산 평균의 효과에 의해, 저하되어 가는 것으로 생각된다. 따라서, 결함 사이즈와 램덤노이즈의 가산평균과의 관계에 의해, 어느 리프트 오프까지는, 실질적으로 S/N가 증가해 간다. 리프트 오프를 더 크게 하면, 작은 결함과 마찬가지로, 결함신호의 저하가 커지므로, S/N은 저하되어 갈 것으로 생각된다.

[0082] 이처럼, 어느 정도 리프트 오프를 크게 해도, 센서에 영향을 줄 수 있는 피검체의 범위보다 결함이 커질때까지는, 피검체에 기인하는 노이즈가 저하함에 더해, 결함신호의 저하의 정도가 거의 없기 때문에 S/N가 증가해 가게 되어, 최적범위를 가지게 된 것으로 생각된다.

[0083] 또한, 통상 철강라인에서의 지석연마 검사에서는, 전술한 바와 같은 요철량 수㎛으로 강판면 상에서 φ5㎜~30㎜정도의 크기의 결함을 지석으로 연마함으로써 눈으로 확인가능하게 해서 검사하고 있지만, 같은 공정에서 지석으로 연마하지 않아도 검출가능한 미소한 결함의 검사도 하고 있는 경우가 많다. 이들 결함은, 지석연마을 행할 필요는 없기 때문에 본 발명의 대상으로는 하지 않는다.

[0084] 본 발명이 대상으로 하고 있는 용이하게 눈으로 확인할 수 없는 결함(통상 눈으로 확인이 곤란하여, 지석연마 검사에 의해 검출하는 결함)에 대해서, 실제 데이타를 이용한 결과를 이하에 나타낸다. 도 12는, 본 발명의 평가대상으로 사용한 결함 샘플의 형태를 나타내는 도면이다. 도 12(a)는, 용이하게 눈으로 확인할 수 없는 결함의 강판두께 방향의 크기(요철변화량)와 빈도(샘플수)를 나타내는 도면이며, 도 12(b)는, 강판면상에서의 면적과 빈도(샘플수)를 나타내는 도면이다.

[0085] 본 발명에서는, 도 12에 나타내는 바와 같이, 결함의 요철량(강판두께방향의 형상변화량)이 0.5㎛이상 6㎛이하이고, 강판면상에서의 면적으로 $10㎟$~$1000㎟$정도(φ4㎜~30㎜에 대응)의 미소요철표면결함을 검출대상으로 하고 있다. 또한, 이들 결함은, 판두께가 0.4㎜이상 2.3㎜이하, 표면조도가 Ra=0.5~2㎛의 강판에서 발생하는 것이며, 강판두께방향의 단면에서 곡률반경R은 10㎜이상으로 되어 있다.

[0086] 그리고, 도 13은, 이들 샘플에 대해, 도 12(a)의 결함의 두께방향의 크기에 대한, 누설자속신호의 S/N의 관계를

나타내는 도면이다. 도 13에 나타내는 바와 같이 이들 결함 전부에 대해, 누설자속신호의 S/N이 2이상으로 되어 있어, 본 발명으로 충분히 검출가능함을 알 수 있다. 또한, 도 13에서, 요철방향의 크기(요철변화량)가 0.5㎛인 결함에 대해서는, S/N이 약 3이 되는 것이 네 샘플이 있기 때문에, 반복해서 플롯팅하고 있다.

