

# 열간압연 폭압하공정시 AISI 1045 소재의 변형거동 해석연구 A Study on Finite element analysis of AISI 1045 steel deformation under the width reduction in hot roughing mill

\*허수진<sup>1</sup>, 이상호<sup>1</sup>, 변상민<sup>2</sup>, 박해두<sup>2</sup>, 이종빈<sup>2</sup>, #김병민<sup>3</sup>  
\*S. J. Heo<sup>1</sup>, S. H. Lee<sup>2</sup>, S. M. Byun<sup>3</sup>, H. D. Park<sup>3</sup>, J. B. Lee<sup>3</sup>, #B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)<sup>4</sup>  
<sup>1</sup> 부산대학교 대학원 정밀가공시스템, <sup>2</sup> (주)포항종합제철, <sup>3</sup> 부산대학교 기계공학부

Key words : Roughing mill, Hot strip mill, Horizontal roll, Sizing press, Rolling, Width reduction

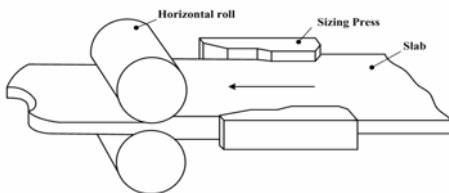
## 1. 서론

조압연 공정(Roughing mill process)은 압연(Rolling)전 초기 소재 슬래브의 두께 및 폭을 제어하는 공정으로 폭 압연과 수평압연롤(Horizontal roll)로 구성되어 있다. 그리고 조압연 공정은 최종공정(Finishing mill)에서 작업이 가능하도록 슬래브(Slab)의 두께를 감소시키고, 원하는 폭으로 제어하는 압연 공정이다. 최근 판재의 두께가 얇아지면서 압연되는 동안 소재의 폭 변화가 거의 없기 때문에 조압연 공정에서 미리 폭 제어가 완료되어야 한다. 그리하여 기존의 엣저방식과는 다른 단조방식의 사이징 프레스에 의한 폭 압하공정이 개발되었다. 그러나 열간 조압연에서는 사이징 프레스(Sizing press)방식 및 엣저(Edger)에 의한 폭 압연(Width rolling)방식 이후 수평압연이 진행되기 때문에 슬래브의 폭 변화가 발생하여 폭 제어가 어렵다. 따라서 조압연에서 수평압연시 폭 변화를 최소화하기 위하여 길이 방향으로 변형을 유발하는 것이 중요하다.

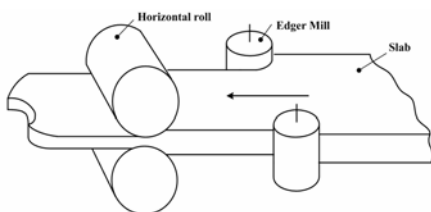
본 연구에서는 이와 같은 열간 조압연 공정에서의 슬래브의 폭 변형을 개선하기 위해 사이징 프레스와 엣저에 의한 폭 압연 후 수평압연에 의한 슬래브의 변형거동을 비교하였으며, 이때 슬래브의 폭 변형을 제어하기 위한 사이징 프레스 엔빌의 형상을 제안하였다.

## 2. 폭압연과 수평압연시의 폭 변화

사이징 프레스 압하방법은 반복적인 사이클에 의해 일정한 이송피치로 슬래브의 폭을 압하해 가는 방식이다. 엔빌과 슬래브간의 접촉길이가 증가하여 폭 압하량을 증대시키는 방식으로 엔빌과 슬래브간의 접촉길이가 증가하여 폭 압하량을 증대시킬 수 있는 장점이 있다. Fig. 1은 사이징 프레스압연과 엣저압연의 개략도를 나타낸 것이다.



(A) Sizing press process



(B) Edger mill process

Fig. 1 (A) Sizing press process and (B) Edger mill process : width reduction process

사이징 프레스에 의한 압하는 슬래브가 엔빌에 의해 압하되고 엔빌이 오픈되면서 일정한 이송피치로 이동된 후 다시 압하되는 방법이다.

