



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년06월28일
 (11) 등록번호 10-1160737
 (24) 등록일자 2012년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B21B 37/24 (2006.01) **B21B 37/16** (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2009-7024624
 (22) 출원일자(국제) 2009년05월22일
 심사청구일자 2009년11월26일
 (85) 번역문제출일자 2009년11월26일
 (65) 공개번호 10-2010-0043142
 (43) 공개일자 2010년04월28일
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2009/059423
 (87) 국제공개번호 WO 2010/024001
 국제공개일자 2010년03월04일
 (30) 우선권주장
 JP-P-2008-223824 2008년09월01일 일본(JP)
 JP-P-2009-058202 2009년03월11일 일본(JP)
 (56) 선행기술조사문헌
 JP11319922 A*
 JP2006255727 A
 JP평성01181911 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
신닛뽀세이테쯔 카부시키카이사
 일본 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쥬메 6방 1고
 (72) 발명자
히고 쥬요시
 일본 100-8071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쥬메 6방 1고 신닛뽀세이테쯔 카부시키카이사 내
다카마찌 야스유키
 일본 100-8071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쥬메 6방 1고 신닛뽀세이테쯔 카부시키카이사 내
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
성재동, 최성규, 장수길, 권혁진

전체 청구항 수 : 총 13 항

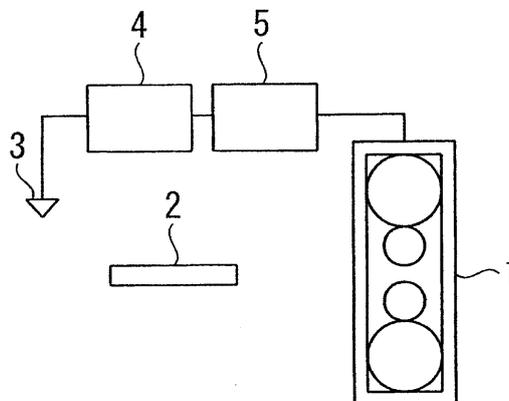
심사관 : 이학왕

(54) 발명의 명칭 **판 압연의 패스 스케줄의 설정 방법**

(57) 요약

피압연판을 압연하기 위한 패스 스케줄의 설정 방법은, 총 압연 패스수를 설정하는 공정과, 상기 총 압연 패스수에 대한 복수의 패스 스케줄을 가정하는 공정과, 상기 복수의 패스 스케줄의 각각의 패스 스케줄에 대해, 각 패스에 있어서의 상기 피압연판의 특징값과 그 특징값의 이상값의 차분을 각 패스의 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값을 지표로 하는 평가 함수를 이용하는 공정과, 상기 복수의 패스 스케줄 중, 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄을 설정하는 공정을 구비한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

오가와 시게루

일본 100-8071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메
6방 1고 신타쯔카이샤 카부시키카이샤 내

미조구찌 요스끼

일본 100-8071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메
6방 1고 신타쯔카이샤 카부시키카이샤 내

이가라시 가즈쯔구

일본 100-8071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메
6방 1고 신타쯔카이샤 카부시키카이샤 내

후꾸오까 야스시

일본 100-8071 도쿄도 지요다꾸 마루노우찌 2쵸메
6방 1고 신타쯔카이샤 카부시키카이샤 내

특허청구의 범위

청구항 1

피압연판을 압연하기 위한 패스 스케줄의 설정 방법이며,
 총 압연 패스수를 설정하는 공정과,
 상기 총 압연 패스수를 갖는 복수의 패스 스케줄을 임시로 설정하는 공정과,
 상기 복수의 패스 스케줄의 각각에 대해, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값 중 하나 이상의 값을 지표로 하는 평가 함수를 적용하는 공정과,
 상기 복수의 패스 스케줄 중, 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄을 탐색하는 공정을 구비하고,
 상기 거듭제곱의 지수가 0보다 큰 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값을 지표로 하는 평가 함수를 적용하는 경우에는,
 상기 거듭제곱의 지수가 4 이하의 실수인 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값을 지표로 하는 평가 함수를 적용하는 경우에는,
 상기 거듭제곱의 지수가 4 이하의 실수인 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값을 지표로 하는 평가 함수를 적용하는 경우에는,
 상기 거듭제곱의 지수가 1보다 크고 5 이하의 실수인 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 각 패스의 출구측 판 두께가 소정값 이하의 영역에서, 상기 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 비율이 일정해지도록 상기 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값을 설정하는 공정을 더 구비하는 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 소정값이 20mm 이상인 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 소정값은, 상기 피압연판의 판 폭을 변수로 하는 함수로 결정되는 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 압연기의 설비 능력에 기초하는 최소 총 압연 패스수를 상기 총 압연 패스수의 초기값으로서 설정하는 공정과,
 상기 총 압연 패스수의 초기값에서의 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄이 원하는 조건을 만족하지 않는 경우, 상기 총 압연 패스수를 순차 증가시키는 공정과,

상기 순차 증가시킨 총 압연 패스수에서의 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄을 재탐색하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 9

피압연판을 압연하기 위한 패스 스케줄의 설정 방법이며,

총 압연 패스수를 설정하는 공정과,

상기 총 압연 패스수에 대한 복수의 패스 스케줄을 가정하는 공정과,

상기 복수의 패스 스케줄의 각각에 대해, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 1제곱($1 : 0 < 1 \leq 4$ 의 실수)으로 나눈 값, 상기 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 m 제곱($m : 0 < m \leq 4$ 의 실수)으로 나눈 값, 상기 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 n 제곱($n : 1 < n \leq 5$ 의 실수)으로 나눈 값 중 적어도 2개의 값을 지표로 하는 평가 함수를 적용하는 공정과,

상기 복수의 패스 스케줄 중, 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄을 설정하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 각 패스의 출구측 판 두께가 소정값 이하의 영역에서, 상기 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 비율이 일정해지도록 상기 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값을 설정하는 공정을 더 구비하는 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 소정값이 20mm 이상인 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 소정값은, 피압연판의 판 폭을 변수로 하는 함수로 결정되는 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

청구항 13

제9항에 있어서, 압연기의 설비 능력에 기초하는 최소 총 압연 패스수를 상기 총 압연 패스수의 초기값으로서 설정하는 공정과,

상기 총 압연 패스수의 초기값에서의 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄이 원하는 조건을 만족하지 않는 경우, 상기 총 압연 패스수를 순차 증가시키는 공정과,

상기 순차 증가시킨 총 압연 패스수에서의 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄을 재탐색하는 공정을 더 구비하는 것을 특징으로 하는, 패스 스케줄의 설정 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 판 압연의 패스 스케줄의 설정 방법에 관한 것이다.

[0002] 본원은, 2008년 9월 1일에 일본에 출원된 일본 특허 출원 제2008-223824호 및 2009년 3월 11일에 일본에 출원된 일본 특허 출원 제2009-058202호에 기초하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 본원에 원용한다.

배경기술

[0003] 판재를 복수의 압연 패스에 의해 소정의 판 두께까지 압연하는 경우, 각 패스에서 판 두께를 어떻게 줄여 갈지, 이른바 패스 스케줄을 설정할 필요가 있다.

[0004] 각 패스에서의 최대 압하량은, 압연기 하우징의 허용 하중, 압연기 모터 및 스펀들의 허용 토크, 압연 롤의

허용 접촉 하중, 피압연판의 압연기로의 물려 들어감 한계 등에 의해 결정된다. 특허 문헌 1에서 개시된 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 초기 판 두께를 기준으로, 각 패스에서 가능한 최대의 압하량을 이용한 경우, 출구측 판 두께가 원하는 판 두께를 하회하는 최소의 총 압연 패스수를 구한다. 이때의 최종 패스에서의 출구측 판 두께와 원하는 판 두께의 차에 따라서 각 패스 출구측 판 두께를 수정함으로써, 적은 총 압연 패스수로 원하는 판 두께를 얻을 수 있는 패스 스케줄을 설정할 수 있다. 이 특허 문헌 1에 개시된 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 원하는 판 두께를 얻을 수 있는 최소의 총 압연 패스수에 의해 압연 작업을 행하므로, 총 압연 패스수를 삭감할 수 있다. 따라서, 생산성이 향상된다. 그런데, 특허 문헌 1에 개시된 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 압연판의 중요한 품질 관리 항목 중 하나인 판 크라운 및/또는 평탄도에는 특별한 주의를 기울이고 있지 않다. 따라서, 반드시 원하는 판 크라운, 평탄도를 얻을 수 있다고는 할 수 없다. 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 달성하지 않는 피압연판은, 수율 손실이나 평탄도 교정과 같은 다른 공정의 부하의 증가를 초래한다. 따라서, 특허 문헌 1에 개시된 패스 스케줄의 설정 방법은, 실용적인 판 압연의 패스 스케줄 설정 방법으로는 될 수 없다.

[0005] 여기서, 판 크라운이라 함은, 피압연판의 판 폭 중앙에 있어서의 판 두께와, 판 폭 단부로부터 소정의 거리로 정의되는 크라운 정의점에 있어서의 판 두께의 차를 의미한다.

[0006] 또한, 예를 들어, 압연판에 에지 웨이브가 존재하는 경우, 판의 길이 방향으로 판면을 따라 측정되는 선 길이는, 판 폭 단부에 있어서의 값의 쪽이 판 폭 중앙부에 있어서의 값보다도 크다. 이들 양자의 차를 선 길이차라 하고, 이 선 길이차를 판 길이로 나눈 값을 연신 변형차(혹은, 선 길이차율)라 한다. 환언하면, 연신 변형차라 함은, 판을 가상적으로 판 길이 방향에 평행인 방향으로 복수의 슬릿을 넣어 분할한 경우의, 판 폭 중앙부에 위치하는 슬릿의 연신 변형과 크라운 정의점에 위치하는 슬릿의 연신 변형의 차이이다. 이 연신 변형차는, 압연판의 평탄도와 상관성이 있는 지표로서, 종종 사용되고 있다.

[0007] 한편, 임의의 압연 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화와, 그 압연 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차(그 압연 패스 출구측에 있어서의 피압연판의 평탄도를 나타냄)의 사이에는, 다음 식 (1)과 같은 밀접한 관계가 있는 것이 비특허 문헌 1에 개시되어 있다.

$$\Delta \varepsilon = \xi \left(\frac{C_h}{h} - \frac{C_H}{H} \right) \dots (1)$$

[0008] 여기서 H, h는 각각 상기 압연 패스에 있어서의 입구측 판 두께(통상, 판 폭 중앙에 있어서의 판 두께가 이용됨) 및 출구측 판 두께를 나타낸다. C_H, C_h는 각각 상기 압연 패스 입구측에 있어서의 판 크라운 및 상기 압연 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 나타낸다. 또한, 판 크라운을 판 두께로 나눈 값인 C_H/H 및 C_h/h를 각각 상기 압연 패스의 입구측에 있어서의 크라운 비율 및 상기 압연 패스의 출구측에 있어서의 판 크라운 비율이라 한다. 판 크라운 비율 변화라 함은, 압연 패스의 출구측에 있어서의 크라운 비율(C_h/h)과, 그 압연 패스의 입구측에 있어서의 크라운 비율(C_H/H)의 차이이다. 또한, ξ는 형상 변화 계수라 불리우는 계수이다. 예를 들어, ξ = 0인 경우는, 판 크라운 비율이 변화되어도 연신 변형차(Δε)(평탄도에 대응함)에 영향을 미치지 않는다. 한편, ξ = 1인 경우는 판 크라운 비율의 변화가 모두 연신 변형차(Δε)로서 나타내어지는 것을 의미한다. 통상, 형상 변화 계수(ξ)는 0과 1 사이의 값이다.

