



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0101610
(43) 공개일자 2010년09월17일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) Int. Cl.
G01N 29/04 (2006.01) G01N 29/24 (2006.01)
B22D 11/16 (2006.01) B22D 11/04 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2010-7014125</p> <p>(22) 출원일자(국제출원일자) 2008년12월22일
심사청구일자 없음</p> <p>(85) 번역문제출일자 2010년06월25일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/JP2008/073327</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2009/084508
국제공개일자 2009년07월09일</p> <p>(30) 우선권주장
JP-P-2007-336453 2007년12월27일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
쇼와 덴코 가부시키키가이샤
일본국 도쿄도 미나토구 시바다이몬 1초메 13반 9고</p> <p>(72) 발명자
오다지마 야스히데
일본 9660845 후쿠시마 기따까따시 오사나이 7840
쇼와 덴코 가부시키키가이샤 기따까따 지방 사무소 내</p> <p>(74) 대리인
이중희, 장수길</p> |
|--|--|

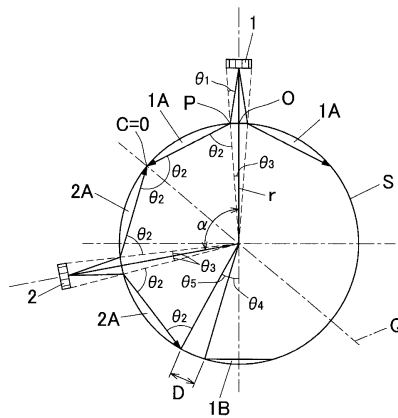
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법 및 초음파 탐상 검사 장치

(57) 요약

단면 원형의 주조 막대에 대하여, 입사파로서 종파를 이용하면서, 전체 영역을 검사할 수 있는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법을 제공한다. 단면 원형의 주조 막대(S)의 둘레 방향으로, 복수의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)를 소정 각도(α)로 배치하여 초음파 탐상 검사를 할 때에, 임의의 1개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)에 대하여, 그 페이즈드 어레이형 프로브(1)의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 미검사 영역(1A)(1B)을, 다른 페이즈드 어레이형 프로브(2)의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 검사 영역이 보완하도록, 다른 페이즈드 어레이형 프로브(2)를 배치한다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

단면 원형의 주조 막대의 둘레 방향으로, 복수의 페이즈드 어레이형 프로브를 소정 각도로 배치하여 초음파 탐상 검사를 할 때에,

임의의 1개의 페이즈드 어레이형 프로브에 대하여, 그 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 미검사 영역을, 다른 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 검사 영역이 보완하도록, 다른 페이즈드 어레이형 프로브를 배치하는 것을 특징으로 하는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 2개의 페이즈드 어레이형 프로브를, 하기의 2개의 식

$$2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3) \leq \alpha \leq 2\theta_2 - \theta_3 - \theta_4$$

$$180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] \geq \theta_4$$

- 단, θ_2 : 페이즈드 어레이형 프로브의 유효 경사각 각도

θ_3 : OP의 중심각

θ_4 : 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 불감대의 중심각의 1/2

O: 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 입사점

P: 페이즈드 어레이형 프로브의 주사 각도 최대시의 경사각 입사파의 입사점 -

을 모두 만족하는 배치 각도(α)로 배치하는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 입사파가 하방을 향하도록 2개의 페이즈드 어레이형 프로브를 배치하는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 복수의 페이즈드 어레이형 프로브를 수평 연속 주조의 주형 출구의 근방에 배치하고, 연속적으로 주출되는 연속 주조 막대에 대하여 연속적으로 초음파 탐상 검사를 행하는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 주형 출구로부터 하류측으로 이격하여 배치한 돌형상체의 관통 구멍에 연속 주조 막대를 헐겁게 삽입함으로써 냉각수의 흐름을 방해하고, 흐름이 방해된 냉각수에 상기 페이즈드 어레이형 프로브를 접촉시킨 상태로 배치하는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.

청구항 6

단면 원형의 주조 막대의 둘레 방향으로 복수의 페이즈드 어레이형 프로브가 배치된 초음파 탐상 검사 장치이며,

임의의 1개의 페이즈드 어레이형 프로브에 대하여, 그 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 미검사 영역이 다른 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 검사 영역이 보완되도록, 다른 페이즈드 어레이형 프로브가 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 2개의 페이즈드 어레이형 프로브가, 하기의 2개의 식

$$2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3) \leq \alpha \leq 2\theta_2 - \theta_3 - \theta_4$$

$$180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] \geq \theta_4$$

- 단, θ_2 : 페이즈드 어레이형 프로브의 유효 경사각 각도

θ_3 : OP의 중심각

θ_4 : 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 불감대의 중심각의 1/2

O: 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 입사점

P: 페이즈드 어레이형 프로브의 주사 각도 최대시의 경사각 입사파의 입사점 -

을 모두 만족하는 배치 각도(α)로 배치되어 있는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 장치.

청구항 8

수평 연속 주조의 주형 출구로부터 연속적으로 추출되는 단면 원형의 연속 주조 막대에 대하여, 짧게 절단, 필링, 열처리를 임의의 순서로 행하고, 또한 계속해서 단조를 행하는 단조품의 일관 제조 방법에 있어서, 추출 직후 또는 임의의 공정간에 초음파 탐상 검사를 행하는 것으로 하고,

상기 초음파 탐상 검사를, 주조 막대의 둘레 방향으로, 복수의 페이즈드 어레이형 프로브를 소정 각도로 배치하고, 임의의 1개의 페이즈드 어레이형 프로브에 대하여, 그 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 미검사 영역을, 다른 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 검사 영역이 보완하도록, 다른 페이즈드 어레이형 프로브를 배치하여 행하는 것을 특징으로 하는 단조품의 일관 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 초음파 탐상 검사는,

2개의 페이즈드 어레이형 프로브를, 하기의 2개의 식

$$2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3) \leq \alpha \leq 2\theta_2 - \theta_3 - \theta_4$$

$$180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] \geq \theta_4$$

- 단, θ_2 : 페이즈드 어레이형 프로브의 유효 경사각 각도

θ_3 : OP의 중심각

θ_4 : 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 불감대의 중심각의 1/2

O: 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 입사점

P: 페이즈드 어레이형 프로브의 주사 각도 최대시의 경사각 입사파의 입사점 -

을 모두 만족하는 배치 각도(α)로 배치하여 행하는 단조품의 일관 제조 방법.

명세서

기술분야

본 발명은, 단면 원형의 주조 막대에 대한 초음파 탐상 검사 방법, 및 이 검사 방법을 실시하기 위한 초음파 탐상 검사 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0001]

[0002] 일반적으로, 연속 주조 막대는 용탕으로부터 원기둥 형상, 각기둥 형상 혹은 중공 기둥 형상의 긴 주괴를 주조하여 제조한다. 주조 방법에는 플로트 주조법, 다이렉트 칠(DC 주조)법, 기체 가압 핫 톱 연속 주조법 등이 있다. 주조된 연속 주조 막대에 대해서는, 소성 가공시의 균열의 원인으로 되는 표면의 불균일층을 제거함과 함께, 외주부 제거 후의 표면 및 내부 결함의 검사가 행하여진다(특허문헌 1 참조).

