압연기술의 미래개척, 이준정, 황상무 편
한국소성가공학회, 대한금속학회 1999 pp.452~456

후판압연에서의 고정도 형상제어기술

서재형*, 정병완**, 홍헌호**
계측제어연구그룹, 포스코기술연구소 *
후판기술팀, 후판부, 포항제철(주)**

Precision Shape Control in Plate Rolling

J. H. Seo, B. W. Jung and H. H. Hong
Instrumentation & Control Research Group, POSCO*
Plate Technical Team, Plate Rolling Dept., POSCO**

Abstract

Newly constructed plate shape control system, using attached shape measuring instruments and work roll bender, was put in service in No.2 Plate Mill, POSCO.

Recently, customers demand the improvement of flatness and plate crown accuracy. Many competition Plate Mill introducted shape control system, for example, pair cross mill, work roll bender which includes shape measuring instruments and shape control mathematical models, and No.2 Plate Mill, POSCO introducted work roll bender and shape measuring instruments.

This report describes the properties of No.2 Plate Mill shape control system and work roll bender.

Key words : plate rolling, shape control, work roll bender

1. 서론

선박, 건설, 산업용기계, 파이프등의 용도로 사용되는 후판은 조선, 해양 구조물, 발전, 수압철관, Line Pipe, 건축, 교량등의 시장제품의 Size확대로 인하여 고강도, 고인성화의 움직임과 함께 후판제조기술의 진보로 압연기의 치수, 내하중, 강성의 대형화가 진행되어 왔다 [1].

일반적으로, 후판압연공정은 가역식 압연기(Reverse Mill)를 사용하여 슬라브(Slab)로부터 플레이트(Plate)를 제조하며 양호한 판크라운 및 평탄도를 대전제로 하여 제한된 압연하중, 압연토오크내에서 최대의 압하량을 주어 최소의 패수횟수에서 압연을 완료하게 된다.

후판압연과 관련한 제어항목으로 판두께제어, 판폭제어, 판크라운 및 평탄도제어등을 들 수 있으며, 근래 성공정(省工程)을 목적으로, 수요가들의 후강판에대한 평탄도 및 치수제어 요구가 엄격해짐에 따라 평탄도 및 판크라운 제어기술 개발은 중요한 과제로 인식되고 있다 [2].

수요가의 엄격한 치수정도 요구에 대응하기 위하여 국내외 후판분야에서는 형상제어 압연기를 도입하여 압연을 수행하고 있으며 근래, 작업롤벤더(Work Roll Bender), 페어크로스(Pair Cross)등을 도입하여 고정도 형상제어를 수행하고 있다 [3].

포항제철소 2후판공장에서는 품질제어설비 신예화를 통한 제품품질향상을 위하여 형상계측기 및 작업롤 벤더를 도입하였고 실기적용하여 형상품질 향상을 도모하고 있다.

본 논문에서는 작업롤 벤더의 개요, 판크라운 제어능력등과 같은 벤더운용과 관련한 후판 형상제어 방법을 간략히 보고하고자 한다.

2. 형상제어시스템

2.1 시스템의 개요

Fig. 1에 포항제철 2후판 형상제어 시스템의 개요를 나타낸다. 본 제어시스템은 근접두께계, 크라운메타(Crown Meter), 평탄도계(Shape Meter), 작업롤 벤더(Work Roll Bender)등으로 구성되고, 평탄도계 및 크라운메타로 부터의 형상측정결과와 형상제어 수식모델의 계산값을 이용하여 다음패스의 벤딩력 결정을 수행한다.