[0010] 식 (1)의 관계에 기초하여, 피압연판의 평탄도를 확보하기 위해서는 판 크라운 비율 일정 압연이 바람직하다고 일컬어지고 있다.

[0011] 예를 들어, 비특허 문헌 2에 개시된 패스 스케줄을 설정하는 방법에서는, 원하는 출구측 판 두께를 최종 패스 출구측 판 두께로 하여, 판 크라운 비율 일정 압연을 실현하는 최종 패스 입구측 판 두께를 계산한다. 이러한 계산을 압연 패스 입구측 판 두께가 초기 판 두께로 될 때까지 상류 패스로 거슬러 올라가 반복한다. 이때, 상기 압연 패스의 압연 하중 혹은 압연 토크가 각각의 허용값을 초과하면, 그 압연 패스를 포함하는 상류측의 각 패스 입구측 판 두께를 허용 하중, 혹은 허용 토크의 범위 내가 되도록 설정한다. 이와 같이 하여, 초기 판 두께로부터 원하는 판 두께를 실현하는 패스 스케줄을 설정한다.

[0012] 그런데, 판 크라운 비율 일정 압연을 행하는 압연 패스수를 무제한으로 증가시키면, 총 압연 패스수의 증가에 의해 생산성이 악화된다고 하는 문제가 있다. 따라서, 예를 들어 비특허 문헌 3에는, 판 크라운 비율의 변화에 허용 범위를 갖게 한 패스 스케줄의 설정 방법이 개시되어 있다. 그런데, 판 크라운 비율 변화를 억제한

압연 패스와, 최대 부하 능력에 의해 결정되는 압연 패스의 연결 압연 패스에서의 압연 조건이 좋지 않으면, 평탄도가 악화된다고 하는 문제도 있다. 따라서, 예를 들어 특허 문헌 2에는, 연결 압연 패스에서의 판 크라운 비율 변화가 어느 정도 이상으로 큰 경우에, 판 크라운 비율 일정 압연이 개시되는 패스의 압연 하중을 끌어내림으로써 평탄도 악화를 억제하는 방법이 제안되어 있다. 그런데 이 경우, 판 크라운 비율을 일정하게 하는 압연 패스(혹은, 판 크라운 비율 변화를 억제하는 압연 패스)와, 최대 부하 압연 패스의 사이의 연결 압연 패스에서의 큰 판 크라운 비율 변화는 특정한 압연 패스에 있어서 집중적으로 보상된다. 따라서, 평탄도 악화를 안정적으로 억제하는 것은 곤란하다.

[0013] 비특허 문헌 4에는, 수치 해석 모델에 기초하는 패스 스케줄의 설정 방법이 개시되어 있다. 이 비특허 문헌 4에 개시되는 패스 스케줄의 설정 방법은, 입구측 판 두께로부터 원하는 출구측 판 두께를 실현할 수 있는 임의의 패스 스케줄에 대해, 최종 패스 출구측에 있어서의 평탄도를 평가하고, 이것을 평탄하게 하는 패스 스케줄을 수렴 계산하여 구하는 방법을 갖는다. 그런데, 비특허 문헌 4에 개시되는 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 판 크라운에 관한 제약이 없다. 또한, 도중 패스 출구측에 있어서의 평탄도에도 아무런 제약이 없다. 따라서, 원하는 판 크라운 또는 평탄도를 안정적으로 달성할 수 있는 패스 스케줄을 얻는 것은 어렵다.

[0014] 한편, 예를 들어 비특허 문헌 5에는, 함수 평가에 기초하는 패스 스케줄의 설정 방법이 개시되어 있다. 이 비특허 문헌 5에 개시된 방법에서는, 어떤 평가 지표의 임의의 패스 스케줄에 대한 값과 그 이상값(理想値)의 차분을 평가 함수에 이용한다. 이 평가 함수에 의해, 평가 지표의 이상값과의 차분을 허용하면서 이 차분을 최소로 하기 위해서는, 각각의 압연 패스에서 얼마만큼 그 차분을 허용하는 것이 최선인지를 평가 함수값으로서 정량화할 수 있다. 이때, 이용하는 평가 함수의 양부(良否)가 얻어지는 패스 스케줄의 양부를 좌우해 버린다. 비특허 문헌 5의 예에서는, 각 패스에서의 판 크라운 비율 변화의 누적값을 평탄도의 평가 함수에 이용하고 있다. 특정한 압연 패스에서의 판 크라운 비율 변화에 곱하는 가중치 계수를 크게 함으로써, 그 압연 패스 출구측에서의 평탄도를 중시하는 것이 가능한 것도 개시되어 있다. 그러나 가중치 계수를 어떻게 부여해야 할지 구체적인 개시는 없다.

[0015] 또한, 특허 문헌 5 내지 8에도, 평가 함수에 기초하는 패스 스케줄의 설정 방법이 개시되어 있다. 그런데, 어떠한 특허 문헌에도 각 패스 출구측에 있어서의 판 두께가 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 및/또는 평탄도에 대해 미치는 영향을 배려한 평가 함수를 이용하는 것에 대해서는 기재되어 있지 않다. 따라서, 특허 문헌 5 내지 8이 개시하는 방법으로는, 원하는 판 크라운, 또는 평탄도를 안정적으로 얻을 수 없다. 그 밖에, 예를 들어 특허 문헌 3에는, 과거의 조업 실적을 기억하고, 그것을 참조하여 패스 스케줄을 설정하는 방법이 개시되어 있다. 또한, 예를 들어 특허 문헌 4에는, 과거의 조업 실적으로부터, 뉴럴 네트워크 모델을 통해 패스 스케줄을 설정하는 방법이 개시되어 있다. 그런데, 이러한 경험에 기초하는 방법으로는, 압연 품종 구성의 변화, 압연 라인 구성의 변화 및 제품 품질의 엄격화 등에 순간적으로 대응하기 어렵다.

[0016] 즉, 종래, 가능한 한 적은 총 압연 패스수로, 게다가 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 안정적으로 얻는 판 압연의 패스 스케줄의 설정 방법은 발견되지 않는다.

[0017] 또한, 본 발명에 관한, 임의의 압연 조건에 대한 압연 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 계산 방법, 임의의 압연 조건에 대한 압연 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 계산 방법 및 임의의 압연 조건에 대한 압연 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 계산 방법은, 예를 들어 비특허 문헌 6에 개시되어 있다. 또한, 본 발명에 관한 형상 변화 계수(ξ_i)는, 예를 들어 비특허 문헌 7에 개시되어 있다.

[0018] [특허 문헌]

[0019] 특허 문헌 1 : 일본 특허 출원 공개 소62-259605호 공보

[0020] 특허 문헌 2 : 일본 특허 출원 공개 평09-57316호 공보

[0021] 특허 문헌 3 : 일본 특허 출원 공개 평07-60320호 공보

[0022] 특허 문헌 4 : 일본 특허 출원 공개 평05-38511호 공보

[0023] 특허 문헌 5 : 일본 특허 출원 공개 소59-73108호 공보

[0024] 특허 문헌 6 : 일본 특허 출원 공개 제2001-269703호 공보

[0025] 특허 문헌 7 : 일본 특허 출원 공개 제2001-191103호 공보

[0026] 특허 문헌 8 : 일본 특허 출원 공개 제2003-245706호 공보

- [0027] [비특허 문헌]
- [0028] 비특허 문헌 1 : 일본 소성 가공학회편 「관 압연」 제3장의 식(3.146)(제85 페이지)
- [0029] 비특허 문헌 2 : 「소성과 가공」 제16권 제168호(1975년)의 제10 페이지 내지 제17 페이지
- [0030] 비특허 문헌 3 : 「가와사키 제철 기보」 제8권 제3호의 제374 페이지 내지 제387 페이지
- [0031] 비특허 문헌 4 : Iron and Steel Engineer(1977년 9월)의 제70 페이지 내지 제76 페이지
- [0032] 비특허 문헌 5 : 「소성과 가공」 제10권 제106호의 제808 페이지 내지 제816 페이지
- [0033] 비특허 문헌 6 : 일본 철강협회편 「관 압연의 이론과 실제」 제4장(제89 페이지 내지 제110 페이지)
- [0034] 비특허 문헌 7 : 「소성과 가공」 제23권 제263호(1982년)의 제1172 페이지 내지 제1180 페이지

발명의 상세한 설명

- [0035] 상기한 바와 같이, 종래 가능한 한 적은 총 압연 패스수로, 게다가 원하는 관 크라운 및/또는 평탄도를 안정적으로 얻는 관 압연의 패스 스케줄의 설정 방법은 발견되지 않았다. 따라서, 그러한 설정 방법이 희구되고 있었다.
- [0036] 본 발명은 상기 과제에 비추어, 가능한 한 적은 총 압연 패스수로, 게다가 원하는 관 크라운 및/또는 평탄도를 안정적으로 얻는 관 압연의 패스 스케줄을 설정하는 방법을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.
- [0037] 본 발명은, 상기 과제를 해결하기 위해 이하의 수단을 채용하였다.
- [0038] (1) 본 발명은, 총 압연 패스수를 설정하는 공정과, 상기 총 압연 패스수를 갖는 복수의 패스 스케줄을 임의로 설정하는 공정과, 상기 복수의 패스 스케줄의 각각의 패스 스케줄에 대해, 각 패스에 있어서의 상기 피압연관의 형상 특징값과 그 형상 특징값의 이상값의 차분을 각 패스의 출구측 관 두께의 거듭제곱으로 나눈 값을 지표로 하는 평가 함수를 적용하는 공정과, 상기 복수의 패스 스케줄 중, 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄을 탐색하는 공정을 구비한다. 상기 거듭제곱의 지수가 0보다 커도 좋다.
- [0039] (2) 상기 (1)에 기재된 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 상기 형상 특징값이, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차이고, 상기 거듭제곱의 지수가 4 이하의 실수라도 좋다.
- [0040] (3) 상기 (1)에 기재된 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 상기 형상 특징값이, 각 패스에 있어서의 관 크라운 비율 변화이고, 상기 거듭제곱의 지수가 4 이하의 실수라도 좋다.
- [0041] (4) 상기 (1)에 기재된 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 상기 형상 특징값이, 각 패스 출구측에 있어서의 관 크라운이고, 상기 거듭제곱의 지수가 1보다 크고 5 이하인 실수라도 좋다.
- [0042] (5) 상기 (4)에 기재된 패스 스케줄의 설정 방법은, 상기 각 패스의 출구측 관 두께가 소정값 이하의 영역에서, 상기 각 패스 출구측에 있어서의 관 크라운 비율이 일정해지도록, 상기 각 패스 출구측에 있어서의 관 크라운의 이상값을 설정하는 공정을 더 구비해도 좋다.
- [0043] (6) 상기 (5)에 기재된 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 상기 소정값이 20mm 이상이라도 해도 좋다.
- [0044] (7) 상기 (5)에 기재된 패스 스케줄의 설정 방법에서는, 상기 소정값은, 상기 피압연관의 관 폭을 변수로 하는 함수로 결정되어도 좋다. 이에 의해, 관 크라운 비율 일정 압연을 지향하는 관 두께 영역을 정하기 위한 상기 소정값은, 피압연관의 관 폭에 따라서 증감하여 설정된다.
- [0045] (8) 또한, 상기 (1)에 기재된 패스 스케줄의 설정 방법은, 압연기의 설비 능력에 기초하는 최소 총 압연 패스수를 상기 총 압연 패스수의 초기값으로서 설정하는 공정과, 상기 총 압연 패스수의 초기값에서의 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄이 원하는 조건을 만족하지 않는 경우, 상기 총 압연 패스수를 순차 증가시키는 공정과, 상기 순차 증가시킨 총 압연 패스수에서의 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄을 재탐색하는 공정을 더 구비해도 좋다.
- [0046] (9) 피압연관을 압연하기 위한 패스 스케줄의 설정 방법은, 총 압연 패스수를 설정하는 공정과, 상기 총 압연 패스수에 대한 복수의 패스 스케줄을 가정하는 공정과, 상기 복수의 패스 스케줄의 각각의 패스 스케줄에 대해, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 관 두께의 1 제곱($1 : 0 < 1 \leq 4$ 의 실수)으로 나눈 값, 상기 각 패스에 있어서의 관 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의

