(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl. [6]
B21B 38/00

(45) 공고일자 2003년01월06일
(11) 등록번호 10-0349139
(24) 등록일자 2002년08월05일

(21) 출원번호 10-1995-0068428
(22) 출원일자 1995년12월30일

(65) 공개번호 특1997-0033158
(43) 공개일자 1997년07월22일

(73) 특허권자 주식회사 포스코
경북 포항시 남구 괴동동 1번지

(72) 발명자 송길호
전라남도 동광양시 금호동 700번지 광양제철소내
김신일
전라남도 동광양시 금호동 700번지 광양제철소내

(74) 대리인 손원
전준항

심사관 : 박종만

(54) 냉간압연에서의 마찰계수 예측방법

요약

본 발명은 냉간압연에서의 작업롤과 압연소재간의 최적의 압연 하중을 결정하기 위한 마찰계수를 예측하는 방법에 관한 것으로 소재의 냉간압연시 롤과 소재의 소성변형및 탄성변형을 고려하여 압연하중을 계산하고 이와같이 계산된 압연하중과 실측된 압연 하중과를 비교하여 그 차가 0.1%미만으로 수렴하도록 하므로서, 냉각압연에서 고정도의 마찰계수를 예측할수 있는 방법에 관한것을 그 요지로 한다.

대표도

도 1

명세서

도면의 간단한 설명

제 1도는 본 발명의 방법에 의해 마찰계수를 도출하는 순서도

제 2도는 기존의 방법에 의해 마찰계수를 도출하는 순서도

제 3도는 본 발명의 방법과 기존방법에 의해 도출된 마찰계수 적용시의 압연하중 예측정도를 비교한 그래프

제 4도는 본 발명의 방법에 의한 마찰계수 적용시의 두께 편차 경향

제 5도는 기존의 방법에 의한 마찰계수 적용시의 두께 편차 경향

* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 *

P : 압연하중

μ : 마찰계수

P_{i-1} : i-1번때 루프에서 구해진 압연하중

Pi : i 번째 루프에서 구해진 압연하중

P_{out} : 로드셀에 의한 실측된 압연하중

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 냉간압연에서의 작업롤과 압연소재간의 최적의 압연하중을 결정하기위한 마찰계수를 예측하는 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 냉간압연에서 작업롤과 압연소재의 접촉부중 입출측 부분에서 발생하는 소재의 탄성변형을 고려하여 압연하중을 계산하는 모델을 이용하여 압연하중을 계산해서 그 값을 압연시 로드셀에 의해 실측된 값과 비교해서 일정 수렴값(0.1%미만)이내로 들어올 때까지 반복계산해서 정도높은 마찰계수를 얻어내는 방법에 관한 것이다.

냉간압연시 마찰계수를 예측하는 방법으로는 다음과 같이 두가지로 구분할수 있다. 첫째, 압연시 롤속도(V_R)만의 함수로 회귀식을 구하여 마찰계수를 예측하는 방법으로서, 이때 압연하중의 계산은 압연되는 소재의 소성 변형만을 고려하여 하기식(1)에 의해 측정한다.

$$\mu = Co(C_1 + \frac{C_3}{C_4+V_R}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

(여기서, C_0 - C_4 : 상수, V_R : 롤 속도)

둘째, 압연하중은 상기 첫번째의 방법과 같이 소재의 소성변형만을 고려하는 모델을 사용하면서, 롤 속도외에 입출측 장력, 압연누적길이, 선진율, 변형저항등을 함수로 하여 하기식(2)와 같은 중회귀식을 사용하는 방법(ISIJ, Vol,73, No, 10,pp1358-1365, 1987)이 있다.

$$\mu^* = \frac{A_1 e^{-B_1 V_R} + A_2 e^{-B_2 L} + A_3 e^{-B_3 Q} + A_4 r + A_5 H}{A_6 h + A_7 \sigma_b + A_8 \sigma_f + A_9 k + \mu_o} \quad (2)$$

(여기서 $A_1 \sim A_9$, $B_1 \sim B_3$: 상수, V_R : 롤속도, L : 압연길이, r : 압하율, H,h : 입출측 두께, σ_b, σ_f : 입출측 장력, k : 변형저항이다.)