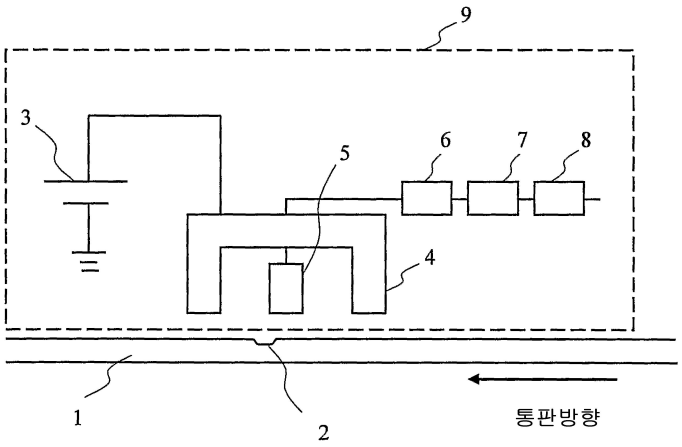
[0087] 또한, 도 14는, 결함의 두께방향의 크기와 측정대상 강판의 판두께와의 관계를 나타내는 도면이다. 도 12 및 도 13에 나타낸 본 발명의 대상인 데이타를 ○표로 나타내고, 냉연공정 이후의 라인에 설치된 강판용 누설자속탐상장치로 측정한 종래의 누설자속탐상의 대상을 ×표로 나타내고 있다. 또한, 앞서 소개된 문헌 중에 「캔용 강판을 대상으로 한다」라고만 나타내어져 대상 판두께가 명시되지 않은 예에 관해서는, 캔용 강판으로서 자주 사용되는 판두께 0.2㎜로서 정리하고 있다.

[0088] 도 14에서, 종래의 누설자속탐상의 예에서는, 계측대상이 되는 결함의 두께방향의 크기 s(단위㎛)를 계측대상이 되는 판두께t(㎜)로 나눈 값 s/t가, 40로부터 250정도의 큰 값으로 되어 있는 것에 대해, ○표로 나타내는 본 발명의 대상의 s/t는 매우 작은 값인 것을 알 수 있다. 거기서, 도 14의 세로축을 0~10㎛, 가로축을 0~1.5㎜의 범위로 확대한 것을, 도 15에 나타낸다.

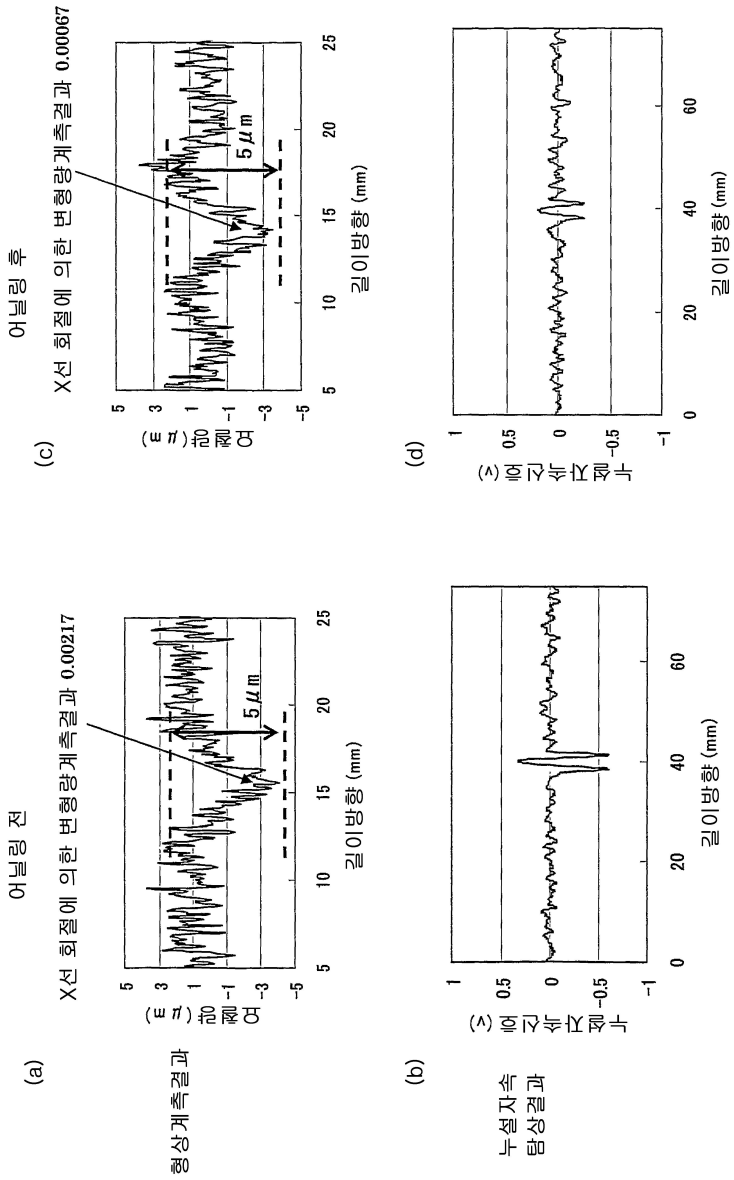
[0089] 도 13 및 도 14에 나타낸 바와 같이 본 발명에서는, 0.4㎜이상 2.3㎜이하의 판두께에서의 요철량 0.5㎛이상 6㎛이하인 미소요철표면결함을 대상으로 하고 있지만, 결함의 강판 두께방향의 크기 s(요철변화량, 단위㎛)를 계측대상이 되는 판두께t(㎜)로 나눈 값 s/t가, 도 15에 나타내는 바와 같이, 9.0이하 0.63이상으로 현저하게 작은 값으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 이상과 같이, 본 발명의 검사대상은, 강판두께 t(㎜)와 결함의 강판 두께방향의 크기 s(㎛)와의 관계 s/t로 표현하면, 9.0이하 0.63이상이 되는 미소요철표면결함인 것으로 할 수 있다.