엣저압연에 의한 압하방법은 슬래브의 후단부가 압연기의 롤을 통과하여 나올 때 소성변형으로 인하여 압연후의 판은 엣저(Edger)부에 불 균일한 변형상태로 존재하는 크롭(Crop)이 발생하는데, 수평압연공정(Horizontal process)에서 발생하는 비정상변형부인 크롭을 줄이기 위해 고안된 평면형상제어 압연방법이 엣저압연 방법이다. 폭압연 후 수평압연시 선, 후단부의 폭변화 거동을 보면 폭퍼짐(Width spread)이 발생되어 있다. 이러한 형상은 정상부에서는 롤 바이트(roll bite)전후의 미변형부에 의해 폭퍼짐이 구속을 받는 반면 선, 후단부에서는 구속력이 상대적으로 작아져서 압연방향으로의 연신이 감소되기 때문에 폭퍼짐 현상이 발생하는 것이다.[3]

## 3. 해석방법

Table 1은 사이징 프레스와 엣저 압연을 이용한 폭 압연공정과 수평압연 공정의 해석조건을 나타낸 것이다. 다수의 시뮬레이션 수행시 오차를 줄이기 위하여 실험계획법을 이용하여 해석조건을 간이화 하였다. 소재는 저탄소강인 AISI1045를 사용하였으며, 엣저 압연을 이용한 조압연 공정해석은 폭 압하량의 변화만 주어 해석하였다 해석에 사용한 응력-변형률 관계식은 시다(Shida) 모델식을 사용하였다.<sup>1</sup>

Table 1 sizing press and edger roll conditions used in FEM analysis

| Slab            | Material              | AISI 1045                                  |
|-----------------|-----------------------|--|
|                 | Thickness ( mm )      | 200  |
|                 | Width ( mm )          | 1,000                                      |
|                 | Length ( mm )         | 8,300                                      |
|                 | Width reduction( mm ) | 50, 300                                    |
| Sizing press    | Anvil speed( mm / s ) | 380  |
|                 | Anvil angle ( ° )     | $\theta_1 = 21, 12$<br>$\theta_2 = 20, 18$ |
| Edger           | Roll diameter ( mm )  | $\phi = 2,000$                             |
| Horizontal roll | Roll diameter ( mm )  | $\phi = 900, L = 1,500$                    |

## 4. 결과

도그본양은 정상부를 기준으로 선, 후단으로 향할수록 점점 작아진다. Fig. 2의 사이징 프레스를 사용하여 압하한 경우와 엣저롤을 사용하여 압하한 경우의 슬래브를 두께방향 변위분포를 비교한 그림이다.

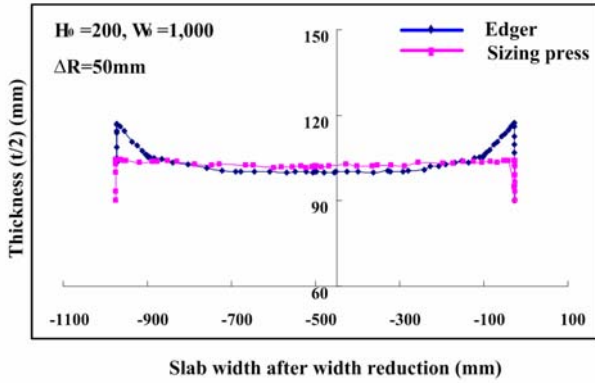


Fig. 2 Comparison with flat edger and sizing press for thickness displacement

그래프에서 알 수 있듯이 엷저롤에 의한 슬래브의 변형량이 사이징 프레스보다 더 크다. 엷저롤에 의한 슬래브의 변형거동은 대부분 두께방향으로 변형을 하였다. 300mm 폭 압하시도 동일하게 나타났다. 사이징 프레스에 의한 슬래브의 변형거동은 슬래브의 길이방향으로 유동하기 때문에 상대적으로 두께방향의 변형량이 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 두께방향의 변형량이 작은 사이징 프레스의 경우가 후속공정의 수평압연을 실시하게 되면 폭방향으로의 회복량이 작기 때문에 폭 압하 효율측면에서 효과적이라 할 수 있다.[2],[3]

Fig. 3은 엷저압연 후 슬래브의 유효응력 상태를 나타낸 그림이다. 선단부에서 후단부까지의 평균 유효응력은 슬래브의 중앙부에서 최고 59.9의 분포를 보이고, 후속공정인 수평압연을 실시하였을 때의 중심부는 66.1의 평균유효응력 상태를 보였다.

폭압하 후 수평압연 공정에서 슬래브의 폭 퍼짐 길이를 측정된 결과 사이징 프레스의 엔빌  $\theta_1 = 21$ ,  $\theta_2 = 20$  과 엷저압연 롤경이 클수록 폭 퍼짐이 가장 작게 측정되었다.

폭압연시 선단부와 후단부의 폭은 정상부를 기준으로 선단부 쪽 또는 후단부 쪽으로 갈수록 점점 작아지는 현상이 발생하는데 이를 폭 수축이라 한다.[3] 폭압하 효율은 엔빌에 의해 폭 압하된 후 두께방향으로 도그본(Dog-bone) 형상이 후속공정인 수평압연을 실시하였을 때 폭 방향으로 미 회복률을 나타낸다. Table 2는 사이징 프레스와 엷저압연 방식에 대한 폭 압하 효율을 비교한 결과를 나타

낸 표이다.

