

〈技術論文〉

열간 연속판재 압연기의 작업롤 전동피로해석

배원병* · 박해두** · 송길호**

(1994년 7월 4일 접수)

Analysis of the Rolling Contact Fatigue for Work Roll in Finishing Mill of Hot Strip Rolling

Won-Byong Bae, Hae-Doo Park and Gil-Ho Song

Key Words : Work Roll(작업롤), Backup Roll(보강롤), Rolling Contact Fatigue(전동접촉피로), Hertz Stress(헤르쯔응력), Thermal Crown(열크라운), Roll Profile(롤형상), Contact Pressure(선압)

Abstract

According to the number of cold-rolled coils, the amount of roll wear and thermal expansion, and roll gap profile were calculated, by using the actual data from the finishing mill. Also, based on those data, the calculations of the deflection, the flattening, and the contact pressure of work rolls and backup rolls were made respectively. Specially, in the calculation of contact pressure, the numerical results were obtained not only during the normal rolling, but also during the abnormal rolling, by modeling mathematically the dynamic impact force which occurs when the head section of the strip is threading through rolls. With those results the growth of the fatigue region and the fatigue damage of rolls were predicted. Also the optimum roll-grinding depth was determined to maximize the roll life.

1. 서 론

최근의 열간압연용 압연기의 동향은 고압하 압연에 의한 생산성의 향상과 압연제품의 고품질화 경향에 따라 롤에 걸리는 부하는 점점 증가되고 있다. 따라서 조업시 작업롤(work roll)과 보강롤(back up roll)과의 Hertz 응력, 점선응력, 잔류응력 및 열응력 등에 의해 롤 피로파괴 및 스폴링(spalling)등의 롤 사고를 유발할 위험이 있다. 열간압연은 가열로 출측 직후의 조압연과 마무리 두께 및 평탄도를 유지하는 사상압연으로 구성되어 있으며 조업 환경에 따라 사용되는 작업롤의 재질

및 기계적인 특성이 각각 다르게 주어진 롤을 사용하게 된다. 가열로 출측의 조압연기는 고온의 슬라브(slab)를 최대한 많은 압하량으로 작업하는 것을 요구하므로 열충격에 잘 견딜 수 있는 작업롤을 선택해야 하며 사상압연기의 전단 스탠드 또한 열충격에 잘 견딜 수 있는 롤을 선택해야 한다. 사상압연기의 후단 스탠드는 고정도의 두께와 형상이 요구되기 때문에 마모에 강한 재질의 롤이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 조업특성을 가지는 사상압연 후단용 작업롤의 응력특성을 고려하여 피로층 진전에 의한 스폴링 가능성 여부를 검토하여 최적의 롤사용조건 및 수명연장 방안을 확립하고자 하였다. 이를 수행하기 위해 먼저 롤의 마모 및 열팽창량에 대해 이론^(1~5)을 정립하고 그 이론을 근거로 압연매수에 따른 롤마모량, 열팽창량 및 롤갭

*정회원, 부산대학교 기계설계과

**POSCO 기술연구소

프로파일(roll gap profile) 등을 계산하였다. 이때 계산에 필요한 data는 현장 실조업 data를 수집하여 이용하였으며 롤단위별(열연단위, 냉연단위, 특수 롤단위)로 검토하였다. 또한 이들 데이터를 이용하여 작업물과 보강롤의 처짐량, 편평량 및 접촉선 하중 등을 계산⁽⁶⁾하여 작업물의 전동피로를 해석하는 기본 데이터로 활용하였는데 정상압연시의 선압 계산은 물론 스트립 선단부가 롤에 취입될 때 발생하는 동적충격하중도 현장 데이터를 근거로 모델링하여 비정상압연시의 선압을 계산하였다. 이렇게 정상 및 비정상압연시 계산된 선압결과에 의해 롤의 피로층 전진량을 계산함으로써 최대 선압에 의한 롤의 피로손상도를 추정, 현재의 1회 롤연삭량을 검토해 보고 적정 연삭량을 산출함으로써 현 조업조건 하에서의 최적 롤수명을 도출하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 롤(roll)