도면

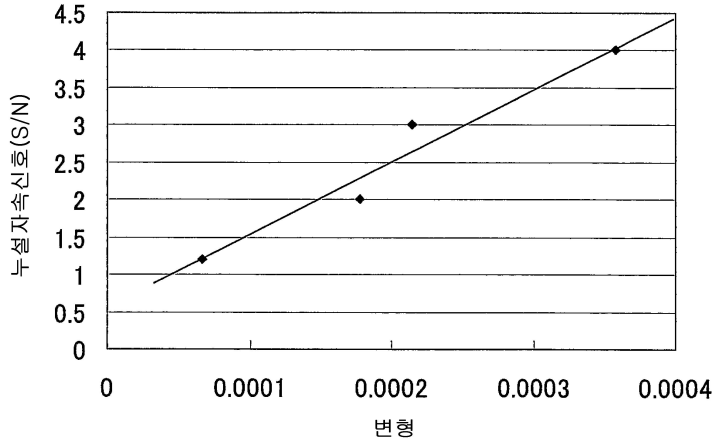
도면1



도면2


어닐링 전
X선 회절에 의한 변형량계측결과 0.00217
5 μm
회절강도(a.u.)
길이방향 (mm)
(a)
형상계측결과
누설자속신호(V)
길이방향 (mm)
(b)
누설자속
탐상결과
어닐링 후
X선 회절에 의한 변형량계측결과 0.00067
5 μm
회절강도(a.u.)
길이방향 (mm)
(c)
누설자속신호(V)
길이방향 (mm)
(d)

도면3


누설자속신호(S/N)
변형
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
0
0.0001
0.0002
0.0003
0.0004

