

## 페라이트계 스테인레스강의 Sticking 현상에 미치는 열간압연조건의 영향

진 원\* · 최점용\*

(1996년 9월 10일 접수)

### Effect of Rolling Conditions on the Sticking Phenomena of Ferritic Stainless Steel

Won Jin and Joemyong Choi

#### Abstract

Sticking behavior under the hot rolling conditions for ferritic stainless steels have been studied. Sticking, which is a phenomenon that the naked metal exposed to the surface by scale breakaway during hot rolling sticks to the roll surface, was affected by both high temperature tensile strength and oxidation resistance of the steels. A steel having higher tensile strength and lower oxidation resistance exhibits better resistance to the sticking. It is due to that higher tensile strength increases localized deformation resistance and lower oxidation resistance creates lower friction between steel and roll by forming thicker scale as a lubricant during hot rolling. So, the sticking tends to occur more severely in the order of 430J1L, 436L, 430 and 409L. The most sensitive temperature to the sticking was found to be 900°C for all grade of steels. It was also found that the high speed steel(HSS) roll compared to the Hi-Cr roll was more beneficial to prevent sticking. Because higher surface hardness of HSS roll compared to that of Hi-Cr roll provides less nucleation sites for sticking such as scratch on the roll surface.

**Key Words** : Sticking, Ferritic Stainless Steel, Hot Rolling

#### 1. 서 론

페라이트계 스테인레스강을 생산하는 열연공장의 사상 압연 공정에서는 sticking이라는 현상이 발생되어 압연재는 물론 열간압연재의 표면에 심각한 결함을 발생시키고 있다.<sup>(1)</sup> sticking현상은 열간압연시 roll과 압연재의 접촉 호내에서 압연재표면의 스케일층이 모재의 소성변형량을

따라가지 못하여 과단될 때 나타나는 모재의 naked metal이 roll재 표면에 고온용착되어 발생하는 현상<sup>(2,3)</sup>으로서 roll소재 및 압연재의 종류 그리고 압연조건등에 매우 민감한 발생경향을 나타내는 것<sup>(2,4)</sup>으로 알려져 있다. 현재까지는 상온에서 성형 및 인발시에 발생하는 sticking에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 열간압연공정에서 발생하는 sticking에 관한 연구는 충분히 이루어지

\* POSCO 기술연구소 스테인레스연구팀

지 않은 실정이어서 압연강종 및 열간압연 roll재질에 따른 sticking 발생거동 변화 및 열간압연조건에 따른 발생 거동등의 폭넓고 심도 있는 연구진행이 요구되고 있다.

한편 sticking현상은 300계 스테인레스강에 비해 400계 스테인레스강에서 발생하기 쉬운 것으로 알려져 있고,<sup>(4)</sup> 400계 스테인레스강중에서도 그 발생정도의 차이가 큰 것으로 보아 스테인레스압연재의 고온물성 및 고온 산화거동에 매우 밀접하게 연관되어 있음을 알 수 있다. 또한 이러한 sticking현상은 동일 강종을 동일 압연조건에서 열간압연하여도 roll재질변화에 따라서 발생정도의 차이를 나타내고 있음은 물론이고, 압연조건변화에도 발생정도의 변화가 민감한 것으로 보아, sticking현상은 어느 특정인자에 의존하는 것이 아니라 다양한 조건에 복합적으로 의존하는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 sticking에 미치는 열간압연조건의 영향을 파악하기 위해 sticking simulation을 통하여 roll소재는 HSS 및 Hi-Cr roll을, 압연재는 430J1L, 436L, 430, 409L 및 비교재료 304의 5강종을 선택하였으며, 압연조건은 압연온도 및 roll회전수를 변수로 다양한 조건에서의 sticking 발생거동을 분석하였다. 또한 각 강종의 고온인장강도 및 고온산화량을 측정하여 강종간 sticking 발생정도 차이의 원인을 규명하였다.

## 2. 실험방법

sticking에 미치는 roll재질 및 스테인레스 강종에 따른 압연조건의 영향을 조사하기 위해 고온마모시험기를 이용하여 sticking simulation을 하였다.