차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 m 제곱($m : 0 < m \leq 4$ 의 실수)으로 나눈 값, 상기 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 상기 각 패스의 출구측 판 두께의 n 제곱($n : 1 < n \leq 5$ 의 실수)으로 나눈 값 중 적어도 2개의 값을 지표로 하는 평가 함수를 적용하는 공정과, 상기 복수의 패스 스케줄 중, 상기 평가 함수의 값이 최소인 패스 스케줄을 설정하는 공정을 구비한다.

- [0047] 상기 (1)의 발명에 따르면, 종래에 비해, 적은 총 압연 패스수로, 보다 안정적으로, 원하는 판 크라운이나 평탄도를 얻을 수 있는 판 압연의 패스 스케줄을 설정할 수 있다.
- [0048] 상기 (2) 내지 (3)의 발명에 따르면, 종래에 비해, 적은 총 압연 패스수로, 보다 안정적으로 원하는 평탄도를 얻을 수 있는 판 압연의 패스 스케줄을 설정할 수 있다.
- [0049] 상기 (4)의 발명에 따르면, 종래에 비해, 적은 총 압연 패스수로, 보다 안정적으로 원하는 판 크라운을 얻을 수 있는 판 압연의 패스 스케줄을 설정할 수 있다.
- [0050] 또한, 상기 (5) 내지 (6)의 발명에 따르면, 최종 패스 출구측 판 두께가 얇은 경우에, 안정적으로 평탄도 악화를 억제할 수 있는 판 압연의 패스 스케줄을 설정할 수 있다.
- [0051] 덧붙여, 상기 (7)의 발명에 따르면, 압연판의 판 폭 범위가 큰 경우에도, 안정적으로 평탄도 악화를 억제할 수 있는 판 압연의 패스 스케줄을 설정할 수 있다.
- [0052] 상기 (8)의 발명에 따르면, 원하는 판 크라운이나 평탄도를 얻을 수 있는 최소의 총 압연 패스수에서의 최적 패스 스케줄을 설정할 수 있다.
- [0053] 또한, 상기 (9)의 발명에 따르면, 종래에 비해, 적은 총 압연 패스수로, 보다 안정적으로 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 얻을 수 있는 판 압연의 패스 스케줄을 설정할 수 있다.
- [0054] 이상과 같이, 본 발명에 따르면, 종래에 비해 가능한 한 적은 총 압연 패스수로, 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 안정적인 얻을 수 있는 패스 스케줄의 설정을 실현할 수 있다. 또한, 이에 의해 압연의 수율 손실이 억제되고, 또한 생산성이 향상된다고 하는 효과도 얻어진다.

실시예

- [0064] 본 발명자들은, 판 압연의 패스 스케줄과, 판 크라운, 판 크라운 비율, 연신 변형차, 평탄도와와의 관계에 대해 수많은 이론 검토 및 실험 검토를 행하였다. 이에 의해, 이하의 발견을 하였다.
- [0065] 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 얻기 위해서는, 최종 패스의 압연 조건뿐만 아니라, 최종 패스도 포함하는 각 패스의 압연 조건이 영향을 미치는 것이 알려져 있다. 그러므로 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 얻기 위해서는, 최종 패스뿐만 아니라, 전체 압연 패스에 대해 적절한 패스 스케줄을 설정할 필요가 있다.
- [0066] 따라서, 각 패스 출구측의 평탄도를 정량화하기 위한, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분, 각 패스 출구측의 평탄도를 정량화하기 위한, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분, 각 패스 출구측 판 크라운을 정량화하기 위한, 각 패스 출구측 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분 중 적어도 어느 하나를 지표로 하는 평가 함수를 이용하여, 이 평가 함수값을 최소화하는 패스 스케줄을 구함으로써, 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 안정적으로 얻는 것이 가능해지는 것이 판명되었다. 또한, 각 지표를 각 패스 출구측 판 두께로 나눈 값에, 가중치 계수(ω_i)를 곱하고, 각 패스에 대해 총합을 취한 평가 함수를 이용해도 좋은 것이 판명되었다. 또한, 계수를 곱한 평가 함수나, 부가항을 부가한 평가 함수를 이용해도 좋은 것이 판명되었다. 또한, 출구측 판 두께가 얇아질수록 각 패스에서의 압연 조건이 각 패스 출구측에서의 판 크라운이나 평탄도에 미치는 영향이 커지는 경향이 있는 것이 판명되었다. 그러므로 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값 중 적어도 어느 하나를 지표로 하는 평가 함수를 이용하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 또한, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 이상값은, 일반적으로 제로를 설정하면 좋다. 그러나 피압연판의 압연 조업의 곤란함 등에 따라서, 임의의 적절한 값을 설정할 수도 있다.
- [0067] 또한, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 1제곱으로 나눈 값을 지표로 하는 평가 함수를 이용함에 있어서, 판 두께의 영향이 비교적 작은 케이스가 있는 한편, 영향의 정도가 판 두께의 4제곱을 넘을 만큼 현저한 케이스는 현 상태에서 발견되지 않았다. 따라서, 거듭제

급의 지수 1은 $0 < 1 \leq 4$ 로 하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 또한, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 큰 경우에는 상기 판 두께의 영향은 큰 한편, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 작은 경우에는 상기 판 두께의 영향은 작은 것도 판명되었다. 그러므로 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 큰 경우에는 거듭제곱의 지수 1을 크게 설정하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 또한, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 작은 경우에는 거듭제곱의 지수 1을 비교적 작게 설정하는 것이 바람직한 것이 판명되었다.

[0068] 또한, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 m제곱으로 나눈 값을 지표로 하는 평가 함수를 이용함에 있어서, 판 두께의 영향이 거의 없는 케이스가 있는 한편, 영향의 정도가 판 두께의 4제곱을 넘을 만큼 현저한 케이스는 현 상태에서 발견되지 않았다. 따라서, 거듭제곱의 지수 m은 $0 < m \leq 4$ 로 하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 덧붙여, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 큰 경우에는 상기 판 두께의 영향은 큰 한편, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 작은 경우에는 상기 판 두께의 영향은 작은 것도 판명되었다. 즉, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 큰 경우에는 거듭제곱의 지수 m을 크게 설정하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 또한, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 작은 경우에는 거듭제곱의 지수 m을 비교적 작게 설정하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 또한, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 이상값은, 일반적으로 제로를 설정하면 좋다. 그러나 피압연판의 압연 조업의 곤란함 등에 따라서, 임의의 적절한 값을 설정할 수도 있다.

[0069] 마찬가지로, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 n제곱으로 나눈 값을 지표로 하는 평가 함수를 이용함에 있어서, 판 두께의 영향의 정도가 판 두께의 1제곱 이하로 작은 케이스는 발견되지 않는 한편, 그 영향의 정도가 판 두께의 5제곱을 넘을 만큼 현저한 케이스는 현 상태에서는 발견되지 않았다. 따라서, 거듭제곱의 지수 n은 $1 < n \leq 5$ 로 하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 또한, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 큰 경우에는 상기 판 두께의 영향은 큰 것이 판명되었다. 또한, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 작은 경우에는 상기 판 두께의 영향은 작은 것도 판명되었다. 그러므로 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 큰 경우에는 거듭제곱의 지수 n을 비교적 크게 설정하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 또한, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 작은 경우에는 거듭제곱의 지수 n을 비교적 작게 설정하는 것이 바람직한 것이 판명되었다.

[0070] 또한, 판 크라운 비율 일정 압연을 행하면 평탄도 불량 발생을 억제할 수 있다. 그런데, 출구측 판 두께가 얇아지면 근소한 연신 변형차에 의해 평탄도 불량이 발생하기 쉬워진다. 따라서, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값을, 각 패스 출구측 판 두께가 어느 값 이하의 영역에서는 이 패스 출구측 판 두께에 관계 없이 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 비율이 일정해지도록 부여하는 것이 바람직한 것이 판명되었다. 이때, 적어도 각 패스 출구측 판 두께가 20mm 이하인 영역에서는, 판 크라운 비율 일정 압연을 지향하는 것이 보다 적합한 것이 판명되었다. 덧붙여, 판 폭이 넓을수록 근소한 연신 변형차에 의해 평탄도 불량이 발생하기 쉬워지므로, 판 크라운 비율 일정 압연을 지향하는 판 두께 영역을 판 폭에 따라서 변화시키는 것이 보다 적합한 것도 판명되었다.

[0071] 이하에 첨부 도면 도 1 내지 도 3을 참조하면서, 본 발명의 적합한 실시 형태에 대해 상세하게 설명한다. 또한, 본 명세서 및 도면에 있어서, 실질적으로 동일한 기능 구성을 갖는 구성 요소에 대해서는, 동일한 번호를 부여함으로써 중복 설명을 생략한다.

[0072] 이하, 본 발명의 일 실시 형태에 관한 판 압연의 패스 스케줄의 설정 방법에 대해 설명한다. 본 실시 형태에서는, 이하의 순서로 패스 스케줄을 설정한다. 여기서, 피압연판의 초기 판 두께를 h^{in} 으로 정의한다. 또한, 제품 판 두께 등으로부터 구해지는 원하는 최종 패스 출구측 판 두께를 h^{out} 으로 정의한다.