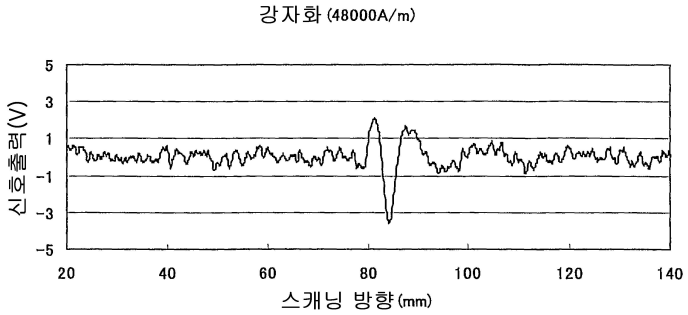
도면4

(a) 철(凸)결함 (b) 요(凹)결함

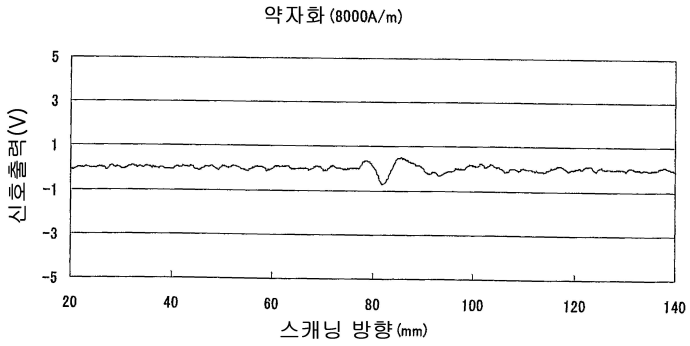


도면5

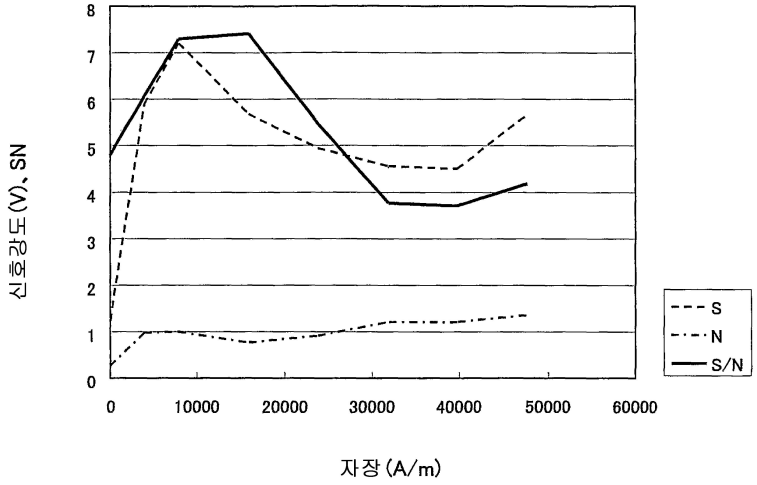
(a)



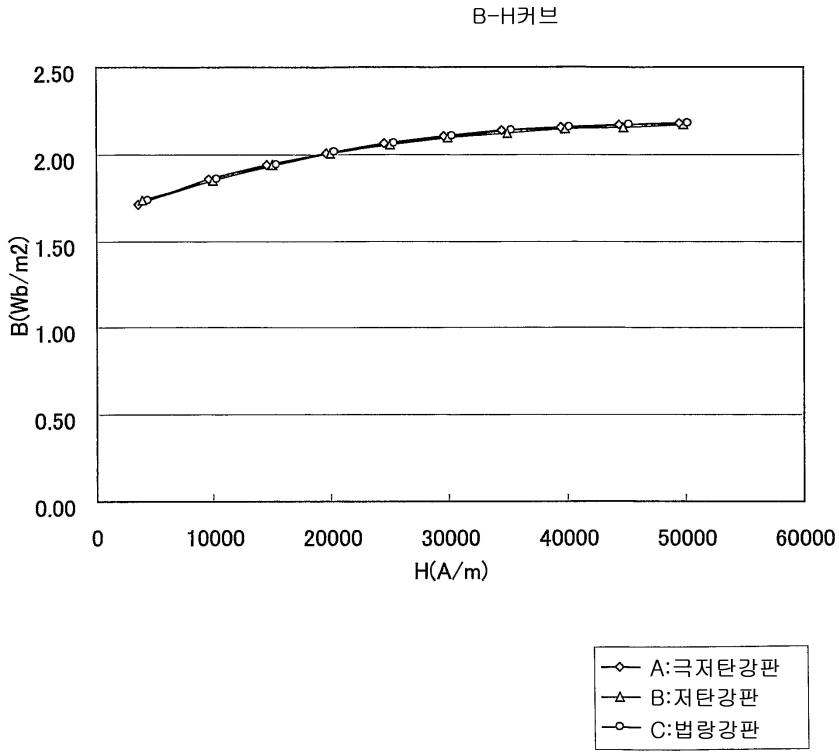
(b)



