

도그본 고려한 조압연 압연하중 예측모델 개발

곽우진¹, 이성진²

Model for the prediction of Roll Force of Roughing Mill considering Width reduction

W.J.Kwak, S.J.Lee

Abstract

Online models predicting roll force and forward slip of roughing mill was developed using nondimensional parameters. Using the effective inlet thickness, roll force model take into account the effect of inlet dog-bone shape of slab which take places after width reduction through edger rolling in roughing mill. The prediction accuracy of the proposed model is examined through comparison with measurements.

Key Words : Roll Force, Roughing Mill, Width Reduction, Dogbone, Online Model

1. 서 론

최근들어 자동차강, API강 등의 고부하강 생산량이 크게 증가하고 있다. 통상적으로 열간압연은 2~4 개의 가역식(reversing) 스탠드의 조압연(Roughing Mill)과 6~7개의 스탠드로 구성된 사상압연(Finishing Mill)으로 구성되어져있다. 조압연은 230~250mm 슬라브(slab)를 30~55mm 두께로 압하를 한뒤, 사상압연 직전에서 크롭절단기(crop shear)로 극선단부의 크롭을 절단하여 사상압연에서 압연진행에 무리가 없게끔해준다.

고부하강을 압연하는 경우 압연부하가 압연기 설비한계를 초과하여 압연기를 구성하는 여러 가지 부속장치들에 설비충격을주고, 이들중 상대적으로 약한 부속품들은 정기수리에서 깨어져 나오기도하고, 때로는 사상압연에서 압연기 능력을 초과한 과도한 동력이 필요해서 더 이상 동력을 가해주지 못함으로 인해서 전후 스탠드와의 유량일정(mass-balance) 조건을 충족시켜주지못해 판파단 또는 스트립루퍼로 인한 쓸림등의 오작이 발생하기도한다.

기존에는 고부하강 생산시 사상압연에서 각 스탠드에 걸리는 부하를 전체적으로 최대한 걸리게끔 패스스케줄(pass-schedule)을 최적설계하는 방법으로 고부하 문제를 해결하였으나, 점점 더 고부하강 종류가 많아지면서, 조압연에서도 사상압연처럼 정밀한 압연을 하면서 사상압연에서의 과부하를 조압연에서도 압연기 능력이 허락하는 범위까지 최대한 압연하는 개념이 도입되고 있다. 그렇지만, 기존에는 조압연에서는 대략적으로 압연한다는 개념이어서, 조압연 설정모델(RSU)은 사상압연 설정모델(FSU)에 비해 관리가 제대로 이루어지지않고 있고, 압연하중 예측오차 및 두께편차도 사상압연에 비해 크게 나타나고있다. 고부하강 압연시 과도한 부하 문제를 해결하기 위해 조압연에서 정밀한 설정이 필요하고, 이로인해 최근에는 정밀한 조압연 설정모델 개발이 이루어지고 있다.

조압연은 사상압연과는 달리 폭압연이 많이 일어나고 이로인해 폭압연 직후에는 폭방향 양쪽끝부분 두께가 두꺼워지는 이른바 도그본(dog-bone) 현상이 발생하여 수평압연시 압연하중, 모터동력

1. 포스코 기술연구소 공정 제어 연구그룹
2. 포스코 기술연구소 공정 제어 연구그룹

이 증가한다. 또한, 조압연에서도 사상압연에서와 동일하게 수많은 강종을 압연하기에 동일한 공정 조건이라도 슬라브의 화학성분 조성에 따라서 고온 변형저항(flow stress)이 다르기에 압연부하가 달라지기에 강종에 따라 압연하중 및 모터동력이 달라지게 되고, 소성발열량 및 마찰계수가 다르기에 압연진행중 바(bar)의 온도가 강종에 따라 차이가 나게된다. 또한, 조압연은 사상압연과는 달리 가역식압연이기에 현재 패스에서 선단부가 다음 패스에서는 미단부가 되기에, 사상압연과는 달리 정밀한 설정모델을 개발하기 위해서는 선단부 미단부의 두께 관리 및 온도 예측이 필요하다. 최근에는 강종에 따라서 조압연에서 강압하를 해주어서 재료의 물성치를 확보하는 방법이 제시되고 있다.

2. 조압연 설정 모델

2.1 FEM해석 및 무차원함수를 이용한 기본 모델

수평압연 과정에서 발생하는 수직압연하중(P), 소요되는 동력(P)은 무차원함수 $\frac{P}{R\omega d_F}$ 로 나타낼수있다[1]. 이 두가지 무차원함수는 압연 롤갭 출측의 강판속도와 롤속도차를 나타내는 선진율(fs) 처럼 롤속도, 롤경과 같은 압연 변수와, 강종의 변형저항 종류에 영향을 받지 않음을 여러가지 유한요소해석을 통해서 관찰할 수 있다. 이러한 성질을 이용하여 압연하중은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$F = \frac{d_p}{R\omega d_F} P'$$

$$P' = 1.15V_2H_2 \int_{H_1}^{H_2} \frac{\sigma(\epsilon, \dot{\epsilon}, T)}{h} dh$$

$$\epsilon = 1.15 \log \frac{H_1}{h}, \dot{\epsilon} = 1.15 \frac{2 \tan \phi}{h^2} V_2 H_2$$

이때, F 는 압연하중, P 는 압연에 소요되는 동력, H_1, H_2 은 각각 압연후 강판의 입측 및 출측두께, V_2 는 압연 롤갭 출측 강판속도, ϕ 는 스

트립-롤 접촉각, ϵ 는 롤갭에서의 변형율, $\dot{\epsilon}$ 는 변형율속도, T 는 강판온도.

