

## 열연 강판의 정정공정에 따른 재질변화 예측기술

이중형<sup>1</sup>· 김흥준<sup>2</sup>· 구진모<sup>3</sup>· 이재곤\*

### Mechanical Property Variations of the Strip in the Skin Pass Process after Hot Rolling

J. H. Lee, H. J. Kim, J. M. Kim, J. K. Lee

#### Abstract

The Mechanical properties of steel in hot strip mill were associated with the various rolling conditions such as alloy composition, plastic deformation, cooling history and so on. After coiling process of strip which is the end of hot rolling process, the coil can be the final product or can be applied by another process, that is, cold rolling or skin pass rolling with the additional changes of mechanical properties. Skin pass rolling process with the small reduction affects the mechanical properties of the strip. Because many kinds of hot strips are delivered to the customers after the skin pass process, it is important for us to know the skin pass effects for the mechanical properties of the hot rolling strip. In this study, the variations of mechanical properties of the strip after the skin pass rolling will be discussed. Then, the mathematical model will be proposed for the prediction of mechanical properties of the final products with the comparison between measured and calculated values.

**Key Words** : Skin pass rolling, mechanical property(TS,YS,EL), standard deviation

#### 1. 서론

열연강판의 인장강도(TS), 항복강도(YS), 연신율(EL)과 같은 기계적 성질은 제품의 품질을 결정하는 중요한 요소이다. 가열로에서 권취까지, 수요가가 원하는 기계적 성질을 얻기 위하여 많은 연구자가 최적의 가열, 압연 그리고 냉각조건을 찾고자 노력하였고, 그 결과 열역학, 재결정, 상변태, 냉각모델이 연계된 기계적 성질 예측모델이 일부 현장에 적용되어 재질예측을 통해 해당강종의 시편채취를 생략하고 전장(길이 방향)에 걸쳐 재질의 예측치를 제공함으로써 품질향상과 고객의 요구에 부응해왔다[1~7]. 하지만, 많은 열연강판은 최종의 생산품이 아니며, 표면품질 및 형상개선을 위한 정정압연(skin pass rolling) 혹은 복잡한 냉연(cold rolling)의 공정을 거쳐 소비자에게 전달된다. 이때 열연강판은 후속공정의 종류에 따라 기계적 성질이 변화되므로, 이의 예측을 위해서는 열연뿐만 아니라 후속공정에 따른 기계적 성질 예측모델이 따로 존재해야 한다.

지금까지, 열연강판의 기계적 성질 예측을 위해 많은 연구가 행해 졌으나 상대적으로 후속공정(냉연, 정정)의 재질예측에 대한 연구는 미미한 편이며[8~9], 기초압연이론 또는 유한요소해석에 기초한 변형, 형상 등의 기계적 모델링에 대한 연구가 대부분이었다. 본 연구에서는 열연의 재질예측 기술을 바탕으로 정정압연후 열연강판의 재질 변화를 살펴보고, 정정 재질예측모델을 개발함으로 제품의 품질향상과 수요가의 기대에 부응하고자 한다.