Table 2 Width spread of horizontal rolling

| Case | Sizing press |           |            |            |        |
|------|--------------|-----------|------------|------------|--------|
|      | Slab width   | Reduction | $\theta_1$ | $\theta_2$ | $\eta$ |
| 1    | 1000         | 50        | 21         | 20         | 0.997  |
| 2    | 1000         | 50        | 18         | 12         | 0.826  |
| 3    | 1000         | 50        | 21         | 12         | 0.916  |
| 4    | 1000         | 50        | 18         | 20         | 0.881  |
| 5    | 1000         | 300       | 21         | 12         | 0.873  |
| 6    | 1000         | 300       | 18         | 20         | 0.864  |
| 7    | 1000         | 300       | 21         | 20         | 0.904  |
| 8    | 1000         | 300       | 18         | 12         | 0.812  |
| Case | Edger roll   |           |            |            |        |
|      | Slab width   | Reduction | $\theta_1$ | $\theta_2$ | $\eta$ |
| 1    | 1000         | 50        | $\phi$     | 1050       | 0.546  |
| 2    | 1000         | 300       | $\phi$     | 2000       | 0.759  |

비교한 결과 사이징 프레스에서  $\theta_1 = 21$ ,  $\theta_2 = 20$  인 엔빌이 가장 높은것으로 나타났고, 엷저압연 방식의 경우는 롤경이 클수록 효율이 높게 나왔다.

사이징 프레스 압하후 수평압연공정이 엷저압하 후 수평압연공정을 수행한 것 보다 폭 회복량이 더 작다. 폭 회복량이 작은 사이징 프레스에 의한 폭 압하효율이 우수함을 알 수 있다. 해석 후 슬래브의 폭 증가량에 있어, 폭 변형량이 증가하에 따라 폭 수축 발생량의 증가와 함께 폭 수축길어도 증가하며 선단부가 후단부보다 크다.

### 5. 결론

엷저 롤을 이용한 폭 압연 공정은 롤의 회전에 의해 슬래브의 엷지부를 성형하는 방법으로 폭 압하량에 제약을 받으며 롤과 소재간의 접촉길이가 짧아 폭 방향을 기준으로 양 엷지부에 국부적인 두께 변위를 유도하므로 폭 압연 효율을 저하시키는 문제점이 있다.

사이징 프레스에 의한 폭 압연 후 두께를 측정된 결과 엔빌각  $\theta_1 = 21$ ,  $\theta_2 = 20$  일 때 도그본 양이 가장 작게 측정되었고, 압하효율면에서도 가장 높은것으로 측정되었다.

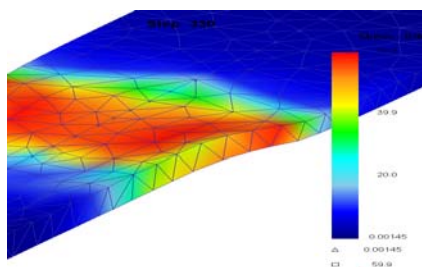
폭 압연 방법 중 사이징 프레스 폭 압연방법이 엷저 폭 압연 방법보다 후공정인 수평압연을 실시하였을 때 폭 회복량이 적으며, 폭 압하 효율이 우수하다.

### 후기

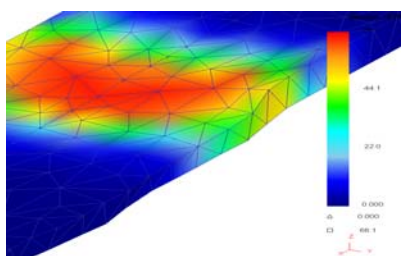
이 논문은 부산대학교의 POSCO 석좌교수연구 기금에 의해 지원 되었습니다.

### 참고문헌

- Shigeru SHIDA., "Empirical formula of flow stress of carbon steels-resistance to deformation of carbon steels at elevated temperature 2<sup>nd</sup> Report," J. JSTP, **10**, 103, 610~617, 1969.
- Myung, Sik, Chen., Joon, Jeong, Yi. and Young, Hoon, Moon., "Dynamic Edger control for the precise width control at the head and tail ends of hot strip," Trans. of materials processing, Part A, **23**, 7, 1196~1204, 1999.
- Jong, Yeob, Jung. and Yong, Taek, Im., "Improvement of rolling load prediction with consideration of spread in hot rolling," Proceedings of the KSME spring annual meeting, Part A, **24**, 11, 2836~2844, 2000.



(A) Stress-effective of edger mill



(B) Stress-effective of horizontal rolling

Fig. 3 Stress-Effective