2.2 조압연 공정의 강종별 고온변형저항

조압연 공정에는 다양한 화학성분 조합을 가진 강종의 슬라브를 압연을 한다. 화학성분 조합에 따라서 동일한 온도, 압하율, 형상비에서도 변형저항이 다르기에 압연하중 및 소요 동력값이 달라지게된다. 본 논문에서는 이러한 강종의 화학성분에 따른 고온변형저항을 고려하기위해서 신경망 함수를 이용하여 압연하중모델에 반영해주었다.

2.3 도그본 고려한 압연하중 모델

조압연 공정에서는 2~4개 스탠드를 이용하여, 가역압연/비가역압연으로 200~250mm 슬라브를 30~55mm 바를 생산한다. 이때 폭압연기를 이용해서 패스마다 수밀리미터에서 몇십밀리미터로 폭압연을 통해서 조압연 전체공정을 통해서 최대 300mm 이상 폭을 감소시키기도 한다. 폭압연을 많이 할경우 폭가장자리부분에서 두께가 국부적으로 커지는 도그본 형태의 단면형상이 만들어지는데, 수평압연시 이부분이 압연하중에 영향을 주게된다.

본 논문에서는 도그본 형태의 입측단면과 동일한 동일폭의 균일한 두께를 가진 입측단면으로 변환시켜 계산하는 방법을 이용하였다. 3차원 유한요소해석을 통해서 도그본 입측단면을 이용하는 경우와, 변환시킨 입측단면을 이용하는 경우 Fig. 1과 같이 압연하중이 거의 동일함을 확인할 수 있었다. 이때 새로운 단면의 유효입측두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$H'_1 = H_{2p} \cdot W_p / \{W \cdot (1 + \epsilon_L)\}$$

이때, H'_1 : 도그본 영향을 반영하기위한 유효입측두께, H_{2p} : 이전 마지막 수평압연 패스의 출측 바 두께, W_p : 이전 마지막 수평압연 패스의 출측 바 폭, ϵ_L : 폭압연으로인한 바의 압연 길이방향 연신율.

2.4 예측값과 실측값 비교 결과

신압연하중모델을 이용할경우는 오차평균값은 약 -0.2%, 약 93%의 데이터가 -10 ~ 10% 오차 범

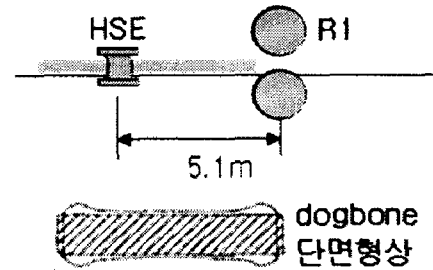
위이내를 만족함을 확인할 수 있었다. 고전압연하중모델을 이용한 POSCO No.3 열연 조압연 압연하중 예측모델의 경우 평균오차가 약 36%, 불과 5%의 데이터만이 -10 ~ 10% 오차 범위이내를 만족하였다.

3 결론

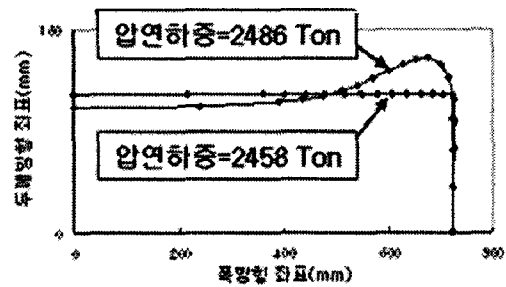
무차원변수와 조압연 공정조건의 유한요소해석 결과를 이용하여 조압연 공정조건에 유효한 선진율 및 기본 압연하중 모델을 개발하였다. 조압연의 폭압연으로 생기는 도그본 형태의 바의 단면 형상을 고려하기 위하여 유효입측두께를 이용하여 정밀한 수평압연 압연하중 예측이 가능함을 확인하였다. 압연 실측 데이터를 이용하여 조압연 공정에 해당하는 고온에서의 강종에 따른 고온변형 저항 특성을 함수화 하여 압연하중 예측에 반영 해주었다. 조압연 압연하중 모델을 이용하여 예측한 결과와 실측 결과를 비교한 결과 아주 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] W.J.Kwak, Y.H.Kim, J.H.Lee, and S.M.Hwang, 2002, A Precision On-Line Model for the Prediction of Roll Force and Roll Power in Hot-Strip Rolling, Metal. And Materials Transactions A, Vol. 33A, pp. 3255-3271



(a) Edger Rolling and Dogbone



(b) Roll Force values from 3D Finite Element Analysis

Fig.1 Prediction of Roll Force considering dogbone