냉간압연에서 압연하중의 예측정도를 결정하는 중요한 파라메타로 변형저항과 마찰계수가 있다. 즉, 변형 저항과 마찰계수의 예측정도가 높으면 높을수록 압연하중의 예측정도가 향상되는 것이다. 이중에서 현재 마찰계수를 예측하는 방법으로는 상기식(1)과 같이 롤속도를 변수로 하는 회귀식을 사용하는데, 이 회귀식에는 회귀상수가 포함되어 있어 이 상수 값의 정도의 따라 마찰계수의 정도가 결정되게 된다. 또한 마찰계수는 압연하중에 따라 그 값및 정도가 달라지게 된다.

냉간압연에서 압연하중을 계산하는 방법으로는 냉각압연시 소재의 소성 변형만을 고려하는 방법과, 롤과 소재가 접촉하는 입출측 부분에서 발생하는 탄성변형까지 고려하는 방법이 있다.

후자가 더 정확히 압연하중을 예측할수 있는데, 이것은 후자의 방법으로 압연하중을 예측했을때 더 정확한 마찰계수를 얻을 수 있다는 것과 동일한 의미이다.

이에, 본 발명자는 상기한 바와같은 냉간압연시 소재의 소성변형 및 입출측 부분에서 발생하는 탄성 변형까지 고려하여 압연하중을 예측했을때 보다 정확한 마찰계수를 예측하기 위하여 연구와 실험을 행하고, 그 결과에 근거하여 본 발명을 제안하게 된 것으로,

본 발명은 소재의 냉간압연시 롤과 소재의 소성변형및 탄성변형을 고려하여 압연하중을 계산하고 이와같이 계산된 압연하중과 실측된 압연 하중과를 비교하여 2차가 0.1%미만으로 수렴하도록 하므로서, 냉각압연에서 고정도의 마찰계수를 예측할수 있는 방법을 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

이하, 본 발명에 대하여 설명한다.

본 발명은 냉간압연에서의 마찰계수를 예측하는 방법에 있어서,

압연하중(P)를 임의의 값으로 설정하고 설정된 조기압연하중(P)를 이용하여 압연롤이 압연력에 의해 변형되는 반경(R')을 하기식 (3)에서 의해 계산하는 단계;

$$R' = R*[1+16*(1-\nu^2)/E/\pi*P/W/(\sqrt{d+d_2+d_t}+\sqrt{d_2})^2]$$

$$d=h_{in}-h_{out},\quad d_2=(1-\nu^2)*h_{out}*(k_{out}-\sigma_{out})/E$$

$$d_t=\nu*(1+\nu)*(h_{out}*h_{out}-h_{in}*\sigma_{in})/E \qquad (3)$$

(여기서 h_{in} , h_{out} : 입,출측 두께, σ_{in} , σ_{out} : 입,출측 유효 단위 장력, k_{in} , k_{out} : 입,출측 변형저항, $\bar{k}$: 평균 변형저항, E : 탄성계수 R : 롤 반경, ν : 포이송 계수 (Possion's ratio) μ: 마찰계수, W ; 스트립폭을 나타낸다.)

마찰계수 μ를 임의의 값으로 가정하고 상기와 같이 계산한 반경(R')을 기초로 하기식(3,4,5,6)에 의해 임의의 루프(i)에서의 압연하중(Pi)를 계산하는 단계;

$$P_i = (P_p + P_{e1} + P_{e2}) * W \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

$$P_p = K*(1-\sigma_{in}\,1K)*R'*(h_{in}-h_{out})*(1-r)/r*$$

$$\left[b*\int_0^{x_n}(1+x^2)*EXP(2a*\tan^{-1}x)dx+\right.$$

$$\left.(1-r)*EXP(2a*\tan^{-1}x_1)*\int_{x_n}^{x_1}(1+x^2)*EXP(-2a*\tan^{-1}x)dx\right]$$

$$a=\mu*\sqrt{R'/h_{out}}\ ,\quad b=(1-\sigma_{out}\sqrt{k})/(1-\sigma_{in}\sqrt{k})$$