2.1.1 Hertz응력

하나의 물체로부터 타 물체에 힘이 가해지는 경우 접촉부에 생기는 접촉면의 크기 및 접촉면상의 압력분포에 관해서는 Hertz이론⁽⁷⁾을 근거로 해석하는 경우가 많다. 이 이론에 따르면 Fig. 1에 나타낸 것처럼 압연기와 같은 원통형 물체가 축을 평행하게 하여 접촉하는 경우 접촉면에서의 응력은 타 원분포를 가지며 탄성변형에 의한 접촉폭을 $2b$ 라고 하면 b 는 식(1)과 같이 된다.

$$b = \sqrt{\frac{4P}{\pi l} \left[\frac{1-\nu_1^2}{E1} + \frac{1-\nu_2^2}{E2} \right] \left[\frac{R1 \cdot R2}{R1+R2} \right]} \quad (1)$$

여기서,

$R1, R2$: Roll반경

ν_1, ν_2 : 반경 $R1, R2$ 인 롤의 푸아송비

$E1, E2$: 반경 $R1, R2$ 인 롤의 탄성계수

P : 압연하중

l : 롤간의 접촉길이

또한 접촉면에서의 최대 접촉압력 P_{max} 는 식(2)로 계산된다.

$$P_{max} = 0.591 \sqrt{\frac{P}{l} \left[\frac{E1 \cdot E2}{E1+E2} \right] \left[\frac{R1+R2}{R1 \cdot R2} \right]} \quad (2)$$

2.1.2 롤 접촉면하의 응력

롤 반경방향을 x , 접선방향을 y , 축방향을 z 라 하면 최대 접촉압력 P_{max} 에 의해서 roll 표면하에 발생하는 3축방향 응력분포는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_x &= -P_{max} \sqrt{\frac{b}{\sqrt{b^2+x^2}}} \\ \sigma_y &= -P_{max} \left[\frac{b^2+2x^2}{b} \frac{\sqrt{b^2+x^2}}{b} - \frac{x}{b} \right] \\ \sigma_z &= -0.6P_{max} \left[\frac{\sqrt{b^2+x^2}}{b} + \frac{x}{b} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

x : Roll 표면으로부터의 길이(mm)

이들 응력을 roll표면으로부터 반경방향의 위치인 x 에 대해 나타내면 Fig. 2와 같다. Fig. 2에 나타나 있듯이 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 는 부가된 Hertz응력 P_{max} 에 대해 항상 압축응력을 가지게 된다. 이에 비해 τ_{45} 는 Mohr원의 개념에서 볼때 방향성이 없으므로 위치

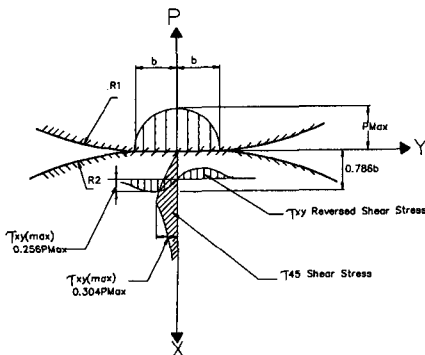


Fig. 1 Variation of principle stresses and maximum shear stress along the x-axis

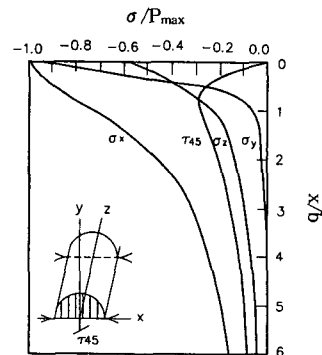


Fig. 2 Sketch showing the magnitude and distribution of major stresses at the zone of contact between two rolls

에 따라 인장응력이 될 수 있다. 그리고 피로파괴의 개념에서 인장하중은 피로균열을 발생시키지만 압축응력은 균열진전을 억제하는 방향으로 작용하므로 Hertz응력에 의해 roll에 피로를 줄 수 있는 응력은 인장응력인 τ_{45} 전단응력뿐임을 알 수 있다.

$$\tau_{45} = \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) = P_{\max} \frac{x}{b} \left[1 - \frac{x}{\sqrt{b^2 + x^2}} \right] \quad (4)$$

2.1.3 피로 손상도와 적정 연마량

금속재료가 어느 값 이상의 반복응력을 받으면 외관상은 아무런 변화가 생기지 않는 것처럼 보어도 누적된 피로층으로 인해서 그 기계적, 물리적 성질이 저하하게 된다. 파괴에 이르기 전까지의 어느 시점에서 재료가 받는 피로의 정도를 정확하게 구하는 것은 곤란하지만 Miner⁽⁶⁾의 선형누적 손상설에 의하면 피로 손상도 F 는 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} + \dots + \frac{n_k}{N_k} = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \quad (5)$$