[0003] 특허문헌 1에 기재된 연속 주조 막대의 제조 공정은, 연속 주조 공정과 외주 제거 공정 사이에 초음파 탐상 검사에 의한 내부의 비파괴 검사 공정을 마련하고 있다. 초음파 탐상 검사는, 균열 등의 내부 결함에 대하여 검출 능력이 높고, 또한, 검출한 전기 신호를 처리함으로써, 화상 처리가 필요한 X선과 비교하여, 결함의 자동 판정이 용이하게 가능해져, 검사의 정밀도가 높아 안정된 검사를 할 수 있다는 특징이 있다.

[0004] 주조 막대에 있어서의 표면 근방의 결함을 검사하는 경우, 입사파로서 종파 수직파를 이용하면 저면 반사파가 의사 결함 에코로서 검출되어 버리기 때문에, 종래는 입사파로서 경사각파가 이용되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2004-209516호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그러나, 종래의 초음파 탐상 프로브로 경사각파를 얻고자 하면 횡파가 되어버리고, 종파보다도 음속이 느린 횡파로 표면 근방을 검사하고자 하면, 시간축이 길므로 의사 결함 에코가 검출되기 쉬워진다는 결점이 있다.

[0007] 또한, 단면 원형의 주조 막대에 대하여, 종래의 프로브로 전체 영역을 검사하고자 하면, 프로브를 연속 주조 막대의 둘레 방향으로 회전시키거나, 둘레 방향으로 다수의 초음파 탐상 검사용 프로브를 배치하는 것이 필요하였다. 또한, 다수의 프로브를 고정밀도로 배치하는 것은 곤란하고, 고정밀도로 배치할 수 없음으로써 검사 정밀도에도 어려움이 있었다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은 상술한 배경 기술을 감안하여, 단면 원형의 주조 막대에 대하여, 입사파로서 종파를 이용하면서, 전체 영역을 검사할 수 있는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법, 및 이 검사 방법을 실시하기 위한 초음파 탐상 검사 장치의 제공을 목적으로 한다.

[0009] 즉, 본 발명은 하기 [1] 내지 [9]에 기재된 구성을 갖는다.

[0010] [1] 단면 원형의 주조 막대의 둘레 방향으로, 복수의 페이즈드 어레이형 프로브를 소정 각도로 배치하여 초음파 탐상 검사를 할 때에,

[0011] 임의의 1개의 페이즈드 어레이형 프로브에 대하여, 그 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 미검사 영역을, 다른 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 검사 영역이 보완하도록, 다른 페이즈드 어레이형 프로브를 배치하는 것을 특징으로 하는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.

[0012] [2] 2개의 페이즈드 어레이형 프로브를, 하기의 2개의 식

$$2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3) \leq \alpha \leq 2\theta_2 - \theta_3 - \theta_4$$

$$180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] \geq \theta_4$$

[0013]

[0014] 단, θ_2 : 페이즈드 어레이형 프로브의 유효 경사각 각도

[0015] θ_3 : OP의 중심각

[0016] θ_4 : 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 불감대의 중심각의 1/2

- [0017] O: 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 입사점
- [0018] P: 페이즈드 어레이형 프로브의 주사 각도 최대시의 경사각 입사파의 입사점
- [0019] 을 모두 만족하는 배치 각도(α)로 배치하는 전항 1에 기재된 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.
- [0020] [3] 입사파가 하방을 향하도록 2개의 페이즈드 어레이형 프로브를 배치하는 전항 2에 기재된 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.
- [0021] [4] 복수의 페이즈드 어레이형 프로브를 수평 연속 주조의 주형 출구의 근방에 배치하고, 연속적으로 주출되는 연속 주조 막대에 대하여 연속적으로 초음파 탐상 검사를 행하는 전항 1 내지 3 중 어느 하나에 기재된 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.
- [0022] [5] 상기 주형 출구로부터 하류측으로 이격하여 배치한 덕 형상체의 관통 구멍에 연속 주조 막대를 헐겁게 삽입함으로써 냉각수의 흐름을 방해하고, 흐름이 방해된 냉각수에 상기 페이즈드 어레이형 프로브를 접촉시킨 상태로 배치하는 전항 4에 기재된 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법.
- [0023] [6] 단면 원형의 주조 막대의 둘레 방향으로 복수의 페이즈드 어레이형 프로브가 배치된 초음파 탐상 검사 장치이며,
- [0024] 임의의 1개의 페이즈드 어레이형 프로브에 대하여, 그 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 미검사 영역이 다른 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 검사 영역이 보완되도록, 다른 페이즈드 어레이형 프로브가 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 주조 막대의 초음파 탐상 검사 장치.
- [0025] [7] 2개의 페이즈드 어레이형 프로브가, 하기의 2개의 식
- $$2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3) \leq \alpha \leq 2\theta_2 - \theta_3 - \theta_4$$
- $$180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] \geq \theta_4$$
- [0026]
- [0027] 단, θ_2 : 페이즈드 어레이형 프로브의 유효 경사각 각도
- [0028] θ_3 : OP의 중심각
- [0029] θ_4 : 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 불감대의 중심각의 1/2
- [0030] O: 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 입사점
- [0031] P: 페이즈드 어레이형 프로브의 주사 각도 최대시의 경사각 입사파의 입사점
- [0032] 을 모두 만족하는 배치 각도(α)로 배치되어 있는 전항 6에 기재된 주조 막대의 초음파 탐상 검사 장치.
- [0033] [8] 수평 연속 주조의 주형 출구로부터 연속적으로 주출되는 단면 원형의 연속 주조 막대에 대하여, 짧게 절단, 필링, 열처리를 임의의 순서로 행하고, 또한 계속해서 단조를 행하는 단조품의 일관 제조 방법에 있어서, 주출 직후 또는 임의의 공정간에 초음파 탐상 검사를 행하는 것으로 하고,
- [0034] 상기 초음파 탐상 검사를, 주조 막대의 둘레 방향으로, 복수의 페이즈드 어레이형 프로브를 소정 각도로 배치하고, 임의의 1개의 페이즈드 어레이형 프로브에 대하여, 그 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 미검사 영역을, 다른 페이즈드 어레이형 프로브의 종파 경사각과 및 종파 수직파에 의한 검사 영역이 보완하도록, 다른 페이즈드 어레이형 프로브를 배치하여 행하는 것을 특징으로 하는 단조품의 일관 제조 방법.
- [0035] [9] 상기 초음파 탐상 검사는,
- [0036] 2개의 페이즈드 어레이형 프로브를, 하기의 2개의 식
- $$2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3) \leq \alpha \leq 2\theta_2 - \theta_3 - \theta_4$$
- $$180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] \geq \theta_4$$
- [0037]
- [0038] 단, θ_2 : 페이즈드 어레이형 프로브의 유효 경사각 각도

- [0039] θ_3 : OP의 중심각
- [0040] θ_4 : 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사과의 불감대의 중심각의 1/2
- [0041] 0: 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사과의 입사점
- [0042] P: 페이즈드 어레이형 프로브의 주사 각도 최대시의 경사각 입사과의 입사점
- [0043] 을 모두 만족하는 배치 각도(α)로 배치하여 행하는 전항 8에 기재된 단조품의 일관 제조 방법.