[0073] (1) 피압연판의 초기 판 두께(h^{in})를 제1 패스의 입구측 판 두께로 하고, 최대 압하량으로 압연을 반복한다. 이에 의해, 압연 패스 출구측 판 두께가 원하는 최종 패스 출구측 판 두께(h^{out})를 하회하는 최소의 총 압연 패스수(N)를 구한다. 여기서 구해진 총 압연 패스수(N)는, 압연기의 설비 능력에 기초하는 최소 총 압연 패스수에 상당하고, 총 압연 패스수의 초기값으로서 설정된다(도 3, S301).

[0074] (2) 제1 패스 입구측 판 두께(h^{in})를 기점으로, 제1 패스 내지 제(N-1) 패스를 최대 압하량으로 압연한 경우에

얻어지는 제i 패스 하한 출구측 판 두께(h_i^l)를 구한다. 이때, 제N 패스 출구측 판 두께는 최종 패스 출구측 판 두께(h^{out})와 동등해지도록 정한다.

[0075] (3) 제N 패스 출구측 판 두께(h^{out})를 기점으로, 제2 패스 내지 제N 패스를 최대 압하량으로 압연한 경우에 얻어지는 제(i+1) 패스 상한 입구측 판 두께(= 제i 패스 상한 출구측 판 두께)(h_i^u)를 구한다. 이때, 제1 패스 입구측 판 두께는 초기 판 두께(h^{in})와 동등해지도록 정한다.

[0076] (4) 총 압연 패스수가 N이고, 또한 제i 패스 출구측 판 두께(h_i)가 제i 패스 상한 출구측 판 두께(h_i^u)와 제i 패스 하한 출구측 판 두께(h_i^l)의 사이에 존재하는, 임의의 복수의 패스 스케줄을 가정한다(도 3, S302). 이 가정된 복수의 패스 스케줄 중으로부터 선택되는 1개의 패스 스케줄에 관하여, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차 등의 형상 특징값을 평가한다(도 3, S303). 이때, 예를 들어 제i 패스 상한 출구측 판 두께(h_i^u)와 제i 패스 하한 출구측 판 두께(h_i^l)를 균등 분할하여 부여된 임의의 분할점을 통과하는 패스 스케줄을 선택하면 좋다.

[0077] 또한, 임의의 압연 조건에 대한 압연 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 계산 방법은, 예를 들어 비특허 문헌 6에 개시되어 있다. 이 비특허 문헌 6에 따르면, 압연 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_h)은 (2)식으로 구할 수 있다. 여기서, C_H 는 압연 패스 입구측에 있어서의 판 크라운량, α_P , α_C , α_B 는, 각각 압연 하중(P), 롤 크라운(R_{CW} 및 R_{CB}), 롤 밴드(J)에 의한 워크롤 축심 휨 계수이다. 또한, B는 판 폭, L_2 는 롤 배럴 길이이다.

$$C_h = \alpha_P P - \alpha_C R_{CW} - \left\{ \alpha_C + \left(\frac{B}{L_2} \right)^2 \right\} R_{CB} - \alpha_B J + \eta C_H \quad \dots (2)$$

[0078]

[0079] 따라서, (2)식으로부터 압연 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_h)이 구해지면, 압연 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화($(C_h/h) - (C_H/H)$)를 계산할 수 있다. 또한, 예를 들어 (1)식을 이용하여 그 압연 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차($\Delta \epsilon$)를 계산할 수 있다.

[0080]

(5) 상기 (4)에서 구한 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차를 이용하여, 상기 패스 스케줄에 대한 평가 함수값을 구한다(도 3, S304). 여기서, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분 중 적어도 어느 하나를 지표로 하는 평가 함수를 이용한다. 이때, 평가 함수의 지표로서, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 1제곱으로 나눈 값, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 m제곱으로 나눈 값, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 n제곱으로 나눈 값 중 적어도 어느 하나의 값을 평가 함수로서 이용하는 것이 바람직하다. 2개, 혹은 3개의 상기 값을 평가 함수로서 이용할 수 있다. 그 경우에는, 그들 값의 합, 차, 곱 또는 몫을 평가 함수로서 이용하는 것이 바람직하다. 또한, 지수 1 및 지수 m 및 지수 n을 각각 $0 < 1 \leq 4$, $0 < m \leq 4$, $1 < n \leq 5$ 로 하는 것이 더욱 바람직하다. 더욱 바람직하게는, 지수 1 및 지수 m 및 지수 n을 각각 $0 < 1 \leq 3$ 또는 $0 < 1 \leq 2$, $0 < m \leq 3$ 또는 $0 < m \leq 2$, $1 < n \leq 4$ 또는 $1 < n \leq 3$ 으로 한다. 이때, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 큰 경우에는 거듭제곱의 지수 1, m, n은 비교적 크게 설정하는 것이 바람직하다. 한편, 피압연판의 초기 판 두께와 최종 패스 출구측 판 두께의 차가 작은 경우에는 거듭제곱의 지수 1, m, n은 비교적 작게 설정하는 것이 바람직하다. 또한, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값은, 각 패스 출구측 판 두께가 소정값 이하의 영역에서는 각 패스 출구측 판 두께에 관계없이 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 비율이 일정해지도록 정해지는 것이 바람직하다. 이때, 적어도 각 패스 출구측 판 두께가 20mm 이하가 되는 영역에 있어서의 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값은, 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 비율이 일정해지도록 정해지는 것이 바람직하다. 또한, 이때 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값을, 각 패스 출구측에

있어서의 판 크라운 비율이 일정해지도록 정해지는 각 패스 출구측 판 두께의 범위를 판 폭에 따라서 변화시키는 것이 바람직하다.

[0081] (6) 상기한 (4) 내지 (5)의 평가는, 상기 가정된 복수의 패스 스케줄에 대해서도 각각 행해지고, 각 패스 스케줄의 평가 함수값을 구한다(도 3, S304). 이 결과, 상기 복수의 패스 스케줄 중에서, 평가 함수값이 최소가 되는 패스 스케줄을 최적의 스케줄이라 가정한다(도 3, S305). 이 가정된 최적의 패스 스케줄이, 원하는 조건을 만족하는 경우(도 3, S306에서 "예"), 예를 들어 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 및/또는 평탄도가 원하는 값이거나, 혹은 원하는 범위 내에 있을 경우에는, 이 패스 스케줄이 최적이라고 판단하여, 이 최적의 패스 스케줄을 실현하도록 패스 스케줄을 설정한다(도 3, S307). 한편, 상기 원하는 조건을 만족하지 않는 경우(도 3, S306에서 "아니오"), 예를 들어 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 및/또는 평탄도가 원하는 값이 아니거나, 혹은 원하는 범위 내에 없을 경우에는, 초기값으로서 설정된 총 압연 패스수(N)를 증가시켜 상기 (2) 내지 (6)을 반복한다. 이때, 통상은 총 압연 패스수(N)를 1씩 증가시키면 된다. 그러나 예를 들어, 리버스식 압연의 경우에는, 총 압연 패스수(N)를 2씩 증가시켜도 좋다. 이와 같이 하여, 순차 증가된 총 압연 패스수(N+i)로 가정된 복수의 패스 스케줄 중, 상기 평가 함수값이 최소가 되는 패스 스케줄의 결정을 재시행하고, 이 평가 함수값이 최소가 되는 패스 스케줄이며, 또한 상기 원하는 조건을 만족하는 최적의 패스 스케줄을 얻은 후에, 이 최적의 패스 스케줄을 실현하도록 패스 스케줄을 설정한다.

[0082] 이상, 본원 발명의 일 실시 형태에 있어서의 판 압연의 패스 스케줄 설정의 과정을 나타냈다. 본 실시 형태에서는, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭 제곱으로 나눈 값, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 각 패스에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값 중 적어도 어느 하나를 지표로 하는 평가 함수를 이용한다. 그리고 이 평가 함수값을 최소로 하는 패스 스케줄을 구하여 설정한다. 따라서, 종래에 비해, 가능한 한 적은 총 압연 패스수로, 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 안정적으로 얻을 수 있는 패스 스케줄의 설정을 실현할 수 있다. 이에 의해, 압연의 수율 로스가 억제되고, 또한 생산성이 향상된다고 하는 효과도 얻어진다. 또한, 본 실시 형태에서는 총 압연 패스수를 미지수로 하는 경우를 예로 들어 설명하였다. 그러나 예를 들어, 마무리 열연 공정과 같은 연속 탠덤 압연기에 적용하는 경우와 같이, 총 압연 패스수를 기지수로 하는 경우에 본 발명을 적용하는 것도 가능하다. 그 경우에 있어서도, 종래에 비해, 원하는 판 크라운 및/또는 평탄도를 안정적으로 얻을 수 있는 패스 스케줄의 설정을 실현할 수 있다.

[0083] (제1 실시예)

[0084] 이하, 본 발명의 일 실시예에 대해 도 1 내지 도 3에 기초하여 설명한다. 또한, 이하의 실시예에서 이용되는 수치, 함수 등은, 본 발명을 설명하기 위한 일례에 불과하며, 본 발명은 이하의 실시예에 한정되지 않는다.

[0085] 도 1에 도시되는 압연기(1)에 의한 압연의 패스 스케줄의 설정에 본 발명을 적용하였다. 압연기(1)에서는, 그 상류로부터 피압연판(2)이 이송되어 온다. 이때, 이 압연기(1)의 상류측에 설치된 판 두께 측정계(3)에 의해 상기 피압연판(2)의 판 두께(h^{in})가 측정된다. 상기 판 두께 측정계(3)에 의해 측정된 상기 피압연판(2)의 판 두께(h^{in})는 연산 장치(4)로 보내진다. 또한, 이 연산 장치(4)에는, 상기 피압연판(2)의 강종, 사이즈, 온도 등의 정보도 보내져 있다. 또한, 제어 장치(5)는 연산 장치(4)의 연산 결과에 기초하여 설정된 최적의 패스 스케줄에 따라서 압연기(1)를 제어한다.