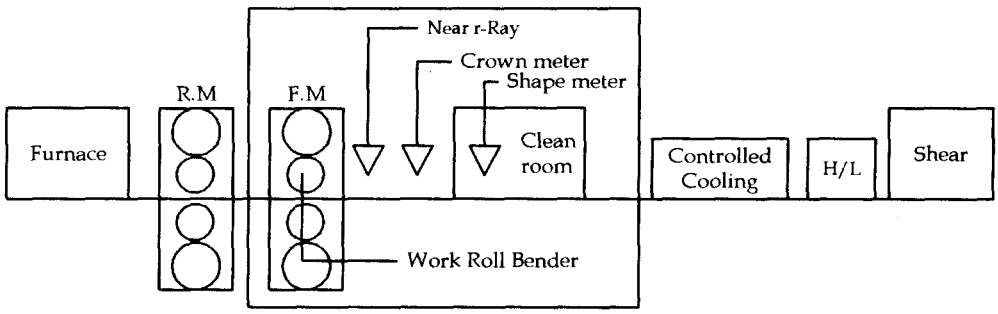
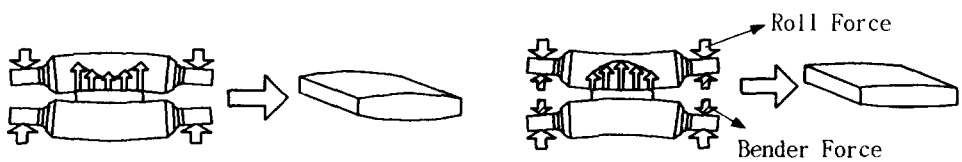


Fig. 1 Lay-out of shape control system in No.2 Plate Mill

2.2 작업롤 벤더를 이용한 후판형상제어

작업롤 벤더를 사용하는 후판압연기의 경우, 벤더력 제어를 통해 형상 및 크라운제어를 수행할 수 있고 사상패스에서 압연하중을 크게할 수 있으며, 동시에 하중변동에 의한 형상·크라운의 영향을 억제하는 것이 가능하다고 보고되고 있다 [4].

작업롤 벤더를 이용하여 판크라운을 제어하는 원리는 다음과 같다. 후판압연의 경우 작업롤 직경에 비해 동부의 길이가 매우 길기 때문에 실제 압연시 Fig. 2(a)와 같이 롤중심부에 대해 대칭으로 롤단부가 처지는 작업롤 탄성변형이 발생하게 된다. 이때, 롤 탄성변형에 의해 발생된 롤중심부와 롤단부의 변형차가 압연판에 전사되어 판중심부 두께가 판단부보다 커지는 현상(판크라운)이 발생하게 되며, 이것을 압연반력의 관점에서 고려하면 판단부가 판중심부보다 높은 압연반력을 발생하여 나타나는 현상이다. 따라서, Fig. 2(b)와 같이 작업롤 단부에서의 롤변형을 억제하게 되면 판중심부와 판단부간의 두께차 발생은 감소하게 되며, 이를 위해 롤단부변형의 억제역할을 수행하는 작업롤 벤더를 사용하게 된다.



(a) Plate crown without WR bender (b) Plate crown with WR bender

Fig. 2 Plate crown in rolling

일반적으로 사용되는 작업롤 벤더의 종류는 4가지 정도가 있으며 이것을 Fig. 3에 나타내었다. 가장 많이 사용되는 작업롤 벤더의 형태는 Fig. 3 (a)-(b) 형태의 positive work roll

bending방식으로서 백업롤의 동부길이가 작업롤의 동부길이에 비해 짧기 때문에 벤더 사용시 작업롤은 백업롤을 지점으로 하여 롤초오크 부분에 벤더력을 가하여 롤벤딩을 수행한다 [5].

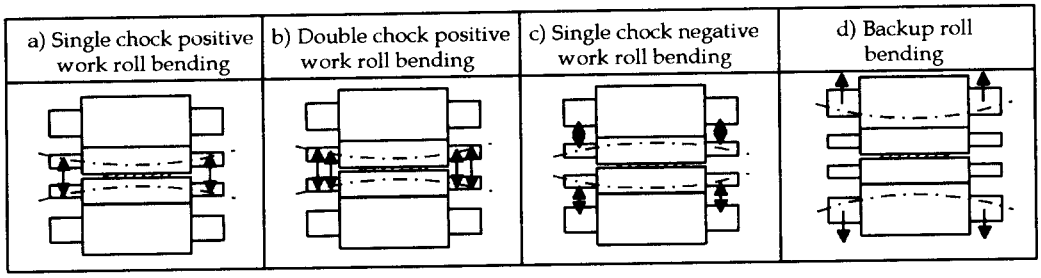


Fig. 3 Types of work roll bender

2.3 작업롤 벤더 제어능력

포항제철 2후판의 사상압연기의 작업롤 벤더능력을 산출하기 위해 롤탄성변형 예측모델을 이용하여 롤변형계산을 수행하였다. 이때, 롤 변형 계산조건을 Table 1에, 벤딩력에 따른 판크라운의 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

계산결과는 mechanical crown을 대상으로 하였으며 2후판 WRB Mill에서의 작업롤 벤더는 협폭재에 비교하여 광폭재에서 벤더제어에 의한 판 크라운 제어범위가 큰 것으로 나타났으며 판폭 1000 ~ 2000mm의 범위에서는 크라운 제어범위가 낮은것으로 나타났다.

