

열간압연시 탄소강에 적합한 사이징프레스 엔빌형상 연구

Study of sizing press' Anvil shape for the carbon steels proper in hot rolling process

*허수진¹, 이상호¹, 박해두², 이종빈², *김병민³

*S. J. Heo¹, S. H. Lee¹, H. D. Park², J. B. Lee², *B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)³

¹ 부산대학교 정밀가공시스템공학과, ² 포항종합제철, ³ 부산대학교 기계공학부

Key words : Roughing mill, Rolling Sizing press, Anvil, Slab, Carbon steel

1. 서론

열간압연 공정에서 슬래브의 폭압연량 증대는 제강공정과 열간압연 공정의 동기화제어를 통한 생산성 향상에 있어서 매우 중요한 기술이다. 열간압연 공정에서 이루어지는 슬래브의 폭압연량증대는 연주 슬래브의 폭치수 종류를 획기적으로 감소시킬 뿐만 아니라 슬래브의 광폭화를 가능하게 해줌으로써 생산성을 증대시키기 때문이다. 제강공정과 열간압연공정의 동기화제어를 위해 종래에는 가역식 수직-수평 압연법(Vertical-horizontal rolling, Vertical rolling)이 이용되어 왔다. 그러나 수직압연법은 압하량이 증가되면 크롭 손실(Crop loss)이 증가될 뿐만 아니라 폭 치수 편차가 증가되기 때문에 폭 압연 효율을 증가시키는데 한계가 있었다. 사이징 프레스(Sizing press)를 이용한 폭압연 기술은 종래기술의 문제점을 획기적으로 개선시킴으로써 생산성 향상과 함께 열간압연판의 품질향상에도 기여해왔다. 이러한 사이징 프레스 기술의 획기적인 성과는 폭압연시 발생하는 슬래브의 변형률 제어를 효율적으로 제어함으로써 달성될 수 있으며, 슬래브의 변형률 제어의 핵심은 엔빌(Anvil) 금형의 형상에 있다. 본 논문에서는 탄소강 소재를 이용하여, 사이징 프레스로 폭압하시 탄소강에 함유된 탄소함유량에 따라 적합한 사이징 프레스의 엔빌형상을 구하기 위하여 열간 압연공정에 대한 열간압연 해석을 수행하였다.

2. 열간변형 저항

금속재료의 소성변형은 전위의 발생과 관계되는 것으로 외부에서 주어진 변형률 및 변형률 속도에 의해 전위가 발생되고 변형저항이라함은 이들 전위의 발생에 대한 저항으로 설명된다. 상온상태에서는 변형률의 증가에 따라 전위밀도가 높아져 전위의 발생이 어렵게 되는 가공경화 현상이 발생하나 고온에서는 변형률의 증가에 따라 전위밀도가 증가하게 되는 반면 변형중에도 전위밀도가 감소되는 동적복구 작용이 함께 일어나서 가공경화가 저온변형에 비해 그다지 크지 않다³ 따라서 열간변형 저항은 냉간상태의 변형저항과는 달리 온도의 의존성이 있어 대략 온도, 화학성분, 변형률 및 변형률 속도의 함수로 표현된다. 일반적으로 탄소함유량의 영향은 크지 않으나 변형률이 큰 경우는 탄소함유량이 증가함에 따라 고온강도가 증가하게 된다. 탄소강에 대한 변형저항 관계식은 Shida에 의해 제안된 실험식이 널리 사용되고 있으며 본 논문에서는 온도, 변형도, 변형률, 변형저항 및 탄소함유량의 함수로 표현되는 Shida의 실험식을 사용하였다.

$$\sigma = \sigma_g(C, T) f_w(\epsilon) f_r(\dot{\epsilon})$$

Shida의 공식은 Carbon content(C) : 0.07-1.2%, Temperature(T) : 700-1200℃, Strain(ε) : -0.7, Strain rate(ε̇) : ~100s⁻¹의 범위 안에서 적용 가능하다.

3. 열간압연 공정의 해석조건 및 방법

Table 1은 사이징 프레스를 이용한 폭압하 공정과 수평압연 공정의 해석조건을 나타내었다. 다수의 시뮬레이션 수행시 오차

를 줄이기 위하여 실험계획법을 적용하여 해석조건을 간이화 하였다. 해석시 사용된 소재는 저탄소, 중탄소, 고탄소강을 사용 하였으며, 슬래브의 초기온도는 1100℃로 균일하다고 가정하였다. 엔빌과 수평롤의 소재는 AISI H-13으로 초기온도 500℃로 가정하고, 폭압연 공정을 해석하기위해 사용한 유한요소코드는 DEFORM 3D를 사용하였다.