여기서, N_i 는 Fig. 3에 보인 것처럼 응력 σ_i 가 단독으로 반복된 경우에 파단하는 반복수이고 n_i 는 실제 동작상태에서 회전한 반복수로서 이들의 합이 1을 넘으면 파괴에 이르게 된다. 또한 수정 Miner⁽⁶⁾ 법칙에 의하면 피로한도 이하에서도 선형누적 손상 법칙이 성립하므로 매 회전마다 작업롤 및 보강롤이 동시에 접촉하여 폭넓은 범위의 응력분포 상태에서 전동하는 사상압연 작업롤의 경우 이 법칙이 성립하는 것으로 한다. 따라서 Fig. 3의 직선부는 식(6)로 표현된다.

$$\frac{1}{N} = C \cdot \exp[a \cdot \tau_{45}] \quad (6)$$

단, C, a 는 각 roll 재질에 대한 고유정수

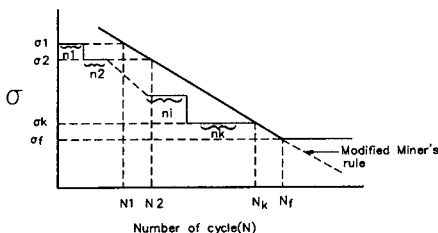


Fig. 3 Schematic diagram of modified Miner's rule

어느 접촉압력 P_{\max} 에서 1회 전동했을 때의 손상분포는 식(7)과 같으며

$$F(x) = \frac{1}{N} = C \exp \left[a \cdot P_{\max} \cdot \frac{x}{b} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + b^2}} \right) \right] \quad (7)$$

n 회 전동했을 때 피로 손상분포는 식(8)로 나타낼 수 있다.

$$F(x) = \frac{n}{N} = C \cdot n \cdot \exp \left[a \cdot P_{\max} \cdot \frac{x}{b} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + b^2}} \right) \right] \quad (8)$$

또한 롤이 1단위마다 w 대 압연에 사용된 후의 피로손상 분포는 식(9)와 같으며

$$F(i, x, l) = C \cdot \sum_{i=1}^w n_i \cdot \exp \left[a \cdot P_{\max} \cdot \frac{x}{b_i} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + b_i^2}} \right) \right] \quad (9)$$

roll이 매 단위마다 동일조건으로 사용되고 사용후 ΔR 만큼씩 연삭한다고 하면 M 번 연삭해서 $(M+1)$ 회 사용후의 피로손상 분포는 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F(i, x, m) = C \cdot \sum_{i=1}^w \cdot \sum_{j=1}^m n_i \cdot \exp \left[a \cdot P_{\max} \cdot \frac{x + j \cdot \Delta R}{b_i} \left(1 - \frac{x + j \cdot \Delta R}{\sqrt{(x + j \cdot \Delta R)^2 + b_i^2}} \right) \right] \quad (10)$$

적정 연마량의 결정은 앞에서 설명한 것처럼 전동 피로시험에서 얻어진 S-N곡선으로부터 Miner⁽⁶⁾법칙에 의해 결정된다. $F = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1$ 을 이론적 관리 한계라 하며 물재질의 균일성, 접촉응력의 누적분포상태 등을 고려하여 피로 손상도 F 의 관리 한계를 0.75~0.80로 채택하는 것이 일반적이다.

3. 해석결과

3.1 사상압연 조업 데이터 분석

작업롤의 피로 특성을 분석하기 위해서는 작업롤에 피로하중으로 작용되는 작업롤과 보강롤사이의 선압분포를 계산해야 되는데 이 선압분포는 작업롤의 롤갭 프로파일에 지배적인 영향을 받는다. 작업롤의 롤갭 프로파일이라 함은 압연시 발생하는 작

Table 1 Roll campaigns for analysis of work in finishing mill

Campaign	Campaign No.	Total coils	Roll diameter(mm)			Amount of rolled strip
			F4	F5	F6	
Hot final	300H	84	616	590	628	1862
Cold final	390C	69	648	617	630	1217
Special	330S	41	576	600	638	811

업롤의 마모량, 열팽창량 및 초기 작업롤 크라운등을 종합적으로 고려해서 최종적으로 얻어지는 작업롤 표면의 형상을 의미하는 것이다. 따라서 정확한 피로하중을 예측하기 위해서는 선압분포가 정확히 계산되어야 하며 또한 이를 위해서는 작업롤의 마모량과 열팽창량에의해 결정되는 롤겉 프로파일이 정확히 계산되어야 한다. 이를 분석하기 위해서는 사상압연 조업데이터 분석이 가장 먼저 선행되어야 하므로 Table 1과 같이 열연단위, 냉연단위, 특수단위를 선택하여 조업 데이터를 분석하여 마모량 및 열팽창량을 계산하는 기본 데이터로 사용 하였다.