Entrance thickness	25mm
Exit thickness	15mm
Plate width	1000~4000mm
Roll force	4000ton
Bender force	0~250ton
Roll diameter	WR:1000mm BUR:2000mm
Initial roll crown	WR:0.15mm BUR:0.20mm

Table 1 Calculation conditions

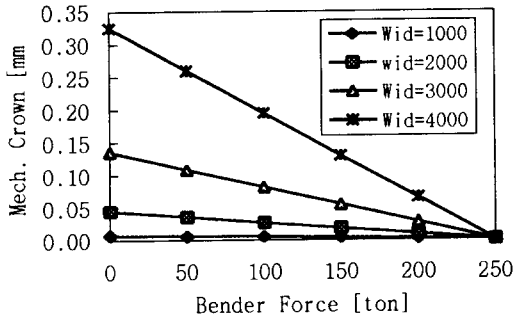


Fig. 4 Crown control range of WR bender

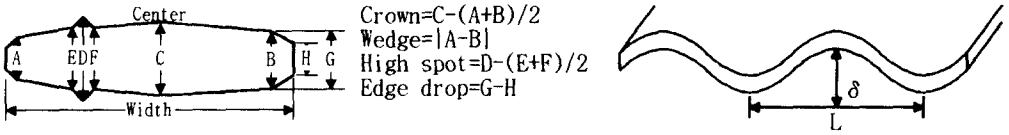
3. 작업롤 벤더를 이용한 형상제어방법

3.1 판크라운 · 평탄도

판크라운은 폭방향 판두께 분포로서 압연시 압연하중에 의해 발생하는 롤 탄성휨이 판에 전사되어 판 중심부 두께가 판단부 두께에 비해 두꺼워진 만큼의 차로 정의한다.

평탄도는 판 길이방향의 일정피치에 대한 파고로 정의되며, 판크라운과 평탄도의 정의를 Fig. 5에 나타내었다.

압연에서의 형상의 의미는 판크라운과 평탄도를 포함한 것이며, 양호한 형상은 목표 판크라운을 만족하면서 평탄한 판으로 정의한다.

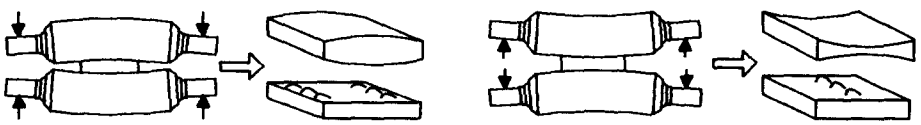


(a) Plate profile (b) Flatness($\lambda = \delta / L$)

Fig. 5 Definition of plate crown and flatness

3.2 크라운 및 평탄도 발생기구

압연시 발생하는 판크라운 및 평탄도는 작업롤 변형과 큰 관계를 가지고 있다. Fig. 6에서 나타낸 것과 같이 (a)는 압연하중이 과도한 경우로 판크라운의 관점에서는 양의 크라운을, 평탄도의 관점에서는 판단부의 과도한 연신으로 edge wave를 발생시키는 기구로 작용한다. 이와는 반대로 (b)의 경우는 롤크라운 혹은 벤더력이 과도한 경우로서 판크라운의 관점에서는 음의 크라운을, 평탄도의 관점에서는 판 중심부의 과도한 연신으로 center wave를 발생시키는 기구로 작용한다.