$$r=(h_{in}-h_{out})/h_{in}\ ,\quad x_1=\sqrt{r/(1-r)}$$

$$x_n=\tan[1/2*\tan^{-1}\sqrt{r/(1-r)}-1/4a*\ln(b/(1-r))] \quad (5)$$

$$P_{e1}=(1-\nu^2)*h_{in}/4*\sqrt{R'/(h_{in}-h_{out})}*(k_{in}-\sigma_{in})^2/E \quad (6)$$

$$P_{e2}=2/3*\sqrt{(1-\nu^2)R'}*(k_{out}-\sigma_{out})^2/E \quad (7)$$

여기서, P_p: 소성영역에서의 단위폭당 압연하중

P_{e1} : 탄성영역입측에서의 단위폭당 압연하중

P_{e2} : 탄성영역 출측에서의 단위폭당 압연하중, 을 나타낸다.

상기와 같이 계산된 (i)루프에서의 압연하중(Pi)와 상기 (i)루프 직전의 (i-1)루프 에서의 압연하중(P_{i-1})과의 차에 대한 백분율

$[(P_{i-1} - P_i)/P_i * 100]$ 값을 구하는 단계;

상기 백분율 차이가 0.1%이상일 경우에는 상기 (i)루프에서의 압연하중(Pi)를 압연하중(P)로 설정하여 상기한 단계를 다시 반복하고; 상기 백분율 차이가 0.1% 미만일 경우에는 (i)루프에서의 압연하중(Pi)와 실측된 압연하중(P_{act})와의 차에 대한 백분율 $[(P_{act} - P_i)/P_{act} * 100]$ 값을 계산하는 단계; 및

상기(i)루프에서의 압연하중(Pi)와 실측된 압연하중(P_{act})와의 차에 대한 백분율 값이 0.1%이상일 경우에는 마찰계수(μ)에 0.001을 더하여 (i)루프에서의 압연하중(Pi)를 다시 계산하고;

그 값이 0.1% 미만일 경우에는 상기에서 가정한 임의의 마찰계수(μ)를 냉간압연기 각 스탠드에서의 마찰계수로 하는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉간압연에서의 마찰계수 예측방법에 관한 것이다.

이하, 본 발명에 대하여 첨부된 도면을 참고하여 보다 상세하게 설명한다.

상기한 목적을 달성하기 위하여 본 발명에서는 우선 압연하중(P)및 마찰계수(μ)를 가정한 다음, 편평롤 반경(R')을 하기식(3)에 의해 구한다. 여기서 편평롤 반경이라 함은 압연시 롤이 압연력에 의해 변형되는 량을 의미한다.

$$R' = R*[1+16*(1-\nu^2)/E/\pi*P/W/(\sqrt{d+d_2}+\sqrt{d_2})^2]$$

$$d=h_{in}-h_{out}, \quad d_2=(1-\nu^2)*h_{out}*(k_{out}-\sigma_{out})/E$$

$$d_t=\nu*(1+\nu)*(h_{out}*h_{out}-h_{in}*\sigma_{in})/E \qquad (3)$$

(여기서, h_{in} ,h_{out} : 입, 출측 두께, σ_{in} , σ_{out} : 입, 출측 유효 단위 장력,

k_{in} , k_{out} : 입,출측 변형저항, $\overline{k}$: 평균 변형저항,

E : 탄성계수

R:Roll 반경, v:포이송 계수

μ:마찰계수, W:스트립 폭을 나타낸다.)

상기식(3)에 의해 편형 롤 반경(R')이 계산되었으면, 이 값으로 하기식(4-7)과 같은 탄소성 압연하중 계산식에 의해 (i)루프에서의 압연하중(Pi)를 계산한다.