3.2 작업롤 마모 프로파일 계산

n 코일 압연했을때 작업롤의 마모 프로파일을 계산하기 위한 마모 예측식으로는 遺田征雄 등⁽³⁾이 제안한 식(11)을 사용하였다.

$$w(w_{un} + w_{in}) = \frac{C_{ru}}{2R} \sum_{i=1}^n \frac{P_i L_i}{B_i l d_i} W_p^u(x) + \frac{C_{rl}}{2R} \sum_{i=1}^n \frac{P_i L_i}{B_i l d_i} W_p^l(x) \tag{11}$$

여기서,

- w : 마모 프로파일
- P : 압연하중
- L : 압연길이
- B : 판폭
- ld : 접촉투영길이
- C_f : 마모계수
- R : 작업롤 반경
- $w_p(x)$: 작업롤 길이방향의 마모분포 함수
- u : 상부롤
- l : 하부롤
- n : 압연코일 매수

Fig. 4는 조업 데이터를 이용하여 식(11)에 의해

계산된 냉연단위에서 70코일 압연한 후의 스탠드별 마모량을 나타내는 그림이다. Fig. 4에 나타난것처럼 마모량이 F4, F5, F6번 스탠드 순으로 크게 나타나고 있는데 이러한 결과는 현장 실조업 데이터 분석결과 F4 스탠드에서 작업 롤의 마모량이 가장 크게 나타난 사실과 경향이 잘 일치한다.

3.3 열팽창 프로파일 계산

열간압연에 있어서 압연재의 현열, 가공열 및 압연재의 마찰열 등에 의해 작업롤은 팽창된다. 이러한 열팽창 프로파일의 예측을 위한 계산식으로는 실제 현상을 단순 모델화하여 구한 해석적 근사인 적분법⁽³⁾을 이용하여 구하였는데 그 식은 다음과 같다.

$$U = U_{un} + U_{in} = \alpha \cdot R \left[\sum_{i=1}^n \left\{ \theta_{Ci}^{mu} T_{Ci}^u(x) + R\theta_{Ci}^{li} T_{Ci}^l(x) \right\} + \theta_{kn}^{mu} T_{kn}^u(x) + R\theta_{kn}^{li} T_{kn}^l(x) \right] \tag{12}$$

