



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년10월22일
 (11) 등록번호 10-1454147
 (24) 등록일자 2014년10월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 B21B 37/00 (2006.01) B21B 38/02 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2014-7009650
 (22) 출원일자(국제) 2012년10월03일
 심사청구일자 2014년04월11일
 (85) 번역문제출일자 2014년04월11일
 (65) 공개번호 10-2014-0066752
 (43) 공개일자 2014년06월02일
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2012/075706
 (87) 국제공개번호 WO 2014/054140
 국제공개일자 2014년04월10일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP평성05237546 A
 JP평성09295022 A
 JP04262142 B

(73) 특허권자
 신닛테츠스미킨 카부시카이샤
 일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메 6방 1고
 (72) 발명자
 아카시 토오루
 일본 1008071 도쿄도 지요다꾸 마루노우치 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨 카부시카이샤 내
 오가와 시게루
 일본 1008071 도쿄도 지요다꾸 마루노우치 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨 카부시카이샤 내
 (74) 대리인
 장수길, 성재동

전체 청구항 수 : 총 8 항

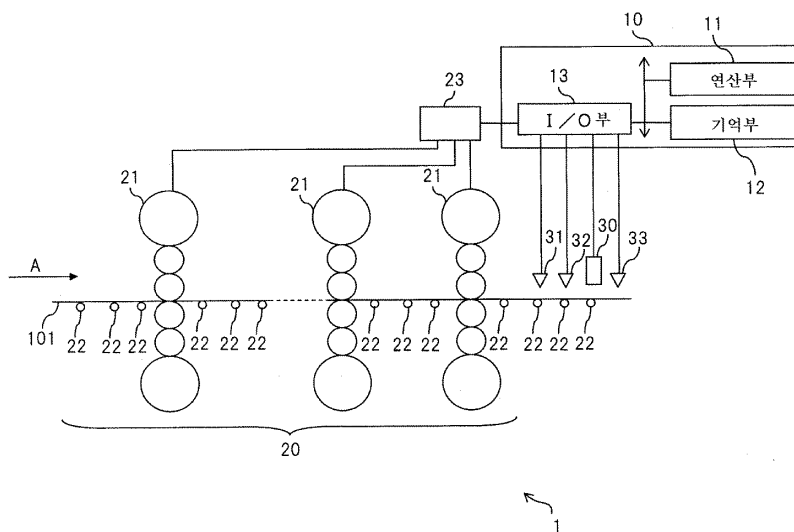
심사관 : 이정엽

(54) 발명의 명칭 **변형 연산 방법 및 압연 시스템**

(57) 요약

압연 장치(20)로 압연된 강관(101)의 형상을 검출하는 스텝과, 검출된 형상으로부터, 압연된 강관의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형을 나타내는 제2 변형 ϵ_2 를 연산하는 스텝과, 압연된 강관의 내부 응력에 대응하는 변형을 나타내는 제3 변형 ϵ_3 의 임계값과 압연된 강관의 형상 사이의 상관관계와, 검출된 형상으로부터 제3 변형 ϵ_3 을 결정하는 스텝이며, 상관 관계는, 검출된 형상에 의해 결정되는 경계 조건과, 압연된 강관의 판 두께와, 압연된 강관의 판 폭과, 압연된 강관의 장력과, 제3 변형의 분포 형상으로부터 버클링 해석에 의해 연산되는 스텝과, 제2 변형 ϵ_2 와 제3 변형 ϵ_3 을 가산함으로써, 전체 응력에 대응하는 변형과, 목표로 하는 압연에 의한 강관의 변형의 차를 나타내는 제1 변형 ϵ_1 을 연산하는 스텝을 갖는 것을 특징으로 하는 변형 연산 방법.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

압연 장치로 압연된 강판의 형상을 검출하는 스텝과,

상기 검출된 형상으로부터, 압연된 강판의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형을 나타내는 제2 변형을 연산하는 스텝과,

압연된 강판의 내부 응력에 대응하는 변형을 나타내는 제3 변형의 임계값과 상기 검출된 형상의 압연 방향 성분의 파장 사이의 상관 관계와, 상기 검출된 형상으로부터 구해지는 형상의 압연 방향 성분의 파장으로부터 상기 제3 변형을 결정하는 스텝이며, 상기 상관 관계는, 상기 검출된 형상에 의해 결정되는 경계 조건과, 압연된 강판의 판 두께와, 압연된 강판의 판 폭과, 압연된 강판의 장력과, 상기 제3 변형의 분포 형상으로부터 버클링 해석에 의해 연산되는 스텝과,

상기 제2 변형과 상기 제3 변형을 가산함으로써, 상기 압연 장치로부터 강판에 가해진 응력에 대응하는 변형과, 목표로 하는 압연에 의한 강판의 변형의 차를 나타내는 제1 변형을 연산하는 스텝을 갖는 것을 특징으로 하는, 변형 연산 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제3 변형의 분포 형상은, 폭 방향 성분이, 일단부가 강판의 중앙부이며 또한 타단부가 강판의 단부인 1차 직선, 단조 증가 곡선 및 단조 감소 곡선, 강판의 중앙부로부터 단조 증가하고, 강판의 단부의 근방으로부터 단조 감소하는 산형 형상, 및 강판의 중앙부로부터 단조 감소하고, 강판의 단부의 근방으로부터 단조 증가하는 골형 형상으로부터 선택되는 어느 하나의 형상이라고 하여 연산되는, 변형 연산 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 상관 관계는, 버클링 방정식에 의해 연산되는, 변형 연산 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 상관 관계는, FEM에 의해 구해져, 상기 검출된 형상의 압연 방향 성분의 파장과 상기 제3 변형의 임계값 사이의 대응 관계를 나타내는 테이블로서 기억되는, 변형 연산 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 연산된 제1 변형을 나타내는 신호를 상기 압연 장치에 송신하는 스텝을 더 포함하고,

상기 연산 장치는, 상기 연산된 제1 변형에 기초하여, 압연된 강판을 원하는 형상으로 하도록 제어되는, 변형 연산 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

에지 웨이브 또는 센터 웨이브가 적어도 반과장에 걸쳐 형성되어 있는 것을 검출하는 스텝을 더 포함하는, 변형 연산 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 연산 장치는, 제1 변형이 제로가 되도록 제어되는, 변형 연산 방법.

청구항 8

강판을 압연하는 압연 장치와,

상기 압연 장치로 압연된 강판의 형상을 검출하는 형상계와,

상기 검출된 형상으로부터, 압연된 강판의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형을 나타내는 제2 변형을 연산하고,

압연된 강판의 내부 응력에 대응하는 변형을 나타내는 제3 변형의 임계값과 상기 검출된 형상으로부터 구해지는 형상의 압연 방향 성분의 과장 사이의 상관 관계와, 상기 검출된 형상으로부터 구해지는 형상의 압연 방향 성분의 과장으로부터 상기 제3 변형을 결정하는 것이며, 상기 상관 관계는, 상기 검출된 형상에 의해 결정되는 경계 조건과, 압연된 강판의 판 두께와, 압연된 강판의 판 폭과, 압연된 강판의 장력과, 상기 제3 변형의 분포 형상으로부터 버클링 해석에 의해 연산되고,

상기 제2 변형과 상기 제3 변형을 가산함으로써, 상기 압연 장치로부터 강판에 가해진 응력에 대응하는 변형과, 목표로 하는 압연에 의한 강판의 변형의 차를 나타내는 제1 변형을 연산하고,

상기 연산된 제1 변형을 나타내는 신호를 상기 압연 장치에 송신하는 변형 연산 장치를 갖고,

상기 압연 장치는, 연산된 제1 변형에 기초하여, 압연된 강판을 원하는 형상으로 하도록 제어되는 것을 특징으로 하는, 압연 시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 압연된 강판의 변형과 내부 응력을 연산하는 연산 방법 및 압연 시스템에 관한 것이다.

[0002] 강판의 압연에서는, 압연 전의 강재에 대해 압연 장치로 강판에 응력을 가하고, 두께, 폭, 길이를 소정의 크기(이하, 목표값이라고도 칭함)로 한 강판을 얻는 것이 목적이다. 그러나 목표값대로의 강판을 얻는 것은 용이하지 않고, 압연 후의 강판의 판면상에는 에지 웨이브(edge wave) 또는 센터 웨이브(center wave)라고 불리는 각종 요철을 발생시키기 쉽다. 압연 장치로부터 강판에 가해진 응력(이하, 전체 응력이라고도 칭함)은 1) 목표값으로 되는 소정의 크기로 하기 위한 변형의 생성, 2) 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 각종 요철로 되는 변형의 생성 및 3) 강판 내의 잔류 응력의 생성에 소모된다.

[0003] 판면상의 요철이 발생하지 않는 압연을 실시하기 위해서는, 이들 변형과 응력의 관계를 모두 파악하여 제어할 필요가 있다. 특히, 전체 응력에 대응하는 변형과, 소정의 크기로 하기 위한 변형의 차를 파악하고, 이것을 제어하는 것이 중요하다. 그러나 이 차의 파악을 정확하게 행하는 방법은, 아직 실현되어 있지 않다.

배경 기술

[0004] 압연에 있어서의 변형을 파악하기 위해서는, 압연 전후의 강판의 형상을 측정해야만 한다. 압연된 강판의 형상을 계측하는 기술은, 몇가지가 알려져 있다. 예를 들어, 특허문헌 1에는, 복수의 광학계 거리계를 갖는 계측 장치를 사용하여 측정되는 강판의 판 두께와, 강판의 판 평면상의 위치를 관련지어, 변형에 의한 강판의 변형을 파악하는 기술이 기재되어 있다. 또한, 특허문헌 1에는, 압연 후에 측정된 강판의 변형에 기초하여, 압하 위치 및 압하력을 조정하여, 압연된 강판의 변형을 억제하는 기술이 기재되어 있다.