$P_1 = (P_p + P_{e1} + P_{e2}) * W$.....(4)

$P_P = K*(1-\sigma_{in}/K)*R'*(h_{in}-h_{out})*(1-r)/r*$

$$\left[b*\int_0^{x_n}(1+x^2)*EXP(2a*\tan^{-1}x)dx+\right.$$

$$\left.(1-r)*EXP(2a*\tan^{-1}x_1)*\int_{x_n}^{x_1}(1+x^2)*EXP(-2a*\tan^{-1}x)dx\right]$$

$$a=\mu*\sqrt{R'/h_{out}}, \quad b=(1-\sigma_{out}/\overline{k})/(1-\sigma_{in}/\overline{k})$$

$$r=(h_{in}-h_{out})/h_{in}, \quad x_1=\sqrt{r/(1-r)}$$

$$x_n=\tan[1/2*\tan^{-1}\sqrt{r/(1-r)}-1/4a*\ln(b/(1-r))] \qquad (5)$$

$$P_{e1}=(1-\nu^2)*h_{in}/4*\sqrt{R'/(h_{in}-h_{out})}*(k_{in}-\sigma_{in})^2/E \qquad (6)$$

$$P_{e2}=2/3*\sqrt{(1-\nu^2)R'}*(k_{out}-\sigma_{out})^3/E \qquad (7)$$

(여기서, Pi : (i)루프에서의 압연하중

P_P: 소성영역에서의 단위폭당 압연하중

P_{e1} : 탄성영역입측에서의 단위폭당 압연하중

P_{e2} : 탄성영역 출측에서의 단위폭당 압연하중

R' : 변형된 반경을 나타낸다.)

이와같이 해서 (i)루프에서의 압연하중(Pi)가 구해지면 그 이전에 구해진 압연하중 (첫번째 계산시는 초기 가정한 압연하중(P))과의 차($P_{i-1} - P_1$)에 대한 백분율 값이 0.1%(0.001)내로 수렴하는지를 판단해서 수렴을 하지 않으면 그때 구해진 압연하중(Pi)을 가지고 편평 반경(R')부터 다시 계산을 하게된다. 즉 수렴할때까지 루프 1을 계속해서 돌게 되는것이다.

그렇게 해서 수렴을 하게되면 그 수렴된값과 로드셀에서 계측된 실측 압연하중(Pact)과의 차에 대한 백분율 값이 다시 0.1%이내로 수렴을 할때까지 루프 2를 돌게되는데 수렴을 하지 않을 경우 초기 마찰계수(μ)에 일정량(0.001)을 더한 마찰계수(μ)를 가지고 다음 압연하중(Pi)을 계산하면서 루프를 돌게 되는것이다. 이 과정을 반복하면서 조건 2[(P_{act} - pi)/pi*100< 0.1%]를 만족하게되면 그때의 마찰계수(μ값이 얻고자 하는 정도높은 마찰계수값이 되는 것이다. 이 과정을 통해서 구한 본 발명의 마찰계수와 기존의 마찰계수값을 각각 하기 표 1과 표 2에 정리하여 나타내었다.

표 1

상수 \ 스탠드	1	2	3	4	5
C1	1.0	1.0	1.0	1 0	1.0
C2	0.053432	-0.02859	0.002469	0.0000563	0.020532
C3	-2.150558	48.82569	20.25482	23.69555	7.872587
C4	0.001	250	250	500	500

표 2

상수 \ 스탠드	1	2	3	4	5
C1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C2	0.022802	0.009500	0.013452	0.0118706	0.0919613
C3	4.576359	14.12069	7.089570	10.883481	0.2267733
C4	200	200	100	200	150

상기 표 2는 다음과 같은 기존의 마찰계수 도출방법을 적용하여 측정한 값으로 이하, 기존의 방법에 대하여 제 2도를 참고하여 간략히 설명한다.

제 2도에 나타낸 바와같이, 기존의 방법은 압연하중 계산모델이 그 정밀도가 탄,소성 모델에 비해 낮은 소성 변형만을 고려한 것이고, 이 모델을 사용하여 실제 압연한 많은 압연실적 데이타로부터 마찰계수를 역산해내는 방법이다.

