

열간압연 고강도강 형상제어기술

박해두*, 송길호*

Technology of flatness control for high strength steel in hot strip mill

H. D. Park and K. H. Song

Abstract

The simulation program is developed to get the target strip crown of high strength steel in the continuous hot strip rolling. The developed program consists of several sub-program, which contains work roll shifting pattern, roll wear profile, roll thermal expanded profile and strip profile. Also, the variation of strip profile is investigated according to roll deflection and flattening.

The results are compared with the values observed from the actual hot rolling of high strength steel. And effect of bender force on the strip profile is studied. The strip crown is shown to decrease with increasing bender force.

Key Words : High strength steel , Hot strip mill, Wear, Thermal, Crown, Shape

1. 서론

고강도강 판재의 열간압연에 있어서 판 크라운 (Crown : 폭 방향의 판두께 분포) 및 판 평탄도(길이방향의 굴곡정도)는 판 두께와 마찬가지로 제품의 품질과 자체공정의 실수율(實收率) 및 작업성에 크게 영향을 미칠뿐만 아니라 다음 공정의 실수율에도 크게 영향을 미치기 때문에 이들을 제어하는 기술이 매우 중요하다. 열연 코일의 판 크라운은 크기

에 따라 다음 공정인 냉간압연에서 중파(Center wave) 혹은 양파(Edge wave)가 발생하며 폭방향 일부분의 두께가 두꺼워지는데, 이는 냉간압연후 코일상태에서 일부분이 볼록하게 되는 빌드업(Build-up)을 발생시켜 실수율을 떨어지게 한다. 열연코일의 Wave는 냉간압연의 입구측의 연신으로 회복되기때문에 냉연제품에는 영향을 적게 미치지 만 열연 자체 공정 및 냉연 입구측 공정의 작업성에는 영향을 준다. 그러므로, 열간압연에서는 판 크라운제어가 특히 중요하다.¹⁾²⁾³⁾

* POSCO 기술연구소 계측제어연구그룹
광양계측제어연구팀

열연 판 크라운은 작업 롤의 열팽창량 및 마모량의 폭방향 분포와 초기 크라운에 따른 롤의 프로파일(Profile)에 의하여 크게 영향을 받으며 1,2), 압연기의 탄성 변형에도 영향을 받는다. 4 단 압연기에서 탄성변형에는 작업 롤 처짐, 보강 롤의 처짐, 롤과 롤사이의 편평변형, 롤과 압연재사이의 편평변형 등이 있다 4,5).

판재가 압연될 때 마모 및 열 크라운량이 압연 작업량 및 작업조건에 따라 점차적으로 변화되므로 이들 마모 및 열 크라운량을 예측 모델이 필요하게 된다. 이 마모 및 열 크라운을 계산하는 모델은 이미 저자들에 의하여 현장실험 1)을 근거로 확립된바 있는데, 롤 이송조건에 따른 상하 롤 겹 프로파일을 고려하지 않았고, 압연기 탄성 변형을 포함한 판 크라운 계산은 없는 실정이다. 그러므로, 마모, 열팽창 및 탄성변형을 고려한 판 크라운의 파악이 필요하다. 따라서, 본연구에서는 판재 열간 압연 공정의 마무리 압연기에서 판 크라운을 제어하기 위하여 압연 중의 마모 및 열 크라운량은 이미 개발하여 검증된 모델식을 보완하여 사용하였고, 이 계산된 값에 압연기의 탄성변형에 따른 판 크라운의 영향도를 추가하여 적정 판 크라운량을 이론적으로 결정하고자 하는 것이다. 이때 공정변수는 벤더(Bender)의 작용력이고, 이 작용력에 의한 각 스텐드 출구측 판 크라운을 계산하여 다음 공정의 판형상과 작업성에 최적인 판 크라운을 만드는 것이다. 한편, 이론 해석의 타당성을 검토하기 위하여 실제 압연 후의 판 크라운을 측정하여 비교 검토하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 롤의 탄성 변형 해석

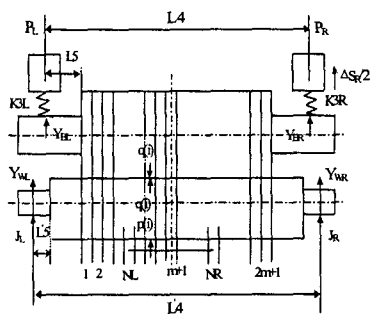


Fig.1 Simulation model for analysis of 4-high mill.

