

후판 Turn Down Mark 발생 메커니즘 규명

정제숙*, 박해두*
공정제어연구그룹, 포스코 기술연구소*

Verification of Creation Mechanism of Turn Down Mark in the Thick Plate Mill

J. S. Chung* and H. D. Park*
Rolling Technology & Process Control Research Group, POSCO

Abstract

A study was performed for verification of creation mechanism of turn down mark in thick plate. The roll mark was produced by plate bending when the front of plate was collided with roller table rolls. Various process conditions which are temperatur distribution along the thickness direction of plate, pass line, and reduction ration were investigated. These process conditions affected the amount of plate bending and were a major cause of turn down mark.

Key words : Thick plate, Bending, Turn Down

1. 서론

일반적으로 판 압연시 여러가지 공정 조건에 의해 상하 비대칭 압연이 일어날 수 있다. 어떤 특별한 목적에 의해 상하 비대칭 압연을 실시하기도 하지만, 일반적인 경우에는 상하 비대칭 요인을 최소화시키는 것이 바람직하다. 상하 비대칭 압연을 일으키는 요인으로는 소재의 두께 방향 온도 편차, pass line, 소재 선단부 형상, 상하 마찰계수차, work roll 지름 및 속도 등이 있다. 이러한 요인에 의해 소재는 두께 방향으로 상하 변형률이 다르게 발생하게 되고, 압연후 판에는 상향 또는 하향 굽힘 변형이 일어나게 된다. 조업 조건을 제어하여 이러한 비대칭 요인을 최소화 시키기 위한 노력이 계속되고 있지만 발생 요인을 완전히 제거하는 것은 매우 어려운 일이다.

후판 압연시 어떤 상하 비대칭 압연 조건에 의해 판에 굽힘 변형이 일어나는 경우, 특히 하향 굽힘이 일어난 경우 압연기 후단에 있는 롤러 테이블 롤과 충돌이 일어나서 판에는 벤딩이 발생하게 되고, 이때 압연기 사이에서 압연되는 판 부위에는 turn down mark라는 롤마크가 발생한다. 이렇게 발생한 롤 마크는 프레스 교정을 통하여 교정하지만 교정에 따른 시간적, 경제적 손실이 크고, 심한 경우 교정이 불가능한 경우도 있으므로 정확한 발생 메커니즘을 규명하여 대처 방안을 찾는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 turn down mark가 발생하는 메커니즘을 규명하고, 각종 공정변수들이 turn down mark에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 비대칭 압연에 대한 이론적 고찰

정도의 차이는 있지만 압연중에는 항상 비대칭 요인이 발생한다. 상하 work roll 속도에 차이가 있다면 회전 속도가 빠른 쪽에서 많은 변형이 일어나기 때문에 회전속도가 느린 롤 쪽으로 판은 휘어지게 된다. 반면 상하 롤의 직경의 차가 있는 경우에는 출구에서는 롤경이 큰 쪽으로 휘는 것이 원칙이다. 접촉 호 길이가 짧은 롤측에서는 롤경이 큰 쪽과 압연 하중이 같게 되도록 하기

위해 압연 하중이 증가하도록 압하량이 증가한다. 그 결과 압연에 의한 연신량도 롤경이 큰 쪽보다 작은 쪽이 크게 되므로 판은 롤 경이 큰 쪽으로 휘게 된다. 그러나 판두께가 얇고 압하율이 작은 경우는 반드시 롤 경이 큰 쪽으로 휘지는 않는다.