즉, 소성변형만 고려된 압연하중(Pi)계산식은 하기(8)식과 같으며 이(8)식을 마찰 계수에 대한 형태의 식으로 바꾸면 하기 식(9)와 같이 되는데,

$$P_i = bk_iK_iD_{pi}\sqrt{R_i'(H_i-h_i)} \quad (8)$$

$$D_{pi} = 1.08 - 1.02r_i + 1.79u_ir_i\sqrt{1-r_i}\sqrt{\frac{R_i'}{h_i}}$$

$$\mu = (D_p - 1.08 + 1.02r_i)/((1.79r_i\sqrt{1-r_i}) \cdot \sqrt{R_i'/h_i}) \quad (9)$$

$$D_{pi} = P/(b \cdot k_i \cdot K_i \cdot \sqrt{R_i'(H_i-h_i)})$$

(여기서, b:판폭, ki:변형저항, ki:장력효과, Ri':편평롤 반경 ri:압하율,

Hi, hi : 입출측 두께를 나타낸다.)

상기 식(9)에서 필요한 데이타들은 실제 압연시 각 계측기에서 계측된 값들을 사용하여 마찰계수를 계산하게된다. 이때 계산은 한번에 끝나게 되어 마찰계수를 얻게되는데 이 과정을 정리하면 제 2도에 나타낸 바와같다.

본 발명의 효과를 검증하기 위해 변형저항값은 고정시킨 상태에서 기존의 마찰계수 값과 본 발명에 의해 도출된 마찰계수값을 이용하여 압연하중예측정도를 시뮬레이션을 통해 비교하여 보았다. 그 결과를 제 3도에 나타내었는데 본 발명에 의해 도출된 마찰계수값을 사용하였을때가 기존의 마찰계수값을 사용하였을때보다 압연하중 예측정도가 향상되었음을 알 수 있다. 압연설정 수식모델에서 압연하중의 예측정도가 향상되었다는 것은 초기 롤 갭설정 정도가 향상되었음을 의미하며 이것은 또한 압연시 목표 두께편차를 벗어나는 길이(off-gauge)가 그만큼 감소 되었음을 의미한다. 그 정도 비교에 대한 시뮬레이션 결과를 역시 제 4,5도에 나타내었는데 두께편차가 많이 감소됨을 확인 할 수 있다.

상술한 바와같이, 본 발명은 냉간압연시 압연소재의 소성변형뿐만 아니라 롤과 소재가 접촉하는 입, 출측부에서 발생하는 탄성변형도 고려한 점도높은 압연하중계산 모델을 이용하여 계산한 압연하중과 압연시 로드셀에 의해 실측된 압연하중과의 차가 일정 수렴범위 내로 수렴될 때까지 마찰계수를 일정량 증가시키면서 반복계산함에 의해 수렴되었을때의 마찰계수를 냉간압연시 각 스탠드에서의 최적 마찰계수를 예측하므로서, 보다 정밀도 높은 냉간압연을효율적으로 행할 수 있는 효과가 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

냉간압연에서의 마찰계수를 예측하는 방법에 있어서,

압연하중(P)를 임의의 값으로 설정하고 설정된 조기압연하중(P)를 이용하여 압연롤이 압연력에 의해 변형되는 반경(R')을 하기식 (3)에 의해 계산하는 단계;

$$R' = R*[1+16*(1-\nu^2)/E/\pi*P/W/(\sqrt{d+d_2+d_1}+\sqrt{d_2})^2]$$

$$d = h_{in}-h_{out}, \quad d_2 = (1-\nu^2)*h_{out}*(k_{out}-\sigma_{out})/E$$

$$d_1 = \nu*(1+\nu)*(h_{out}*h_{out}-h_{in}*\sigma_{in})/E \quad (3)$$

(여기서, h_{in} ,h_{out} : 입, 출측 두께, σ_{in} , σ_{out} : 입, 출측 유효 단위 장력,

K_{in} , K_{out} : 입,출측 변형저항, $\overline{k}$: 평균 변형저항,

E : 탄성계수

R:Roll 반경, v:포이송 계수 (Possion's ratio)

μ:마찰계수, W:스트립 폭을 나타낸다.)