[0005] 또한, 압연된 강판의 변형을 예측하는 형상 예측 모델과, 압연된 강판의 변형을 측정된 측정 데이터를 사용하여 압연에 의한 강판의 형상 불량의 발생을 억제하는 기술이 알려져 있다. 특허문헌 2에는, 압연된 강판의 변형을 연속해서 측정된 측정 데이터와, 변형을 예측하는 예측 형상 모델로부터, 압연 중의 강판의 형상 불량을 순차적으로 수정하기 위해 워크 롤 벤딩력을 조정하는 기술이 기재되어 있다. 여기서, 예측 형상 모델은, 압연된 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 임계값에 상당하는 불감대를 고려한 후에, 측정된 변형에 기초하여 순차적으로 수정되어 있다.

[0006] 한편, 에지 웨이브 및 센터 웨이브 등의 박판의 형상 불량의 발생 메커니즘을 해석하는 기술이 알려져 있다. 비특허문헌 1에는, 에지 웨이브 및 센터 웨이브의 발생 메커니즘을, 에지 웨이브의 버클링 방정식 및 센터 웨이

브의 버클링 방정식에 의해 각각 근사적으로 해석하는 기술이 기재되어 있다. 비특허문헌 2에는, 압연된 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 임계값인 버클링 임계점을 해석하는 기술이 기재되어 있다.

[0007] 특허문헌 3에는, 비특허문헌 1에 기재되는 버클링 방정식을 응용한 기술이 기재되어 있다. 구체적으로는, 특허문헌 3에는, 전체 응력과, 목표로 하는 압연에 의한 강판의 변형에 대응하는 응력의 차를, 냉각 후에 요철 형상으로서 나타나는 변형으로 변환되어 개방되는 응력 성분과, 변형 후에도 강판 내에 잔류하는 응력 성분으로 분리하는 기술이 기재되어 있다. 또한, 특허문헌 3에서는, 이와 같은 기술에 기초하여, 강판이 냉각되었을 때에 발생하는 파형 형상을 예측하는 기술이 기재되어 있다. 특허문헌 3에 기재되는 기술에서는, 냉각 후에 요철 형상으로서 나타나는 변형으로 변환되어 개방되는 응력 성분은, 전체 응력과, 목표로 하는 압연에 의한 강판의 변형에 대응하는 응력의 차로부터, 변형 후에도 강판 내에 잔류하는 응력 성분을 감산하여 얻어진다. 계속해서, 감산하여 얻어진 응력 성분과, 급준도로부터 연산되는 변형을 비교함으로써 냉각 후의 파형 형상이 예측되어 있다. 여기서는, 전체 응력과, 목표로 하는 압연에 의한 강판의 변형에 대응하는 응력의 차는, 온도 분포 등으로부터 추정되는 기지의 값으로서 다루어져 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 평5-237546호 공보
- (특허문헌 0002) 일본 특허 공개 평9-295022호 공보
- (특허문헌 0003) 일본 특허 제4262142호

비특허문헌

- [0009] (비특허문헌 0001) 「에지 웨이브·센터 웨이브의 발생 기구에 관한 해석적 연구(Buckling Analysis of Edge Wabes and Middle Waves of Cold Rolled Sheet)」 일본 소성 가공 학회지:소성과 가공, 제28권 제312호(1987-1) p58-66
- (비특허문헌 0002) 「TMCP 강판의 버클링과 발생의 예측 모델 및 방지 기술의 개발(Development of prediction model and prevention method of buckling of TMCP steel plate)」CAMP-ISIJ Vol.8(1995)-1210

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 그러나 특허문헌 1에 기재되는 기술의 제어에서는, 압연된 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형은 고려되어 있지만, 강판의 내부 응력은 고려되어 있지 않다. 이로 인해, 어떠한 외란에 의해 압연시의 응력이 변화됨으로써, 내부 응력이 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타날 우려가 있다.

[0011] 또한, 특허문헌 2에 기재되는 기술에서는, 압연된 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 임계값에 상당하는 불감대의 연산 방법이 기재되어 있지 않다. 또한, 특허문헌 2에 기재되는 기술의 제어 대상은, 비선형인 크라운 변화율이기 때문에, 제어가 복잡해질 우려가 있다.

[0012] 또한, 특허문헌 3에 기재되는 기술에서는, 전체 응력과, 목표로 하는 압연에 의한 강판의 변형에 대응하는 응력의 차를, 요철 형상으로서 나타나는 변형으로 변환되어 개방되는 응력 성분과, 변형 후에도 강판 내에 잔류하는 응력 성분으로 분리하고 있다. 그러나 요철 형상으로서 나타나는 변형으로 변환되어 개방되는 응력 성분과, 변형 후에도 강판 내에 잔류하는 응력 성분에 기초하여, 전체 응력과, 목표로 하는 압연에 의한 강판의 변형에 대응하는 응력의 차를 연산하는 방법은 전혀 기재 및 시사되어 있지 않다. 본 발명은 상기 문제점을 감안하여, 압연된 강판의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형과, 압연된 강판의 내부 응력에 대응하는 변형에 기초하여, 전체 응력에 대응하는 변형과, 목표값으로 되는 소정의 크기로 하기 위한 변형의 차를 연산하는 연산 방법 및 압연 시스템을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 이하와 같이 제1, 제2 및 제3 변형을 정의한다.
- [0014] 압연 장치로부터 강관에 가해진 응력에 대응해야 하는 변형과, 목표값으로 되는 소정의 크기로 하기 위한 변형의 차를 제1 변형이라고 칭한다. 압연된 강관의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형을 제2 변형이라고 칭한다. 또한, 압연된 강관의 내부 응력에 대응하는 변형을 제3 변형이라고 칭한다.
- [0015] 본 발명의 요지는 이하와 같다.
- [0016] (1) 압연 장치로 압연된 강관의 형상을 검출하는 스텝과,
- [0017] 검출된 형상으로부터, 압연된 강관의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 제2 변형을 연산하는 스텝과,
- [0018] 압연된 강관의 내부 응력에 대응하는 변형을 나타내는 제3 변형의 임계값과 검출된 형상의 압연 방향 성분의 파장 사이의 상관 관계와, 검출된 형상의 압연 방향 성분의 파장으로부터 제3 변형을 결정하는 스텝이며, 상관 관계는, 검출된 형상에 의해 결정되는 경계 조건과, 압연된 강관의 판 두께와, 압연된 강관의 판 폭과, 압연된 강관의 장력과, 제3 변형의 분포 형상으로부터 버클링 해석에 의해 연산되는 스텝과,
- [0019] 제2 변형과 제3 변형을 가산함으로써, 압연 장치로부터 강관에 가해진 응력에 대응하는 변형과, 목표값으로 되는 소정의 크기로 하기 위한 변형의 차를 나타내는 제1 변형을 연산하는 스텝을 갖는 것을 특징으로 하는 변형 연산 방법.
- [0020] (2) 제3 변형의 분포 형상은, 폭 방향 성분이, 일단부가 강관의 중앙부이며 또한 타단부가 강관의 단부인 1차 직선, 단조 증가 곡선 및 단조 감소 곡선, 강관의 중앙부로부터 단조 증가하고, 강관의 단부의 근방으로부터 단조 감소하는 산형 형상, 및 강관의 중앙부로부터 단조 감소하고, 강관의 단부의 근방으로부터 단조 증가하는 골형 형상으로부터 선택되는 어느 하나의 형상이라고 하여 연산되는 (1)의 변형 연산 방법.
- [0021] (3) 상관 관계는, 버클링 방정식에 의해 연산되는 (1) 또는 (2) 중 어느 하나의 변형 연산 방법.
- [0022] (4) 상관 관계는, FEM에 의해 구해져, 검출된 형상의 압연 방향 성분의 파장과 제3 변형의 임계값 사이의 대응 관계를 나타내는 테이블로서 기억되는 (1) 또는 (2) 중 어느 하나의 변형 연산 방법.
- [0023] (5) 연산된 제1 변형을 나타내는 신호를 압연 장치에 송신하는 스텝을 더 포함하고, 압연 장치는, 연산된 제1 변형에 기초하여, 압연된 강관을 원하는 형상으로 하도록 제어되는 (1)~(4) 중 어느 하나의 변형 연산 방법.
- [0024] (6) 에지 웨이브 또는 센터 웨이브가 적어도 반파장에 걸쳐 형성되어 있는 것을 검출하는 스텝을 더 포함하는 (5)에 기재된 변형 연산 방법.
- [0025] (7) 연산 장치는, 제1 변형이 제로가 되도록 제어되는 (5)에 기재된 변형 연산 방법.
- [0026] (8) 강관을 압연하는 압연 장치와,
- [0027] 압연 장치로 압연된 강관의 형상을 검출하는 형상계와,
- [0028] 검출된 형상으로부터, 압연된 강관의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형을 나타내는 제2 변형을 연산하고,
- [0029] 압연된 강관의 내부 응력에 대응하는 변형을 나타내는 제3 변형의 임계값과 압연된 강관의 형상 사이의 상관 관계와, 검출된 형상으로부터 제3 변형을 결정하는 것이며, 상관 관계는, 검출된 형상에 의해 결정되는 경계 조건과, 압연된 강관의 판 두께와, 압연된 강관의 판 폭과, 압연된 강관의 장력과, 제3 변형의 분포 형상으로부터 버클링 해석에 의해 연산되고,
- [0030] 제2 변형과 제3 변형을 가산함으로써, 압연 장치로부터 강관에 가해진 응력에 대응하는 변형과, 목표값으로 되는 소정의 크기로 하기 위한 변형의 차를 나타내는 제1 변형을 연산하고,
- [0031] 연산된 제1 변형을 나타내는 신호를 압연 장치에 송신하는 변형 연산 장치를 갖고,
- [0032] 압연 장치는, 연산된 제1 변형에 기초하여 제1 변형을 원하는 값으로 하도록 제어되는 것을 특징으로 하는 압연 시스템.

발명의 효과

[0033] 본 발명에 따르면, 압연된 강관의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형을 나타내는 제2 변형과, 압연된 강관의 내부 응력에 대응하는 변형인 제3 변형에 기초하여, 압연 장치로부터 강관에 가해진 응력에 대응하는 변형과, 목표값으로 되는 소정의 크기로 하기 위한 변형의 차를 나타내는 제1 변형을 연산하는 것이 가능하게 되었다.