마찰 계수는 일반적으로 롤 및 재료의 표면 조도, 온도, coolant량과 공급 조건등에 의해 변한다. 또한 롤 및 재료의 속도가 마찰 계수에 미치는 영향은 크다. 상하 롤측에서 마찰 계수에 차이가 있으면 압연 압력에 차가 발생하고 압연 하중에도 차이가 생기지만, 상하 압연 하중은 균형을 이루어야 하므로 마찰 계수가 큰 쪽의 압하율이 감소하고 작은 쪽의 압하율이 증가하여 상하 압연 하중은 같게 된다. 또한 마찰 계수가 큰 쪽이 재료를 전방으로 압출하는 전단력이 크고, 상하 롤측의 조건을 같게 설정하여 압연하여도 마찰 계수에 차이가 있으면 압하율 및 진행 방향으로 작용하는 전단력은 차이가 발생하여 결과적으로 출구에서의 휨의 방향에 영향을 준다.

압연기 입측에서 소재를 강제적으로 pass line 상부 또는 하부에서 인입되도록 유도한 경우를 가정할 때, 판 두께가 두꺼워 R/h_i 값이 작은 경우 pass line 보다 낮게 인입되면 출구에서는 하향 벤딩이 발생하고, 높게 인입되면 상향 벤딩이 발생한다. Pass line 보다 낮게 인입되는 경우, 인입 직전에 재료에 하향 휨이 발생하고 재료의 상면에는 인장응력이 작용하고, 하면에는 압축응력이 작용한다. 이러한 응력상태에서 인입되면 상면의 압연압력은 인장응력에 대응하는 압력 감소가 발생하고, 하면에서의 압연 압력은 압축응력에 대응하여 압력이 증가하게 된다. 그러나 재료의 상하면에 작용하는 압연력은 평형을 유지해야 하므로 상부의 압하율이 증가한다. 압하율이 증가한 쪽은 재료의 연신이 증가하여 출구에서는 하향이 발생한다. 즉, 재료의 인입 조건 이외의 공정 조건이 상하에서 모두 같으면 pass line보다 낮게 인입되면 하향, 높게 인입되면 상향이 발생하게 된다.

3. 결과고찰

3.1 해석 모델

본 연구에서는 후판 사상압연시 공정 조건별 판 변형 거동을 분석하여 turn down 현상이 발생하는 메커니즘을 규명하기 위하여 유한요소법에 의한 해석을 수행하였다. 계산은 상용 유한요소 해석 프로그램인 MARC를 이용하였으며, 비정상상태 2차원 해석을 수행하였다. 계산에 사용된 모델을 Fig. 1에 나타내었는데, work roll을 강체로 가정하였으므로 backup roll은 모델링하지 않았다. 소재 입출측에는 다수의 롤러 테이블 롤이 배치되어 있고, 소재는 그 롤들 위에 놓여 있으며 압연중에도 중력에 의해 소재와 롤러 테이블은 접촉하게 된다. 상하 work roll과 소재사이에 작용하는 마찰계수는 동일한 것으로 가정하였으며, 소재 물성치는 실험에 의해 도출된 값을 사용하였다.



Fig. 1 해석에 사용된 소재 및 롤 배치

3.2 Turn down 발생 메커니즘

Fig. 2에는 turn down 현상이 발생하는 과정을 설명해 놓았다. 어떤 비대칭 압연 요인에 의해 판에 하향 굽힘이 일어나면 압연기 출측에서는 판 선단부가 롤러 테이블 롤과 충돌이 일어난다. 이

때 판은 롤러 테이블 롤을 따라 계속 진행해야 하므로 판에는 상향 벤딩이 발생하게 된다. 이때 판의 압연되는 부분에서는 상부는 압축응력을 받게되고 하부는 인장응력을 받게 된다. 이때 판에는 다른 부위에서는 나타나지 않는 롤 마크가 발생하게 되고, 이러한 현상은 다음 롤러 테이블 롤과 충돌할 때도 동일한 메커니즘으로 발생하게 된다. 실제로 압연중 turn down mark가 발생한 위치를 살펴보면 work roll과 롤러 테이블 롤과의 거리 및 1번 롤러 테이블 롤과 2번 롤러 테이블 롤과의 거리와 일치하였다. 따라서 turn down mark를 줄이기 위해서는 판의 하향 굽힘을 최대한 줄이는 것이 중요하다.