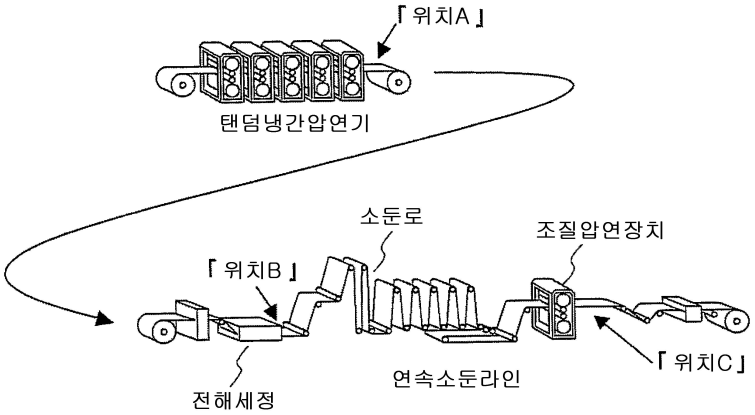
도면6


8
7
6
5
4
3
2
1
0
신호강도(V), SN
0
10000
20000
30000
40000
50000
60000
자장(A/m)
S
N
S/N

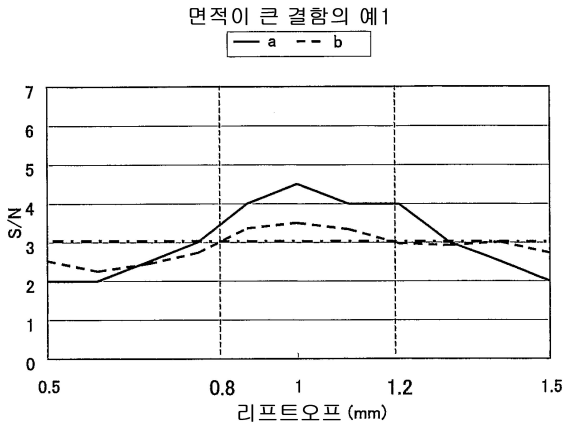
도면7


B-H커브
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
B(Wb/m2)
0
10000
20000
30000
40000
50000
60000
H(A/m)
A:극저탄강판
B:저탄강판
C:법랑강판