여기서,

- $C_{th}(x)$: 작업롤 길이방향의 열팽창 분포
- α : 선팽창계수

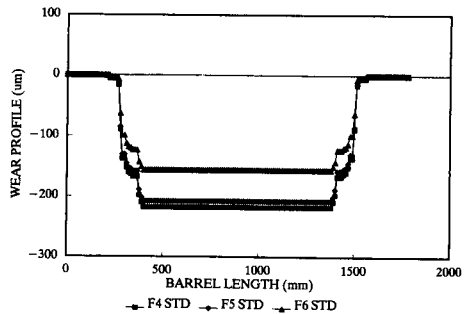


Fig. 4 Wear profile of the last 3-stand rolls after 70coils cold-rolled

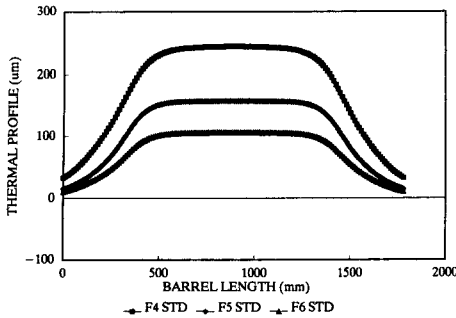


Fig. 5 Thermal profile of the last 3-stand rolls after 40 coils hot-rolled

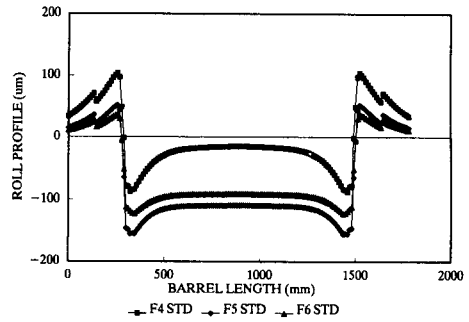


Fig. 6 Roll profile of the last 3-stand rolls after 80 coils hot-rolled

- R : 작업롤 반경
- θ_{cm} : 냉각시 평균온도
- θ_{Rm} : 압연시 평균온도
- $T_c(x)$: 냉각시 작업롤 길이방향의 온도분포
- $T_R(x)$: 압연시 작업롤 길이방향의 온도분포
- u : 상부롤
- l : 하부롤

Fig. 5는 식(12)를 이용하여 열연단위로 40코일 압연했을때의 각 스탠드별 열 크라운량을 나타낸 것으로 F4 스탠드에서 열 크라운이 가장 큼을 알 수 있다.

3.4 작업롤 갭 프로파일 계산

압연시 발생하는 작업롤의 갭 프로파일은 마모 프로파일(C_w)과 열팽창 프로파일(C_{th}) 그리고 초기 롤 크라운(C_{in})의 합으로 구할 수 있으며 식(13)과 같다.

$$C_r(x) = -C_w(x) + C_{th}(x) + C_{in}(x) \quad (13)$$

여기서, x 는 작업롤 길이방향을 나타낸다.

Fig. 6은 열연단위로 80코일 압연한 후의 각 스탠드별 롤 프로파일을 나타내는 것으로 스트립과 접촉하는 부분과 접촉하지 않는 부분의 단차가 커져 그 경계점에서 선압이 집중될 수 있음을 예측할 수 있다.

3.5 선압계산

계산된 작업롤 갭 프로파일과 작업롤의 처짐량⁽²⁾ 및 편평량⁽²⁾ 등이 결정되면 압연재의 폭방향두께 분포가 결정되며 압연재의 각 스탠드 출구측 목표 두께 및 압연속도가 결정되면 식(14)의 Sim's⁽⁶⁾식에 의해 선압분포를 계산 할 수가 있다.

$$p(i) = K_m \cdot B \cdot L_a(i) \cdot Q_p \quad (14)$$

여기서,

- $p(i)$: 각 스탠드의 선하중
- K_m : 평균 변형저항
- B : 판폭
- L_a : 작업롤과 압연재의 접촉 투영길이
- Q_p : 롤과 압연재의 형식에서 결정되는 양

선압분포를 계산하는데 있어 정상압연시에는 각 롤 단위 압연후에 발생된 마모량만큼(통상 최대 0.4 mm)만 연삭하여 제투입하여도 피로에 영향을 주지 않기 때문에 압연재의 형상제어를 위해 작업롤 chock부에 부여하는 벤더(bender)력을 최대로 작용하는 조건(75 ton/chock) 및 온도 강하에 의한 스트립의 열간변형저항이 정상시보다 약 13~15배 정도 크다는 가정을 적용하여 작업롤과 보강롤의 선압을 계산하였다. Fig. 7은 열연단위 압연시 압연매수가 증가함에 따른 F4 스탠드 작업롤의 선압 변화를 나타내는 것으로 롤 단위 말기에는 스트립과 접촉하는 경계점에서 발생하는 단차에 의해 광폭압연시보다 더 큰 선압이 발생됨을 알 수 있다.

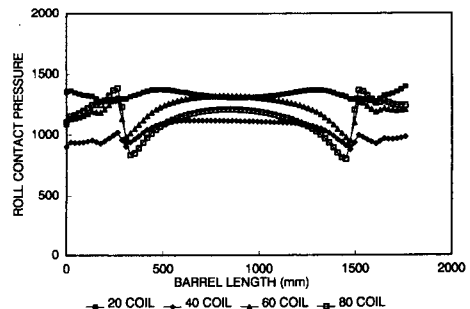


Fig. 7 Roll contact pressure of F4 stand roll according to the rolling-coil number

3.6 Roll의 진동피로해석

3.6.1 최대선압에 의한 피로 손상도 계산

(가) 계산방법

(1) 일반적으로 작업롤의 피로손상에 영향을 미치는 요인으로는 보강롤에 의한 진동피로와 스트립에 의한 피로를 고려할 수 있으나 스트립에 의한 영향은 보강롤에 의한 영향에 비해 작으므로 무시(작업롤과 압연재가 접촉하는 면적이 작업롤과 보강롤이 접촉하는 면적보다 훨씬 크므로 작업롤과 압연재사이의 선압이 작다)하고 보강롤에 의한 진동피로만을 고려하여 해석한다.