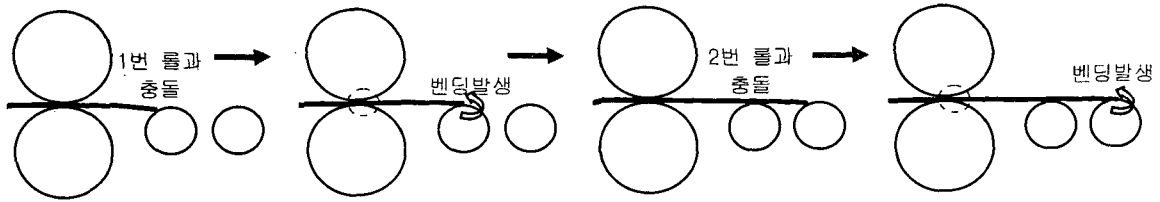


Fig. 2 Turn down 현상 발생 메커니즘

3.3 공정조건별 판 변형 거동

공정조건이 판 변형에 미치는 영향을 검토하기 위하여 몇몇 공정 조건들을 변경 시켜가며 소재의 휘는 방향과 크기를 계산하였다. Fig. 3에는 판이 아래쪽으로 휘는 경우 판의 선단부 한 점이 압연 후 이동한 경로를 도시하였다. 롤러 테이블 롤과 충돌하고 다시 상승 및 하강하는 경향을 잘 나타내고 있다.

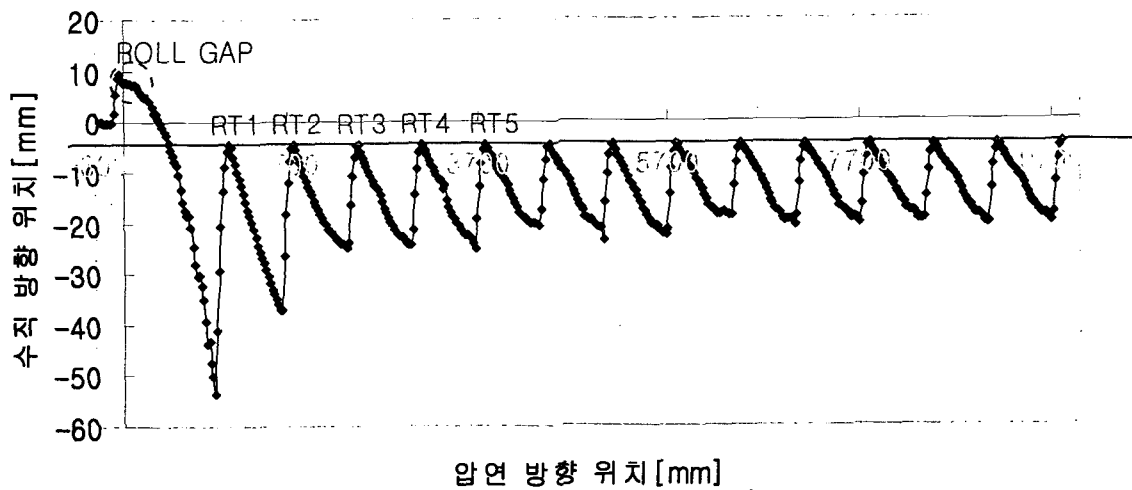
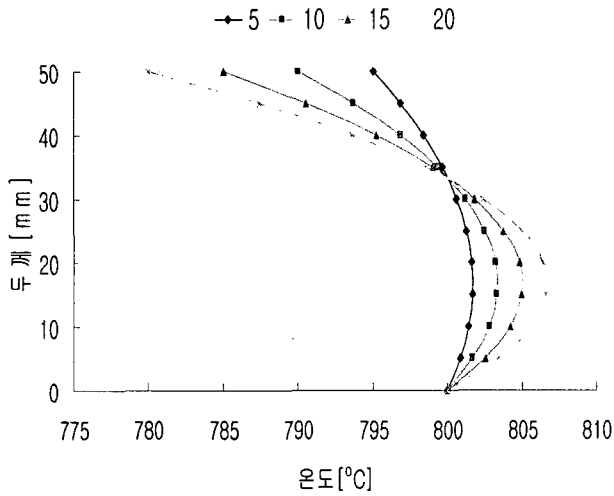