고온마모시험기의 구성은 시험본체 및 압연재를 가열하는 고주파유도장치와 roll과 압연재사이에 압력을 가하는 가압장치, roll 및 압연재의 회전수, 온도 그리고 slip

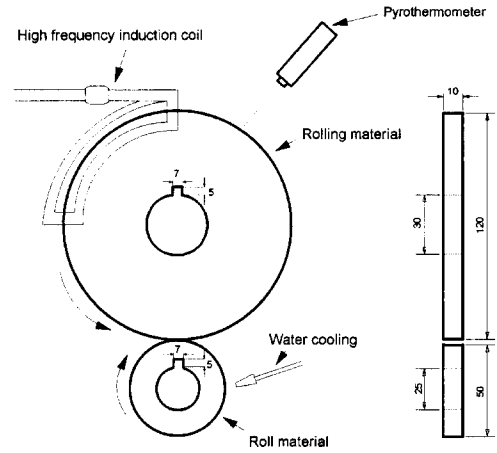


Fig. 1 Schematic illustration of the sticking simulator and sticking specimen

ratio를 제어하는 control box 및 이를 data화하는 computer로 이루어져 있다. Fig. 1은 고온마모시험기의 시험본체 부분을 나타내는 것으로서 disc형태의 roll재 및 압연재를 사용하여 이들이 서로 맞물려 회전하도록 설계가 되어 있으며, roll재는 50 mm $\phi$  압연재는 120 mm $\phi$ 의 disc를 사용하고, 구동시에는 두 disc의 원주속도의 차를 주어 slip ratio를 변화시킬 수 있다. 압연재는 회전하는 동안 고주파유도 coil에 의해 가열되며 목적온도에 도달시 roll재와 소정의 압연하중으로 접촉하여 회전하게 된다. 한편 roll재에는 회전시 냉각수가 분사되도록 하여 현장 열간압연조건을 모사하도록 설계되어 있다.

본 장치를 이용하여 sticking simulation시 시험조건을 Table 1에 나타내었다. 한 인자를 변화시 나머지 고정인자는, 시험온도 900 $^{\circ}$ C, 압연하중 400 MPa, slip ratio(backward) 34%, roll 표면거칠기, Ra 1.1  $\mu$ m(현

Table 1 Test variables for sticking simulation

	Variables	Test condition
1	roll material	HSS, Hi-Cr
2	mating material	430J1L, 436L, 430, 409L, 304
3	contact stress	400 MPa
4	simulation temperature	700 - 1000 $^{\circ}$ C
5	number of rotation	5, 7, 10, 20, 40, 60, 80, 100 rev.
6	backward slip ratio	34%
7	rolling speed	0.3 m/sec
8	roughness of roll surface	Ra : 1.0 - 2.0 $\mu$ m

장 roll 연마후 표면조건) 그리고 포화회전수는 40회로 설정하였다. 이러한 실험을 행한 후, roll disk의 무게에서 초기 roll무게를 감한 무게증량을 sticking발생량으로 평가하였으며, 다양한 조건에서의 시험후 roll의 표면과 단면 그리고 압연재의 표면을 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 또한 압연재의 고온물성을 알아보기 위해 고온인장시험 및 고온산화시험을 행하여 고온인장강도값 및 고온산화량을 측정하였다. 고온인장시험은 직경 10 mm $\phi$ , 평행부길이가 30 mm 그리고 평행부직경 6 mm $\phi$ 의 봉상시편 및 Gleeble 1500 인장시험기를 이용하여 목표온도까지 10 $^{\circ}$ C/min로 가열하고 5분 유지후 true strain rate, 0.3/min으로 시험하였다. 또한 온도에 따른 산화량의 변화는 본 sticking simulator의 고주파유도 coil을 이용하여 급가열에 의해 목적온도 도달시간 80초를 기준으로 설정하였을 때 압연재 표면에 생성되는 산화 scale의 두께를 측정하여 고온산화량으로 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 roll회전수의 영향