발명의 효과

- [0044] 상기 [1]에 기재된 초음파 탐상 검사 방법에 따르면, 단면 원형의 주조 막대에 대하여, 페이즈드 어레이형 프로브에 의해 종파 경사각과 및 종파 수직파를 입사하여, 표면 근방을 포함하는 전체 영역을 초음파 탐상 검사할 수 있다. 또한, 음속이 빠른 종파에서는 의사 결합 에코가 탐상 화면에 나타나기 어렵고, 또한 하나의 프로브로 광범위한 탐상이 가능하기 때문에, 높은 검사 정밀도를 얻을 수 있다.
- [0045] 상기 [2]에 기재된 초음파 탐상 검사 방법에 따르면, 2개의 페이즈드 어레이형 프로브의 서로의 미검사 영역을 보완할 수 있는 프로브의 배치 각도(α)가 유도된다.
- [0046] 상기 [3]에 기재된 초음파 탐상 검사 방법에 따르면, 수중을 전파한 초음파는 수면에 도달하기 이전에 충분히 감쇠되기 때문에, 의사 결합 신호의 발생이 억제되어, 고정밀도의 탐상이 가능하다.
- [0047] 상기 [4]에 기재된 초음파 탐상 검사 방법에 따르면, 수평 연속 주조와 초음파 탐상 검사를 연속해서 행하므로 검사 효율이 좋고, 검사 결과를 이후의 공정에 반영시키거나, 주조 조건에 피드백시킬 수 있다. 게다가, 검사 대상 부분에 단부면이 없으므로 단부면에 있어서의 불감대도 없고, 검사 후에 절단된 짧은 부재는 단부면까지 검사 완료로 된다.
- [0048] 상기 [5]에 기재된 초음파 탐상 검사 방법에 따르면, 간단한 장치로 수평 연속 주조에 연속해서 초음파 탐상 검사를 행할 수 있다.
- [0049] 상기 [6] [7]에 기재된 초음파 탐상 장치에 따르면, 상기 초음파 탐상 검사를 실시할 수 있다.
- [0050] 상기 [8] [9]에 기재된 단조품의 일관 제조 방법에 따르면, 공정간에 상기 초음파 탐상 검사가 행하여지므로, 효율적으로 고품질의 단조품을 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0051] 도 1은 단면 원형의 주조재의 초음파 탐상 검사에 있어서, 페이즈드 어레이형 프로브의 미검사 영역을 도시하는 설명도.
- 도 2는 본 발명의 주조재의 초음파 탐상 검사에 있어서의 초음파의 전파를 도시함과 함께, 2개의 페이즈드 어레이형 프로브의 배치 각도를 설명하는 도면.
- 도 3은 도 2의 주요부 확대도.
- 도 4a는 본 발명의 초음파 탐상 검사 장치의 일 실시 형태를 모식적으로 도시하는 정면도.
- 도 4b는 도 4a의 초음파 탐상 검사 장치의 측면도.
- 도 5는 본 발명의 초음파 탐상 검사 장치의 다른 실시 형태를 모식적으로 도시하는 일부 단면을 포함하는 사시도.
- 도 6a는 본 발명의 초음파 탐상 검사 장치를 사용하는 검사 공정을 넣은, 주조부터 단조까지의 단조품의 일관 제조 방법에 있어서의 공정 흐름도.
- 도 6b는 본 발명의 초음파 탐상 검사 장치를 사용하는 검사 공정을 넣은, 주조부터 단조까지의 단조품의 일관 제조 방법에 있어서의 공정 흐름도.
- 도 6c는 본 발명의 초음파 탐상 검사 장치를 사용하는 검사 공정을 넣은, 주조부터 단조까지의 단조품의 일관 제조 방법에 있어서의 공정 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0052] 본 발명에서 사용하는 페이즈드 어레이형 프로브는, 복수의 탐촉자가 병렬되는 것(프로브 블록)이며, 포커스점을 전자적으로 제어하기 때문에, 탐상 중의 멀티 포커스(수직 탐상과 경사각 탐상의 조합)가 가능하며, 넓은 영역의 검사가 가능하다. 또한, 횡과보다도 음속이 빠른 종파에서는 의사 결함 에코가 탐상 화면에 나타나기 어려우므로 검사 정밀도가 높다. 하나의 프로브 블록으로 광범위한 탐상이 가능하기 때문에, 종래의 싱글 프로브를 둘레 방향으로 다수개 배치하는 경우에 발생하는 위치 정밀도의 저하에 의한 검사 정밀도의 저하가 없으므로, 높은 검사 정밀도가 얻어진다.
- [0053] 상기 페이즈드 어레이형 프로브는, 종파 경사각(수직을 포함함)으로 넓은 영역을 탐상할 수 있지만, 그래도 불가피적으로 미검사 영역이 생긴다. 본 발명에 있어서는, 단면 원형의 주조 막대에 대하여, 둘레 방향으로 소정 각도를 갖고 복수의 페이즈드 어레이형 프로브를 배치하여, 서로의 미검사 영역을 서로 보완함으로써 표면 근방을 포함하는 전체 영역을 구석구석까지 검사할 수 있다.
- [0054] 도 1은, 단면 원형의 주조 막대(S)에 대하여, 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)를 배치한 예이다.
- [0055] 제1 페이즈드 어레이형 프로브(1)에 대하여, (1A)(1A)는 최대 주사 범위로부터 벗어난 주사 외 영역이며, (1B)는 입사광이 수직 방향으로 입사하였을 때에 나타나는 저면 에코가 결함 에코로 분류할 수 없기 때문에 발생하는 불감대이다. 이들의 영역(1A)(1A)(1B)은, 제1 페이즈드 어레이형 프로브(1)에 의한 탐상을 할 수 없는 미검사 영역이다. 상기 주사 외 영역(1A)(1A)은 주사 범위를 확대함으로써 작아지지만, 검사 대상이 단면 원형이기 때문에 완전히 없앨 수는 없다. 또한, 상기 불감대(1B)도 불가피적으로 발생하는 영역이다. 마찬가지로, 제2 페이즈드 어레이형 프로브(2)에 대하여, (2A)(2A)는 최대 주사 범위로부터 벗어난 주사 외 영역이며, (2B)는 의사 결함 에코에 의한 불감대이며, 제2 페이즈드 어레이형 프로브(2)에 의한 탐상을 할 수 없는 미검사 영역이다.
- [0056] 도 1로부터, 제1 페이즈드 어레이형 프로브(1)와 제2 페이즈드 어레이형 프로브(2)의 미검사 영역이 중복되지 않도록 배치하면 전체 영역의 검사가 가능하다. 구체적으로는, 제1 페이즈드 어레이형 프로브(1)의 주사 외 영역(1A)과 제2 페이즈드 어레이형 프로브(2)의 주사 외 영역(2A) 사이의 마진(C), 및 제2 페이즈드 어레이형 프로브(2)의 주사 외 영역(2A)과 제1 페이즈드 어레이형 프로브(1)의 불감대(1B) 사이의 마진(D)이 확보되어 있으면 전체 영역을 검사할 수 있다.
- [0057] 이하에, 상술한 고려 방법을 따라, 마진(C)=0으로 하였을 때에, 마진(D)≥0으로 되어 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)의 미검사 영역이 겹치지 않는 조건을 구하는 방법에 대하여, 도 2의 초음파 전파 경로도를 참조하면서 설명한다.
- [0058] 도 2는 마진(C)=0인 상태를 도시하고 있고, 제1 페이즈드 어레이형 프로브(1)의 주사 외 영역(1A)과 제2 페이즈드 어레이형 프로브(2)의 주사 외 영역(2A)이 겹치지 않는 상태에서 접하고 있다. 또한, 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)는 동일한 기능을 갖는 것이며, 공통의 부호를 사용하여 설명한다.
- [0059] 도 2에 있어서의 부호는 이하와 같다. 또한, 도 2에 있어서 주조 막대(S)의 좌측 절반의 전파 경로만을 도시하고, 우측 절반의 전파 경로의 도시는 생략하고 있다.
- [0060] α: 2개의 페이즈드 어레이형 프로브의 배치 각도
- [0061] θ₁: 페이즈드 어레이형 프로브의 최대 주사 각도
- [0062] θ₂: 페이즈드 어레이형 프로브의 유효 경사각 각도
- [0063] θ₃: OP의 중심각
- [0064] θ₄: 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파에 의한 불감대의 중심각의 1/2
- [0065] θ₅: 마진(D)의 중심각
- [0066] O: 페이즈드 어레이형 프로브의 수직 입사파의 입사점
- [0067] P: 페이즈드 어레이형 프로브의 주사 각도 최대시의 경사각 입사파의 입사점