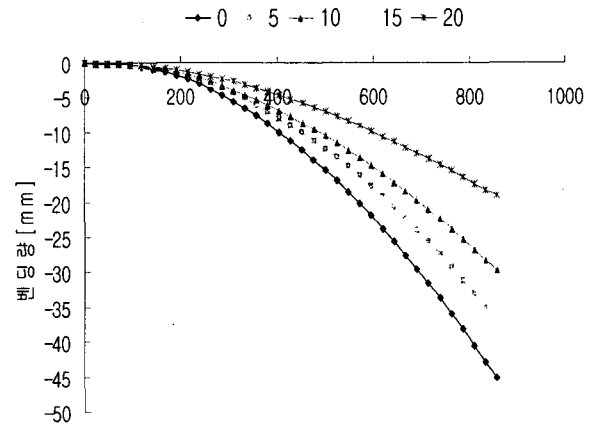
Fig. 3 롤러 테이블을 따라 이동하는 판 선단부 위치 변화

입측 소재의 두께방향 온도분포, pass line, 압하율의 조건 변화에 따른 판 변형 거동을 계산하였다. Fig. 4(a)에는 해석에 사용된 두께 방향 온도분포를 나타내었고, Fig. 4(b)에는 이때 판 굽힘 정도를 비교하여 도시하였다. 온도 분포 설정시 두께 방향 평균 온도는 800°C로 균일하게 분포시켰다. 그외 조건들은 pass line을 낮게 설정하여 하향 굽힘이 일어나도록 고정하였다. 결과에서 알 수 있듯이 하부 온도가 높을수록 변형이 많이 발생하여 하향 굽힘량이 적게 일어남을 알

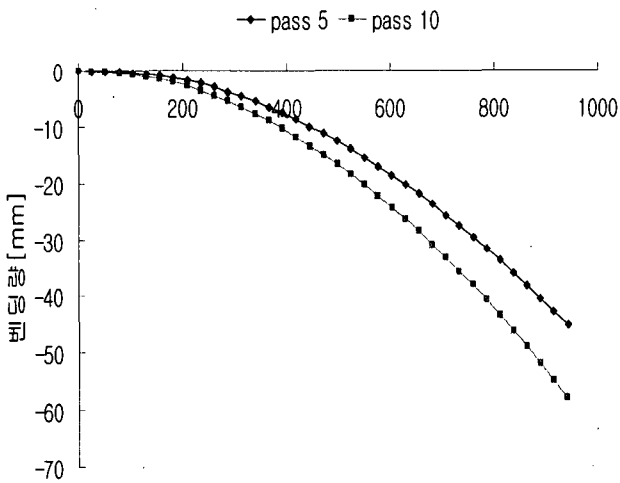
수 있다. Fig. 4(c)에는 pass line의 영향을 조사하기 위해 pass line을 각각 5mm 및 10mm로 달리 설정 한 후 판 변형을 계산하였다. 2장 비대칭 압연에 대한 이론적 고찰에서 언급한 바와 같이 pass line이 낮게 설정 될수록 하향 굽힘량이 크게 나타남을 알 수 있다. 반면 Fig. 4(d)에는 압하율에 따른 굽힘량을 계산하여 비교하였는데, 하향 굽힘 크기는 굽힘량이 증가함에 따라 일정한 방향으로 변하지 않고 포물선 형태를 나타냄을 알 수 있다. 이것으로 압하율이 증가함에 따라 압연 방향 연신율이 판 굽힘에 미치는 영향이 변함을 알 수 있다.



