

열간 압연에서 2 단 사이징 프레스 금형에 의한 슬래브의 변형거동 예측

이상호¹, 김동환², 변상민³, 박해두³, 김병민[#]

Deformation Behavior of Slab by Two-Step Sizing Press in a Hot Strip Mill

S. H. Lee, D. H. Kim, S. M. Byon, H. D. Park, B. M. Kim

Abstract

Extensive width reduction of slabs is an important technology to achieve continuous production between the steelmaking and hot rolling processes. Conventionally, a vertical roll process has been used to achieve extensive width reduction. However, it is impossible to avoid the defects such as dog-bone, fish tail and camber. The deformation behavior in the width sizing process is more favorable than that in conventional vertical rolling edger, i.e. the material better flows toward the center of slab. This study is carried out to investigate the deformation of slab by two-step sizing press. The FE-simulation is utilized to predict plastic deformation mode in compression by a sizing press of slabs for hot rolling. In this paper, the various causes of the asymmetrical rolling phenomena are mentioned for the purpose of understanding of rolling conditions. Analytical results of slab-deformation by sizing press are presented below in this study.

Key Words : Hot strip rolling(열간압연), Sizing press(사이징 프레스), Camber(휨), Two-Step Die(2 단 금형), FE-simulation

1. 서론

압연강판의 품질관련 항목 중에서 치수 관리가 대단히 중요하며 그 중에서도 최근 폭 정밀도 개선에 관한 관심이 높아지고 있다[1- 2]. 기존의 엡지 압연기(Vertical rolling edger)는 연주의 생산 능력을 저하하는 문제점이 있다. 이에 비하여 사이징 프레스(Sizing press)는 대폭 압하가 가능하고 생산력을 향상시킬 수 있다. 그러나 사이징 압하 공정에서 금형의 형상에 따라서 슬래브(Slab)의 변형거동에 차이를 유발하게 된다.

평 금형에 의한 겹침 결함을 줄이기 위하여 제안된 금형형상은 코너부를 경사지게 하여 국부적인 변형을 줄이게 하는 경사형 금형을 제안하였다[3].

본 연구에서는 사이징 프레스 공정의 성형해석 기법을 수립을 위하여 상용 유한요소 코드인 DEFORM 3D를 이용하여 사이징 프레스의 성형해석을 수행하였다. 본 연구에서는 2 단의 경사부를 갖는 금형 구조이며(Fig. 2), 한 쌍의 앤빌(Anvil)이 슬래브의 폭 방향으로 타격을 하게 된다. 해석을 통하여 사이징 압하에 의한 슬래브의 변형거동을

1. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 진주국제대학교 자동차공학과

3. POSCO 기술연구소 공정제어연구그룹

교신저자: 부산대학교 기계공학부,

E-mail:bmkim@pusan.ac.kr

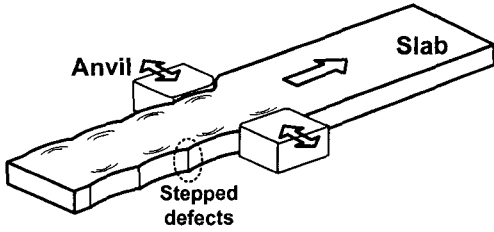


Fig. 1 Stepped defects according plate dies

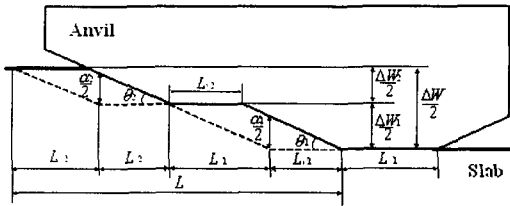


Fig. 2 Shape of two-step dies

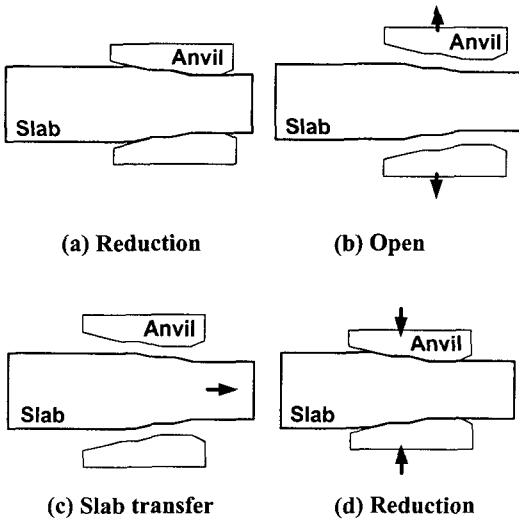


Fig. 3 Width reduction of sizing press

예측 및 겹침 현상으로 인한 표면 결함을 관찰하였고, 도그 본(Dog-bone) 및 캠버(Camber)의 형상을 예측 및 도그 본, 캠버의 최소화 방안에 대한 연구를 수행하였다[4].

2. Sizing press 성형 해석

2.1 Two-step sizing press 해석조건

본 연구에서는 사이징 프레스의 성형 해석을 수행하였으며, 사이징 프레스의 성형 해석 조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Condition of sizing press process

Width reduction	100 mm
Anvil velocity	380 mm/s
Slab transfer pitch	380 mm
Initial temperature	Anvil - 500 ℃
	Slab - 1100 ℃

Table 2 Properties of sizing press

Material property	Anvil - AISI H-13
	Slab - SM10C
Friction	$m = 0.3$
Thermal conductivity	Anvil - 28.6 w/m ℃
	Slab - 51.9 w/m ℃

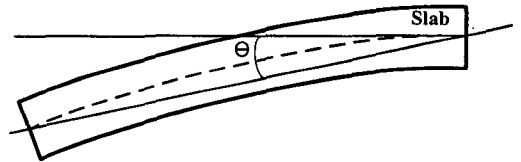


Fig. 4 Measurement of camber

초기 접촉부(최초 사이징)에서는 10 mm씩 나누어 5 회에 걸쳐 총 50 mm를 압하하고 난 후 슬래브의 이송이 이루어진다. 이후 공정에서는 50 mm씩 압하하게 된다. Table 2는 해석에 사용된 물성치를 나타내었다. 해석에 사용된 물성치는 DEFORM 3D의 Library에 포함된 물성치를 사용하였다.

2.2 타격지연 영향 평가

사이징 프레스 공정에서 타격지연으로 인하여 오프 센터(Off Center)가 발생하게 된다. 양 쪽의 엔빌로 슬래브를 폭 압하할 때 슬래브의 변형거동을 평가하기 위하여 연구를 수행하였다. 사이징 프레스 공정조건에서 각 엔빌의 속도를 한 쪽을 380 mm/s와 다른 쪽을 375 mm/s 과 370 mm/s의 두

가지 경우로 각각의 엔빌의 속도차를 5 mm/s 와 10 mm/s 로 두고 DEFORM 3D로 시뮬레이션을 수행하였다. 두 가지 경우에 있어서 슬래브의 캠버와 도그 본의 형상을 비교하였다. Fig. 4 는 캠버를 측정

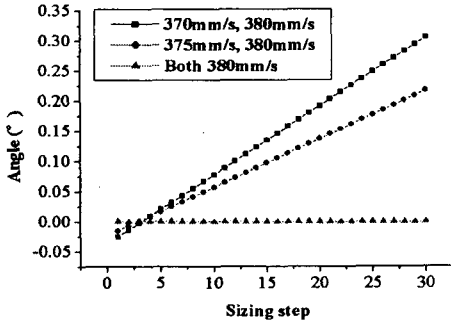


Fig. 5 Distribution of camber of slab by velocity

하는 방법에 대하여 나타내고 있다. Fig. 5 는 엔빌의 속도차에 따른 슬래브의 캠버를 스텝 수에 따라서 나타내는 그림이다. 엔빌의 속도차가 클수록 슬래브의 캠버량이 커지는 것으로 나타났다. 그러나 엔빌의 속도차에 의한 타격지연으로 인한 도그 본 형상의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

2.3 Slab 온도 편차에 의한 영향 평가

슬래브의 온도가 폭 방향으로 온도의 분포가 다를 때, 사이징 프레스 공정에서 슬래브에 어떤 영향이 있는지 연구를 수행하였다. 엔빌의 속도는 양 쪽 380 mm/s 로 고정되었고, 슬래브의 온도 분포는 Fig.6 과 같다.