- [0068] Q: 연직선
- [0069] r: 주조 막대의 반경
- [0070] 도 2로부터, 마진(C)=0일 때의 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)의 배치 각도(α)는 수학식 i으로 되고, 또한 제1 페이즈드 어레이형 프로브(1)의 불감대(1B)와 제2 페이즈드 어레이형 프로브(2)의 주사 외 영역(1A)이 겹치지 않게 하기 위한 불감대(1B)의 중심각(θ_4)은 수학식 ii를 만족할 필요가 있다.
- [0071] <수학식 i>
- [0072]
$$\alpha = 2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3)$$
- [0073] <수학식 ii>
- [0074]
$$180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] \geq \theta_4$$
- [0075] 상기 수학식 i은 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)의 배치 각도(α)의 최소값(α_{\min})이기 때문에,
- [0076] <수학식 iii>
- [0077]
$$\alpha_{\min} = 2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3)$$
- [0078] 또한, 수학식 ii로부터, 마진(D)의 중심각(θ_5)은 하기 수학식 iv로 된다.
- [0079] <수학식 iv>
- [0080]
$$\theta_5 = 180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] - \theta_4$$
- [0081] 상기 배치 각도(α)는 마진(D)=0으로 될 때까지 확대할 수 있기 때문에, 배치 각도(α)의 최대값(α_{\max})은 하기 식 v로 된다.
- [0082] <수학식 v>
- [0083]
$$\begin{aligned} \alpha_{\max} &= \alpha_{\min} + \theta_5 \\ &= 2\theta_2 - \theta_3 - \theta_4 \end{aligned}$$
- [0084] 따라서, 주조 막대(S)의 전체 영역을 검사하기 위한 배치 각도(α)가 취할 수 있는 범위는, 상기 수학식 ii를 만족하고, 상기 수학식 iii로 나타내어지는 최소값(α_{\min})으로부터 식 v로 나타내어지는 최대값(α_{\max})까지의 범위로 된다. 즉, 하기의 2개의 식을 만족하도록 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)를 배치하면, 단면 원형의 주조 막대(S)의 전체 영역을 검사할 수 있다.
- [0085]
$$\begin{aligned} 180^\circ - [3\theta_3 + 3(180^\circ - 2\theta_2)] &\geq \theta_4 \\ 2 \times (180^\circ - 2\theta_2 + \theta_3) &\leq \alpha \leq 2\theta_2 - \theta_3 - \theta_4 \end{aligned}$$
- [0086] 다음에, 상기 각 식에 있어서의 기호에 대입해야 할 수치에 대하여 설명한다.
- [0087] 최대 주사 각도(θ_1)는 페이즈드 어레이형 프로브의 사양에 따라 결정되는 각도이다.
- [0088] 유효 경사각 각도(θ_2)는 굴절 각도와 상기 최대 주사 각도(θ_1)로 결정되는 각도이며, 바람직하게는 초음파의 감쇠의 정도와 검출하고자 하는 결함 크기를 고려한다.
- [0089] OP의 중심각(θ_3)은, 도 3에 참조되는 바와 같이, OP간의 거리(x_1) 및 주조 막대(S)의 반경(r)으로부터 하기 식 vi로 나타낼 수 있다.
- [0090] <수학식 vi>
- [0091]
$$\theta_3 = \sin^{-1}(x_1/r)$$
- [0092] 단, OP간의 거리(x_1)의 실측이 곤란한 경우에는, (x_1)이 페이즈드 어레이형 프로브의 크기(x_2)와 $x_1 \approx x_2$ 의 관계에

있기 때문에, 실측한 (x_2)에 의해 하기 식 vi' 에 의해 (θ_3)를 구할 수 있다.

[0093] <수학식 vi' >

[0094]
$$\theta_3 = \text{Sin}^{-1}(x_2/r)$$

[0095] 상기 불감대(1B)의 크기를 나타내는 OP의 중심각의 $1/2(\theta_4)$ 은, 불감대의 크기를 나타내는 것이며, 실측에 의해 구할 수 있다.

[0096] 따라서, 실측치, 수학식 iii, 수학식 iv, 수학식 vi' 로부터, 전체 영역을 검사할 수 있는 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)의 배치 각도(α)를 결정할 수 있다.

[0097] 또한, 상술한 배치 각도(α)를 산출하는 계산식은 동일 사양의 2개의 페이즈드 어레이형 프로브에 기초한 것이지만, 상이한 사양의 페이즈드 어레이형 프로브를 사용하는 경우에는, 각 프로브의 입사 위치나 여러 각도에 기초하여 배치 각도를 구할 수 있다. 또한 3개 이상의 페이즈드 어레이형 프로브를 사용하는 경우에는, 인접하는 프로브의 스캔 외 영역이 겹치지 않고, 또한 하나의 프로브의 불감대가 다른 프로브의 스캔 외 영역에 겹치지 않도록 배치하면 된다.