(a) Edge wave mechanism (b) Center wave mechanism

Fig. 6 Mechanism of wave and plate crown

3.3 형상제어 방안

포항제철 2후판 사상압연의 형상제어 방법은 다음과 같다 [6~11]. 우선, 패스스케쥴로 부터 압연재의 치수, 압연하중, 최대, 최소, 기준 벤딩력등을 전달받아 형상제어 수식모델내에서 각 패스에서 발생할 수 있는 최대, 최소의 판크라운 및 평탄도 예측값을 계산한다. 이를 통해 각 패스간 크라운비율 상한치, 하한치를 계산한후 제약조건을 만족하는 대표 크라운 비율을 설정한다. 대표 크라운 비율로 부터 각 패스의 판크라운을 도출하여 기준 벤딩력에 대한 보정치를 계산하는 것이 벤더력 설정의 요점이다. Table. 3에 형상제어방법을 순차적으로 나타내었다.

후판 형상제어 시스템에서는 크라운메타 및 평탄도계로 부터 형상측정패스에 판크라운 및 평탄도 실측값을 전달받아 예측모델에서의 오차를 보정하고 고정도의 제어모델을 운용하는 것을 또 하나의 요점으로 한다.

적정 벤더력을 설정하는 방법은, 전술한 3.2절의 크라운 및 평탄도 발생기구를 근간으로 하여 구축된 것이며 판크라운 예측모델과 형상예측모델(연신율·급준도예측모델)을 구축하여 이를 수행한다. 이때, 벤더력을 결정하기 위한 형상제어모델은 학습모델, 영향계수 설정모델, 마모 및 열팽창 예측모델, 벤더력 설정모델등으로 세부적으로 구성된다.

Table. 3 Shape control method using WR bender

Step 1	- Obtain the basic information from pass schedule. - Using the mathematical model of mechanical crown, calculate the max, min and basic mechanical crown value of each pass.
Step 2	- From the calculated mechanical crown value, calculate the exit plate crown CH(i) of each pass using the plate crown prediction model and shape prediction model.
Step 3	- Calculate the upper and lower limit value of current pass plate crown from the upper and lower limit value of previous pass using plate crown prediction model.
Step 4	- Compare the upper and lower limit value of calculated plate crown. - Check the limit conditions. - Determine the crown rate of each pass
Step 5	- Determine the plate crown setup value from the calculated palte crown rate. - Re-calculate the bender force using plate crown prediction model.

4. 결론

포항제철 2후판공장에서는 후판압연시 발생하는 판크라운 및 평탄도를 개선하기 위하여 형상측정장치 및 작업롤 벤더를 사상압연기에 도입하였고 형상제어모델을 구축하였다.

작업롤 벤더의 벤더력 설정은 압연조건에 따라 형상제어용 수식모델에 의해 결정되며, 제어모델은 판크라운 예측모델과 평탄도 예측모델을 근간으로 구성되어 패스스케쥴로 부터 기본 정보를 받아 각 패스별 판크라운 및 평탄도 관련값을 예측한다. 이때, 벤더력 설정의 기본구상은 판크라운 및 평탄도 발생기구를 억제함으로써 양호한 판크라운 및 평탄도를 구현하기 위한 것으로 제약조건을 만족하는 각 패스별 판크라운 및 평탄도 관련값으로 부터 계산된다.

5. 참고문헌

1. Nishiyama Kinen Gijutu Koza, 169・170, pp. 5 (1998)
2. K. Ohe et. al, Tetsu-to-Hagane, vol. 79, no. 3, pp. 86~93 (1992)
3. K. Nishioka et. al, NKK Tech. Report, vol. 365, pp.9~17 (1997)
4. I. Shigeru et. al, Tetsu-to-Hagane, vol. 79, no. 3, pp. 94~99 (1992)
5. Valdimir B. Ginzburg, Steel-Rolling Technology, pp. 711~729 (1989)
6. S. Tomita et. al, CAMP-ISIJ, vol. 8, pp. 1214~1217 (1995)
7. S. Tomita et. al, Journal of JSTP, vol.38, no.440, pp. 35~39 (1997)
8. S. Hojo et. al, CAMP-ISIJ, vol. 3, pp. 1367 (1990)
9. I. Ueda et. al, CAMP-ISIJ, vol. 8, pp. 1190~1193 (1995)
10. K. Saino et. al, CAMP-ISIJ, vol. 8, pp. 443 (1995)
11. Y. Moromoto et. al, CAMP-ISIJ, vol. 11, pp. 350 (1998)