Roll회전수에 따른 강종별 sticking 발생경향을 Fig.2와 Fig. 3에 나타내었다. 먼저 Fig.2는 Hi-Cr roll에서 STS 304, 430, 430J1L, 436L 및 409L 강종의 sticking 발생경향을 roll재의 회전수에 따른 sticking발생량으로 나타내었다. 304, 430, 430J1L, 436L의 4강종의 경우 초기 20 회전까지 sticking발생량이 급격히 증가하고 있고 20회에서 40회까지 완만히 증가하다가 이후부터는 대체로 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 409L은 초기

회전수부터 완만한 증가경향을 나타내고 있다. 여기서 20회전수에서 430J1L이 가장 큰 sticking발생량을 나타내고, 436L, 430, 304의 순으로 적게 나타났다. Fig.3은 HSS roll의 경우로서 Hi-Cr roll의 경우와 동일한 경향을 나타내었다. 이러한 상기 두 결과로부터 sticking simulation시에 sticking발생량의 포화회전수를 40회로 추정할 수 있어 이 회전수를 압연온도, 하중 및 slip율을 변화시키는 sticking simulation에서 회전수의 고정인자로 설정하였다. Roll회전수에 따른 sticking발생량의 변화가 304, 430, 430J1L, 436L의 4강종의 경우에서 초기 20회전까지 급격히 증가하고 40회에서 포화경향을 나타내는 이유는, Kato등<sup>(3)</sup>이 제시한 바와같이 sticking현상은 마모처럼 서서히 진행되는 것이 아니라 발생조건이 만족되면 즉시 생성된다는 이전 보고와 잘 일치하는 결과로서, 초기 20회까지는 roll 표면에 sticking핵의 발생과 성장이 이루어지는 단계이며, 20회에서 40회까지는 sticking핵의 발생 및 성장과정과 연속압연에 의한 압연재와의 마찰로 roll 표면 sticking입자의 탈락과정이 병행되는 단계로서 무게증량의 변화가 거의 없는 포화단계를 나타낸다고 판단된다.

한편, 동일 압연재 및 시험조건에 대해 HSS와 Hi-Cr roll의 sticking발생량 차이를 Fig. 4에 나타내었다. 윗 그림부터 436L, 430J1L, 430강종순으로 HSS와 Hi-Cr roll의 sticking발생경향을 비교한 것으로서 세강종 모두에서 roll회전수에 따른 HSS와 Hi-Cr roll의 sticking발생경향이 거의 일치하고 있음을 알 수 있으며, HSS roll의 sticking발생량이 Hi-Cr roll의 값보다 큰 것을 알 수 있다. 이 그림에서는 매 20회마다 sticking발생량을 측정