[0034] 또한, 본 발명에 따르면, 압연된 강관의 장력이 작을 때의 강관의 수율을 향상시키는 것이 가능하게 된다. 예를 들어, 열간 압연에 있어서, 압연을 개시하고 나서 권취 장력이 발생할 때까지의 동안에 압연되는 부분(압연 톱부라고도 칭해짐)의 수율을 향상시키는 것도 가능하게 된다. 또한, 열간 압연에 있어서, 압연을 종료하기 직전의 권취 장력이 감소하고 있는 동안에 압연되는 부분(압연 보텀부라고도 칭해짐)의 수율을 향상시키는 것도 가능하게 된다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1은 압연 시스템의 일례의 회로 블록도이다.
- 도 2는 연산부의 기능 블록도이다.
- 도 3의 (a)는 형상 데이터 해석부가 해석한 데이터의 일례를 플롯 표시한 해석 화상을 나타내는 도면이며, (b)는 제2 변형과 강관의 폭 방향 위치 사이의 관계를 나타내는 도면이다.
- 도 4는 경계 조건 판정부의 판정 처리 플로우를 나타내는 도면이다.
- 도 5의 (a)는 강관의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 예지 웨이브인 경우의 경계 조건을 개략적으로 나타내는 도면이며, (b)는 강관의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 센터 웨이브인 경우의 경계 조건을 개략적으로 나타내는 도면이며, (c)는 강관의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 쿼터 웨이브인 경우의 경계 조건을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- 도 6의 (a)는 강관의 요철 형상의 압연 방향 성분의 변위를 나타내는 도면이며, (b)는 소성 변형 분포의 평균값과 강관의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 사이의 상관 관계를 연산할 때에 사용되는 폭 방향 성분의 제3 변형의 분포를 나타내는 도면이며, (c)는 소성 변형 분포의 평균값과 강관의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 사이의 상관 관계를 나타내는 도면이며, (d)는 연산된 제3 변형의 분포를 나타내는 도면이다.
- 도 7의 (a)는 제2 변형의 강관의 폭 방향 중앙부로부터 폭 방향 단부까지의 분포를 나타내는 도면이며, (b)는 제3 변형의 강관의 폭 방향 중앙부로부터 폭 방향 단부까지의 분포를 나타내는 도면이며, (c)는 제2 변형과 제3 변형을 가산한 제1 변형의 강관의 폭 방향 중앙부로부터 폭 방향 단부까지의 분포를 나타내는 도면이다.
- 도 8은 제1 변형을 연산하는 연산 플로우의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 9는 압연 시스템의 다른 예의 회로 블록도이다.
- 도 10은 제1 변형을 연산하는 연산 플로우의 다른 예를 나타내는 도면이다.
- 도 11은 압연 시스템의 다른 예의 회로 블록도이다.
- 도 12는 제3 변형의 분포의 다른 예를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하, 도 1~12를 참조하여, 본 발명에 따른 전원 선택 회로를 갖는 압연 시스템에 대해 설명한다. 우선, 도 1~8을 참조하여, 압연 시스템의 제1 실시 형태에 대해 설명한다.
- [0037] 도 1은 제1 실시 형태에 따른 압연 시스템(1)의 회로 블록도이다.
- [0038] 압연 시스템(1)은 변형 연산 장치(10)와, 강관(101)을 화살표 A의 방향으로 압연하는 열간 탠덤 압연 장치(20) [이하, 간단히 압연 장치(20)라고도 칭함]를 갖는다. 또한, 압연 시스템(1)은 압연된 강관(101)의 형상, 판 두께, 판 폭 및 장력을 각각 검출하는 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)를 갖는다.
- [0039] 변형 연산 장치(10)는 연산부(11)와, 기억부(12)와, I/O부(13)를 갖는다. 열간 탠덤 압연 장치(20)는 강관(101)을 순차 압연하는 복수단의 스탠드(21)와, 강관(101)을 반송하는 복수의 통관 롤(22)과, 복수단의 스탠드

(21)의 압하 위치 및 압하력을 각각 조정하는 압연 제어 장치(23)를 갖는다.

- [0040] 연산부(11)는 CPU(Central Processing Unit:중앙 처리 유닛)나, DSP(digital signal processor)를 구비한다. 연산부(11)는 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)로부터 수신하는 검출 데이터를 기억부(12)에 기억되는 연산 프로그램에 기초하여, 전체 응력에 대응하는 변형과, 목표값으로 되는 소정의 크기로 하기 위한 변형의 차를 나타내는 제1 변형 ε_1 을 연산한다.
- [0041] 기억부(12)는 각종 프로그램을 기억하기 위한 비휘발성 메모리와, 데이터를 1차적으로 기억하기 위한 휘발성 메모리를 갖는다. 기억부(12)는 연산부(11)가 실행하는 연산 프로그램 및 연산 프로그램을 실행하기 위해 필요한 OS 등의 기본 소프트웨어를 기억한다. 또한, 기억부(12)는 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)로부터 수신하는 검출 데이터를 기억한다.
- [0042] I/O부(13)는 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)로부터 각각 송신된 검출 데이터를 연산부(11)가 처리 가능한 데이터로 변환한다. I/O부(13)에 의해 수신된 검출 데이터는, 기억부(12)에 기억된다. I/O부(13)는 연산부(11)가 처리한 데이터를 압연 제어부(23)에 송신한다.
- [0043] 복수단의 스탠드(21)는 각각, 상하 한 쌍의 작업 롤과, 작업 롤을 사이에 두도록 배치되는 한 쌍의 보강 롤을 갖는다. 스탠드(21)의 단수는 얼마라도 상관없지만, 2단, 4단, 6단으로 해도 된다. 또한, 복수단의 스탠드(21)는 각각, 도시하지 않은 형상 제어 액추에이터를 갖는다. 형상 제어 액추에이터는, 압연 제어부(23)로부터 송신되는 제어 신호에 기초하여, 강판(101)에 소정의 압하 하중을 가함과 함께, 강판(101)에 벤더, 워크 롤 슈프트, 페어 크로스 등의 다양한 형상을 부여한다.
- [0044] 형상계(30)는 복수의 점 형상 광원과, 촬상 장치를 갖고, 강판(101)의 압연 방향과 수직 방향으로 강판(101)의 상면에 순차 조사되는 복수의 점 형상 광원으로부터의 광을 촬상함으로써, 압연된 강판(101)의 형상을 검출한다.
- [0045] 판 두께계(31)는 X선 두께계이며, 강판(101)의 판 두께를 검출한다.
- [0046] 판 폭계(32)는 스폿형 레이저 광과 거리계이며, 강판(101)의 판 폭을 검출한다.
- [0047] 장력계(33)는 소정의 간격으로 배치된 2개의 검출부를 갖고, 2개의 검출부가 강판(101)에 형성되는 검출 구멍을 검출함으로써 강판(101)의 장력을 검출한다.
- [0048] 도 2는 변형 연산 장치(10)의 연산부(11)의 기능 블록도이다.
- [0049] 연산부(11)는 형상 데이터 해석부(51)와, 제2 변형 연산부(52)와, 경계 조건 판정부(53)와, 제3 변형 연산부(54)와, 제1 변형 연산부(55)를 갖는다. 이들 구성 요소(51~55)에 의한 처리는, 기억부(12)에 기억된 연산 프로그램을 연산부(11)가 실행함으로써 실시된다.
- [0050] 형상 데이터 해석부(51)는 형상계(30)가 검출한 강판(101)의 형상으로부터, 강판(101)에 주기적으로 나타나는 요철 형상의 압연 방향 성분의 파장 $2L$ 및 강판(101)의 평면상의 검출 지점 각각의 높이 방향의 변위를 해석한다.
- [0051] 도 3의 (a)는 형상계(30)가 검출한 강판(101)의 형상으로부터 형상 데이터 해석부(51)가 해석한 데이터의 일례를 플롯 표시한 해석 화상(300)을 나타내는 도면이다.
- [0052] 해석 화상(300)은 x 좌표, y 좌표 및 z 좌표를 갖는다. x 좌표는, 강판(101)의 폭 방향의 중앙부에 있어서의 압연 방향에 대응하는 좌표이다. y 좌표는, 강판(101)의 폭 방향에 대응하는 좌표이다. z 좌표는, 강판(101)의 높이 방향에 대응하는 좌표이다.
- [0053] 해석 화상(300)의 정현파형 형상의 단면은, 강판(101)의 폭 방향의 단부의 단면에 대응한다. 강판(101)의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상은 예지 웨이브이므로, 해석 화상(300)은 폭 방향의 단부에 정현파형 형상의 단면을 갖는다. 또한, 강판(101)의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 센터 웨이브인 경우에는, 강판(101)의 폭 방향의 단부에는 요철 형상은 발생하지 않고, 강판(101)의 폭 방향의 중앙부에 대응하는 x 좌표상에 정현파형 형상의 단면이 발생한다.
- [0054] 제2 변형 연산부(52)는 형상 데이터 해석부(51)가 해석한 데이터에 기초하여, 압연된 강판의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 제2 변형 ε_2 를 연산한다. 우선, 제2 변형 연산부(52)는 수학적

(1)~(3)에 기초하여, 폭 위치가 j번째인 변형 ε'_j 를 순차 연산한다.

수학식 1

$$\varepsilon_j = \frac{\sum_{i=1}^L (ds_{ij} - dx_{ij})}{\sum_{i=1}^L dx_{ij}} \quad (1)$$

[0055]

수학식 2

$$ds_{ij} = \sqrt{(dx_{ij})^2 + (dz_{ij})^2} \quad (2)$$

[0056]

수학식 3

$$\varepsilon'_j = \varepsilon_j - \varepsilon_{(j=1)} \quad (3)$$

[0057]

여기서, dx_{ij} 는, x축 방향으로 서로 인접하는 검출 지점간의 거리이며, dz_{ij} 는, dx_{ij} 에 대응하는 검출 지점간의 z축 방향의 거리이다. L은, 강판(101)에 주기적으로 나타나는 요철 형상의 압연 방향 성분의 반복장이며, ε_j 는 강판(101)의 폭 방향의 중앙부의 z 방향의 높이와 폭 방향으로부터 j번째의 지점의 제2 변형 ε_2 의 값을 포함하는 값이다. 또한, 수학식 (3)의 $\varepsilon_{(j=1)}$ 은 폭 방향의 중앙부의 z 방향의 높이이다. 수학식 (3)으로 연산되는 변형 ε'_j 는, 폭 방향으로부터 j번째의 지점의 제2 변형 ε_2 의 값에 대응한다.