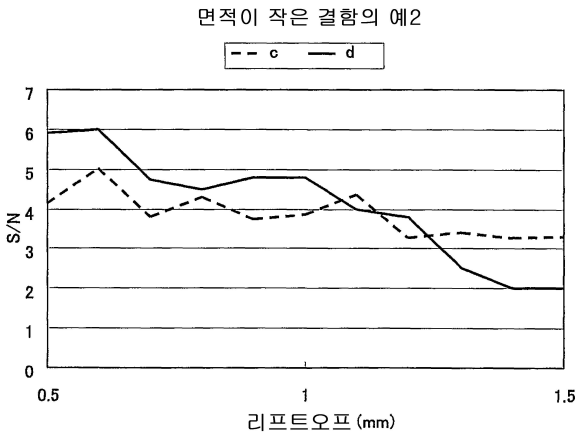
도면8


「위치A」
탠덤냉간압연기
소둔로
조질압연장치
「위치B」
「위치C」
전해세정
연속소둔라인

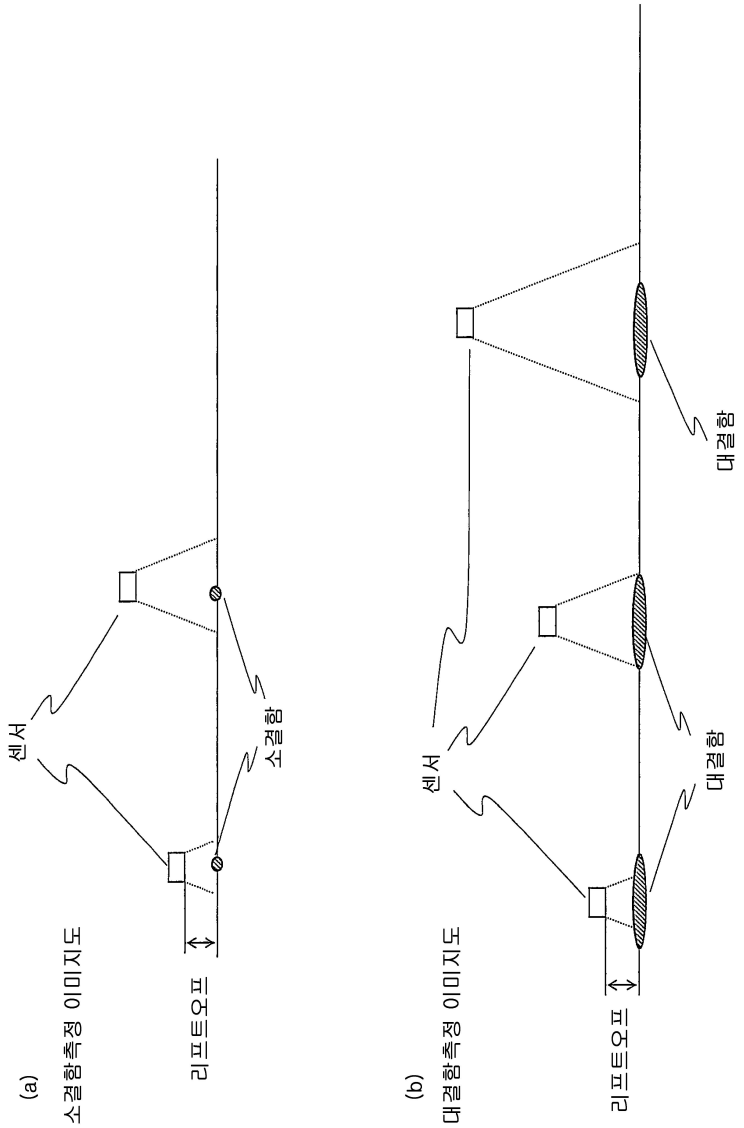
도면9


면적이 큰 결함의 예1
a
b
S/N
0
1
2
3
4
5
6
7
0.5
0.8
1
1.2
1.5
리프트오프 (mm)

도면10

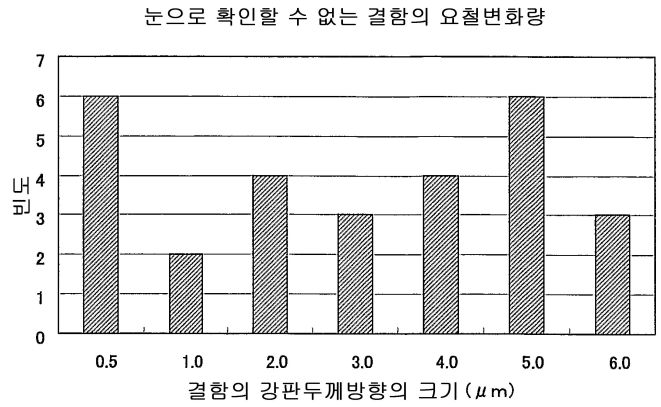

면적이 작은 결함의 예2
c
d
S/N
0
1
2
3
4
5
6
7
0.5
1
1.5
리프트오프 (mm)