(a) 힘의 평형 조건식

a) 작업롤

$$\sum_{j=1}^{2m+1} q(j)\Delta x = \sum_{j=NL}^{NR} p(j)\Delta x + J_L + J_R \dots (1)$$

b) 보강롤

$$K_{3L}Y_{BL} + K_{3R}Y_{BR} - \frac{\Delta S_L}{2} K_{3L} - \frac{\Delta S_R}{2} K_{3R} \dots (2)$$

$$= \sum_{j=1}^{2m+1} q(j)\Delta x$$

여기서 : J —작업롤력 ; ΔS housing 변위 ; L , R —왼쪽, 오른쪽을 나타낸다.

Y_B —보강롤 변위 K_B —Mill Stiffness

(b) 작업롤과 보강롤 사이의 변위관계

$$Y_B(i) - Y_W(i) + \frac{q(i)}{k_1} = -\frac{R_{cw}(i) + R_{cb}(i)}{2} \dots (3)$$

식중의 : $Y_B(i)$, $Y_W(i)$ —분할 i 위치의 작업롤과 보강롤의 이동변위이다.

$$Y_B(i) = \sum_{j=1}^{2m+1} q(j)\Delta x \alpha_B(i, j) + (Y_{BR} - Y_{BL}) \dots (4)$$

$$[L_5 + (i - 0.5)\Delta x] / L_4 + Y_{BL}$$

$$Y_W(i) = \sum_{j=1}^{2m+1} q(j)\Delta x \alpha_W(i, j) + \sum_{j=NL}^{NR} p(j)\Delta x \alpha_W(i, j) + (Y_{WR} - Y_{WL})[L_5 + (i - 0.5)\Delta x] / L_4 + Y_{WL} \dots (5)$$

$\alpha_B(i, j)$, $\alpha_W(i, j)$; 롤의 처짐함수이다.

$R_{CB}(i)$, $R_{CW}(i)$ -- 작업롤과 보강롤의 초기 Crown 을 나타낸다.

2.2 압연중의 마모 및 열 크라운

판재 열간압연에서 롤 단위의 편성은 압연중의 롤의 국부 마모의 현상을 극복하기 위한 것으로 소재 폭을 큰 것로부터 점차 작은 순으로 작업한다는 원칙을 적용한다.

열간압연에 있어서, 압연재의 현열, 가공열 및 압연재의 마찰열 등에 의해 작업 롤은 팽창된다. 이 열팽창의 프로파일을 열크라운이라고 한다. 열크라운의 예측은 해석적 방법 외에 수치 해법에 의한 계산 예 6,7,8)가 많이 보고되고 있으나, 비

교적 복잡한 과정이 수반된다. 본 연구에서는 열팽창 프로파일의 예측을 위해서 실제 현상을 단순 모델화하여, 해석적 근사법이라 할 수 있는 적분법을 통하여 접근한다.

압연시의 열팽창 프로파일 $C_{th}(x)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

압연이력에 따른 작업 롤의 상부 혹은 하부 롤 프로파일(CR)은 마모 프로파일(C_w), 열팽창 프로파일(C_{th}) 및 초기 롤 크라운 (C_{in})을 구하면 다음 식과 같이 된다.

$$CR(x) = -C_w(x) + C_{th}(x) + C_{in}(x) \dots (6)$$

3. 강판의 판 Crown 및 평탄도제어

열간압연에서 판 크라운제어는 주로 F1-F4 에서 주로 이루어지고 평탄도제어는 후단 스탠드에서 이루어진다. 이를 위해 먼저 각 스탠드의 출측 판 Crown 예측 모델을 개발하기 위해 현장으로부터 입측 Bar 크라운과 마무리압연기 출측 크라운, 각 스탠드의 작업 롤 및 Pair Cross 각도, 압연하중 Data 를 수집하였다. 그리고 신뢰성 있는 Data 를 수집하여 아래의 식과 같이 회귀 분석하여 구하였다.

$$Chi = [C_{1i} * C_{oi} + C_{2i} * B_{1i} + C_{3i} * D_{wi} + C_{4i} * D_{Bi}] * Pi + [D_{1i} * C_{oi} + D_{2i} * B_{1i} + D_{3i} * D_{wi} + D_{4i} * D_{Bi}] * FB_{wi} + [E_{1i} * C_{oi} + E_{2i} * B_{1i} + E_{3i} * D_{wi} + E_{4i} * D_{Bi}] * CR_{1i} + F_{1i} * Chi - 1 + A_i \dots (7)$$

여기서 $i = 1 - 7$ Stand 이며, $C_1 - C_4, D_1 - D_4, E_1 - E_4, F_1, A$: 상수이며, C_o : Pair Cross 각도 ($i = 1 - 7$), B_1 : 판폭, D_w : 작업롤경, D_B : 보강롤경, P : 압연하중, FBW : Bender 력, CR_i : 롤 Crown 이다

판의 평탄도제어는 크라운량 측정, 식(1)로부터 F5-F7 까지의 각 스탠드 출측 크라운량 계산하고 각 스탠드 입출측 크라운비 계산 다음식으로 계산하여

$$\Delta \lambda = Ch(i)/h(i) - Ch(i-1)/h(i-1) \dots (8)$$

각 스탠드 출측 평탄도가 평탄할 조건 $CL < \Delta \lambda < CU$ 로 최대 및 최소 크라운량 계산으로 하여

Fig. 2와 같이 계산한다.