[0086] 여기서, 상기 피압연판(2)의 초기 판 두께(h^{in})는 87.3mm였다. 이것을 압연기(1)에 있어서, 최종 패스 출구측 판 두께(h^{out})가 10.9mm가 될 때까지 압연하는 것을 목표로 하였다. 이때, 최종 패스 출구측에 있어서의 평탄도를 억제하는 것을 목표로 하였다. 따라서, 식 (3)으로 나타내어지는 평가 함수(\emptyset)를 이용하여, 본 발명에 기초하는 연산을 연산 장치(4)에 있어서 실시함으로써, 최종 패스 출구측에 있어서의 평탄도를 억제하는 것이 가능한 패스 스케줄을 탐색하였다. 여기서, ω_i 는 제 i 패스 출구측에서의 평가 함수값에 대한 가중치를 나타낸다. 본 실시예에서는, 제 i 패스 출구측에 있어서의 평가 함수값에 대한 가중치(ω_i)를 모두 1로 하였다. 또한, 거듭제곱의 지수 $l = 1$ 로 하였다. 따라서, 제1 실시예의 평가 함수(\emptyset)는, 지표인 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차($\Delta \epsilon_i$)에 대해, 그 이상값($\Delta \epsilon_i^0$)(본 실시예에서는 이것을 제로로 두었음)으로부터의 차분을 각 패스 출구측 판 두께(h_i)로 나눈 값에, 가중치 계수(ω_i)를 곱하고, 각 패스에 대해 총합을 취한 함

수이다. 단, 지표에 기초하는 평가 함수의 형식은 이러한 형식에 전혀 구애되는 것이 아니다.

$$\phi = \sum_{i=1}^N \omega_i \left(\frac{\Delta \varepsilon_i - \Delta \varepsilon_i^0}{h_i} \right)^2 \quad \dots (3)$$

[0087]

[0088]

본 실시예에서 이용한 형상 변화 계수(ξ_i)는 비특허 문헌 7에 개시되어 있다. 또한, 본 실시예에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 0.5% 이하로 하는 것을 목표로 하였다. 여기서, 연신 변형차($\Delta \varepsilon$)와 급준도(λ)는 식 (4)로 관련지었다.

$$\Delta \varepsilon = 2.47 \lambda^2 \quad \dots (4)$$

[0089]

[0090]

탐색 연산의 결과, 표 1에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 8패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 약 0.3%로 억제할 수 있는 것이 판명되었다. 덧붙여, 7패스 이하의 각 총 압연 패스수에 대해 구해진 최적 패스 스케줄에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 0.5% 이하로 하는 것은 불가능했다. 또한, 표 1에는, 비교예로서, 종래 동일 사양의 피압연판을 8패스로 제조하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 본 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)과, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)의 예측값을 나타낸다. 여기서, 비교예에서는 비특허 문헌 1에 기초하는 방법을 이용하여, 패스 스케줄을 설정하고 있다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)은 본 실시예에 따른 평가 함수값(ϕ)을 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)의 예측값도 커져 있는 것을 알 수 있다. 또한, 평가 함수값(ϕ)의 상대 비교(대소)는, 동일 압연판 사양에 대한 동일 총 압연 패스수 하에서의 패스 스케줄의 우열을 판정하는 면에서 의미를 갖지만, 평가 함수값(ϕ)의 절대값 자체는 의미를 갖지 않는(상이한 총 압연 패스수, 압연판 사양에 대한 패스 스케줄의 상대 비교에는 적용할 수 없는) 것에 주의 바란다.

표 1

제1 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄 (판 두께 h의 단위는 mm, 급준도 λ 의 단위는 %)

	h^{in}	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	$h_8 (=h^{out})$	ϕ	λ
제1 실시예	87.3	62.0	41.9	30.0	22.2	17.0	14.4	12.4	10.9	3.7×10^{-7}	0.3
비교예	87.3	65.0	44.0	31.3	23.4	18.1	15.0	12.7	10.9	5.6×10^{-7}	0.6

[0091]

[0092]

본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 제어 장치(5)를 이용하여 각 패스의 압하를 설정하고, 압연을 실시하였다. 그 결과, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도는 0.3%가 되었다. 이것은, 본 실시예의 방법에 의해, 양호한 평탄도를 얻는 패스 스케줄을 합리적으로 탐색하여, 설정할 수 있게 되었기 때문이다. 또한, 종래 본 조건과 동일한 피압연판에 대해서는 10패스의 압연을 실시하고 있고, 평탄도도 반드시 양호하지는 않았다. 즉, 본 실시예는 총 압연 패스수를 2패스 줄이는 것을 가능하게 하고, 또한 평탄도가 양호한 압연판을 얻는 것을 가능하게 하였다고 할 수 있다.

[0093]

이상, 본 발명을 그 일 실시예를 기초로 설명하였지만, 본 발명은 그 요지를 일탈하지 않는 범위에서 다양하게 변경할 수도 있다. 예를 들어, 여기서는 식 (3)에 있어서 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 이상값($\Delta \varepsilon_i^0$)을 제로로 한 경우를 예로 들어 설명하였지만, 본 발명은 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 이상값을 제로로 두는 경우에 한정되지 않는다. 예를 들어, 에지 웨이브 압연 혹은 중앙부 연신 압연을 허용하고, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 이상값을 제로가 아닌 임의의 값으로 해도 좋다.

[0094]

또한, 본 실시예는, 식 (3)으로 나타내지는 평가 함수(ϕ)를 이용한 경우를 예로 들어 설명하였지만, 본 발명은 평가 함수(ϕ)를 식 (3)에 한정하지 않는다. 예를 들어, 계수를 곱한 평가 함수나, 부가항을 부가한 평가 함수 등을 이용해도 좋다. 또한, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 또는 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 또는 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 각 패스 출구측 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값 중 적어도 어느 하나의 값을 지표에 포함하는 다양한 평가 함수(ϕ)를 이용해도 좋다.

[0095] 또한, 본 실시예에는 총 압연 패스수를 미지수로 하는 경우를 예로 들어 설명하였다. 그러나 예를 들어, 마무리 열연 공정과 같은 연속 탠덤 압연기에 적용하는 경우와 같이, 총 압연 패스수를 기지수로 하는 경우에 본 발명을 적용하는 것도 가능하다.

[0096] 또한, 본 실시예에는 압연기(1)에서 피압연관(2)의 압연을 개시하기 전의 단계에서, 피압연관(2)의 전체 압연 패스에 대한 패스 스케줄을 설정하는 경우를 예로 들어 설명하였다. 그러나 예를 들어, 압연기(1)에서 피압연관(2)의 압연을 개시한 후에 본 발명을 적용해도 좋다. 즉, 예를 들어, 피압연관(2)에 대해, 수 패스의 압연을 실시한 결과, 외란 등에 기인하여, 상정한 압연 결과가 얻어져 있지 않은 경우에, 그 압연 패스보다도 하류측에서의 패스 스케줄을 수정하는 경우에 본 발명을 적용해도 좋다.

[0097] (제2 실시예)

[0098] 제2 실시예는, 피압연관의 입구측 판 두께(hⁱⁿ)와 출구측 판 두께(h^{out})의 차가 비교적 작은 경우에 적합하다. 제1 실시예와 마찬가지로, 본 발명에 기초하는 연산을 연산 장치(4)에 있어서 실시하였다. 이에 의해, 각 패스 출구측에 있어서의 피압연관의 평탄도를 확보하면서, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{kn})을 50 μ m 이내로 하는 것이 가능한 패스 스케줄을 탐색하였다. 여기서, 피압연관(2)의 초기 판 두께(hⁱⁿ)는 48.6mm였다. 이 피압연관을, 압연기(1)에 있어서, 최종 패스 출구측 판 두께(h^{out})가 8.0mm이 될 때까지 압연하는 것을 목표로 하였다. 그로 인해, 본 실시예에서는 식 (5)로 나타내어지는 평가 함수(ϕ)를 이용하였다. 즉, 거듭제곱의 지수 1 = 0.2로 하였다.

$$\phi = \sum_{i=1}^N \omega_i \left(\frac{\Delta \varepsilon_i - \Delta \varepsilon_i^0}{h_i^{0.2}} \right)^2 \quad \dots (5)$$

[0099] 그 밖에, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 이상값($\Delta \varepsilon_i^0$)은 제로로 두었다. 또한, 본 실시예에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 0.5% 이하로 하는 것을 목표로 하였다.

[0101] 탐색 연산의 결과, 표 2에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 8패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 약 0.2%로 억제할 수 있는 것이 판명되었다. 덧붙여, 7패스 이하의 각 총 압연 패스수에 대해 구해진 최적 패스 스케줄에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 0.5% 이하로 하는 것은 불가능했다. 또한, 표 2에는 비교예로서, 종래 동일 사양의 피압연관을 8패스로 제조하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 본 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)과, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)의 예측값을 나타낸다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)은 본 실시예에 따른 평가 함수값(ϕ)을 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)의 예측값도 커져 있는 것을 알 수 있다.

표 2

제2 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄 (판두께 h의 단위는 mm, 급준도 λ 의 단위는 %)

	h ⁱⁿ	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈ (=h ^{out})	ϕ	λ
제2 실시예	48.6	31.5	22.6	17.2	13.7	11.4	9.9	8.8	8.0	7.3 $\times 10^{-6}$	0.2
비교예	48.6	34.5	24.3	18.1	14.5	11.9	10.1	8.9	8.0	9.2 $\times 10^{-6}$	0.7

[0102] 본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 제어 장치(5)를 이용하여 각 패스의 압하를 설정하고, 압연을 실시하였다. 그 결과, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도는 0.4%가 되었다. 이것은, 본 실시예의 방법에 의해, 양호한 평탄도를 얻는 패스 스케줄을 합리적으로 탐색하여, 설정할 수 있게 되었기 때문이다. 즉, 본 실시예는 평탄도가 양호한 압연관을 얻는 것을 가능하게 하였다고 할 수 있다.

[0104] (제3 실시예)

[0105] 본 제3 실시예는, 피압연관의 입구측 판 두께(hⁱⁿ)와 출구측 판 두께(h^{out})의 차가 비교적 큰 경우에 적합하다. 제1 실시예와 마찬가지로, 본 발명에 기초하는 연산을 연산 장치(4)에 있어서 실시하였다. 그리고 각 패스 출구측에 있어서의 피압연관의 평탄도를 확보하면서, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{kn})을 50 μ m 이

내로 하는 것이 가능한 패스 스케줄을 탐색하였다. 여기서, 피압연관(2)의 초기 판 두께(h^{in})는 130.3mm였다. 이것을 압연기(1)에 있어서, 최종 패스 출구측 판 두께(h^{out})가 8.7mm가 될 때까지 압연하는 것을 목표로 하였다. 그로 인해, 본 실시예에서는, 식 (6)으로 나타내어지는 평가 함수(ϕ)를 이용하였다. 즉, 거듭제곱의 지수 $l = 4$ 로 하였다.

$$\phi = \sum_{i=1}^N \omega_i \left(\frac{\Delta \varepsilon_i - \Delta \varepsilon_i^0}{h_i^4} \right)^2 \quad \dots (6)$$

[0106]

그 밖에, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 이상값($\Delta \varepsilon_i^0$)은 제로로 두고, 또한 본 실시예에서는 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 0.5% 이하로 하는 것을 목표로 하였다.

[0107]

[0108]

탐색 연산의 결과, 표 3에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 10패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 약 0.3%로 억제할 수 있는 것이 판명되었다. 또한, 표 3에는 비교예로서, 종래 동일 사양의 피압연관을 10패스로 제조하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 본 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)과, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)의 예측값을 나타낸다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)은 본 실시예에 따른 평가 함수값(ϕ)을 상회하는 것을 알 수 있다. 또한, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)의 예측값도 커져 있는 것을 알 수 있다.