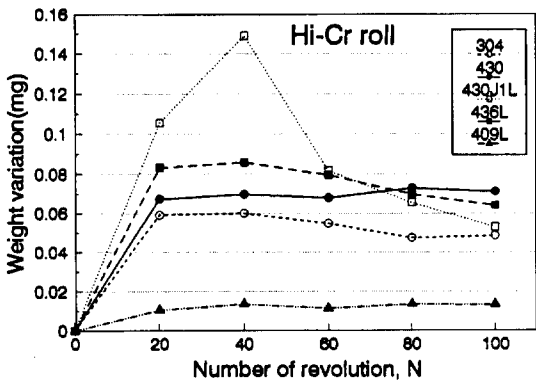


Fig. 2 Weight variation of Hi-Cr roll as a function of revolution number

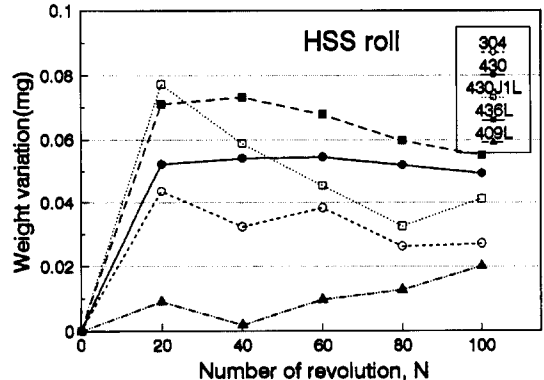


Fig. 3 Weight variation of HSS roll as a function of revolution number

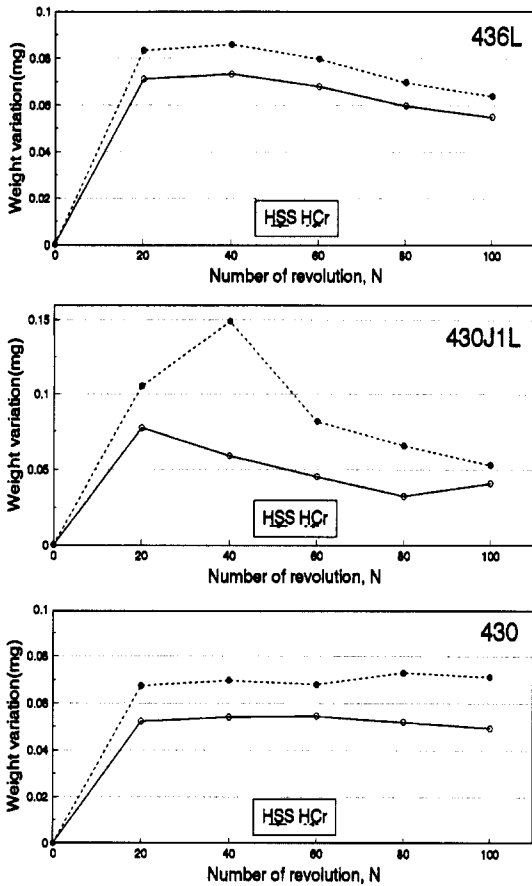


Fig. 4 Weight variation of HSS and Hi-Cr roll as a function of revolution number

하였으나 회전수를 더욱 세분화하여 측정한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 초기 10회까지는 HSS 경우가 Hi-Cr roll에 비해 오히려 sticking발생량이 높으나 약 10회 정도부터는 Hi-Cr roll의 sticking발생량이 커져 역전되는

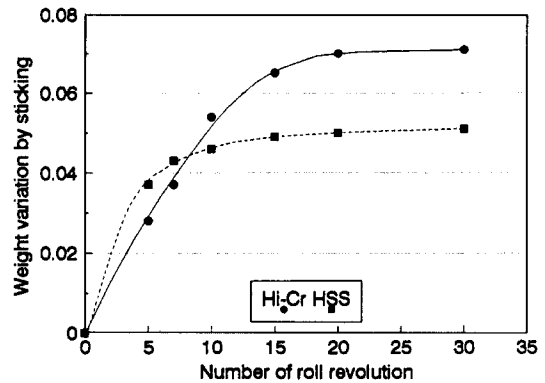


Fig. 5 Comparison of the weight variation by sticking in HSS and Hi-Cr roll

현상을 나타내고 있다. 또한 Fig. 6은 sticking simulation시 초기 roll회전수 7회에서 HSS 및 Hi-Cr roll표면 sticking입자의 생성형태를 나타내는 주사전자현미경사진으로서, Hi-Cr roll경우 크기가 작은 sticking입자가 많은 부위에 부착되어 있어 단위면적당 sticking의 핵생성처가 많음을 알 수 있으며, 이에반해 HSS roll경우는 Hi-Cr roll에 비해 크기가 큰 sticking입자가 동일면적의 몇 부위에만 부착되어 있어 상대적으로 sticking의 핵생성처가 적다는 사실과 아울러 HSS roll은 sticking의 발생경향이 크고, Hi-Cr roll은 sticking의 성장경향이 크다는 것을 알 수 있다. 이렇게 초기회전수에서 HSS 경우가 Hi-Cr roll에 비해 sticking발생량이 많은 경향을 나타내는 것은, HSS roll의 경우 Hi-Cr roll에 비해 sticking 핵생성처가 적어 몇개의 핵을 중심으로 sticking 입자가 회전수 초기에 주변핵에 의한 구속없이 급격히 성장하게 되고 sticking 입자가 성장해 일정두께 및 크기에 이르면 압연시의 마찰에 의해 탈락되는 과정이 용이하여 성장과 탈