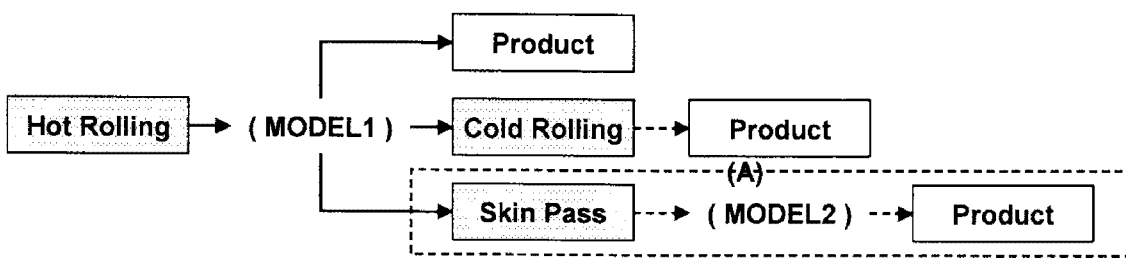
1,2,3 : 포스코 기술연구소

\*교신저자 : 포스코 기술연구소

## 2. 본론

### 2.1 정정 재질예측

Fig.1은 열연제품의 작업 흐름도와 재질예측의 수행관계를 간략하게 나타낸 것이다. 열연강관은 권취 후 수요가에게 인도되는 최종제품이 되거나 혹은 정정압연 혹은 냉간압연을 거쳐 최종제품이 되기도 한다. 열연 코일은 권취후 현장 열연 실적치로부터 재질예측을 1차적으로 수행하게 되고(MODEL1) 일부 정정압연공정으로 이동한 판에 대해서는 정정 작업후 실적정보를 이용하여 2차 재질예측을 수행하게 된다(MODEL2). 냉간공정의 재질예측은 본 연구대상에서 제외하고자 한다. 그러므로 최종제품이 어떠한 공정을 겪었는지의 여부에 따라 1차 재질예측(MODEL1)이 단독 적용되거나, 상황에 따라서 1차 재질예측의 결과를 초기치로 하는 2차 재질예측(MODEL2)도 수행되어야 한다.



( MODEL1 : The Prediction model of mechanical properties after hot strip rolling )  
 ( MODEL2 : The Prediction model of mechanical properties after skin pass rolling )

Fig. 1 The schematic diagram for the process of mechanical properties prediction

Table.1은 권취 후 정정압연을 통과한 코일(skin pass)과 통과하지 않은 코일(non-skin pass)에 대해 1차 재질예측(MODEL)만 수행했을 때의 인장강도(TS), 항복강도(YS), 연신율(EL)의 측정치와 예측치의 차이에 대한 표준편차를 나타낸 것이다. 정정압연의 압하율이 3%이하로 작아 재질에 미치는 영향이 작아 보이지만 항복강도(YS)의 경우 측정치대비 예측치의 정도가 정정압연 통과 후에 현저히 낮아짐을 알 수 있다. 항복강도의 정밀한 예측을 위해서는 정정압연후 별도의 재질예측모델(MODEL2)이 필요함을 알 수 있다.

Table 1 The standard deviation of mechanical properties (date:'07.03.01~'07.07.31)

Process	Coil number	Standard deviation (Measure - Prediction)		
		$\sigma(\Delta TS)$ [MPa] Tensile strength	$\sigma(\Delta YS)$ [MPa] (Yield strength)	$\sigma(\Delta EL)$ [%] (Elongation)
Non-skin pass	1202	12.4	16.4	2.36
Skin pass	2150	12.6	24.5	2.80
Total	3352	12.5	21.9	2.65

### 2.2 수식모델

정정 재질예측 모델은 열연 1차 재질예측(MODEL1)의 결과( $TS_0$ ,  $YS_0$ ,  $EL_0$ )를 바탕으로 구성되었다(식(1)). 1차 재질예측 모델에서 계산된 값의 미소변화분( $f(\epsilon)$ )을 예측하여 정정 재질예측 모델을 구성하였으며, 재질의 미소변화분은 정정압연에서의 변형율( $\epsilon$ )만의 함수로 가정하였다. 이는 정정압연중 재질의 변화는 금속학적인 상변화에 기인하지 않음을 가정한 것이다.

$$TS = TS_0 + f_1(\epsilon), \quad YS = YS_0 + f_2(\epsilon), \quad EL = EL_0 + f_3(\epsilon) \quad (1)$$

정정압연에서의 변형율은 압하율로 표현 가능하지만, 본 연구에서는 경압하(1%이하의 압하)의 실적치를 신뢰하기가 어려워 식(2)와 같은 형태의 변형율 등가 모델식을 만들었다. 식(2)는 1차 재질예측 결과인 항복강도( $TS_0$ ), 인장강도( $YS_0$ ) 그리고 두께(t), 폭(W) 효과를 고려한 무차원식(식(2))으로 구성되었다.

$$f_{1,2,3}(\epsilon) \approx g_{1,2,3}(TS_0/C_1, YS_0/C_2, t/C_3, W/C_4) \quad (2)$$

$C_1, C_2, C_3, C_4$ : 무차원 변환 상수

식(2)는 다양한 강종, 공정조건에서의 재질 측정치와 1차 재질예측 결과를 활용했으며, 다차원 최소자승법을 이용하여 구성하였다.