[0058]

도 3의 (b)는 수학식 (1)~(3)에 기초하여, 연산되는 제2 변형 ε_2 와, 강판(101)의 폭 방향 위치 사이의 관계를 나타내는 도면이다.

[0059]

경계 조건 판정부(53)는 형상 데이터 해석부(51)가 해석한 데이터에 기초하여, 강판(101)의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이, 에지 웨이브, 센터 웨이브, 또는 쿼터 웨이브 중 어느 것인지를 판정한다.

[0060]

도 4는 경계 조건 판정부(53)의 판정 처리 플로우를 나타내는 도면이다.

[0061]

우선, 스텝 S101에 있어서, 경계 조건 판정부(53)는 강판(101)의 폭 방향의 쿼터부의 높이와, 강판(101)의 폭 방향의 중앙부 및 단부의 높이를 비교한다. 경계 조건 판정부(53)가 강판(101)의 폭 방향의 쿼터부의 피크 높이가 높다고 판정한 경우에는, 처리는 스텝 S102로 진행한다. 한편, 경계 조건 판정부(53)가 강판(101)의 폭 방향의 쿼터부의 피크 높이가 낮다고 판정한 경우에는, 처리는 스텝 S103으로 진행한다.

[0062]

스텝 S101에 있어서, 경계 조건 판정부(53)가 강판(101)의 폭 방향의 쿼터부의 높이가 높다고 판정한 경우, 스텝 S102에 있어서, 경계 조건 판정부(53)는 강판(101)의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상은 쿼터 웨이브라고 판정한다.

[0063]

스텝 S101에 있어서, 경계 조건 판정부(53)가 강판(101)의 폭 방향의 쿼터부의 높이가 낮다고 판정한 경우, 스텝 S103에 있어서, 경계 조건 판정부(53)는 강판(101)의 폭 방향의 중앙부의 높이와, 단부의 높이를 비교한다.

[0064]

스텝 S103에 있어서, 경계 조건 판정부(53)가 강판(101)의 폭 방향의 중앙부의 높이가 높다고 판정한 경우, 스텝 S104에 있어서, 경계 조건 판정부(53)는 강판(101)의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상은 센터 웨이브라고 판정한다.

[0065]

스텝 S103에 있어서, 경계 조건 판정부(53)가 강판(101)의 폭 방향의 중앙부의 높이가 낮다고 판정한 경우, 스텝 S105에 있어서, 경계 조건 판정부(53)는 강판(101)의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상은 에

[0066]

지 웨이브라고 판정한다.

- [0067] 도 5는 강판(101)의 요철 형상에 의해 결정되는 경계 조건을 개략적으로 나타내는 도면이다. 도 5의 (a)는 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 에지 웨이브인 경우의 경계 조건을 나타낸다. 도 5의 (b)는 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 센터 웨이브인 경우의 경계 조건을 나타낸다. 도 5의 (c)는 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 쿼터 웨이브인 경우의 경계 조건을 나타낸다.
- [0068] 도 5의 (a)에 나타내는 강판(101)의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 에지 웨이브인 경우의 경계 조건은, 폭 방향의 단면(이하, C 단면이라고도 칭함)의 중앙부에 있어서 폭 방향의 변위 및 높이 방향의 변위를 구속하고, 또한 단부에 있어서 무구속으로 하는 조건이다.
- [0069] 도 5의 (b)에 나타내는 강판(101)의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 센터 웨이브인 경우의 경계 조건은, C 단면의 중앙부에 있어서 압연 방향 둘레의 회전을 구속하고, 또한 단부에 있어서 높이 방향의 변위를 구속하는 조건이다.
- [0070] 도 5의 (c)에 나타내는 강판(101)의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이 쿼터 웨이브인 경우의 경계 조건은, C 단면의 중앙부 및 단부의 양쪽에 있어서 폭 방향의 변위 및 높이 방향의 변위를 구속하는 조건이다.
- [0071] 제3 변형 연산부(54)는 압연된 강판(101)의 내부 응력에 대응하는 변형을 나타내는 제3 변형 ε_3 을 연산한다. 제3 변형 ε_3 은, 압연된 강판(101)의 판 두께, 판 폭, 장력, 경계 조건 판정부(53)의 판정에 의해 결정되는 경계 조건 및 강판(101)에 주기적으로 나타나는 요철 형상의 압연 방향 성분의 과장에 기초하여, 버클링 방정식을 사용한 버클링 해석에 의해 연산된다.
- [0072] 제3 변형 연산부(54)는 소정의 폭 방향 위치마다, 수학식 (4)~(11)에 나타내어지는 버클링 방정식의 해를 구한다. 제3 변형 연산부(54)는 구해진 해로부터, 압연된 강판(101)의 제3 변형 ε_3 의 임계값(criteria)을 결정한다. 제3 변형 연산부(54)가 결정하는 제3 변형 ε_3 의 임계값은, 강판(101)에 이 값 이상의 변형이 잔류한 경우에, 강판(101)에 제2 변형이 발생하는 것을 나타내는 값이다. 여기서는, 압연된 강판(101)에 제3 변형 ε_3 의 임계값 이상의 변형이 잔류하고 있는 경우, 압연된 강판(101)에 제2 변형이 발생하는 것으로 하고 있다. 즉, 제2 변형이 발생하고 있는 강판(101)의 내부에는, 적어도 제3 변형 ε_3 의 임계값에 상당하는 변형이 내부에 잔류하고 있는 것으로 하고 있다.
- [0073] 제3 변형 연산부(54)는 수학식 (4)에 있어서, 비특허문헌 1에 기재된 바와 같이 $F=0$ 을 만족시키는 해를 구함으로써, 변형 ε_x^* 의 버클링 방정식의 해를 구한다.

수학식 4

$$\begin{aligned}
 F &= \delta (\delta^2 \pi) \\
 &= 2 \int_{\mathbb{R}} [\delta w_{1,x} \{h \sigma_1 + E h (\varepsilon_x^* - \varepsilon_x^*)\} w_{1,x}] dx dy \\
 &\quad + 2D \int_{\mathbb{R}} [\delta w_{1,xx} w_{1,xx} + \delta w_{1,yy} w_{1,yy} \\
 &\quad + \nu (\delta w_{1,xx} w_{1,yy} + \delta w_{1,yy} w_{1,xx}) \\
 &\quad + 2(1-\nu) \delta w_{1,xy} w_{1,xy}] dx dy \quad (4)
 \end{aligned}$$

- [0074]
- [0075] 여기서, w는 요철 형상의 높이 방향의 변위를 나타내고, 첨자 1은 버클링 후의 미소 변위 증분을 나타내고, ε_n^* 은,

수학식 5

$$\epsilon_x' = \int_0^b \epsilon_x' dy / (2b) \quad (5)$$

[0076]

[0077] 로 나타내어지고, 소성 변형 분포 ϵ_x' 의 평균값을 나타낸다. 또한, b는 압연된 강판(101)의 판 폭의 절반의 길이이며, h는 압연된 강판(101)의 판 두께이며, σ_f 는 압연된 강판(101)의 장력이다. 또한, E는 영률을 나타내고, ν 는 포와송비를 나타낸다. 또한, D는,

수학식 6

$$D = Eh^3 / 12 (1 - \nu^2) \quad (6)$$

[0078]

[0079] 이다. 또한, 압연된 강판(101)의 요철 형상의 높이 방향의 변위의 폭 방향 성분 w(y)는 수학식 (7)에 나타내는 바와 같이, 폭 방향의 중앙부를 원점으로 하는 3차 함수로 한다.

수학식 7

$$w(y) = a_1 + a_2 y^1 + a_3 y^2 + a_4 y^3 \quad (7)$$

[0080]

[0081] 한편, 압연된 강판(101)의 요철 형상의 높이 방향의 변위의 압연 방향 성분은, 파장 2L의 정현 곡선으로 한다. 버클링 방정식의 해를 구할 때, 파장 2L은 소정의 범위 내의 변수로서 부여된다.

[0082] 도 6의 (a)에 강판(101)의 요철 형상의 압연 방향 성분을 나타낸다. 이것으로부터, 강판(101)의 요철 형상의 변위는 수학식 (8)에 나타내는 바와 같이 된다.

수학식 8

$$w(x, y) = w(y) \sin(\pi x / L) \quad (8)$$

[0083]

[0084] 또한, 도 6의 (b) 및 수학식 (9)에 나타내는 바와 같이, 제3 변형의 분포의 폭 방향 성분은, 폭 방향의 중앙부를 원점으로 하는 무차원화된(non-dimensional) 2차 곡선으로 한다.

수학식 9

$$\epsilon_x'(y) = (1/b^2) y^2 \quad (0 \leq y \leq b) \quad (9)$$

[0085]

[0086] 또한, 수학식 (3)을 반파장 L만큼 적분하여 간이화하면, 수학식 (10)이 도출된다.

수학식 10

$$\begin{aligned}
 F = & L \int_0^b \delta w_1 \{ h \bar{\sigma}_1 + E h (\varepsilon_x' - \varepsilon_x'') \} w_1 dy (\pi/L)^2 \\
 & + DL \int_0^b [\delta w_1 w_1 (\pi/L)^4 + \delta w_{1,yy} w_{1,yy} \\
 & + \nu (\delta w_1 w_{1,yy} + \delta w_{1,yy} w_1) (- (\pi/L)^2) \\
 & + 2 (1 - \nu) \delta w_{1,y} w_{1,y} (\pi/L)^2] dy \quad (10)
 \end{aligned}$$

[0087]

[0088] 또한, 수학식 (10)을 이산화하여 해를 구하기 위해, 수학식 (11)에 나타내는 바와 같이, 수학식 (10)을 이산화한다.