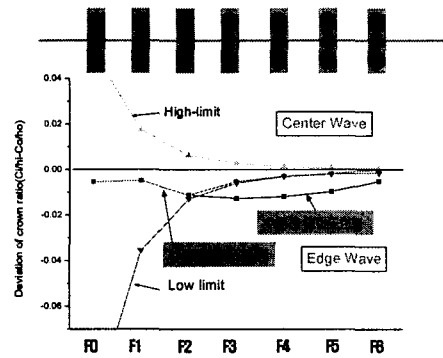


Fig.2. Simulation results of shape control for finishing mill of hot strip mill.

4. 현장 Test 결과

Fig. 3은 고강도강 압연후의 Edge-wave 를 나타내고 있다. 이는 고강도강은 압연시에 압연하중이 크게 작용되어 롤의 굽힘량이 크게되고 이에 따라 Edge-wave가 발생된 것을 나타내고있다.



Fig.3. Edge wave without flatness control

Fig. 4는 고강도강 압연후의 재질을 나타내고있다. 이는 폭방향의 재질 편차가 압연하중의 분포를 Edge 부분에서 급격하게 변화시켜 평탄도에 영향을 줄 수 있다는 것을 나타내고있다.

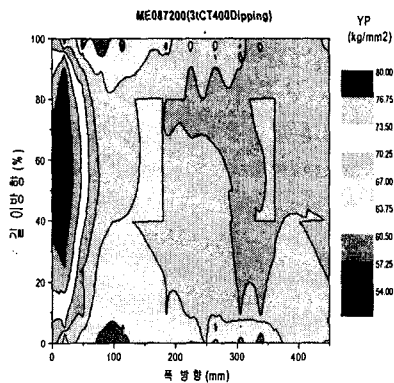


Fig.4 Distributions of mechanical properties

Fig. 5 는 압연후 폭방향 판 두께 Profile 를 그린 것으로 압연하중이 크기때문에 롤의 굽힘에 의하여 일반 탄소강에 비하여 매우큰 Crown 을 나타내고 있다.

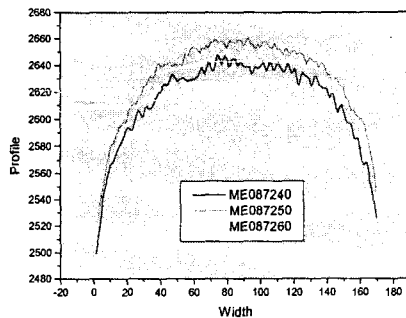


Fig. 5. Width directional thickness profiles.

Fig. 6 은 사상압연직후 폭방향 온도 Profile 를 그린 것으로 폭방향의 편차가 편측의 Wave 를 발생시킬 수 있는 것으로 나타나 있다.

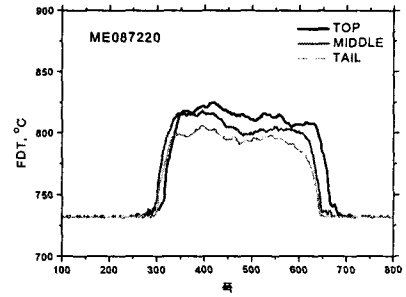


Fig.6. With directional temperature distributions

4. 결론

열간압연에서 고강도강의 압연은 압연하중이 높기 때문에 롤 굽힘에 적극적으로 대응하여 형상 제어를 하여야하며 다음의 항목을 고려하여 제어하여야한다.

- 1) 압연하중을 최대한 낮출 수 있도록 소경화 및 고온화로 작업한다.
- 2) 폭방향의 온도분포를 최대한 균일하게 한다.
- 3) 형상제어단의 최적 조건을 설정하고 제어한다.

5. 참고문헌

- (1) 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.
- (2) 北浜正法, 北村邦維, 田中富夫, 1982, "Tapered Work Roll Shift による 熱延鋼板의 Crown 制御", 塑性と加工, Vol.23, No263, pp. 1165-1171.
- (3) 川竝高雄, 松本紘美, 1983, "薄鋼板 壓延において 各種의 形狀 および Crown 制御法의 發展", 鐵と鋼, Vol.69, No.3, pp. 348-356.
- (4) K.N. Shohet, N. A. Townsend, 1971, "Flatness Control in Plat Rolling", Journal of Iron and Steel Institute, Oct, 1971, pp. 769 - 775.