(2) 롤 폐기처분시까지의 연삭회수에 비례하여 작업되는 열연, 냉연, 특수 롤 단위비는 현장작업 일정에 근거하여 6:2:1로 하여 roll의 피로도를 구하였으며 롤 1회 연마량은 현행 평균 연마량인 0.85 mm를 기준으로 해서 후단스탠드의 마모량에 해당하는 0.4 mm 그리고 그 중간에 해당하는 0.6 mm 3가지로 구분하여 1회 연삭량이 롤의 피로도에 미치는 영향과 각 스탠드별 피로도 및 적정 연삭량등을 검토 하였다.

(3) 접촉진동 피로특성곡선으로는 Fig. 8에 나타내 있는 대관취 등⁽⁹⁾의 진동피로시험 결과를 인용하

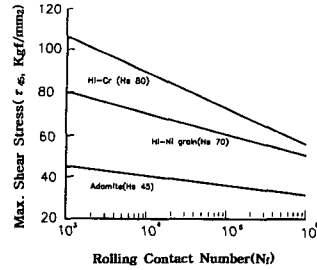


Fig. 8 Cycle to failure curves for work roll of hot strip mill

였으며 피로속도를 결정하는 α 및 C 값과 계산에 사용된 작업롤 및 보강롤의 재료상수는 Table 2에 나타낸다.

(나) 계산결과

선압 계산결과를 토대로 롤의 피로도를 계산하기 위해서 선압을 압연매수와 압연하중의 함수로 회귀 분석하여 얻은 식을 이용하여 최대선압 및 피로도를 계산하였다. Table 3에 각 스탠드별 압연매수 및 압연하중에 대한 선압의 회귀분석식을 나타낸다.

Fig. 9은 1회 연삭량 ΔR 을 0.85 mm로 했을때 롤 교체시까지 연삭회수에 대한 후단스탠드의 각 스탠드별 작업롤의 피로도를 나타낸것이다. 이때

Table 2 Material constants

	Work roll		Back up Roll
	Hi-Cr (1~3STD)	Hi-Ni grain (4~6STD)	
C	2.907×10^{-9}	1.0692×10^{-10}	12.63×10^{-9}
α	0.123	0.1992	0.08997
E	22000 kg/mm ²	19000 kg/mm ²	21000 kg/mm ²
ν	0.3	0.3	0.3
R	412.5	325	800(1~3), 740(4~6STD)
Barrel length	1780		1760

Table 3 Regression data for contact pressure

STAND No.	Regression equation
4	$p = -32.9121N + 0.370892n^2 + 0.082626f - 0.00031f^2 + 2162.348$
5	$p = -9.43325N + 0.183592n + 0.358934f - 0.000062f^2 + 571.3514$
6	$p = -3.84828N + 0.078362n^2 - 7.10006f = 0.004699f^2 + 3209.961$

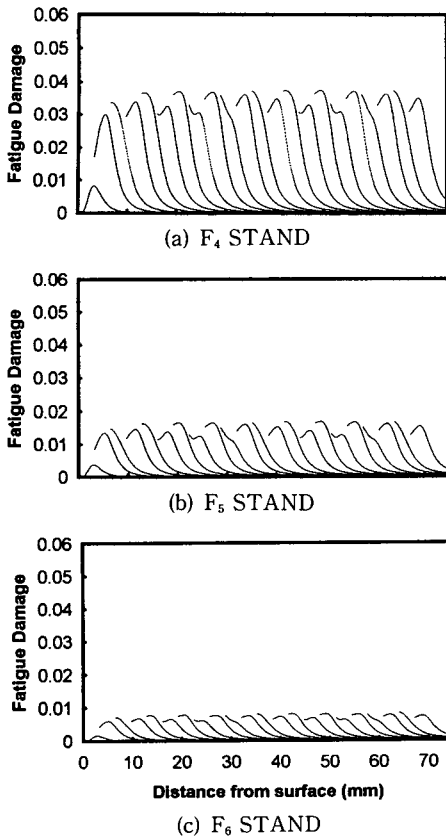


Fig. 9 Fatigue damage for stand number ($\Delta r=0.85$)