[0098] [2개의 페이즈드 어레이형 프로브의 배치 각도의 예]

[0099] 반경(r)이 215mm인 주조 막대(S)의 초음파 탐상 검사에 있어서, 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)의 유효 경사각 각도(θ_2)= 40° , 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)의 크기(x_2)가 28.7mm, 불감대의 크기(θ_4)가 17.5° 일 때, 식 vi' 로부터 (θ_3)= 7.6° 가 산출된다.

[0100] 그리고, 수학식 iii, 식 v에 의해, $\alpha_{\min}=95.2^\circ$, $\alpha_{\max}=114.9^\circ$ 로 된다. 따라서, 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)를 배치 각도(α): 95.2° 내지 114.9° 의 범위 내에 설치하면 전체 영역을 검사할 수 있다. 단, 검사 중인 주조 막대(S)의 주행 흔들림을 고려하여, (α_{\min}) 및 (α_{\max})를 피하여 상기 범위의 중간점 또는 중간점의 근방에 배치하는 것이 바람직하다.

[0101] 또한, 복수의 페이즈드 어레이형 프로브는, 서로의 미검사 영역을 서로 보완하는 각도로 배치하면 되므로, 페이즈드 어레이형 프로브가 주조 막대의 둘레 방향의 어디에 있어도 된다. 그러나, 후술하는 초음파 탐상 검사 장치(10)(40)와 같이, 주조 막대(S)의 경사 상방에 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)를 배치하고, 상방으로부터 하방을 향해 초음파를 입사하는 쪽이 바람직하다. 하방으로부터 상방을 향해 초음파를 조사하면, 주조 막대(S)에 입사되지 않았던 초음파가 수면에 반사되고, 그 에코가 의사 결함 신호로서 검출되는 일이 있지만, 상방으로부터 하방에 입사되면 수면을 전파하는 초음파는 수면에 도달하기 이전에 충분히 감쇠되기 때문에, 에코가 의사 결함 신호로서 검출되는 일이 없으므로 고정밀도의 탐상이 가능해지기 때문이다. 또한, 주조 막대(S)가 위치 어긋남되어도 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)와의 위치 관계가 유지되도록 따르는 기구를 부착하는 경우에, 프로브를 주조 막대(S)의 상방에 배치하는 쪽이 배치 상의 제약이 적으므로, 이 점에서도 상방 배치가 바람직하다.

[0102] 또한, 주조 막대(S)와 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2) 사이의 거리(WD)는, 표면파의 반복 에코가 의사 결함 에코가 되지 않도록 충분한 거리로 하는 것이 바람직하다.

[0103] 또한, 검사용 수조의 벽면의 반사 에코가 의사 결함 신호가 되는 일이 있기 때문에, 의사 결함 신호를 피하기 위해 수조는 충분히 큰 것이 바람직하다. 주조 막대(S)의 둘레면으로부터 수조의 벽면까지는, 수중을 전파하는 초음파가 충분히 감쇠될 만큼의 거리가 있는 것이 바람직하다. 또한, 수조 벽면에 흡음재를 배치하고, 의사 결함 에코의 원인으로 되는 음파를 없애는 것으로도 대응할 수 있다.

[0104] 또한, 도 1 내지 도 3에 있어서는, 설명의 사정상, 제1 페이즈드 어레이형 프로브(1)를 바로 위에 배치한 것이며, 주조 막대(S)의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2) 최적 위치를 나타내는 것은 아니다. 후술하는 초음파 탐상 장치(10)(40)에 있어서는, 도 2 및 도 3의 (Q)가 연직선으로 되도록 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)가 배치되어 있다.

[0105] [초음파 탐상 검사 장치]

[0106] (제1 실시 형태)

- [0107] 도 4a 및 도 4b에 도시한 초음파 탐상 검사 장치(10)는, 수조(11)와 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)를 구비하고, 주조 막대(S)를 이동시키면서 검사를 행하는 것이다.
- [0108] 수조(11)에 있어서, 주조 막대(S)의 진행 방향의 벽에는 주조 막대(S)를 통과시키기 위한 관통 구멍(12)(13)이 형성되고, 이들의 관통 구멍(12)(13)보다도 충분히 높은 수위까지 접촉 매질인 물(14)이 저류되어 있다. 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)는, 지지 장치의 수직 아암(15)의 선단에 장착한 수평 아암(16)의 양단부에 브래킷(17)을 개재하여 각도 조절 가능하게 장착되고, 하방을 이동하는 주조 막대(S)에 대하여 경사 상방으로부터 초음파를 조사하는 것으로 이루어져 있다. 상기 수평 아암(15)의 좌우 방향의 중간부에는 주조 막대(S)에 접촉함에 따라서 롤러(18)가 장착되고, 주조 막대(S)의 위치 어긋남에 대응하여 아암(15)(16)의 움직임을 제어함으로써, 주조 막대(S)와 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)가 항상 일정한 위치 관계로 되도록 이루어져 있다.
- [0109] 상기 초음파 탐상 장치(10)는, 이동 중인 주조 막대(S)에 대하여, 주조 막대(S)의 장단에 관계없이 검사할 수 있다. 예를 들어, 수평 연속 주조 장치의 주형으로부터 주조되어 오는 연속 주조 막대(S)에 대하여, 주조 속도로 연속적으로 검사를 행할 수 있다. 또한, 절단한 주조 막대에 대해서도, 이동 장치에 의해 주조 막대(S)를 소정의 속도로 이동시킴으로써 검사할 수 있다. 이와 같이 수조 중(11)에서 주조 막대(S)를 이동시킴으로써, 검사 대상의 길이에 관계없이 검사할 수 있다. 물론, 검사 대상이 수조보다도 작은 경우에는, 검사 대상을 고정하여 페이즈드 어레이형 프로브를 이동시킬 수도 있다.
- [0110] 상기 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)는, 도시하지 않은 제어 장치에 의해 제어되고, 주조 막대(S)의 탐상을 행하여, 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)로부터 발하여진 신호는 신호 처리부(20)로 출력되고, 소정의 처리를 행한 후에 초음파 검사 판정 장치(21)로 출력된다. 초음파 검사 판정 장치(21)에 있어서는, 입력한 신호에 기초하여 결함이나 손상의 유무를 판정하고, 주조 막대(S)의 불량률을 판단한다. 또한, 수평 연속 주조 장치의 주형으로부터 주조되어 오는 연속 주조 막대(S)의 연속 검사이면, 효율적으로 검사를 행할 수 있는데다가, 판정 결과를 주조 조건에 피드백시키거나, 결함 부분을 스프레이 등으로 마킹해 두어, 후단에 설치한 절단 장치(도시 생략)에 있어서 일정 길이로 절단한 후에 결함 부분을 제거할 수도 있다. 또한, 검출한 결함 위치를 기억해 두고, 절단 장치에 있어서 결함 부분만을 절단 제거하면서, 일정 길이로 절단할 수도 있다.
- [0111] 또한, 상기 초음파 탐상 장치(10)에 있어서, 연속 주조 막대(S)는 이동하면서 초음파 탐상 검사를 받을 수 있으므로, 검사 대상 부분에 단부면이 없으므로 단부면에 있어서의 불감대도 없고, 검사 후에 절단된 짧은 부재는 단부면까지 검사 완료로 된다.
- [0112] (제2 실시 형태)
- [0113] 제1 실시 형태의 초음파 탐상 검사 장치(10)는 수조를 사용하는 것이며, 주조 막대의 수몰이 용이하여 충분한 양의 접촉 매질을 확보할 수 있는 점이 유리하다.
- [0114] 그러나, 본 발명의 초음파 탐상 검사 방법은, 수조를 사용하지 않고, 수평 연속 주조 장치의 주형으로부터 주조 막대에 공급되는 냉각수를 이용하여 검사를 행할 수도 있다. 냉각수를 이용함으로써 간단한 구조의 검사 장치로 된다.
- [0115] 도 5는 수평 연속 주조 장치(30)와, 주형의 직후에 배치된 초음파 탐상 검사 장치(40)를 도시하고 있다.
- [0116] 상기 연속 주조 장치(30)에 있어서, 용탕(M)은 턴디쉬(31)로부터 주탕용 노즐(32)을 거쳐 통 형상의 주형(33)에 유입된다. 상기 주형(33)의 출구에는 연속 주조 막대(S)의 주위로 냉각수(35)를 공급하는 냉각수 공급로(34)가 설치되고, 그 토출구(34a)는, 연속 주조 막대(S)를 둘러싸는 환형으로 형성되고, 또한 연속 주조 막대(S)의 주출 방향을 향해 설치되어 있다. 그리고, 토출구(34)로부터 분출한 냉각수(35)는, 연속 주조 막대(S)의 둘레 방향 전체에 공급되고, 연속적으로 주출되는 연속 주조 막대(S)의 표면 상을 주출 방향으로 흘러, 연속 주조 막대(S)를 냉각한다.
- [0117] 상기 초음파 탐상 검사 장치(40)는, 연속 주조 막대(S)가 헐겁게 삽입되는 관통 구멍(41)을 갖는 환형의 독형상체(42)와 2개의 페이즈드 어레이형 프로브(1)(2)를 구비하고 있다. 상기 독형상체(40)는 연속 주조 막대(S)의 높이에 지지 다리(43)에 의해 받침대 위에 고정되고, 관통 구멍(41)의 내경은 연속 주조 막대(S)의 외경보다도 크게 형성되어 있다. 따라서, 연속적으로 주출되는 연속 주조 막대(S)는 관통 구멍(41)에 접촉하지 않고 구멍(41) 내를 진행하여 가고, 연속 주조 막대(S)의 외주면과 관통 구멍(41)의 둘레면 사이의 간극에는 냉각수(35)가 흐른다.
- [0118] 상기 내부 검사 장치(40)에 있어서, 상기 토출구(34a)로부터 토출하여 연속 주조 막대(S)의 표면 상을 주출 방