Table 1 The conditions of sizing press and Horizontal rolling using FEM

Simulation conditions	Value
Initial slab width(mm)	1000
Initial slab height(mm)	200
Roll diameter (Φ)	900
Roll length (mm)	1500
Initial temperature of slab (°C)	1100
Initial temperature of anvil (°C)	500
Initial temperature of roll (°C)	500
Anvil speed (mm/s)	380
Roll speed (rpm)	50
Material of slab	AISI1010, AISI 1020, AISI1030, AISI 1045, AISI1055
Material of Anvil	AISI-H13
Friction factor (m)	0.6

4. 슬래브의 폭압연 변형 거동

사이징 프레스 공정에 있어 특히 관심을 가지는 부분은 슬래브의 선단부와 단면 형상의 변화에 있다. 폭 압연 중금속 유동의 속도벡터 분포는 Fig 1과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 엔빌 입측에서의 속도벡터는 압연방향을 가리키고, 출측에서의 속도 벡터는 압연방향의 반대쪽을 가리키고 있다. 압연방향의 속도성분이 없는 중립점은 엔빌의 경사부와 평행부가 교차되는 코너에 놓이게 된다. 그리고, 엔빌 표면과 접촉되는 표면 직하의 속도벡터는 모두 압연방향을 가리키고 있어서 슬래브와 엔빌 사이에는 상대적인 슬립이 거의 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다.

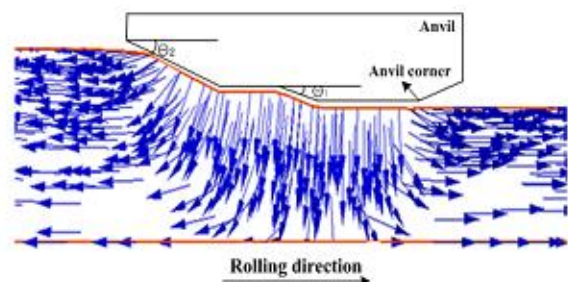


Fig. 1 Distribution of velocity vector during sizing press process

5. 결론

본 연구에서는 열간압연 공정에서 사이징 프레스에 의한 폭압하지 탄소 함유량에 따른 사이징 프레스 엔빌 형상 조건에 대하여 연구함으로써 탄소강 S10C ~ S55C에 적합한 엔빌 형상을 예측할 수 있었다. 탄소함유량이 증가함에 따라 응력은 증가하고, 변형률은 응력에 반비례함을 해석을 통해 알 수 있었다.

사이징 프레스에 의한 도그-본량과 수평압연 공정에 의한 크롬 발생량이 작은 엔빌 형상은 탄소 함유량이 증가함에 따라 달라지며, 본 연구에 사용된 소재별에 따른 엔빌의 형상은 유사하게 나타났다.

Fig 2은 사이징 프레스에 의해 얻어지는 도그-본 길이를 엔빌 각도에 따라 나타낸 것이다. Fig 2에서 나타낸 바와 같이 $\theta_1=21$ 을 기준으로 θ_2 의 엔빌 각도가 작을수록 장방향에 가까운 형상을 가지게 된다. 따라서 엔빌 각도가 증가되면, 폭단부 변형이 증가된다는 것을 알 수 있으며, 후공정인 수평압연을 실시 했을때 그에 따라 폭 압연효율이 감소함을 알 수 있다. Fig 3은 탄소강에 따라 도그본 길이를 그래프로 나타낸 것이다. AISI 1010은 $\theta_1=21$, $\theta_2=19$, AISI 1020은 $\theta_1=21$, $\theta_2=18$, AISI1030은 $\theta_1=21$, $\theta_2=16$, AISI1045는 $\theta_1=21$, $\theta_2=16$, AISI 1055는 $\theta_1=21$, $\theta_2=15$ 로 예측할 수 있었다. Fig 4는 하중을 탄소강에 따라 나타낸 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 탄소 함유량이 증가함에 따라 하중도 증가함을 알 수 있다. AISI 1010은 $\theta_1=21$, $\theta_2=16$, AISI 1020은 $\theta_1=21$, $\theta_2=17$, AISI 1030은 $\theta_1=21$, $\theta_2=17$, AISI 1045는 $\theta_1=21$, $\theta_2=17$, AISI 1055는 $\theta_1=21$, $\theta_2=17$ 로 나타났다. Fig5 그림은 수평압연시 발생하는 크롬량을 탄소강별로 나타낸 것이다. 소재 AISI 1010은 $\theta_1=21$, $\theta_2=19$, AISI 1020은 $\theta_1=21$, $\theta_2=18$, AISI 1030은 $\theta_1=21$, $\theta_2=18$, AISI 1045는 $\theta_1=21$, $\theta_2=17$, AISI 1055는 $\theta_1=21$, $\theta_2=16$ 의 범위에서 크롬길이가 감소함을 알 수 있었다.