총 압연량은 140,965 ton이며 연삭회수는 88번이다. 4번 스탠드의 피로도가 5,6번 스탠드보다 크게 나타나지만 적정관리기준인 0.8에는 훨씬 못미치는 값이다. Fig. 10은 연삭량을 변경하면서 작업물의 피로도를 계산한 것으로 (a), (b), (c) 각각의 연삭량은 0.85, 0.6, 0.4 mm이다. 연삭량이 작을수록 작업물의 피로도는 증가하여 연삭량이 0.4 mm 일때 피로도는 약 0.07정도를 나타내지만 1개의 롤 단위 작업이 끝난 시점에서의 평균 롤 마모량이 0.4 mm(4번 스탠드)인 것을 고려할때 작업물이 받는 피로도는 상당히 작은값임을 알 수 있다.

3.6.2 비정상조업시 피로손상도 계산

Fig. 11에서도 나타나듯이 실제 압연시 스트립이 각 스탠드 롤 바이트(roll bite)에 취입될 때 동적 충격하중에 의해 압연하중이 정상압연하중에 비해 크게 나타난다. 이러한 동적충격하중이 작업물의 피로도에 미치는 영향을 정량적으로 추정하기 위하

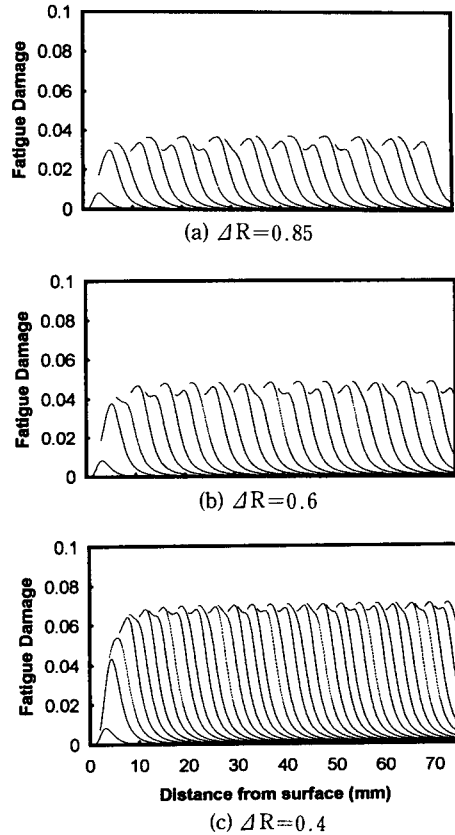


Fig. 10 Fatigue damage according to the variation of dressing amount in F4 stand. (Normal rolling)

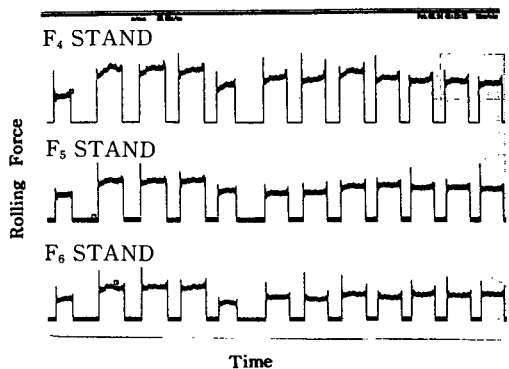


Fig. 11 Rolling force data in No.1 HSM(Hot Strip Mill)

여 Fig. 11의 조업데이터를 근거로 하여 각 스탠드에서 스트립 1매를 압연할 때의 회전수를 n 이라 할 때 첫번째 1회전만 동적 충격하중의 영향을 받으며

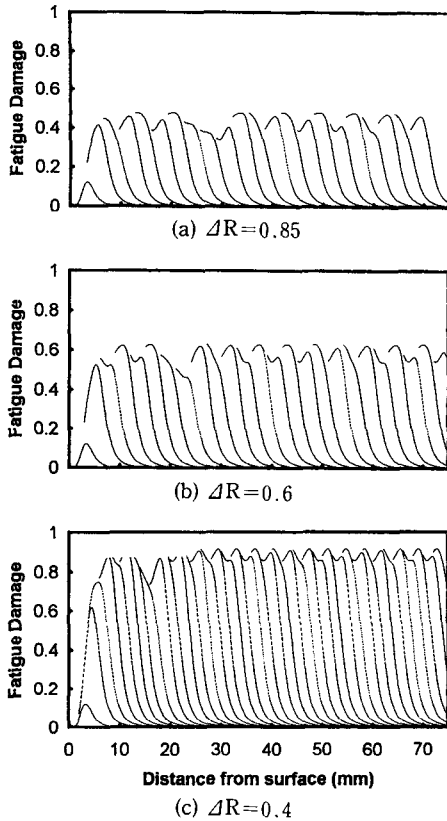


Fig. 12 Fatigue damage according to the variation of dressing amount in F4 stand. (Abnormal rolling)