향으로 흐르는 냉각수(35)는, 상기 독 형상체(40)에 닿아 흐름이 방해되어 그 일부는 독 형상체(42)의 상류측에 저류되고, 나머지는 관통 구멍(41) 내로 흘러 간다.

- [0119] 2개의 페이스드 어레이형 프로브(1)(2)는 지지 부재(도시 생략)에 지지되고, 선단부가 상기 독 형상체(42)의 상류측에 저류되어 수심이 깊어진 부분에 소정의 배치 각도(α)로 삽입되어 있다. 검사 결과는, 신호 처리부(20)로 출력되고, 또한 초음파 검사 판정 장치(21)로 출력된다. 초음파 검사 판정 장치(21)에 있어서는, 입력한 신호에 기초하여 결함이나 손상의 유무를 판정하여, 연속 주조 막대(S)의 불량률 판단함과 함께, 판정 결과를 주조 조건에 피드백한다.
- [0120] 상기 초음파 탐상 검사 장치(40)는, 주형(33)의 냉각수를 접촉 매질로서 이용하는 것이며, 검사 장치에의 반송 설비도 불필요하기 때문에, 검사를 위한 주변 장치를 간략화할 수 있다.
- [0121] 또한, 상기 독 형상체(40)의 관통 구멍(41)의 둘레면에 페이스드 어레이형 프로브(1)(2)를 장착하여 초음파 탐상 검사를 행할 수도 있다.
- [0122] [일관 연속 운전에 있어서의 초음파 탐상 검사]
- [0123] 본 발명의 초음파 탐상 검사 방법은, 주조 직후의 연속 주조 막대의 검사뿐만 아니라, 연속 주조 막대의 절단, 열처리, 필링 등의 다양한 공정을 거쳐 출하 형태로 될 때까지의 일관 연속 운전에 있어서의 임의의 공정간에 있어서 실시할 수 있다. 나아가, 주조 후에 단조를 실시하고, 연속 주조부터 단조품의 제조까지를 일관하여 행할 때에, 주조 직후 또는 임의의 공정간에 있어서도 초음파 탐상 검사를 행할 수 있다.
- [0124] 도 6a 내지 도 6c는, 주조부터 단조품까지의 일관 제조의 공정 흐름을 도시하고 있다.
- [0125] (도 6a)
- [0126] 수평 연속 주조한 긴 연속 주조 막대를 복수의 짧은 부재로 절단하고, 짧은 부재에 열처리를 실시하여 균질화한 후에, 필링을 행하여 표층부의 흑피를 제거한다. 흑피를 제거한 짧은 부재는, 필요하면 외관 검사를 행한 후, 출하한다. 혹은, 외관 검사 후의 짧은 부재에 대하여, 단조 공정을 실시한다. 상기 단조 공정에는, 절단(예비 성형품의 제작), 예비 가열, 단조 성형이 포함되어 있다.
- [0127] 상기 일관 연속 운전에 있어서, 어느 공정간에도 초음파 탐상 검사를 행할 수 있고, 1군데이더라도, 복수 개소이어도 검사할 수 있다. (K)는, 수평 연속 주조 장치의 주형으로부터 주출되어 오는 이동 중인 연속 주조 막대에 검사를 행하는 공정을 도시하고, 수조를 구비한 초음파 탐상 검사 장치(10) 및 주형의 냉각수를 이용하는 초음파 검사 장치(40)의 어느 쪽에 의해서도 검사할 수 있다. 또한, (L)은 긴 연속 주조 막대를 짧은 부재로 절단하여 흑피가 부착된 상태에서 검사하는 공정을 도시하고 있다. (M)은 필링 후의 흑피를 제거한 짧은 부재에 대하여 검사를 행하는 공정을 도시하고 있다. (L) 및 (M)의 공정에서는, 수조를 구비한 초음파 탐상 검사 장치(10)를 사용할 수 있다.
- [0128] (도 6b)
- [0129] 수평 연속 주조한 긴 연속 주조 막대를 복수의 짧은 부재로 절단하고, 필링을 행하여 표층부의 흑피를 제거한다. 흑피를 제거한 짧은 부재에 균질화를 위한 열처리를 행하고, 또한 예열하여 단조 공정을 실시한다.
- [0130] 상기 일관 연속 운전에 있어서, 공정간의 1군데 또는 복수 개소에서 초음파 탐상 검사를 행할 수 있다. 도 6b 중의 (K)(L)(M)은 도 6a 중의 (K)(L)(M)의 검사 공정과 동일하다.
- [0131] (도 6c)
- [0132] 수평 연속 주조한 긴 연속 주조 막대를 복수의 짧은 부재로 절단하고, 균질화를 위한 열처리를 행한 후에, 필링을 행하여 표층부의 흑피를 제거한다. 흑피를 제거한 짧은 부재에 대하여 단조 공정을 실시한다.
- [0133] 상기 일관 연속 운전에 있어서, 공정간의 1군데 또는 복수 개소에서 초음파 탐상 검사를 행할 수 있다. 도 6b 중의 (K)(L)(M)은 도 6a 중의 (K)(L)(M)의 검사 공정과 동일하다.
- [0134] 이상과 같이, 연속 주조부터 단조까지의 일관 제조에 있어서 초음파 탐상 검사를 행함으로써, 효율적으로 고품질의 단조품을 제조할 수 있다.
- [0135] 본 발명의 연속 주조 막대의 검사 방법은, 모든 금속의 주조에 적용할 수 있다. 예를 들어 알루미늄 또는 알루미늄 합금의 연속 주조에 적용할 수 있다.