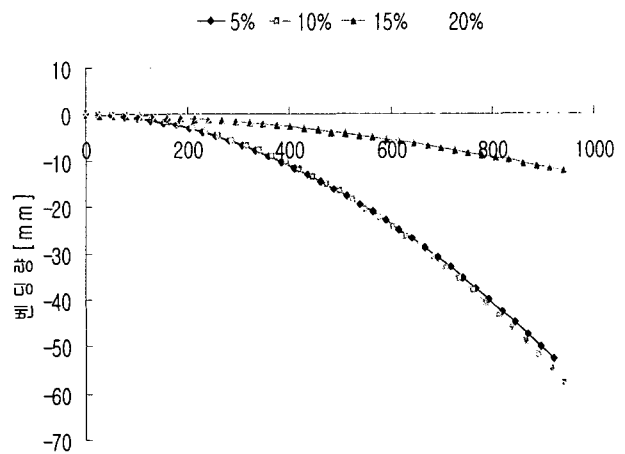
(a) 해석에 사용된 두께방향 온도분포



(b) 온도분포에 따른 판 굽힘량 비교



(c) pass line에 따른 판 굽힘량 비교



(d) 압하율 변화에 따른 판 굽힘량 비교

Fig. 4 조업 조건별 판 굽힘량 비교

이상과 같은 조건에 의해 판이 아래로 휘어지는 경우 turn down mark 가 발생한다. Fig. 5에 는 하향 굽힘이 발생한 경우 압연 후 판 길이 방향 변형량 분포를 도시하였다. 판 선단부에는 turn down mark가 발생했음을 알 수 있고, 발생 위치도 앞서 언급한 바와 같이 롤들의 간격과 일치함을 알 수 있다.

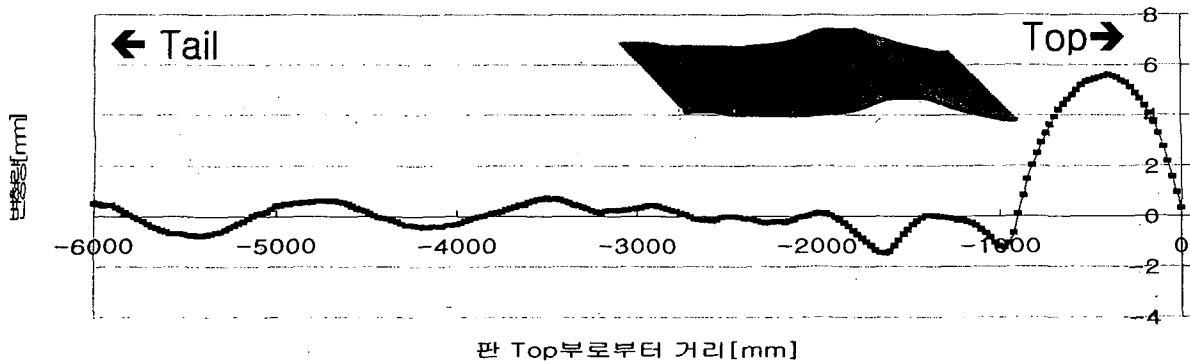


Fig. 5 압연후 길이 방향 변형량 분포

4. 결론

본 연구를 통해서 후판 사상압연시 turn down mark가 발생하는 메커니즘을 분석할 수 있었고, 여러 공정 조건들이 판 하향 굽힘에 미치는 영향을 파악 할 수 있었다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같이 요약 할 수 있다.

첫째, turn down mark는 압연후 하향 벤딩 발생시 판이 롤러 테이블 롤 부딪치면서 발생하는 모멘트에 의해 발생하며 Roll들의 간격과 발생 위치가 일치한다.

둘째, 하향 벤딩량은 pass line offset값이 클수록 증가하며, 압하율과 하향 벤딩량은 접촉비에 따라 다르다.

셋째, 하부 온도가 높을 수록 하향 벤딩량은 줄어들므로 pass line을 고려하여 상하부 온도 측정 및 냉각을 통하여 상하부 적정 온도차 관리가 필요하다.