마찰계수 μ를 임의의 값으로 가정하고 상기와 같이 계산한 반경(R')을 기초로 하기식(3,4,5,6)에 의해 임의의 루프(i)에서의 압연하중(Pi)를 계산하는 단계;

$$Pi = (P_p + P_{e1} + P_{e2}) * w \quad \text{.....(4)}$$

$$P_p = K*(1 - \sigma_{in}/K)* R'*(h_{in} - h_{out}) * (1 - r)/r *$$

$$\left[b* \int_0^{x_n} (1+x^2)* EXP(2a* \tan^{-1}x)dx + (1-r)* EXP(2a* \tan^{-1}x_1)* \int_{x_n}^{x_1} (1+x^2)* EXP(-2a* \tan^{-1}x)dx\right]$$

$$a = \mu * \sqrt{R'/h_{out}}, \quad b = (1 - \sigma_{out}/\overline{k})/(1 - \sigma_{in}/\overline{k})$$

$$r = (h_{in} - h_{out})/h_{in}, \quad x_1 = \sqrt{r/(1-r)}$$

$$x_n = \tan[1/2* \tan^{-1}\sqrt{r/(1-r)} - 1/4a* \ln(b/(1-r))] \quad (5)$$

$$P_{e1} = (1-\nu^2)* h_{in}/4* \sqrt{R'/(h_{in} - h_{out})}* (k_{in} - \sigma_{in})^2/E \quad (6)$$

$$P_{e2} = 2/3* \sqrt{(1-\nu^2)R'* (k_{out} - \sigma_{out})^3/E} \quad (7)$$

여기서, P_p: 소성영역에서의 단위폭당 압연하중

P_{e1} : 탄성영역입측에서의 단위폭당 압연하중

P_{e2} : 탄성영역 출측에서의 단위폭당 압연하중, 을 나타낸다.

상기와 같이 계산된 (i)루프에서의 압연하중(Pi)와 상기 (i)루프 직전의 (i-1)루프에서의 압연하중(P_{i-1})과의 차에 대한 백분율

$[(P_{i-1} - P_i)/P_i * 100]$ 값을 구하는 단계:

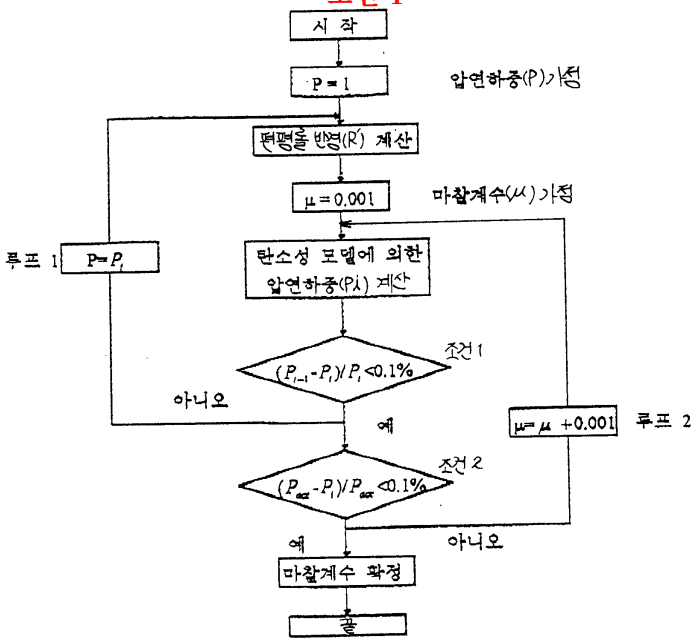
상기 백분율 차이가 0.1%이상일 경우에는 상기 (i)루프에서의 압연하중(Pi)를 압연하중(P)로 설정하여 상기한 단계를 다시 반복하고; 상기 백분율 차이가 0.1% 미만일 경우에는 (i)루프에서의 압연하중(Pi)와 실측된 압연하중(P_{act})와의 차에 대한 백분율 $[(P_{act} - P_i)/P_{act} * 100]$ 값을 계산하는 단계; 및

상기(i)루프에서의 압연하중(Pi)와 실측된 압연하중(Pact)와의 차에 대한 백분율 값이 0.1%이상일 경우에는 마찰계수(μ)에 0.001을 더하여 (i)루프에서의 압연하중(Pi)를 다시 계산하고;