Table 2 Comparison of HSS and Hi-Cr roll in microstructure and mechanical properties<sup>(4)</sup>

Property	HSS roll	Hi-Cr roll
Microstructure	Carbide(MC + M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> + M <sub>6</sub> C) + Martensite	Carbide(M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> ) + Martensite
Total Hardness(Hv)	702	558
Hardness of matrix(Hv)	650	450
Tensile strength(Kg/mm <sup>2</sup> )	98.4	86.7
Resistance of heat-cycled fatigue	excellent	fair
Resistance of surface roughness	excellent	fair

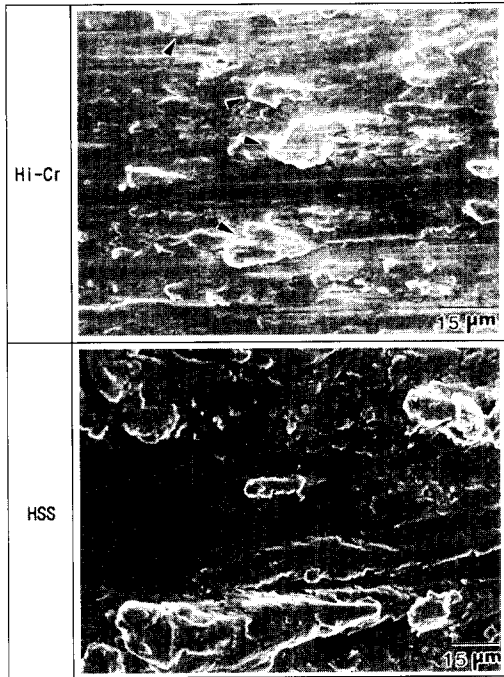


Fig. 6 SEM images of the surface of HSS and HI-Cr roll stuck with 430JIL debris (number of revolution : 7)

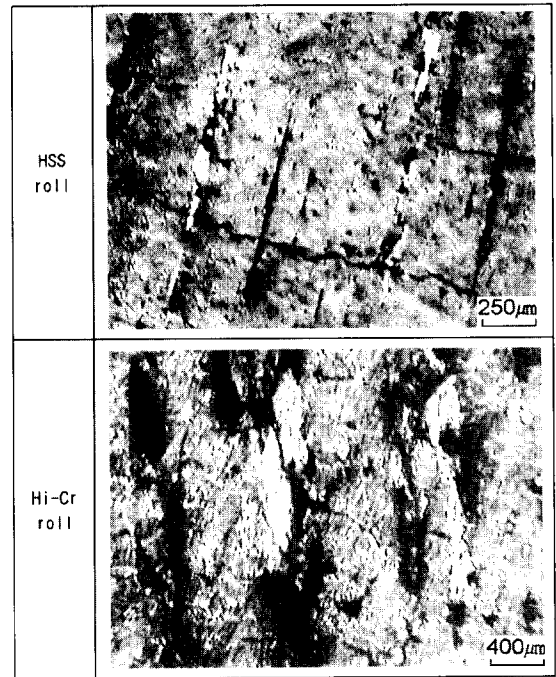


Fig. 7 Optical microscopes of surface of the applied HSS and Hi-Cr roll

락의 반복과정을 겪는 포화상태에 이르면 전체적인 sticking발생량이 크지 않게 된다고 판단되지만, Hi-Cr roll의 경우는 HSS에 비해 sticking핵생성치의 분포밀도가 높아 sticking핵이 서로 경쟁적으로 성장하는 과정에서 초기 회전수부터 일정 크기에 도달하는 포화상태까지 sticking핵이 서서히 성장하여 포화상태에서 전체적인 sticking발생량이 크게 나타나는 것으로 사료된다.