수학식 11

$$\int_0^b F dy = \sum_r F^r dy \quad (11)$$

[0089]

[0090] 여기서, 우변은, 각 요소를 적분한 것이다. 수학식 (11)을 행렬식으로 전개함으로써, 이산화된 요소 전체의 일반 고유값으로서, 소성 변형 분포 ε_x^* 의 평균값 ε_m^* 과 강관(101)의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 L 사이의 상관 관계를 유도할 수 있다. 수학식 (11)의 해를 구할 때에, 경계 조건 판정부(53)가 판정에 기초하여 결정된 경계 조건이 적용된다.

[0091] 도 6의 (c)는 수학식 (11)에 의해 연산되는 소성 변형 분포 ε_x^* 의 평균값 ε_m^* 과 강관(101)의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 L 사이의 상관 관계를 나타내는 도면이다. 도 6의 (c)에 나타내는 바와 같이, 소성 변형 분포 ε_x^* 의 평균값 ε_m^* 의 값은, 강관(101)의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 L의 값을 증가시키면, 초기에는 급감한 후에, 완만한 감소로 되고, 평탄한 극소값을 취하고, 그 후, 서서히 증가한다.

[0092] 제3 변형 연산부(54)는 소성 변형 분포 ε_x^* 의 평균값 ε_m^* 과, 강관(101)의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 L 사이의 상관 관계로부터, 강관(101)의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 L에 대응하는 변형 ε_{ms} 를 결정한다. 여기서, 강관(101)의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 L은, 형상계(30)가 검출한 강관(101)의 형상으로부터 형상 데이터 해석부(51)에 의해 해석된 값이 사용된다.

[0093] 계속해서, 제3 변형 연산부(54)는 연산된 변형 ε_{ms} 와, 무차원화된 2차 곡선으로 나타나는 폭 방향 성분의 제3 변형의 분포를 대응시킴으로써, 압연된 강관(101)의 제3 변형의 임계값을 결정한다. 제3 변형 연산부(54)가 연산한 변형 ε_{ms} 를 무차원화된 2차 곡선으로 나타나는 폭 방향 성분의 제3 변형의 단부의 값으로 함으로써, 제3 변형 ε_3 의 임계값을 결정된다.

[0094] 도 6의 (d)는 제3 변형 연산부(54)가 결정한 제3 변형 ε_3 의 임계값과, 강관(101)의 폭 방향의 위치 사이의 관계를 나타내는 도면이다. 변형 ε_{ms} 는, 강관(101)의 폭 방향의 단부의 제3 변형이다.

[0095] 제1 변형 연산부(55)는 제2 변형 연산부(52)가 연산한 제2 변형 ε_2 와, 제3 변형 연산부(54)가 연산한 제3 변형 ε_3 을 가산함으로써 제1 변형 ε_1 을 연산한다.

[0096] 도 7의 (a)는 제2 변형 ε_2 의 강관(101)의 폭 방향 중앙부로부터 폭 방향 단부까지의 분포를 도시하는 도면이다. 도 7의 (b)는 제3 변형 ε_3 의 강관(101)의 폭 방향 중앙부로부터 폭 방향 단부까지의 분포를 나타내는 도면이다. 도 7의 (c)는 제2 변형 ε_2 와 제3 변형 ε_3 을 가산한 제1 변형 ε_1 의 강관(101)의 폭 방향 중앙부로부터 폭 방향 단부까지의 분포를 나타내는 도면이다.

- [0097] 이어서, 변형 연산 장치(10)에 의한 제1 변형 ε_1 의 연산 플로우에 대해 설명한다.
- [0098] 도 8은 변형 연산 장치(10)에 의한 제1 변형 ε_1 의 연산 플로우를 나타내는 도면이다.
- [0099] 우선, 스텝 S201에 있어서, 변형 연산 장치(10)는 기억부(12)에 기억된 검출 데이터를 판독한다. 변형 연산 장치(10)가 판독하는 검출 데이터는, 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)가 각각 검출한 데이터이다.
- [0100] 계속해서, 스텝 S202에 있어서, 형상 데이터 해석부(51)는 판독된 검출 데이터에 기초하여, 강판(101)에 주기적으로 나타나는 요철 형상의 압연 방향 성분의 파장 $2L$ 및 강판(101)의 평면상의 검출 지점 각각의 높이 방향의 변위를 해석한다.
- [0101] 계속해서, 스텝 S203에 있어서, 제2 변형 연산부(52)는 형상 데이터 해석부(51)가 해석한 데이터에 기초하여, 압연된 강판의 목표값으로부터의 어긋남인 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형을 나타내는 제2 변형 ε_2 를 연산한다.
- [0102] 계속해서, 스텝 S204에 있어서, 경계 조건 판정부(53)는 형상 데이터 해석부(51)가 해석한 데이터에 기초하여, 강판(101)의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 변형의 형상이, 에지 웨이브, 센터 웨이브, 또는 쿼터 웨이브 중 어느 것인지를 판정한다.
- [0103] 계속해서, 스텝 S205에 있어서, 제3 변형 연산부(54)는 압연된 강판(101)의 내부 응력에 대응하는 변형을 나타내는 제3 변형 ε_3 을 연산한다. 제3 변형 ε_3 은, 압연된 강판(101)의 판 두께, 판 폭, 장력, 경계 조건 판정부(53)의 판정에 의해 결정되는 경계 조건 및 강판(101)에 주기적으로 나타나는 요철 형상의 압연 방향 성분의 파장에 기초하여, 버클링 해석에 의해 연산된다.
- [0104] 그리고, 스텝 S206에 있어서, 제1 변형 연산부(55)는 스텝 S203에서 연산된 제2 변형 ε_2 와, 스텝 S205에서 연산된 제3 변형 ε_3 연산한 것을 가산함으로써 제1 변형 ε_1 을 연산한다.
- [0105] 이상, 연산부(11)의 연산 플로우에 대해 설명하였다. 연산부(11)는 형상 데이터 해석부(51), 제2 변형 연산부(52), 경계 조건 판정부(53), 제3 변형 연산부(54) 및 제1 변형 연산부(55)를 갖고, 압연된 강판의 판면상의 요철 형상으로서 나타나는 제2 변형 ε_2 와 버클링 방정식으로부터 연산되는 제3 변형 ε_3 에 기초하여 제1 변형 ε_1 을 연산한다.
- [0106] 또한, 제3 변형 ε_3 에는, 주기가 상이한 n 차의 모드가 있지만, 연산부(11)는 1차 모드만을 고려하고 있다. 이것은, 압연 시스템(1)이 대상으로 하는 강판의 판 두께 및 판 폭의 범위에서는, 이론상 2차 이상의 모드를 고려할 필요가 없기 때문이다.
- [0107] 열간 탠덤 압연 장치(20)는 강판(101)을 순차 압연하는 복수단의 스탠드(21)와, 강판(101)을 반송하는 복수의 통관 롤(22)과, 복수단의 스탠드(21)의 압하 위치 및 압하력을 각각 조정하는 압연 제어 장치(23)를 갖는다.
- [0108] 압연 제어 장치(23)는 시퀀서이며, 연산부(11)에 의해 연산된 제1 변형 ε_1 에 기초하여, 압연된 강판을 원하는 형상으로 하도록, PID 제어에 의해 복수단의 스탠드(21)의 압하 위치 및 압하력 등의 압하 조건을 각각 조정한다. 예를 들어, 압연 제어 장치(23)는 압연된 강판의 제1 변형을 제로로 하도록 복수단의 스탠드(21)의 압하 위치 및 압하력 등의 압하 조건을 제어할 수 있다. 또한, 압연 제어 장치(23)는 급진도 λ 가 1%인 에지 웨이브가 형성되도록, 복수단의 스탠드(21)의 압하 위치 및 압하력 등의 압하 조건을 제어할 수 있다. 제2 변형과 제3 변형에 기초하여 연산된 제1 변형을 압연 장치에 피드백함으로써, 제1 변형을 원하는 값으로 하도록 피드백 제어하는 것도 가능하게 된다. 또한, 압연된 강판의 제1 변형을 제로로 하도록 복수단의 스탠드(21)의 압하 위치 및 압하력 등의 압하 조건을 제어함으로써, 압연된 강판이 절단되었을 때에 해방되는 변형을 제로로 할 수 있으므로, 절단 후의 강판도, 평탄도가 유지된다.
- [0109] 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)는 각각, 압하 조건이 각각 조정된 복수단의 스탠드(21)에 의해 압연된 강판(101)의 형상 등을 검출하여, 연산부(10)에 검출 데이터를 송신한다.
- [0110] 연산부(10)는 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)가 각각 검출한 검출 데이터에 기초하여 연산된 제1 변형 ε_1 을 열간 탠덤 압연 장치(20)에 피드백함으로써, 강판(101)의 변형을 피드백 제어한다.