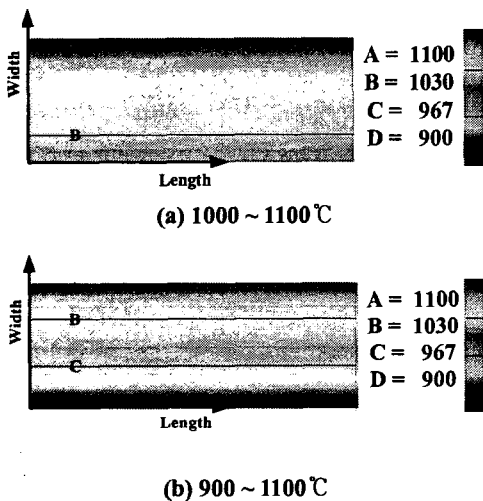


Fig. 6 Distribution of temperature

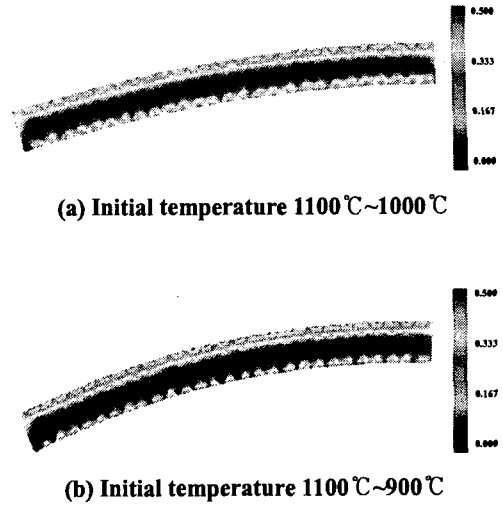


Fig. 7 Distribution of effective strain

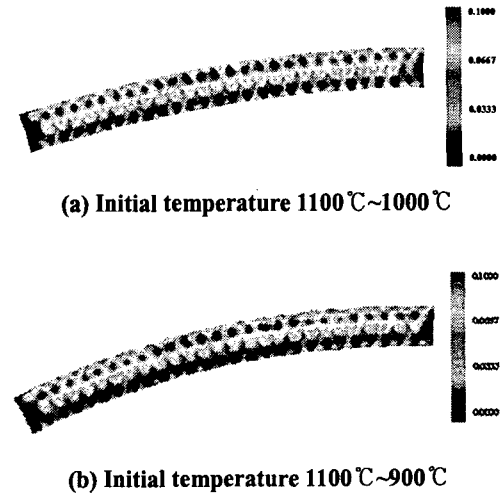


Fig. 8 Distribution of damage

해석을 통하여 온도가 높은 쪽에서 변형율이 크고 응력이 집중되는 것을 알 수 있다(Fig. 7, 8). 따라서 변형이 상대적으로 온도가 낮은 방향으로 슬래브가 휘는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 9 에서 보면 사이징 공정이 끝났을 때, 슬래브의 폭 방향 온도차 100 °C 에서 캠버는 약 8.85 ° 로 나타났으며, 온도차 200 °C 일 때에는 약 12.13 ° 의 캠버가 나타났다. 온도차가 클수록 캠버가 커지며, 온도 편차를 줄일수록 슬래브에 생기는 변형 거동의 차가 적어진다. 따라서 등온을 유지할 때 캠버를 최소화