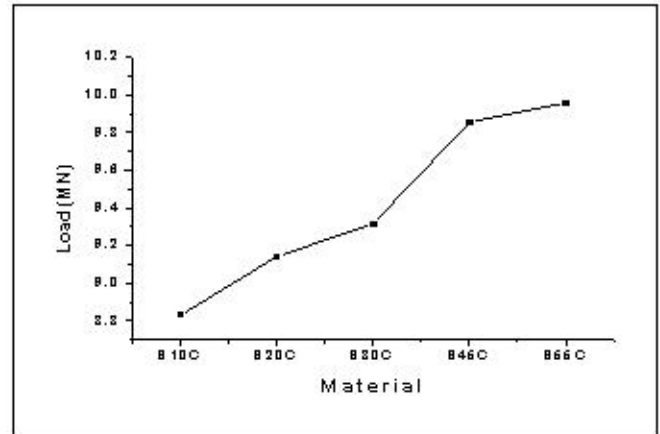


Fig 4 Relation between load and carbon steels

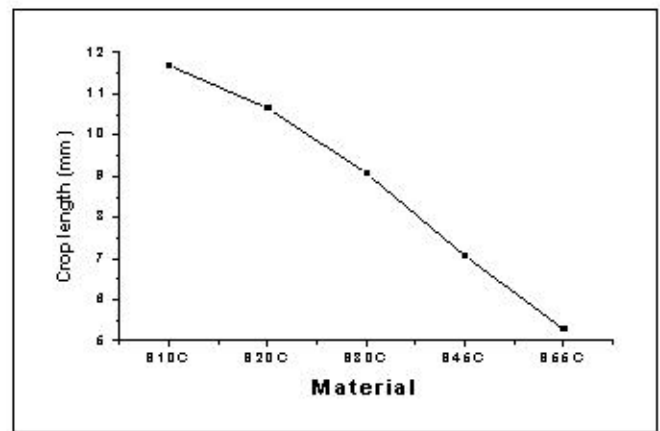


Fig 5 Relation between crop and carbon steels

본 연구에서, 사이징 프레스에 의한 도그-본량은 동일한 엔빌 형상에 대하여 탄소강의 탄소 함유량이 증가함에 따라 감소함을 알 수 있고, 후공정인 수평압연에 의한 후단부의 크롬 발생량은 도그-본 발생량에 비례하여 발생함으로써 탄소 함유량이 증가함에 따라 감소하였다. 하중은 탄소함유량이 증가함에 따라 비례하게 증가함을 알 수 있었다. 사이징 프레스 엔빌 형상은 탄소함유량에 따라 θ_1 이 θ_2 에 비해 높고, θ_2 가 θ_1 에 비해 낮아야 함을 알 수 있었다.

후기

이 논문은 부산대학교의 POSCO 석좌교수 연구기금에 의해 지원되었다.

참고문헌

1. Shigeru SHIDA, "Empirical formula of flow stress of carbon steels-resistance to deformation of carbon steels at elevated temperature 2nd Report," J. JSTP, 10, 103, 610-617, 1969.
2. Jong Yeob, J. and Yong, Taek, I., "Improvement of rolling load prediction with consideration of spread in hot rolling." Proceedings of the KSME spring annual meeting, A, 24, 11, 2836-2844, 2000.
3. L. Esteban, M.R. Elizalde. and I. Ocana, "Mechanical characterization and finite element modelling of lateral spread in rolling of low carbon steels." Journal of materials processing technology, 183, 390-398, 2007.

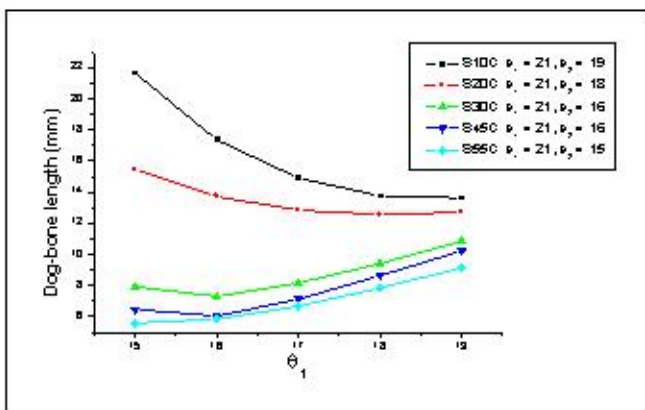


Fig. 2 Relation between dog-bone profile and arvil angle

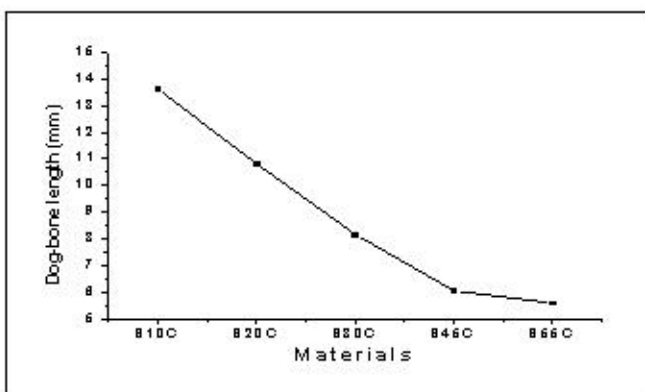


Fig. 3 Relation between dog-bone and carbon steels