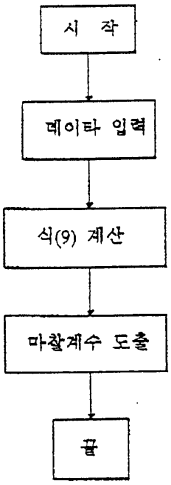
그 값이 0.1% 미만일 경우에는 상기에서 가정한 임의의 마찰계수(μ)를 냉간압연기 각 스탠드에서의 마찰계수로 하는 단계; 를 포함하여 이루어짐을 특징으로 하는 냉간압연에서의 마찰계수 예측방법

도면

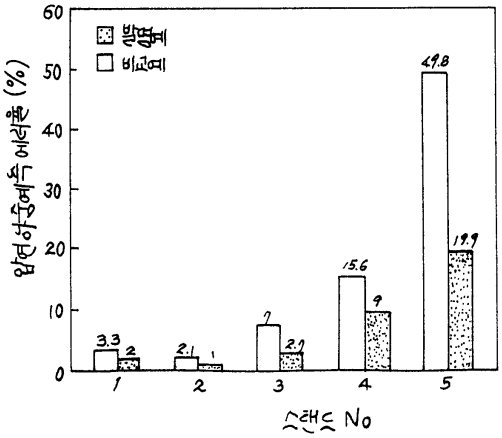
도면 1



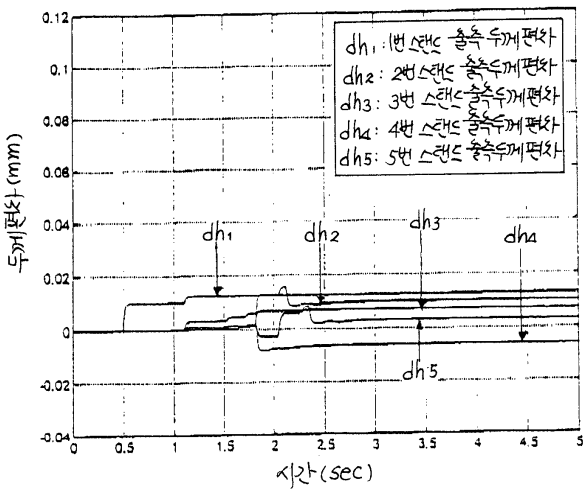
도면 2



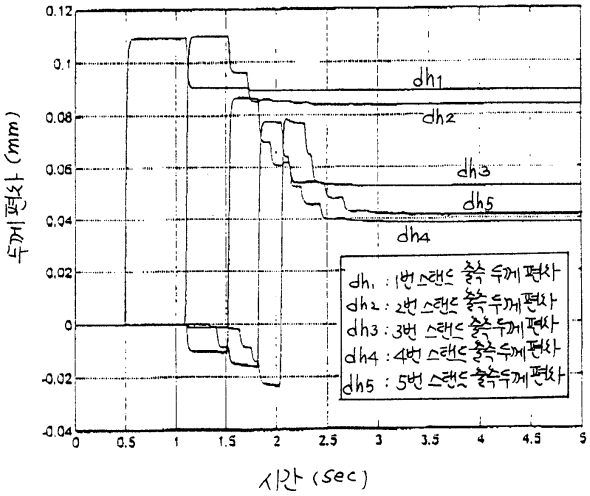
도면 3


발명예
비교예
압연하중예측 에러율 (%)
60
50
40
30
20
10
0
3.3
2
2.1
1
7
2.9
15.6
9
49.8
19.9
1
2
3
4
5
스탠드 No

도면 4


dh1 : 1번 스탠드 출측 두께편차
dh2 : 2번 스탠드 출측두께편차
dh3 : 3번 스탠드 출측두께편차
dh4 : 4번 스탠드 출측두께편차
dh5 : 5번 스탠드 출측두께편차
두께편차 (mm)
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
dh1
dh2
dh3
dh4
dh5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
시간 (sec)

도면 5


0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
두께편차 (mm)
시간 (sec)
dh1
dh2
dh3
dh5
dh4
dh1 : 1번 스탠드 출측 두께편차
dh2 : 2번 스탠드 출측 두께편차
dh3 : 3번 스탠드 출측 두께편차
dh4 : 4번 스탠드 출측 두께편차
dh5 : 5번 스탠드 출측 두께편차