[0136] 본원은, 2007년 12월 27일에 출원된 일본 특허 출원된 일본 특허 출원 제2007-336453호의 우선권 주장을 수반하는 것이며, 그 개시 내용은 그대로 본원의 일부를 구성하는 것이다.

[0137] 여기에 사용된 용어 및 표현은, 설명을 위해 사용된 것이며 한정적으로 해석하기 위해 사용된 것은 아니고, 여기에 개시되고 또한 설명된 특정 사항의 어떠한 균등물도 배제하는 것이 아니라, 본 발명의 클레임된 범위 내에 있어서의 각종 변형도 허용하는 것이라고 인식되어야만 한다.

산업상 이용가능성

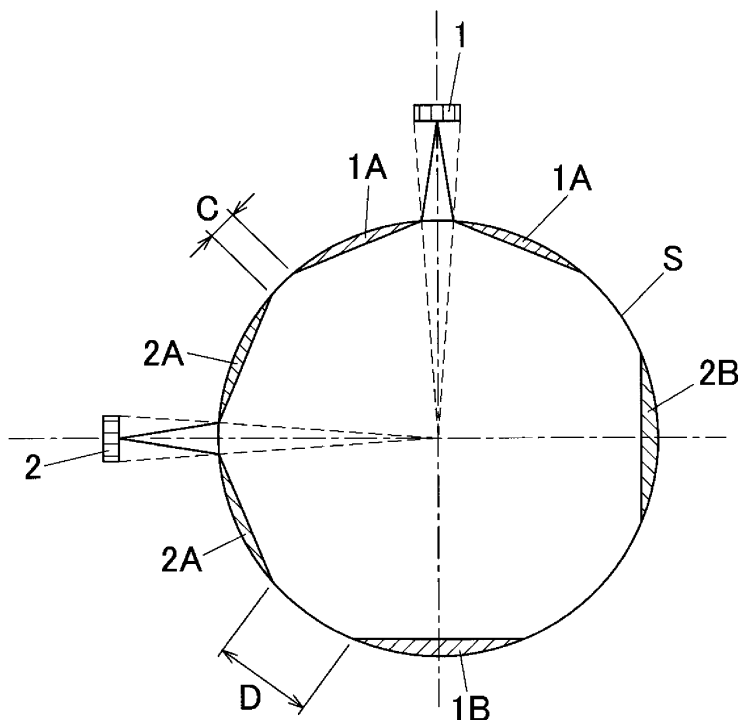
[0138] 본 발명의 주조 막대의 초음파 탐상 검사 방법은, 입사광으로서 종파 경사각파 및 종파 수직파를 이용하여, 복수의 페이즈드 어레이형 프로브로 서로의 미검사 영역을 서로 보완하는 것이기 때문에, 단면 원형의 주조 막대의 전체 영역을 검사할 수 있다. 이 검사 방법을 이용함으로써 건전한 주조 막대를 효율적으로 제조할 수 있다.

부호의 설명

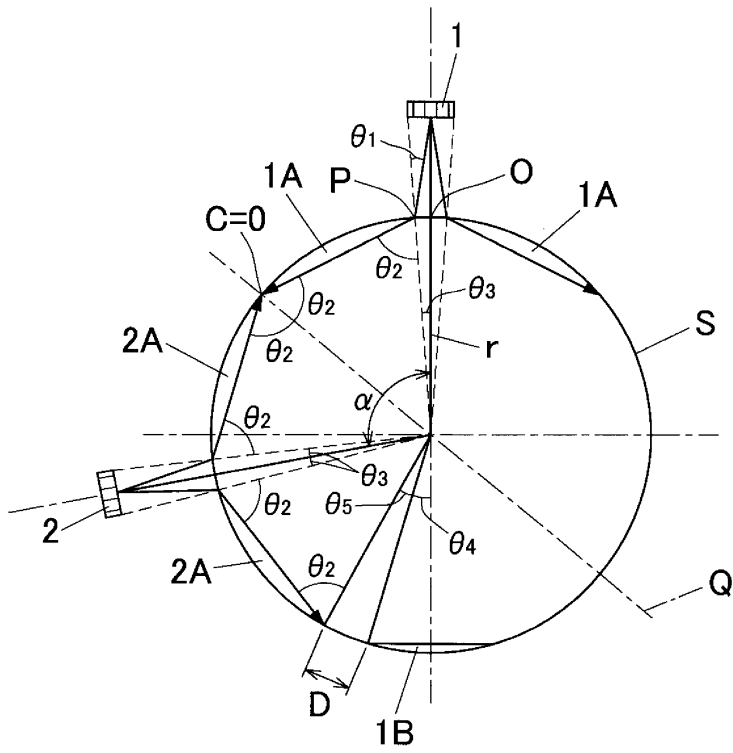
- [0139] 1, 2: 페이즈드 어레이형 프로브
- 1A, 2A: 주사 외 영역(미검사 영역)
- 1B, 2B: 불감대(미검사 영역)
- 10, 40: 초음파 탐상 검사 장치
- 33: 주형
- 35: 냉각수
- 41: 관통 구멍
- 42: 덕 형상체
- S: 주조 막대(연속 주조 막대)