표 3

제3 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄 (판두께 h의 단위는 mm, 급준도 λ 의 단위는 %)

	h^{in}	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	$h_{10}(=h^{out})$	ϕ	λ
제3 실시예	130.3	103.9	78.9	56.2	36.1	25.3	19.3	15.1	12.2	10.1	8.7	4.4×10^6	0.3
비교예	130.3	108.7	87.4	66.6	46.3	31.5	22.4	16.7	12.9	10.4	8.7	6.1×10^6	0.8

[0109]

본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 제어 장치(5)를 이용하여 각 패스의 압하를 설정하고, 압연을 실시하였다. 그 결과, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도는 0.3%가 되었다. 이것은, 본 실시예의 방법에 의해 양호한 평탄도를 얻는 패스 스케줄을 합리적으로 탐색하여, 설정할 수 있게 되었기 때문이다. 즉, 본 실시예는 평탄도가 양호한 압연관을 얻는 것을 가능하게 하였다고 할 수 있다.

[0110]

(제4 실시예)

[0111]

본 제4 실시예에서는, 제1 실시예와 동일한 피압연관 조건을 이용하였다. 단, 식 (7)로 나타내어지는 평가 함수(ϕ)를 이용하여, 본 발명에 기초하는 연산을 연산 장치(4)에 있어서 실시하였다. 그것에 의해, 각 패스 출구측에 있어서의 피압연관의 평탄도를 확보하면서, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{in})을 50 μ m 이내로 하는 것이 가능한 패스 스케줄을 탐색하였다. 여기서, ω_i 는 제i 패스 출구측에서의 평가 함수값에 대한 가중치이다. 본 실시예에서는, 제i 패스 출구측에서의 평가 함수값에 대한 가중치(ω_i)를 모두 1로 하였다. 또한, 거듭제곱의 지수 $m = 2$ 로 하였다. 따라서, 제4 실시예의 평가 함수(ϕ)는, 지표인 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 이상값으로부터의 차분을 각 패스 출구측 판 두께(h_i)의 제곱으로 나눈 값에 대해, 이것을 제곱하고, 가중치 계수(ω_i)를 곱하여, 각 패스에 대해 총합을 취한 값이다. 단, 지표에 기초하는 평가 함수의 형식은 이러한 형식에 구애되지 않아도 좋다.

[0112]

$$\phi = \sum_{i=1}^N \omega_i \left(\frac{\frac{C_k}{h_i} - \frac{C_{H_i}}{H_i} - C_{0_i}}{h_i^2} \right)^2 \quad \dots (7)$$

[0113]

본 실시예에서는, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화를 0.001로 하는 것을 이상으로 하였다. 따라서, 그 이상값(C_0)에는 1×10^{-3} 을 부여하였다. 단, 각 패스 출구측에 있어서의 급준도를 1.0% 이하로 하는 제약

[0114]

조건을 부여하였다.

[0115] 탐색 연산의 결과, 표 4에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 8패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})이 $38\mu\text{m}$ 가 되는 것이 판명되었다. 덧붙여, 7패스 이하의 각 총 압연 패스수에 대해 구해진 최적 패스 스케줄에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 $50\mu\text{m}$ 이내로 하는 것은 불가능했다. 또한, 표 4에는 비교예로서, 종래 동일 사양의 압연판을 8패스로 제조하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 본 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})의 예측값을 나타낸다. 여기서, 비교예에서는 비특허 문헌 1에 기초하는 방법을 이용하여, 패스 스케줄을 설정하고 있다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)은 본 실시예에 따른 평가 함수값(ϕ)을 상회하는 것을 알 수 있다. 또한, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})의 예측값도 원하는 범위를 상회하고 있는 것을 알 수 있다.

표 4

제4 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄 (판 두께 h 및 크라운 C_{hN} 의 단위는 mm)

	h^{in}	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	$h_8 (=h^{out})$	ϕ	C_{hN}
제4 실시예	87.3	62.1	41.9	30.1	22.3	17.1	14.5	12.5	10.9	3.4×10^{-7}	0.038
종래	87.3	65.0	44.0	31.3	23.4	18.1	15.0	12.7	10.9	5.6×10^{-7}	0.063

[0116] 본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 제어 장치(5)를 이용하여 각 패스의 압하를 설정하고, 압연을 실시하였다. 그 결과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})은 $42\mu\text{m}$ 가 되었다. 이것은, 본 실시예의 방법에 의해 양호한 평탄도를 얻는 패스 스케줄을 합리적으로 탐색하여, 설정할 수 있게 되었기 때문이다. 또한, 종래 본 조건과 동일한 피압연판에 대해서는 10패스의 압연을 실시하고 있고, 평탄도도 반드시 양호하지는 않았다. 즉, 본 실시예는 총 압연 패스수를 2패스 줄이는 것을 가능하게 하고, 또한 평탄도가 양호한 압연판을 안정적으로 얻는 것을 가능하게 하였다고 할 수 있다.

[0118] (제5 실시예)

[0119] 본 제5 실시예는, 피압연판의 입구측 판 두께(h^{in})와 출구측 판 두께(h^{out})의 차가 비교적 작은 경우에 적합하다. 제4 실시예와 마찬가지로, 본 발명에 기초하는 연산을 연산 장치(4)에 있어서 실시하였다. 이에 의해, 각 패스 출구측에 있어서의 피압연판의 평탄도를 확보하면서, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 $50\mu\text{m}$ 이내로 하는 것이 가능한 패스 스케줄을 탐색하였다. 여기서, 피압연판(2)의 초기 판 두께(h^{in})는 49.6mm 였다. 이것을 압연기(1)에 있어서, 최종 패스 출구측 판 두께(h^{out})가 11.1mm 가 될 때까지 압연하는 것을 목표로 하였다. 그것을 위해, 본 실시예에서는 식 (8)로 나타내어지는 평가 함수(ϕ)를 이용하였다. 즉, 거듭제곱의 지수 $m = 0.5$ 로 하였다.

$$\phi = \sum_{i=1}^N \omega_i \left(\frac{C_{h_i} - \frac{C_{H_i}}{H_i} - C_{0_i}}{h_i^{0.5}} \right)^2 \dots (8)$$

[0120] 그 밖에, 각 패스에 있어서의 판 크라운 비율 변화의 이상값(C_0)은 제로로 하였다. 또한, 본 실시예에서는 각 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 0.8% 이하로 하는 제약 조건을 부여하였다.

[0122] 탐색 연산의 결과, 표 5에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 8패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})이 $33\mu\text{m}$ 가 되는 것이 판명되었다. 또한, 표 5에는 비교예로서, 종래 동일 사양의 피압연판을 8패스로 제조하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 본 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})의 예측값을 나타낸다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)은 본 실시예에 따른 평가 함수값(ϕ)을 상회하는 것을 알 수 있다. 또한, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})의 예측값도 커져 있는 것을 알 수 있다.

표 5

제5 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄 (판 두께 h 및 크라운 C_{hN}의 단위는 mm)

	h ⁱⁿ	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈ (=h ^{out})	φ	C _{hN}
제5 실시예	49.6	35.7	26.9	21.4	17.8	15.3	13.5	12.1	11.1	7.3×10 ⁻⁶	0.033
비교예	49.6	41.8	30.3	23.5	19.6	16.5	14.2	12.4	11.1	9.2×10 ⁻⁶	0.062

[0123]

[0124]

본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 제어 장치(5)를 이용하여 각 패스의 압하를 설정하고, 압연을 실시하였다. 그 결과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})은 42μm가 되었다. 이것은, 본 실시예의 방법에 의해, 양호한 평탄도를 얻는 패스 스케줄을 합리적으로 탐색하여, 설정할 수 있게 되었기 때문이다. 즉, 본 실시예는 평탄도가 양호한 압연판을 얻는 것을 가능하게 하였다고 할 수 있다.

[0125]

(제6 실시예)

[0126]

본 제6 실시예에서는, 제1 실시예와 동일한 피압연관 조건을 이용하였다. 단, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 100μm 이하로 억제하는 것을 목표로 하였다. 따라서, 식 (9)로 나타내어지는 평가 함수(φ)를 이용하여, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 100μm 이하로 하는 것이 가능한 패스 스케줄을 본 발명에 기초하여 탐색하였다. 본 실시예에 있어서도, 제i 패스 출구측에서의 평가 함수값에 대한 가중치(ω_i)를 모두 1로 하였다. 또한, 거듭제곱의 지수 n = 2로 하였다.

[0127]

$$\phi = \sum_{i=1}^N \omega_i \left(\frac{C_{h_i} - \tilde{C}_{h_i}}{h_i^2} \right)^2 \quad \dots (9)$$

[0128]

여기서,

[0129]

$$C_{h_i}$$

[0130]

는 제i 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 나타낸다. 또한,

[0131]

$$\tilde{C}_{h_i}$$

[0132]

는 제i 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값을 나타낸다. 따라서,

[0133]

$$(C_{h_i} - \tilde{C}_{h_i})$$

[0134]

는 제i 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 나타낸다.

[0135]

본 실시예에서는, 출구측 판 두께(h_i)가 소정값(h*) 이하의 영역에서 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 비율을 일정하게 하는, 도 2와 같은 판 크라운 비율 스케줄을 실현하는 크라운 스케줄을 이상값으로 하였다. 또한, 본 실시예에서는, h*를 20mm로 하였다. 즉, 본 실시예에서는, 제i 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값

[0136]

$$\tilde{C}_{h_i}$$

[0137]

를 식 (10)으로 부여하였다.

[0138]

$$\tilde{C}_{h_i} = \begin{cases} 0.00734 \cdot h_i & h_i < 20 \\ -0.000109 \cdot h_i^2 + 0.00952 \cdot h_i & h_i \geq 20 \end{cases} \quad \dots (10)$$

[0139]

그 결과, 표 6에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 9패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 91μm로 억제할 수 있는 것이 판명되었다. 덧붙여, 8패스 이하의 각 총 압연 패스수에 대해 구해진 최적 패스 스케줄에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 100μm 이하로 하는 것은 불가

능했다. 또한, 표 6에는 비교예로서, 종래 동일 사양의 압연판을 9패스로 압연하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 본 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})의 예상값을 나타낸다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})은 $118\mu\text{m}$ 이다. 따라서, 원하는 값($100\mu\text{m}$ 이하)을 달성할 수 없을 것이라 예상된다.

표 6

제6 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄 (판 두께 h 및 크라운 C_{hN} 의 단위는 mm)

	h^{in}	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	$h_9(=h^{out})$	ϕ	C_{hN}
제6 실시예	87.3	65.7	49.4	37.4	29.2	23.1	19.0	16.9	13.8	10.9	8.3×10^{-6}	0.091
비교예	87.3	66.7	50.0	37.8	30.6	25.0	19.8	17.4	14.3	10.9	1.8×10^{-4}	0.118

[0140]

[0141]

본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 각 패스의 압하를 설정하여 압연을 실시하였다. 그 결과, 실제로 얻어진 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운은 $88\mu\text{m}$ 로, $100\mu\text{m}$ 를 하회하고 있었다. 또한, 종래 본 조건과 동일한 피압연판에 대해서는 11패스의 압연을 실시하고 있고, 그래도 $100\mu\text{m}$ 를 상회하는 판 크라운이 발생하는 경우가 빈발하고 있었다. 즉, 본 실시예에서는 종래보다도 총 압연 패스수를 저감하는 것을 가능하게 하고, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운도 저감하는 것을 가능하게 하였다고 할 수 있다.