도면11

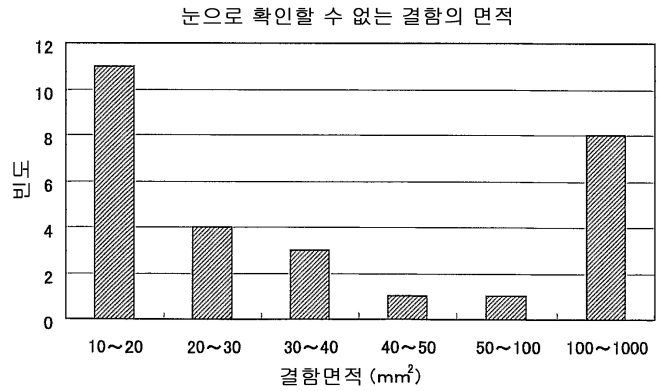


도면12

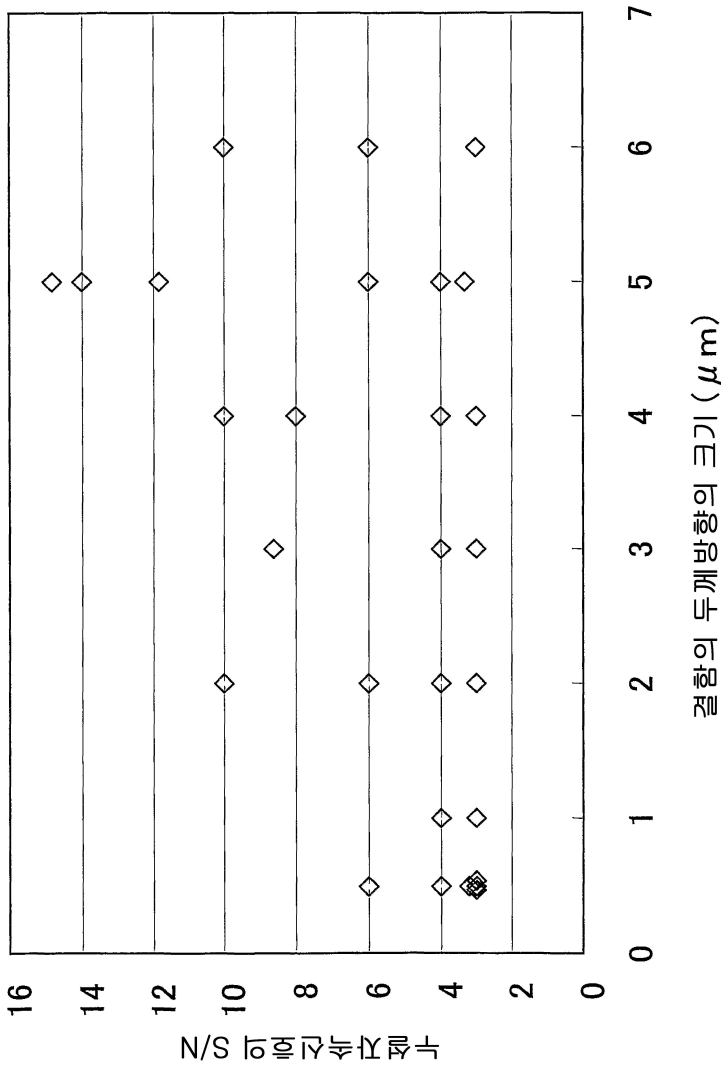
(a)


눈으로 확인할 수 없는 결함의 요철변화량
개수
0
1
2
3
4
5
6
7
0.5
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
결함의 강판두께방향의 크기 (μm)