도면

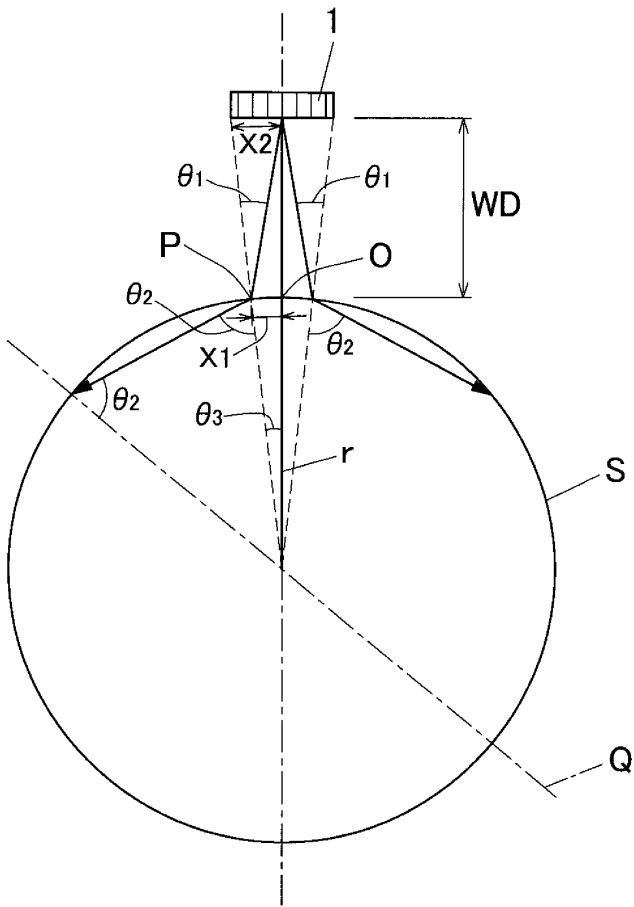
도면1



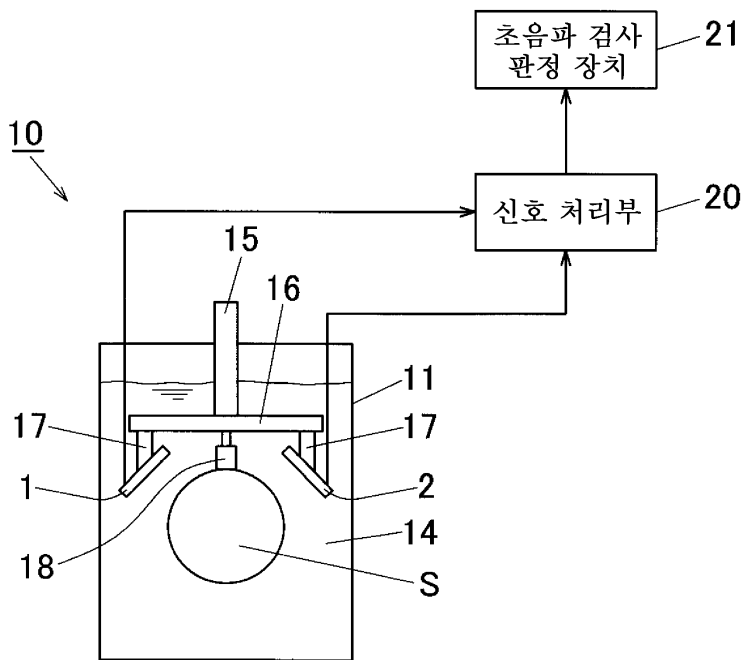
도면2



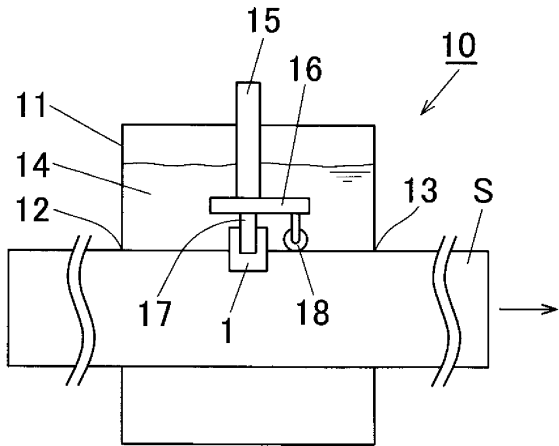
도면3



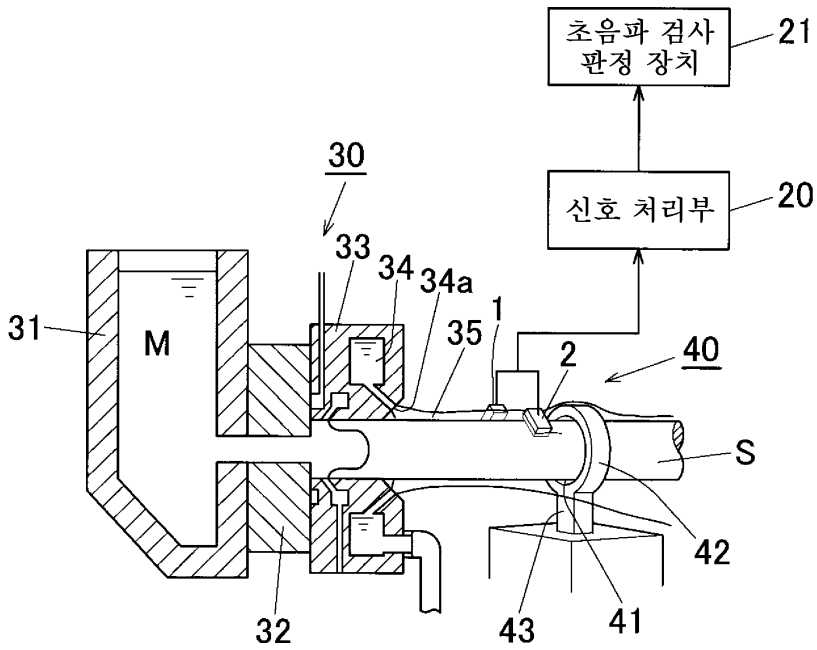
도면4a



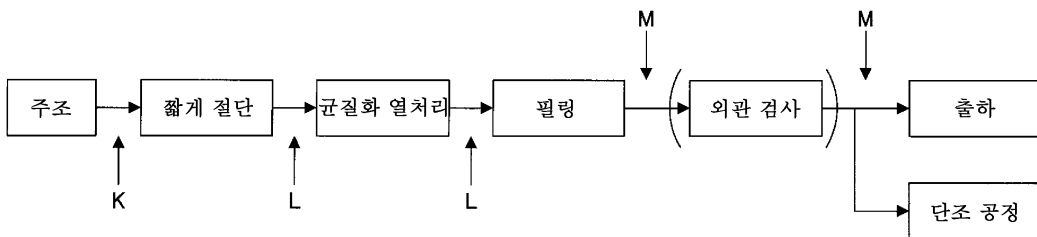
도면4b



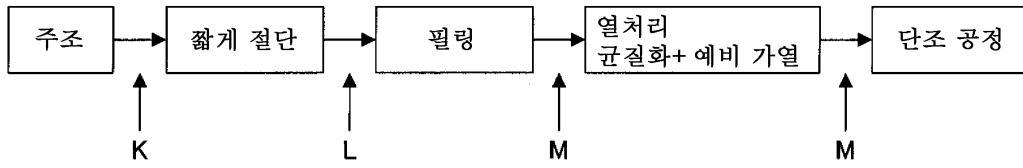
도면5



도면6a



도면6b



도면6c