- [0111] 이상, 압연 시스템의 제1 실시 형태에 대해 설명하였다.
- [0112] 이어서, 도 9 및 10을 참조하여, 압연 시스템의 제2 실시 형태에 대해 설명한다.
- [0113] 도 9는 제2 실시 형태에 따른 압연 시스템(2)의 회로 블록도이다.
- [0114] 압연 시스템(2)은 변형 연산 장치(10)가 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33) 대신에 상위 계산 장치(40)에 접속되는 것이 도 1에 도시하는 압연 시스템(1)과 상이하다.
- [0115] 상위 계산 장치(40)는 강관 형상 테이블(41)과, 제3 변형 연산 테이블(42)을 갖는다.
- [0116] 강관 형상 테이블(41)은 압연 장치(20)로 압연되는 강관의 식별 번호와, 압연된 강관의 판 두께 및 판 폭의 추정값, 및 압연된 강관의 장력의 추정값 사이의 대응 관계를 포함한다.
- [0117] 제3 변형 연산 테이블(42)은 소성 변형 분포 ε_x^* 의 평균값 ε_m^* 과 강관(101)의 요철 형상의 압연 방향 성분의 반과장 L 사이의 상관 관계를 포함한다. 제3 변형 연산 테이블(42)은, 연산부(11)는 수학적 식 (4)~(11)로 설명된 버클링 방정식의 해를 주어진 계산 조건에 있어서 FEM(Finite Element Method, 유한 요소법)에 의해 구한 것이며, 계산 조건마다 복수의 테이블을 포함한다. FEM의 계산 조건에는, 압연된 강관의 판 두께, 판 폭, 유닛 텐션 및 제3 변형 ε_3 의 분포 형상 등이 포함된다.
- [0118] 도 10은, 압연 시스템(2)에 있어서의 제1 변형 ε_1 의 연산 플로우를 나타내는 도면이다.
- [0119] 도 10에 나타내는 연산 플로우의 스텝 S301~S304 및 S306에서는, 도 8에 나타내는 연산 플로우의 스텝 S201~S204 및 S206과 동일한 처리가 실행된다. 즉, 도 10에 나타내는 연산 플로우는, 스텝 S305의 처리가 도 8에 나타내는 연산 플로우와 상이하다. 구체적으로는, 도 10에 나타내는 연산 플로우에서는, 연산부(11)는 수학적 식 (4)~(11)로 설명된 버클링 방정식의 해를 구하여 제3 변형 ε_3 을 연산하는 대신에, 강관 형상 테이블(41) 및 제3 변형 연산 테이블(42)을 참조하여 제3 변형 ε_3 을 결정한다.
- [0120] 이상, 압연 시스템의 제2 실시 형태에 대해 설명하였다.
- [0121] 이어서, 도 11을 참조하여, 압연 시스템의 제3 실시 형태에 대해 설명한다.
- [0122] 도 11은, 제3 실시 형태에 따른 압연 시스템(3)의 회로 블록도이다.
- [0123] 압연 시스템(3)은 열간 탠덤 압연 장치(20) 대신에 열간 리버스 압연 장치(25)가 배치되는 것이 도 1에 도시하는 압연 시스템(1)과 상이하다. 화살표 C로 나타내는 바와 같이, 열간 리버스 압연 장치(25)에서는, 강관(103)은 통관 롤(22)에 의해 열간 리버스(25)의 좌우 방향으로 왕복하도록 반송된다. 이로 인해, 압연 시스템(3)은 한쪽에 배치되는 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33) 외에, 다른 쪽에 배치되는 형상계(35), 판 두께계(36), 판 폭계(37) 및 장력계(38)를 더 갖는다. 연산부(10)는 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)의 검출 데이터에 기초하여 제1 변형 ε_1 을 연산함과 함께, 형상계(35), 판 두께계(36), 판 폭계(37) 및 장력계(38)의 검출 데이터에 기초하여 제1 변형 ε_1 을 연산한다.
- [0124] 이상, 압연 시스템의 제3 실시 형태에 대해 설명하였다.
- [0125] 이어서, 압연 시스템의 변형에 대해 설명한다.
- [0126] 압연 시스템(1~3)에 있어서, 열간 압연에 대해 설명되어 있지만, 압연 시스템은, 냉간 압연에 있어서도 적용 가능하다.
- [0127] 압연 시스템(1~3)에 있어서, 변형 연산 장치(10)는 열간 탠덤 압연 장치(20) 또는 열간 리버스(25) 압연 장치에 포함되어 있지 않지만, 변형 연산 장치(10)의 기능 및 구성은, 압연 장치(20)의 압연 제어 장치(23)에 포함되어도 된다. 또한, 압연 시스템(2)에 있어서, 변형 연산 장치(10)의 기능 및 구성은, 압연 제어 장치(23), 형상계(30), 또는 상위 계산 장치(40)에 포함되어도 된다.
- [0128] 또한, 압연 시스템(1)에 있어서, 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)는 최종단의 스탠드(21)의 출구측에만 배치되지만, 복수단의 스탠드(21)의 모든 출구측에 배치되어도 된다. 또한, 압연 제어 장치(23)로부터의 제어 신호는, 몇단의 스탠드(21)의 전부에 출력되고 있지만, 최종단의 스탠드(21)에만 출력되어도 된다.

- [0129] 또한, 압연 시스템(2)에 있어서, 형상계(30)는 최종단의 스탠드(21)의 출구측에만 배치되지만, 복수단의 스탠드(21)의 모든 출구측에 배치되어도 된다. 또한, 압연 제어 장치(23)로부터의 제어 신호는, 몇단의 스탠드(21)의 전부에 출력되고 있지만, 최종단의 스탠드(21)에만 출력되어도 된다.
- [0130] 또한, 압연 시스템(3)은 형상계(30), 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33) 외에, 형상계(35), 판 두께계(36), 판 폭계(37) 및 장력계(38)를 더 갖지만, 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33)를 스탠드(21) 중 어느 한쪽에 가져도 된다.
- [0131] 또한, 제2 변형 연산부(52)는 수학식 (1)~(3)에 기초하여, 제2 변형 ε_2 를 연산하고 있지만, 이하의 급준도 λ 를 나타내는 수학식 (12)에 기초하여, 제2 변형 ε_2 를 연산해도 된다.

수학식 12

[0132]
$$\lambda = h \cdot w(y)^* / (2L^*) = (2/\pi) \cdot (\Delta \varepsilon)^{0.5} \quad (12)$$

- [0133] 또한, 형상계(30)로부터 송신되는 검출 데이터가 폭 방향의 중앙부 및 양단부에 대응하는 데이터만인 경우, 제2 변형 연산부(52)는 이들 데이터에 기초하여 요철 형상의 폭 방향 성분을 2차 곡선에 근사해도 된다.
- [0134] 또한, 형상계(30)로부터 송신되는 검출 데이터가 폭 방향의 중앙부, 양단부 및 워크 사이드(WS, work side) 및 드라이브 사이드(DS, Drive side)의 쿼터부(중앙부와 단부의 중점)에 대응하는 데이터만인 경우, 제2 변형 연산부(52)는 이들 데이터에 기초하여 요철 형상의 폭 방향 성분을 2차~4차 곡선에 근사해도 된다.
- [0135] 또한, 제3 변형 연산부(54)는 버클링 방정식의 해를 구할 때에, 폭 방향의 제3 변형의 분포는, 폭 방향의 중앙부를 원점으로 하는 무차원화된 2차 곡선으로 가정되어 있지만, 1차 직선, 또는 3차 곡선, 4차 곡선으로 해도 된다. 또한, 제3 변형 연산부(54)는 버클링 방정식의 해를 구할 때에, 폭 방향의 제3 변형의 분포는, 강판의 중앙부로부터 단조 증가하고, 강판의 단부의 근방으로부터 단조 감소하는 산형 형상으로 해도 된다. 또한, 폭 방향의 제3 변형의 분포는, 강판의 중앙부로부터 단조 감소하고, 강판의 단부의 근방으로부터 단조 증가하는 골형 형상으로 해도 된다. 수학식 (13)~(22) 및 도 12의 (a)~도 12의 (e)에 제3 변형의 분포를 예시한다.

수학식 13

$$\varepsilon_1'(y) = (1/b)y \quad (0 \leq y \leq b) \quad (13)$$

$$\varepsilon_1'(y) = -(1/b)y + 1 \quad (0 \leq y \leq b) \quad (14)$$

$$\varepsilon_1'(y) = (1/b^2)y^2 \quad (0 \leq y \leq b) \quad (15)$$

$$\varepsilon_1'(y) = -(1/b^2)y^2 + 1 \quad (0 \leq y \leq b) \quad (16)$$

$$\varepsilon_1'(y) = (1/b^3)y^3 \quad (0 \leq y \leq b) \quad (17)$$

$$\varepsilon_1'(y) = -(1/b^3)y^3 + 1 \quad (0 \leq y \leq b) \quad (18)$$

$$\varepsilon_1'(y) = (1/b^4)y^4 \quad (0 \leq y \leq b) \quad (19)$$

$$\varepsilon_1'(y) = -(1/b^4)y^4 + 1 \quad (0 \leq y \leq b) \quad (20)$$

$$\varepsilon_1'(y) = (1/b^2)y^2 \quad (0 \leq y \leq b - 1/k) \quad (21)$$

$$= -ky + A \quad (b - 1/k \leq y \leq b)$$

여기서,

$$A = -(1 - kb) + (1 - kb)^2 / (kb)^2$$

$$\varepsilon_1'(y) = -(1/b^2)y^2 + 1 \quad (0 \leq y \leq b - 1/k) \quad (22)$$

$$= ky + B \quad (b - 1/k \leq y \leq b)$$

여기서,

$$B = 1 + (1 - kb) - (1 - kb)^2 / (kb)^2$$

[0136]

[0137]

또한, 형상계(30)는 에지 웨이브 또는 센터 웨이브가 반파장 L에 상당하는 길이에 걸쳐 형성되어 있는 것을 검출하는 기능을 가져도 된다. 예를 들어, 형상계(30)는 압연 방향의 양단부 및 중앙부의 높이를 검출하는 기능을 가짐으로써, 압연 톱부의 선단의 높이와 동일한 높이로 되었을 때에, 압연된 강판의 판면상에 나타나는 에지 웨이브 또는 센터 웨이브가 반파장 L에 걸쳐 형성되어 있는 것을 검출한다. 형상계(30)는 압연 톱부의 선단으로부터 에지 웨이브 또는 센터 웨이브가 적어도 반파장 L의 길이에 걸쳐 형성되어 있는 것을 검출하면, 반파장 검출 신호를 변형 연산 장치(10)에 송신한다. 반파장 검출 신호를 수신한 변형 연산 장치(10)는 도 8에 나타내는 제1 변형 ε_1 의 연산 플로우의 처리를 개시한다. 형상계(30)가 에지 웨이브 또는 센터 웨이브가, 반파장 L 등의 소정의 길이에 걸쳐 형성되어 있는 것을 검출하는 기능을 가짐으로써, 압연 톱부로부터 소정의 길이의 에지 웨이브 또는 센터 웨이브를 검출하면, 제1 변형 ε_1 의 연산 플로우의 처리를 개시할 수 있다. 따라서, 장력이 비교적 낮은 압연 톱부에 있어서, 제1 변형 ε_1 의 연산 플로우의 처리를 조기에 개시할 수 있으므로, 압연된 강판의 평탄성을 향상시킬 수 있다. 또한, 장력이 작아지는 압연 보텀부에 있어서도, 압연된 강판의 평탄성을 향상시킬 수 있다.