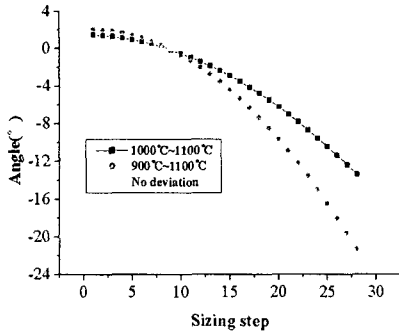


Fig. 9 Relation between camber of slab and sizing

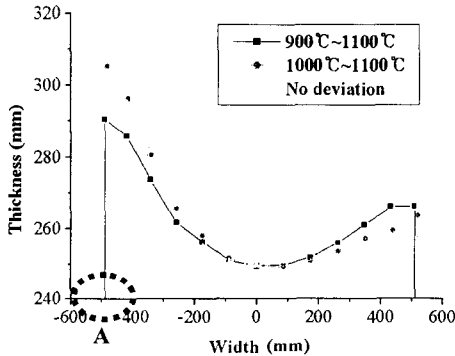


Fig. 10 Profile of dog-bone according to temperature

화할 수 있다.

Fig. 10 은 온도 편차에 따른 도그 본의 형상을 나타내었다. 변형율의 분포에서 보여지듯이 1100°C인 슬래브 끝 단에서의 변형과 다른 쪽의 1000°C와 900°C에서의 변형을 비교할 때 1100°C에서 변형을 값이 상대적으로 크므로 도그 본의 형상에 큰 차이를 보였다.

중심부에서는 온도 편차가 있을 때와 없을 때의 H 값이 변화가 크지 않았다. 이는 슬래브의 길이 방향을 중심에서 온도 분포 값이 거의 같아 변형율 값이 비슷하다. 따라서 중심에서의 변형이 거의 같다. 그러나 슬래브의 끝 단에서 온도의 차가 크게 날수록 도그 본의 형상에서 높이 차이가 컸으며, 사이징 공정 후의 전체 폭은 일정하지만, 온도가 높은 쪽에서 폭의 감소가 약간 더 큰 것을 Fig. 10의 A 부분에서 확인하였다. 해석 결과로 볼 때, 온도가 사이징 프레스 공정에서 슬래브의 캠버 현상과 도그 본의 형상에 매우 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

3. 결론

본 연구에서는 사이징 프레스에서 슬래브에 발생하는 변형 거동 현상을 분석하고 평가하였다. 슬래브의 오프 센터 및 엔빌의 타격지연의 영향 평가, 슬래브의 온도 편차에 의한 영향 평가를 수행 하였다.

(1) 엔빌의 속도 편차에 의한 오프 센터 및 타격지연의 영향을 평가하였다. 속도 편차가 일어남에 따라 슬래브의 캠버 현상이 미소하지만 발생하였다. 속도 편차의 크기가 클수록 캠버의 크기가 컸으며, 캠버의 방향은 엔빌의 속도가 큰 쪽으로 휘어진다.

(2) 슬래브의 끝 단에서 온도의 차가 클수록 도그 본의 형상의 높이 차이가 컸으며, 온도가 높은 쪽에서 폭의 감소가 약간 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 온도 편차는 사이징 프레스 공정에서 슬래브에 나타나는 캠버 현상과 도그 본의 형상에 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

(3) 평 금형과는 달리 겹침 결함을 발생시키지 않고 폭 압하를 가능하게 하는 경사금형에 의한 슬래브의 변형거동을 파악하였다.

참고 문헌

- [1] D.H.Kim, B.M.Kim and Y. Lee : "Adjustment of Roll Gap for the Dimension Accuracy of Bar in Hot Bar in Hot Bar Rolling Process", International Journal of the KSPE, 2003
- [2] M. S. Chun, J. J. Yi and Y. H. Moon : "Precise Width control through the width spread compensation in hot strip mill", Transaction of Material processing Vol. 8, NO. 2, 1999
- [3] H. Nikaido, K. Fuziwara, H. Abe, M. Nihei : "Development of Slab Sizing Press for Heavy Width Reduction in Hot Strip Mills", Iron and Steel Engineer, Vol.21, pp.48_53, 1984.
- [4] T. Hira, K. Isobe, H. Abe, H. Nikaido, T. Fujisu and S. Zuyama: "Deformation of Slab under Heavy Reduction of Width by Sizing Press", Kawasaki Steel Technical Report, No.22, pp.32-40, 1990.