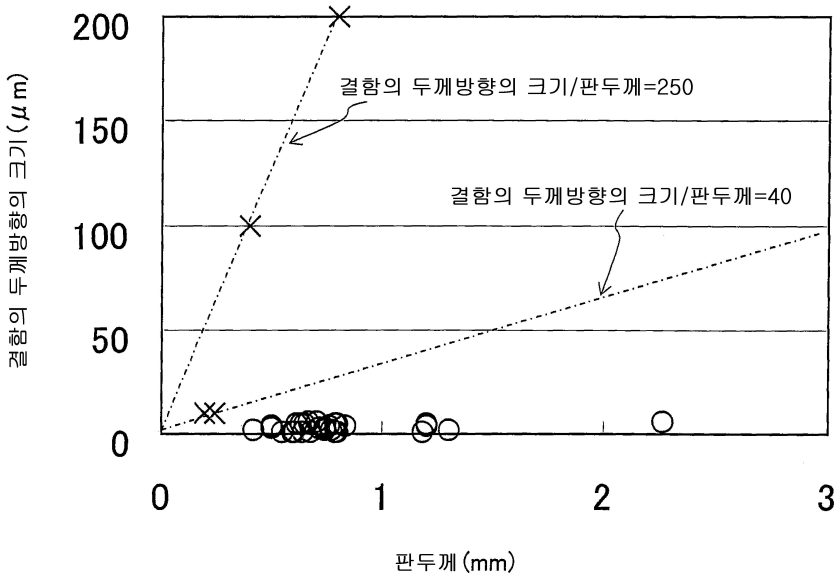
(b)


눈으로 확인할 수 없는 결함의 면적
개수
0
2
4
6
8
10
12
10～20
20～30
30～40
40～50
50～100
100～1000
결함면적 (mm²)

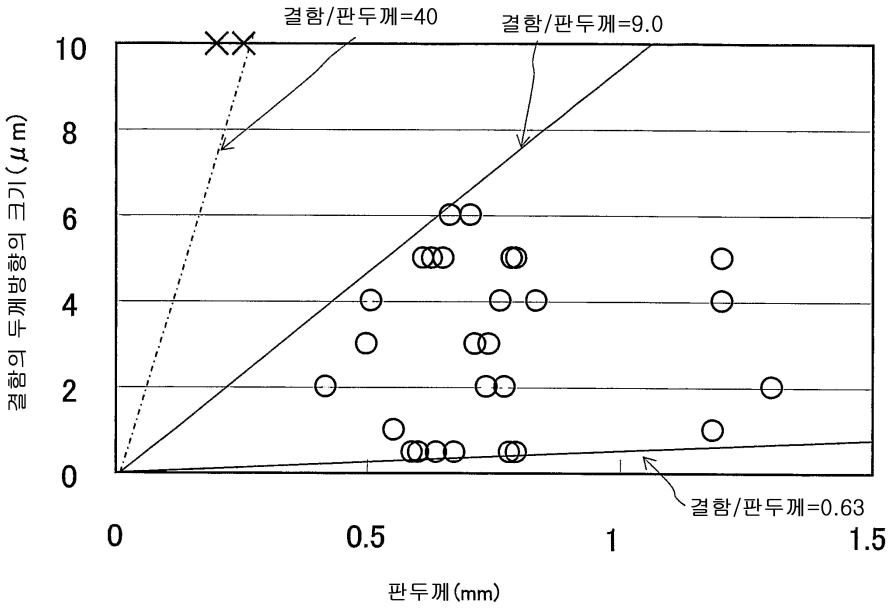
도면13


누설자속신호의 S/N
16
14
12
10
8
6
4
2
0
결함의 두께방향의 크기 (μm)
0
1
2
3
4
5
6
7

도면14


결함의 두께방향의 크기(μm)
200
150
100
50
0
결함의 두께방향의 크기/판두께=250
결함의 두께방향의 크기/판두께=40
0
1
2
3
판두께 (mm)

도면15


결함/판두께=40
결함/판두께=9.0
결함/판두께=0.63
결함의 두께방향의 크기(μm)
판두께(mm)
10
8
6
4
2
0
0
0.5
1
1.5