[0138]

또한, 압연 시스템(2)에 있어서, 강판 형상 테이블(41) 및 제3 변형 연산 테이블(42)은 상위 계산 장치(40)에 배치되어 있지만, 변형 연산 장치(10)의 기억부(12)에 기억되어도 된다. 또한, 변형 연산 장치(10)의 기능 및 구성이 압연 제어 장치(23) 또는 형상계(30)에 포함되는 경우에는, 강판 형상 테이블(41) 및 제3 변형 연산 테이블(42)은 압연 제어 장치(23) 또는 형상계(30)에 포함되어도 된다.

[0139]

또한, 압연 시스템(3)에 있어서, 압연 시스템(2)과 마찬가지로, 변형 연산 장치(10)가 판 두께계(31), 판 폭계(32) 및 장력계(33) 대신에 상위 계산 장치(40)에 접속되는 구성을 채용해도 된다.

[0140]

실시에

[0141]

도 1에 도시하는 열간 탠덤 압연 장치(20)에 있어서 박강판을 압연하는 실시예, 도 11에 도시하는 열간 리버스 압연 장치(25)에 있어서 후강판을 압연하는 실시예의 2개의 실시예를 실시하였다.

[0142]

열간 탠덤 압연 장치(20)에서는, 판 두께 35mm, 판 폭 1200mm의 강판을 압연하여 판 두께 3mm, 판 폭 1200mm의

강관으로 하였다. 이때의 장력은 20MPa이다. 또한, 형상계(30)로 측정된 측정 데이터는 4차 곡선으로 근사하였다. 그리고, 연산된 제1 변형 ϵ_1 에 기초하여, 압연된 강관의 제1 변형을 제로로 하도록 압연 제어 장치(23)로 생성되는 제어 신호에 의해 최종단 스탠드(21)의 워크 롤 벤더의 벤딩력을 실시간으로 보정하였다.

[0143] 이 결과, 박강관의 형상 적중률은, 종래의 형상계의 방식을 사용한 것에 비해, 열연 강관의 형상 적중률에서는 20% 개선되었다.

[0144] 열간 리버스 압연 장치(25)에서는, 판 두께 200mm, 판 폭 2000mm의 강관을 압연하여 판 두께 15mm, 판 폭 400mm의 강관으로 하였다. 이때의 장력은 0MPa이다. 또한, 형상계(30)로 측정된 측정 데이터는, 4차 곡선으로 근사하였다. 그리고, 연산된 제1 변형 ϵ_1 에 기초하여, 압연된 강관의 제1 변형을 제로로 하도록 압연 제어 장치(23)로 생성되는 제어 신호에 의해 다음 패스 이후의 워크 롤 벤더의 벤딩력을 보정하였다.

[0145] 이 결과, 후강관의 형상 적중률은, 종래의 형상계의 방식을 사용한 것에 비해, 리버스 압연의 후강관에서 15% 개선되었다.

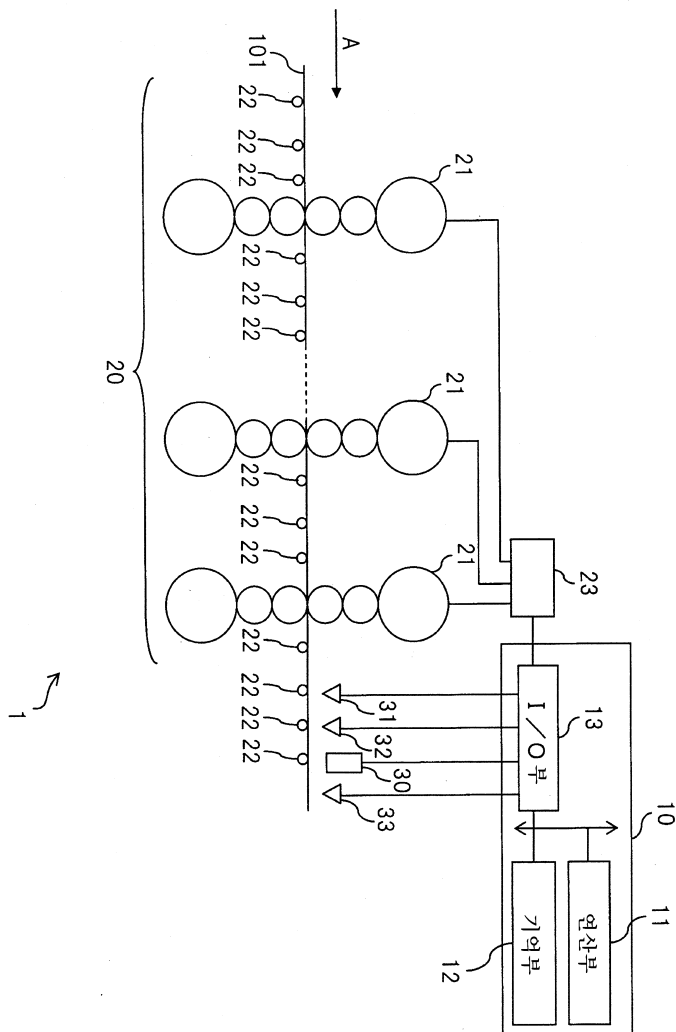
[0146] 이상, 실시 형태를 설명하였지만, 여기에 기재한 모든 예나 조건은, 발명 및 기술에 적용하는 발명의 개념의 이해를 돕는 목적으로 기재된 것이며, 특별히 기재된 예나 조건은 발명의 범위를 제한하는 것을 의도하는 것은 아니고, 명세서의 그와 같은 예의 구성은 발명의 이점 및 결점을 나타내는 것이 아니다. 발명의 실시 형태를 상세하게 기재하였지만, 각종 변경, 치환, 변형이 발명의 정신 및 범위를 일탈하는 일 없이 행할 수 있는 것이 이해되어야 한다.

부호의 설명

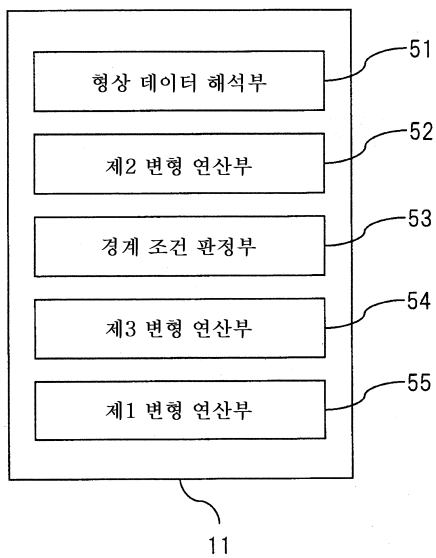
- [0147]
- 1, 2, 3 : 압연 시스템
 - 10 : 변형 연산 장치
 - 20 : 열간 탠덤 압연 장치
 - 25 : 열간 리버스 압연 장치
 - 30, 35 : 형상계