### 3. 결론

인장강도, 항복강도 그리고 연신율에 대해서 구성된 식(2)을 이용하여 2차 재질예측 모델(MODEL2)를 구성하였고 이를 통하여 정정압연을 통과한 코일254개에 대해 1차 재질예측만을 수행했을 때와 2차 정정재질예측을 추가로 수행했을 때의 결과를 실측치와 비교하였다(Fig.2~4). Fig.2은 인장강도의 예측정도를 나타내었으며 1차 재질예측 결과에 비해서 예측의 편차가 3MPa정도 줄었음을 알 수 있다. Fig.3는 항복강도의 예측정도를 나타낸 것이며 2차 정정재질예측 적용시 약 6MPa정도 편차가 줄었다. 정정재질예측을 통해 항복강도의 예측정도가 크게 상승할 수 있음을 보여주는 결과이다. Fig.4는 연신율의 재질예측 정도를 나타낸 것이며 약 1%정도의 정도상승이 있었음을 보여준다.

본 연구를 통해 열간압연후 정정압연에서의 재질예측모델을 구성하였으며, 실측대비 예측정도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 하지만, 정정재질예측은 기본적으로 1차 재질예측의 정도에 영향을 받으므로 1차 재질예측(MODEL1)의 정도와 정정압연에서의 실적치에 대한 신뢰도를 계속적으로 높여 가야만 한다.

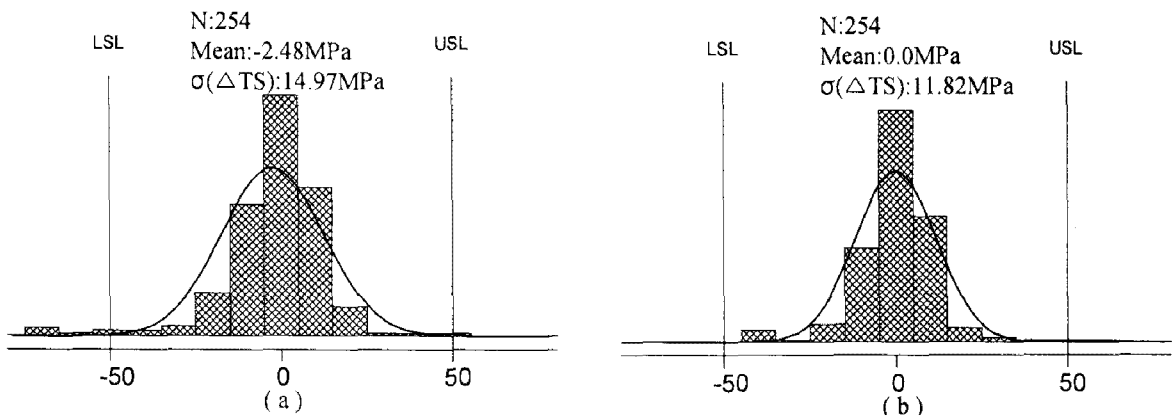


Fig. 2 The distribution of  $\Delta TS$  (a)before applying MODEL2, (b)after applying MODEL2