[0142]

(제7 실시예)

[0143]

본 제7 실시예는, 피압연판의 입구측 판 두께(h^{in})와 출구측 판 두께(h^{out})의 차가 비교적 작은 경우에 적합하다. 제6 실시예와 마찬가지로, 본 발명에 기초하는 연산을 연산 장치(4)에 있어서 실시하였다. 그에 의해, 각 패스 출구측에 있어서의 피압연판의 평탄도를 확보하면서, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 $100\mu\text{m}$ 이내로 하는 것이 가능한 패스 스케줄을 탐색하였다. 여기서, 피압연판(2)의 초기 판 두께(h^{in})는 50.2mm 였다. 이것을 압연기(1)에 있어서, 최종 패스 출구측 판 두께(h^{out})가 11.0mm 가 될 때까지 압연하는 것을 목표로 하였다. 그것을 위해, 본 실시예에서는 식 (11)로 나타내어지는 평가 함수(ϕ)를 이용하였다. 즉, 거듭제곱의 지수 $n = 1.2$ 로 하였다.

[0144]

$$\phi = \sum_{i=1}^N \omega_i \left(\frac{C_{h_i} - \tilde{C}_{h_i}}{h_i^{1.2}} \right)^2 \quad \dots (11)$$

[0145]

본 실시예에서는, 출구측 판 두께(h_i)가 소정값(h^*) 이하의 영역에서 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 비율을 일정하게 하는, 도 2와 같은 판 크라운 비율 스케줄을 실현하는 크라운 스케줄을 이상값으로 하였다. 또한, 본 실시예에서는, h^* 를 20mm 로 하였다. 즉, 본 실시예에서는 제 i 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값

[0146]

$$\tilde{C}_{h_i}$$

[0147]

를 식 (12)로 부여하였다.

[0148]

$$\tilde{C}_{h_i} = \begin{cases} 0.00818 \cdot h_i & h_i < 20 \\ -0.000271 \cdot h_i^2 + 0.0136 \cdot h_i & h_i \geq 20 \end{cases} \quad \dots (12)$$

[0149]

탐색 연산의 결과, 표 7에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 9패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})이 $83\mu\text{m}$ 가 되는 것이 판명되었다. 또한, 표 7에는 비교예로서, 종래 동일 사양의 피압연판을 9패스로 제조하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 본 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})의 예측값을 나타낸다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(ϕ)은 본 실시예에 따른 평가 함수값(ϕ)을 상회하는 것을 알 수 있다. 또한, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})의 예측값도 커져 있는 것을 알 수 있다.

표 7

제7 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄 (판 두께 h 및 크라운 C_N의 단위는 mm)

	h ⁱⁿ	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉ (=h ^{out})	φ	C _N
제7 실시예	50.2	38.2	28.4	22.5	19.0	16.5	14.6	13.1	11.9	11.0	3.6×10 ⁻⁴	0.083
비교예	50.2	40.2	32.1	26.0	21.7	18.1	15.5	13.5	12.1	11.0	9.6×10 ⁻⁴	0.112

[0150]

[0151]

본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 제어 장치(5)를 이용하여 각 패스의 압하를 설정하고, 압연을 실시하였다. 그 결과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_N)은 79μm가 되었다. 이것은, 본 실시예의 방법에 의해 양호한 평탄도를 얻는 패스 스케줄을 합리적으로 탐색하여, 설정할 수 있게 되었기 때문이다. 즉, 본 실시예는 평탄도가 양호한 압연판을 얻는 것을 가능하게 하였다고 할 수 있다.

[0152]

(제8 실시예)

[0153]

본 제8 실시예는, 피압연판의 입구측 판 두께(h_{in})와 출구측 판 두께(h^{out})의 차가 비교적 큰 경우에 적합하다. 제6 실시예와 마찬가지로, 본 발명에 기초하는 연산을 연산 장치(4)에 있어서 실시하였다. 그것에 의해, 각 패스 출구측에 있어서의 피압연판의 평탄도를 확보하면서, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_N)을 100 μm 이내로 하는 것이 가능한 패스 스케줄을 탐색하였다. 여기서, 피압연판(2)의 초기 판 두께(hⁱⁿ)는 102.1mm 이고, 이것을 압연기(1)에 있어서, 최종 패스 출구측 판 두께(h^{out})가 9.1mm가 될 때까지 압연하는 것을 목표로 하였다. 그것을 위해, 본 실시예에서는 식 (13)으로 나타내어지는 평가 함수(φ)를 이용하였다. 즉, 거듭제곱의 지수 n = 5로 하였다.

[0154]

$$\phi = \sum_{i=1}^N \omega_i \left(\frac{C_{h_i} - \tilde{C}_{h_i}}{h_i^5} \right)^2 \quad \dots (13)$$

[0155]

본 실시예에서는, 출구측 판 두께(h_i)가 소정값(h*) 이하의 영역에서 각 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 비율을 일정하게 하는, 도 2와 같은 판 크라운 비율 스케줄을 실현하는 크라운 스케줄을 이상값으로 하였다. 또한, 본 실시예에서는, h*를 25mm로 하였다. 즉, 본 실시예에서는, 제i 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값

[0156]

$$\tilde{C}_{h_i}$$

[0157]

를 식 (14)로 부여하였다.

[0158]

$$\tilde{C}_{h_i} = \begin{cases} 0.00989 \cdot h_i & h_i < 25 \\ -0.000161 \cdot h_i^2 + 0.0164 \cdot h_i & h_i \geq 25 \end{cases} \quad \dots (14)$$

[0159]

탐색 연산의 결과, 표 8에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 9패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_N)이 77μm가 되는 것이 판명되었다. 또한, 표 8에는 비교예로서, 종래 동일 사양의 피압연판을 9패스로 제조하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 본 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(φ)과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_N)의 예측값을 나타낸다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에 대한 평가 함수값(φ)은, 본 실시예에 따른 평가 함수값(φ)을 상회하는 것을 알 수 있다. 또한, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_N) 예측값도 커져 있는 것을 알 수 있다.

표 8

제8 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄 (판 두께 h 및 크라운 C_{hN}의 단위는 mm)

	h ^{1a}	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉ (=h ^{9a})	φ	C _{hN}
제8 실시예	102.1	79.0	58.0	40.0	26.9	19.5	15.3	12.5	10.5	9.1	1.6×10 ⁻⁶	0.077
비교예	102.1	79.6	59.0	40.9	27.9	20.4	15.7	12.6	10.5	9.1	3.1×10 ⁻⁶	0.128

[0160]

[0161]

본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 제어 장치(5)를 이용하여 각 패스의 압하를 설정하고, 압연을 실시하였다. 그 결과, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})은 82μm가 되었다. 이것은, 본 실시예의 방법에 의해, 양호한 평탄도를 얻는 패스 스케줄을 합리적으로 탐색하여, 설정할 수 있게 되었기 때문이다. 즉, 본 실시예는, 평탄도가 양호한 압연판을 얻는 것을 가능하게 하였다고 할 수 있다.

[0162]

(제9 실시예)

[0163]

본 제9 실시예에서는, 제1 실시예와 동일한 피압연관 조건을 이용하였다. 단, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 120μm 이하로 억제하고, 또한 양호한 평탄도를 얻는 것을 목표로 하였다. 따라서, 식 (15)로 나타내어지는 평가 함수(φ)를 이용하여, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 120μm 이하로 억제하고, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도를 0.5% 이하로 하는 것이 가능한 패스 스케줄을 본 발명에 기초하여 탐색하였다.

[0164]

$$\phi = \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\Delta \varepsilon_i - \Delta \varepsilon_i^0}{h_i^2} \right)^2 + \left\{ \xi_i \left(\frac{C_{h_i} - \tilde{C}_{h_i}}{h_i^3} \right) \right\}^2 \right] \dots (15)$$

[0165]

여기서, 본 실시예에서는, 각 패스에 있어서 약한 에지 웨이브 압연을 허용하였으므로, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 이상값(Δε_i⁰)은 5×10⁻⁷을 부여하였다. 또한, 도 2에 나타내는 판 크라운 비율 스케줄을 실현하는 크라운 스케줄을 이상값으로 하였다. 또한, 본 실시예에서는, 상기 출구측 판 두께의 소정값(h*)을 30mm로 하였다. 즉, 본 실시예에서는 제i 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값

[0166]

$$\tilde{C}_{h_i}$$

[0167]

을 식 (16)으로 부여하였다.

[0168]

$$\tilde{C}_{h_i} = \begin{cases} 0.00917 \cdot h_i & h_i < 30 \\ -0.000160 \cdot h_i^2 + 0.0140 \cdot h_i & h_i \geq 30 \end{cases} \dots (16)$$

[0169]

또한, 거듭제곱의 지수 1 = 2, n = 3으로 하였다.

[0170]

그 결과, 표 9에 나타내는 바와 같은 패스 스케줄을 적용함으로써, 9패스에서 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 105μm로 억제하고, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 0.4%로 억제할 수 있는 것이 판명되었다. 덧붙여, 8패스 이하의 각 총 압연 패스수에 대해 구해진 최적 패스 스케줄에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 120μm로 억제하고, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)를 0.5% 이하로 하는 것은 불가능했다. 또한, 표 9에는 비교예로서, 종래 동일 사양의 압연판을 9패스로 압연하는 경우의 패스 스케줄 설정과, 이때의 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)와, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})의 예상값을 나타낸다. 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)는 0.6%, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})은 137μm로 예측된다. 따라서, 비교예에 따른 패스 스케줄 설정에서는, 원하는 값(최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운 120μm 이하, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도 0.5% 이하)을 달성할 수 없을 것이라 예상된다.

표 9

제9 실시예에 의해 얻어진 패스 스케줄
(판 두께 h, 판 크라운 C_{NN}의 단위는 mm, 급준도 λ의 단위는 %)

	h ⁱⁿ	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉ (=h ^{out})	φ	λ	C _{NN}
제9 실시예	87.3	62.0	44.0	32.4	24.8	19.5	15.8	13.8	12.2	10.9	2.2×10 ⁻⁴	0.4	0.105
비교예	87.3	65.2	46.0	33.8	26.0	20.5	16.7	14.1	12.5	10.9	4.9×10 ⁻⁴	0.6	0.137

[0171]

[0172]

[0173]

[0174]

[0175]

[0176]

[0177]

[0178]

[0179]

본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄을 실현하도록 각 패스의 압하를 설정하여 압연을 실시한 결과, 실제로 얻어진 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운은 112 μ m이고, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도는 0.4%였다. 또한, 종래 본 조건과 동일한 피압연판에 대해서는 압연 패스수를 9패스로 하는 한은, 안정적으로 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 120 μ m 이하로 억제하고, 게다가 양호한 평탄도를 얻는 것은 곤란하였다. 즉, 본 실시예에서는, 종래보다도 총 압연 패스수를 저감시킨 동시에, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 저감시키고, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 평탄도도 향상시켰다.