매 코일 압연시 1회전 동안은 정상압연하중의 1.2배, 매 10번째 해당하는 코일은 정상압연하중의 1.8배를 받는것으로 가정하여 비정상압연시의 작업롤의 피로도를 구하였다. Fig. 12는 비정상압연시 피로도를 연삭량을 변경하면서 계산한 결과로서 연삭량 0.6 mm일 때까지는 적정피로 관리기준에 미치지 못하나 연삭량이 0.4 mm일 때는 피로도 F 가 0.9 정도로 적정관리기준인 0.8을 초과하는것으로 나타난다. 하지만 이값은 선압이 최악의 압연조건(bender력 최대, 열간압연저항 1.2~1.5배)을 고려하여 구하여진데다 다시 동적충격하중을 고려하기 위하여 정상압연하중의 1.2~1.8배를 추가 고려한 때문인 것으로 생각된다.

3.6.3 적정 연삭량 산정

롤의 1회 연삭량이 너무 작으면 작업롤이 받는 피로도가 커지고 너무 많으면 경제적인 손실이 크

로 피로도를 적정수준으로 관리하면서 롤의 원단위를 절감하기 위해서는 적정 연삭량을 산정하는 것이 중요하다. 따라서 이상의 작업롤 피로도 계산결과로부터 정상압연조건만을 고려하면 1개의 롤 단위가 끝나는 시점의 롤 마모량인 0.4 mm 정도의 연삭량으로도 충분하지만 판물림 또는 스트립 선단부 취입시의 동적 충격하중까지 고려한다면 1회 연삭량이 0.65 mm 정도가 적당하다.

4. 결 론

(1) 정상압연시 사상압연 작업롤의 피로도는 1회 연삭량이 0.4 mm일 때 적정관리 기준값인 0.8에 훨씬 못 미치는 0.07 정도로서 현재의 1회 연삭량은 상당히 많은 양이다.

(2) 비정상압연조건(선단부 취입시)에서는 작업롤의 피로도가 정상압연조건에 비해 10배 정도($F=0.85$)로서 적정 피로한도 관리기준을 초과한다.

(3) 비정상압연조건을 고려한 사상압연 후단용 작업롤의 1회 적정 연삭량은 0.65 mm 정도이다.

참고문헌

- (1) 박해두, 김진욱, 최재찬, 백남주, 1990, "열간 사상압연에서의 열 및 마멸크라운에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제7권, 제3호, pp. 14~25.
- (2) 배원병, 박해두, 이성진, 최재찬, 1993, "열간 판재 압연에서 판 크라운 해석," 한국소성가공학회지, 제2권, 제3호, pp. 51~64.
- (3) 遺田征雄, 玉井敏行, 北村邦維, 1979, "熱間仕上壓延においてrollの摩耗と Thermal crown解析," 川崎製鐵技報, Vol. 12, No. 2, pp. 15~28.
- (4) 北浜正法, 遺田征雄, 成田健次郎, 1984, "Thermal Crown に及ぼす Roll Shift の影響解析," 第35塑性加工 連合講演會, pp. 243~246.
- (5) Bryant, G. F. and Heselton, M. O., 1982, "Roll-Gap Temperature Models for Hot Mills," *Metal Technology*, Dec. Vol. 9, pp. 469~477.
- (6) Shohet, K. N. and Townsend, N. A., 1971, "Flatness Control in Flat Rolling," *Journal of Iron and Steel Institute*, pp. 769~775.
- (7) Timoshenko, S. P. et al., 1951, *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill, pp. 409~420.

- (8) Miner, M. A. 1945, "Cumulative Damage in Fatigue," *Trans. ASME, J. Appl. Mech.*, Vol. 67 pp. A159.
- (9) 大貫輝, 1984, "鋼材の 壓延工程において ロール摩耗," 塑性と加工, Vol. 25, No. 285, pp 936.