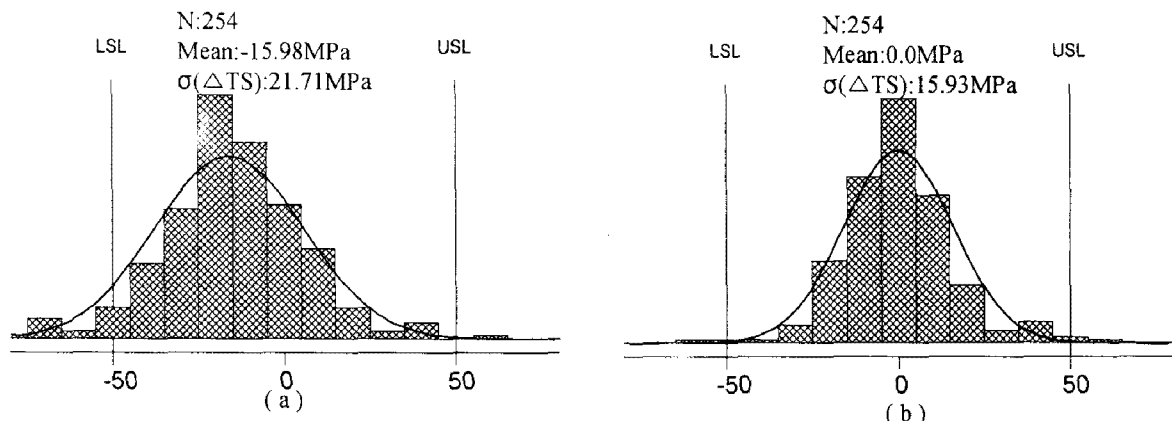


Fig. 3 The distribution of  $\Delta YS$  (a)before applying MODEL2, (b)after applying MODEL2

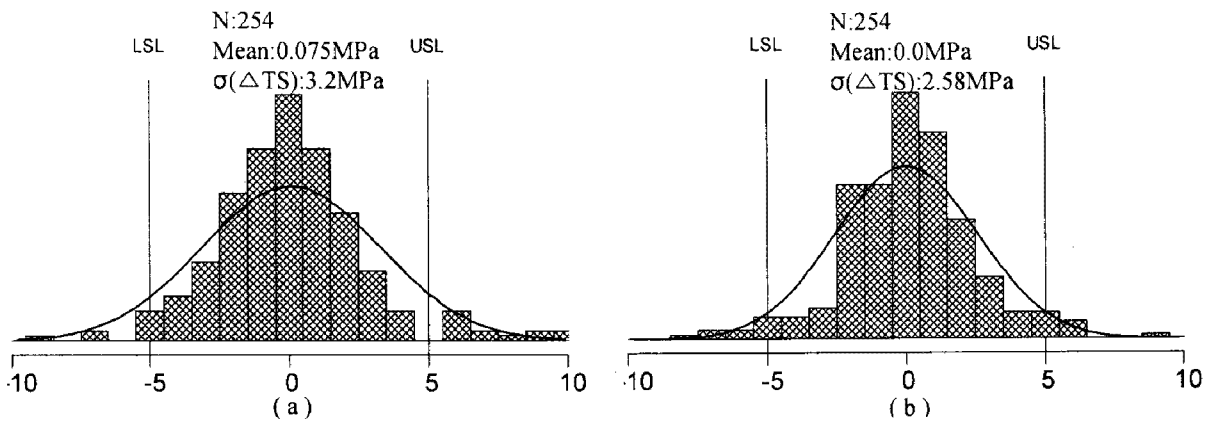


Fig. 4 The distribution of  $\Delta EL$  (a) before applying MODEL2, (b) after applying MODEL2

### 참 고 문 헌

- [1] O.Kwon, K.J.Lee, K.B.Kang, J.K.Lee, J.H.Ryu and R.W.Chang: "Proc. Of Inter. Conf. Recrystallization in Metallic Master.", Ed.T.Chandra, TMS-AIME, pp.843(1990)
- [2] O.Kwon: ISIJ Int., vol.32, pp.350(1992)
- [3] O.Kwon et al.: HSLA Steels: "Processing, Properties and Applications", Ed.G.Tither and Z.Shouhua, pp.141(1992)
- [4] K.J.Lee, J.K.Lee, K.B.Kang and O.Kwon: ISIJ Int. vol.32, no.3, pp.326(1992)
- [5] O.Kwon, K.J.Lee, J.K.Lee and K.B.Kang: "Microalloying '95", Ed.M.Korchynsky, ISS-AIME, Pittsburgh, pp.251(1995)
- [6] J.K.Lee and O.Kwon: "Proc. of Materials Solution '97 on Accel. Cooling/Direct Quenching of Steels", Ed.R.Asfahani, ASM, Indianapolis pp.175(1997)
- [7] J.H.Lee, H.J.Kim, Y.R.IM, J.K.Lee: "KSTP", pp.111~113(2007)
- [8] E.P.PARGAMONOV, A.M.NESTERENKO, V.L.MAZUR: "STEEL IN THE USSR", Vol.17, issue:6, pp.268 (1987)
- [9] B.Y.Hur, S H.Cho, Y.S.Um, S.Y.Kim, "Materials Science Forum Vols.486-487, pp.261-264(May 2005).