또한, 본 실시예는 식 (15)로 나타내어지는 바와 같이, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과, 그 이상값의 차분을 판 두께의 제곱으로 나눈 값의 제곱합과, 각 패스 출구측에 있어서의 크라운의 값과, 그 이상값의 차분을 판 두께의 3제곱으로 나눈 값에 형상 변화 계수를 곱한 값의 제곱합의 합으로 정의되는 평가 함수(ϕ)를 이용한 경우를 예로 들어 설명하였다. 그러나 본 발명은, 평가 함수(ϕ)를 식 (15)로 한정할 필요는 없다. 예를 들어, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값의 제곱합과, 각 패스 출구측에 있어서의 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값에 형상 변화 계수를 곱한 값의 제곱합의 곱, 차, 몫 등으로 정의되는 평가 함수(ϕ)를 이용해도 좋다. 또한, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 값과 그 이상값의 차분을 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 각 패스 출구측에 있어서의 크라운 비율 변화의 값과 그 이상값의 차분을 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값, 각 패스 출구측에 있어서의 크라운의 값과 그 이상값의 차분을 판 두께의 거듭제곱으로 나눈 값 중 적어도 어느 하나의 값을 지표에 포함하는 다양한 평가 함수(ϕ)를 이용해도 좋다.

(제10 실시예)

본 제10 실시예에서는, 판 폭(w) = 2000 내지 5000(mm)의 다양한 피압연판에 대해, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 80 μ m 이하로 억제하고, 또한 양호한 평탄도를 얻는 것을 가능하게 하는 패스 스케줄을 설정하는 것을 목표로 하였다. 따라서, 식 (15)로 나타내어지는 평가 함수(ϕ)를 이용하여, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 80 μ m 이하로 억제하고, 또한 양호한 평탄도를 얻는 것이 가능한 패스 스케줄을 본 발명에 기초하여 탐색하였다. 거듭제곱의 지수는, 1 = 2, n = 3으로 하였다. 본 실시예에서는, 판 크라운의 이상 스케줄로서, 판 크라운 비율 일정 압연을 지향하는 영역을 결정하는 판 두께의 소정값[h*(mm)]을 식 (17)로 나타내는 바와 같이, 판 폭[w(mm)]에 따라서 변화시켰다. 이 식 (17)은, 상기 판 두께의 소정값(h*)을 판 폭(w)에 따라서 결정하는 함수이다. 이 함수는, 판 폭(w)이 클수록 소정값(h*)이 커지도록 결정되는 선형 함수로 되어 있다. 이것은, 판 폭(w)이 클수록 근소한 연신 변형차에 의해 평탄도 불량 발생이 쉬워지는 문제에 대처하기 위함이다. 즉, 판 폭(w)이 큰 경우에 상기 판 두께의 소정값(h*)을 큰 값으로 설정하여, 판 크라운 비율 일정 압연을 지향하는 판 두께 영역을 넓힘으로써 평탄도 불량의 발생을 억제하기 위함이다.

$$h^* = 0.005w + 10 \quad \dots (17)$$

또한, 제i 패스 출구측에 있어서의 판 크라운의 이상값

$$\bar{C}_h$$

는, 출구측 판 두께(h_i)가 상기 판 두께의 소정값(h*) 이하의 영역에서는, 판 크라운의 이상값을 그 패스 출구측 판 두께로 나눈 값이, 70 μ m(최종 패스 출구측에 있어서의 크라운의 목표값)를 최종 패스 출구측 판 두께로 나눈 값과 동등해지도록 설정하였다. 또한, 출구측 판 두께(h_i)가 상기 판 두께의 소정값(h*)을 초과하는 영역에서는, 제1 패스 입구측 판 두께(hⁱⁿ)에 있어서의 판 크라운의 이상값을 제로로 하였다. 이 이상값과 판

두께의 소정값(h^*)에 있어서의 상기 판 크라운의 이상값을, 판 크라운의 이상값을 출구측 판 두께(h_1)로 나누어 값이 출구측 판 두께(h_1)에 대해, 선형으로 변화하도록 설정하였다. 또한, 각 패스 출구측에 있어서의 연신 변형차의 이상값($\Delta \varepsilon_i^0$)은 제로를 부여하였다.

[0180] 다양한 피압연판(합계 300개)에 대해, 본 실시예에 따른 방법의 평균 총 압연 패스수는 8.2였다. 한편, 종래법에서는 평균 총 압연 패스수는 9.5였다. 따라서, 본 실시예에서는 총 압연 패스수를 삭감할 수 있는 것을 알 수 있다. 게다가, 본 실시예에 따른 패스 스케줄 설정 방법을 적용한 경우의 합격률(총 압연 개수에 대한 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운이 $80\mu\text{m}$ 이하, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도가 1.0% 이하를 달성한 비율)은 92%였던 것에 대해, 종래법에서는 63%였다. 즉, 본 실시예에 의해, 원하는 판 크라운, 평탄도를 실현하는 패스 스케줄을 안정적으로 설정하는 것을 가능하게 한 것을 알 수 있다.

[0181] 일례로서, 판 폭(w)이 2339mm인 피압연판에 대해, 본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄과, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)와, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 표 10에 나타낸다. 종래법에서 얻어진 그것들과의 비교도 표 10에 나타낸다. 또한, 판 폭(w)이 4827mm인 피압연판에 대해, 본 실시예에서 얻어진 패스 스케줄과, 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도(λ)와, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운(C_{hN})을 표 11에 나타낸다. 종래법에서 얻어진 그것들과의 비교도 표 11에 나타낸다. 어떠한 경우에도, 본 실시예에 따른 패스 스케줄 설정에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운을 $80\mu\text{m}$ 이하로 억제하고, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도는 0.5% 이하로, 양호한 평탄도를 얻을 수 있다. 그에 대해, 비교예에서 얻어진 패스 스케줄에서는, 최종 패스 출구측에 있어서의 판 크라운, 또한 최종 패스 출구측에 있어서의 급준도가 커져 있는 것을 알 수 있다.

표 10

제10 실시예에 있어서, 판 폭 w=2339mm의 피압연판에 대해 얻어진 패스 스케줄
(판 두께 h, 판 크라운 C_{hN} 의 단위는 mm, 급준도 λ 의 단위는 %)

	h^{in}	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	$h_7(=h^{out})$	ϕ	λ	C_{hN}
제10 실시예	77.3	57.2	39.9	25.6	17.1	13.0	10.5	8.8	1.5×10^{-6}	0.3	0.065
비교예	77.3	68.8	49.8	33.7	23.0	16.3	11.8	8.8	4.3×10^{-6}	1.2	0.098

[0182]

표 11

제10 실시예에 있어서, 판 폭 w=4827mm의 피압연판에 대해 얻어진 패스 스케줄
(판 두께 h, 판 크라운 C_{hN} 의 단위는 mm, 급준도 λ 의 단위는 %)

	h^{in}	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	$h_9(=h^{out})$	ϕ	λ	C_{hN}
제10 실시예	74.9	61.1	48.8	37.9	28.4	21.6	17.4	14.9	12.8	11.2	1.8×10^{-6}	0.2	0.077
비교예	74.9	63.2	51.5	41.0	31.9	24.5	19.4	15.8	13.1	11.2	3.3×10^{-6}	0.9	0.149

[0183]

[0184] 이상, 첨부 도면을 참조하면서 본 발명의 적합한 실시 형태에 대해 설명하였지만, 본 발명은 이러한 예에만 한정되는 것이 아닌 것은 물론이다. 당업자라면, 특허청구의 범위에 기재된 범주 내에 있어서, 각종 변경예 또는 수정예에 상응할 수 있는 것은 명백하며, 그들에 대해서도 당연히 본 발명의 기술적 범위에 속하는 것이라 양해된다.

[0185] 본 발명의 판 압연의 패스 스케줄의 설정 방법은, 열간의 후강판의 제조에 이용하는 것을 상정할 수 있지만, 그 이외에도, 예를 들어 박강판의 열간 압연, 냉간 압연 또는 알루미늄이나 구리 등의 비철 금속뿐만 아니라 비금속의 판 압연 등에도 응용이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0055] 도 1은 본 발명의 실시예에 이용한 압연 라인을 도시하는 도면이다.

[0056] 도 2는 본 발명의 실시예에 이용한 이상 크라운 스케줄을 나타내는 도면이다.

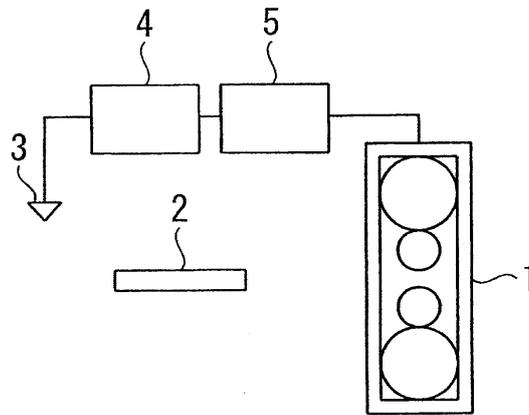
[0057] 도 3은 본 발명의 개요를 설명하는 흐름도이다.

[0058] [부호의 설명]

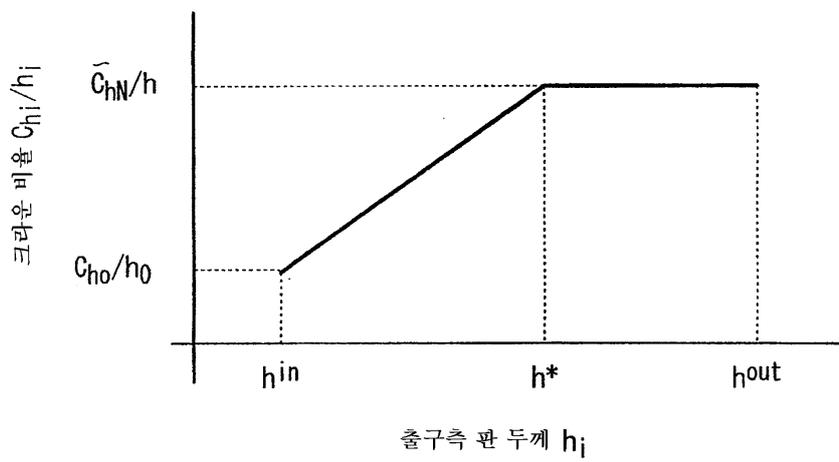
- [0059] 1 : 압연기
- [0060] 2 : 피압연판
- [0061] 3 : 판 두께 측정계
- [0062] 4 : 연산 장치
- [0063] 5 : 제어 장치

도면

도면1



도면2



도면3