도면

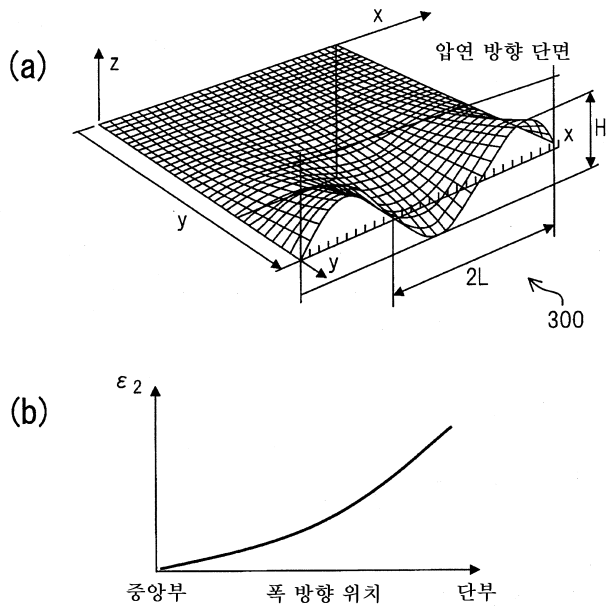
도면1



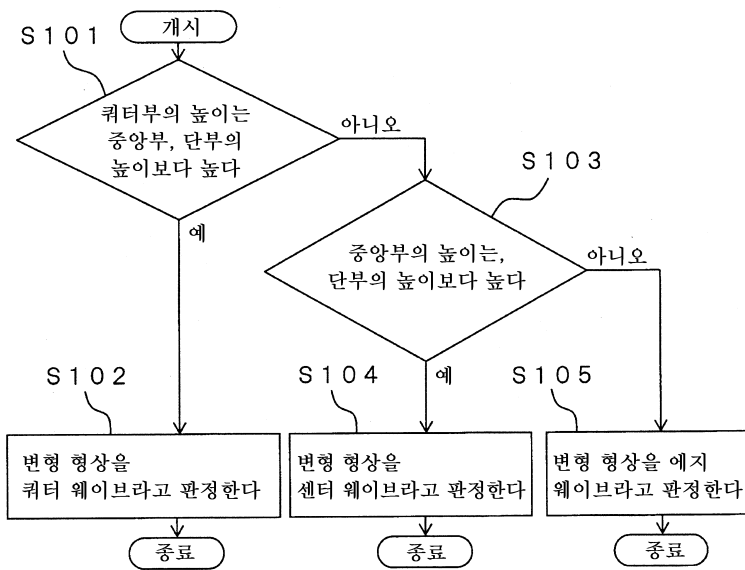
도면2



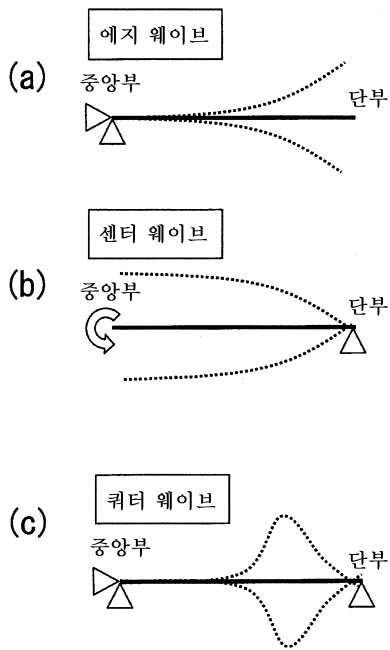
도면3



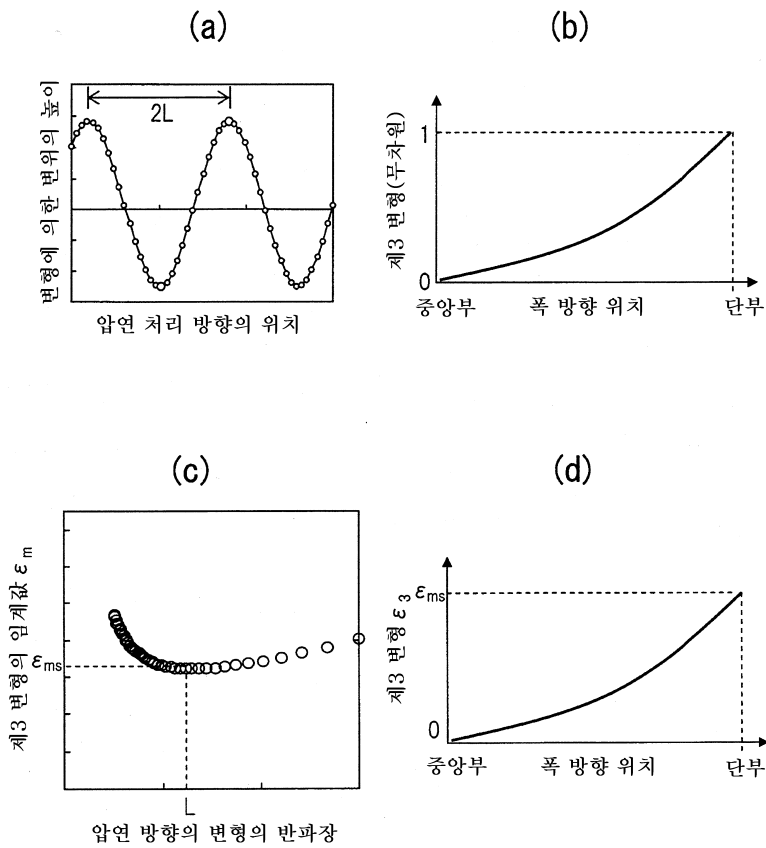
도면4



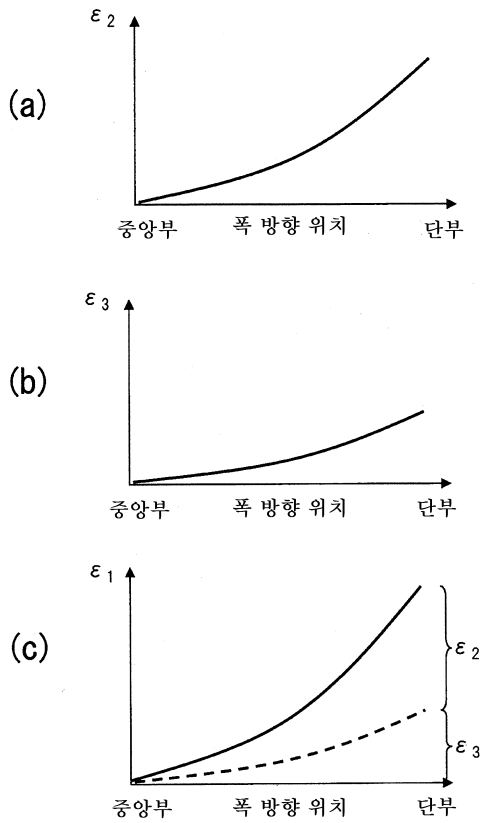
도면5



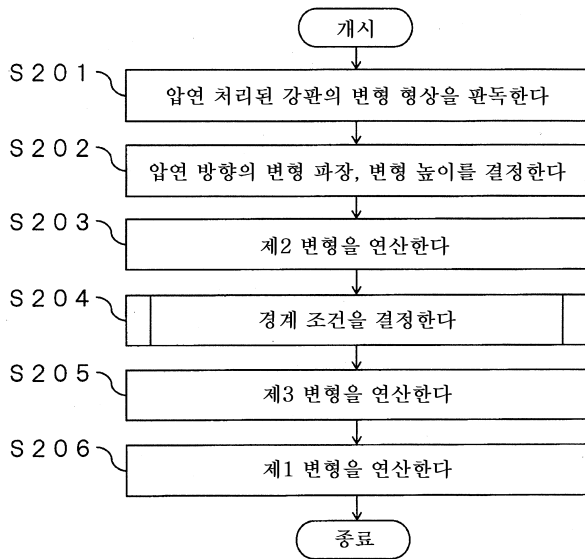
도면6



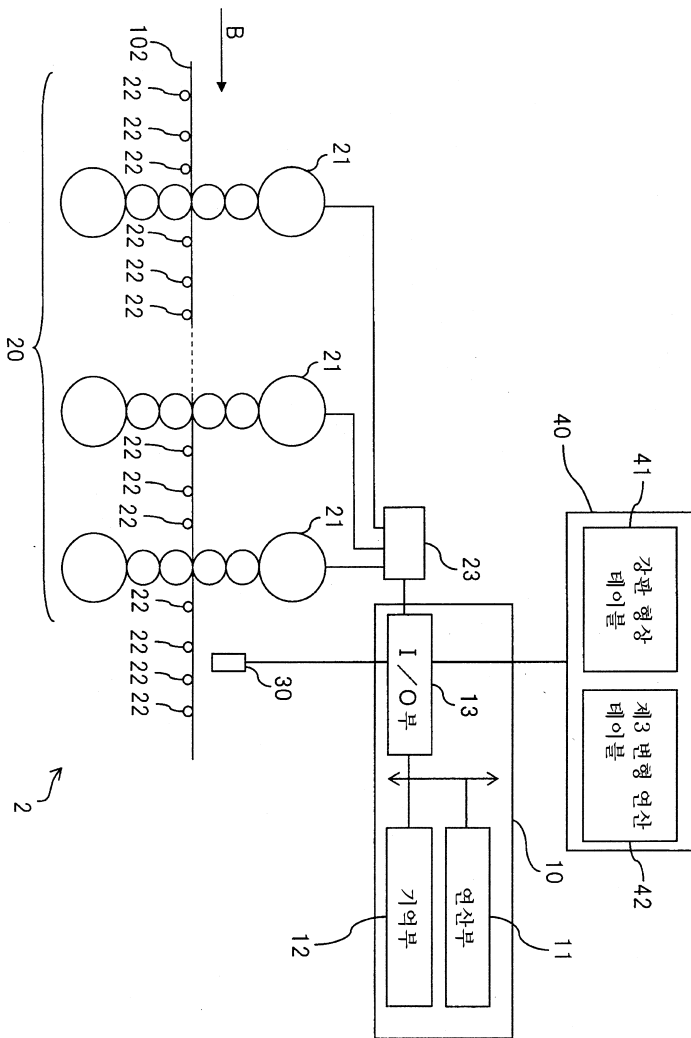
도면7



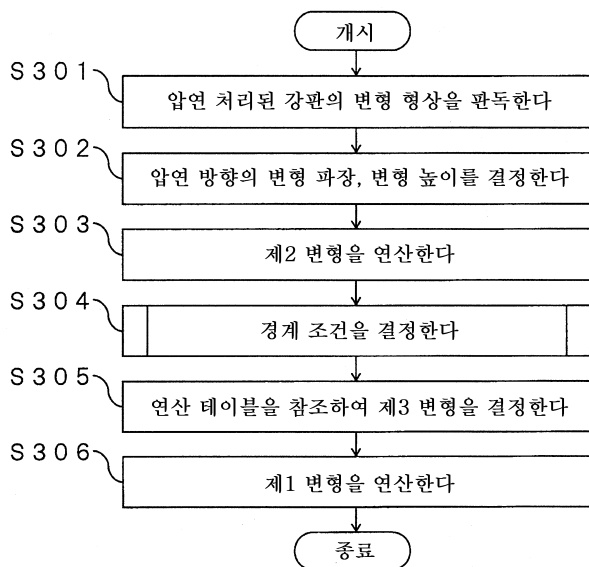
도면8



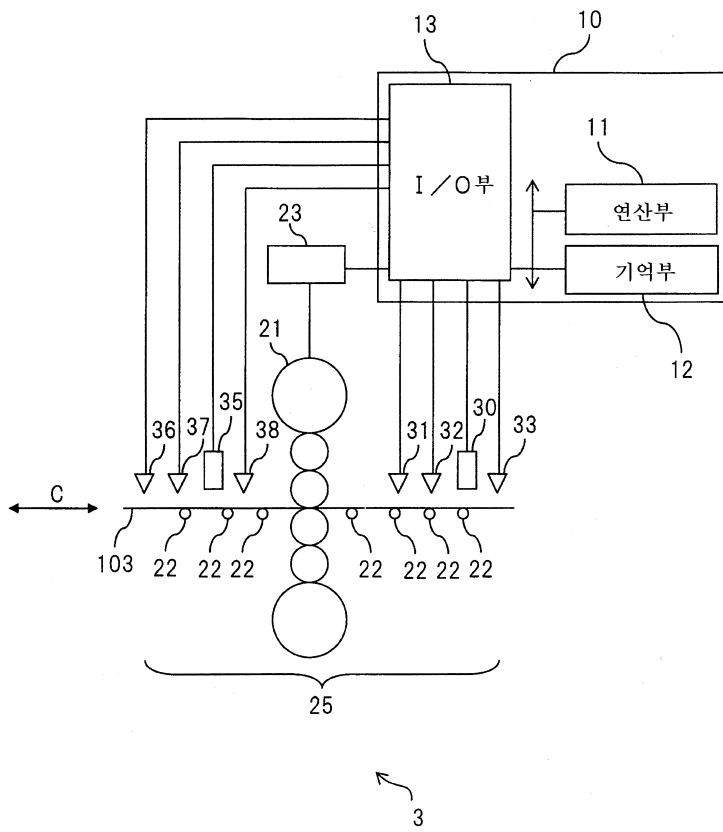
도면9



도면10



도면11



도면12