한편 HSS roll의 경우 Hi-Cr roll에 비해 sticking의 핵생성치가 적은 이유를 알아보기 위해 roll의 미세조직 및 기계적성질 그리고 물리적특성의 상호비교한 결과<sup>(5)</sup>를 Table 2에 나타내었다. 먼저 HSS roll의 bulk 경도값이 Hi-Cr roll의 값보다 상당히 높고 모재인 tempered martensite의 경도값 또한 높음을 알 수 있으며, 이 때문에 HSS roll의 내거침성이 더욱 우수함을 알 수 있다. 여기서 sticking의 발생경향이 roll표면 모재의 분율에 매우 밀접하게 연관되고 roll표면의 거칠기가 커질수록 sticking발생량이 커진다는 이전보고<sup>(6)</sup>로 미루어 볼 때, sticking입자의 생성장소가 roll표면의 탄화물 등의 특정 장소가 아닌 모재의 scratch부분일 가능성이 높다. 이는 400계 스테인레스강을 열간압연후의 roll표면 사진

(Fig. 7)으로 부터 sticking입자의 발생위치가 roll표면의 scratch이라는 사실을 확인할 수 있는 바, sticking의 발생은 roll표면특성에 매우 의존하는 것으로 보인다. 따라서 sticking simulation초기에 roll표면의 모재부분에 생성되는 압연 scratch는 모재의 경도값이 낮고 내거침성이 큰 Hi-Cr roll이 HSS에 비해 더욱 많이 생성될 수 있고 이것이 sticking핵의 발생장소로 작용하기 때문에 Hi-Cr roll에는 HSS에 비해 더 많은 sticking핵생성치가 존재하게 된다고 판단된다.

### 3.2 압연온도의 영향

Fig. 8은 Hi-Cr roll에서 STS 304, 430, 430J1L, 436L 및 409L강종의 온도변화에 따른 sticking발생량의 변화를 나타낸 것으로서 5강종 모두 700~900℃까지는 sticking발생량이 증가하다가 900℃부터 서서히 감소하거나 변화가 없는 경향을 나타낸다. 또한 Fig. 9는 HSS roll을 사용시 온도변화에 따른 sticking발생량의 변화를 나타내었는데 Hi-Cr roll에서의 결과와 매우 유사한 경향을 나타내고 있다. 열간압연시 roll과 압연재의 접촉부위에서 압연재표면의 국부적인 소성변형량이 한계치를 넘게

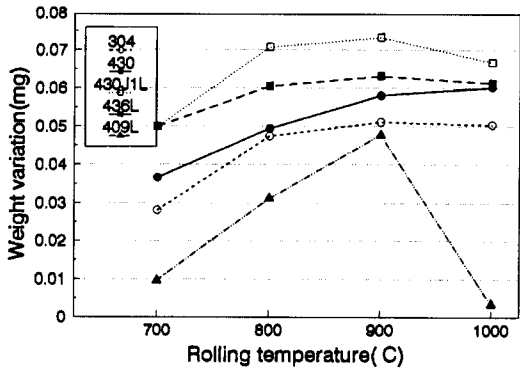


Fig. 8 Weight variation of Hi-Cr roll as a function of rolling temperature

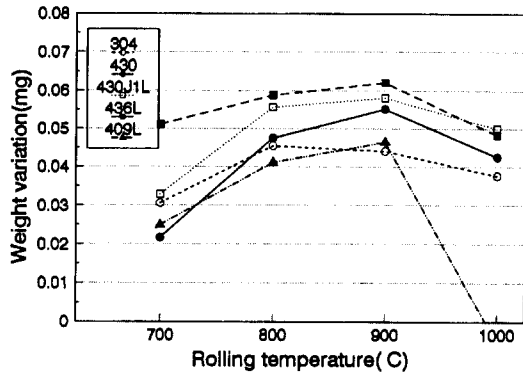


Fig. 9 Weight variation of HSS roll as a function of rolling temperature

되면 표층부에 slip line을 형성하게 되고 아울러 표층부에 수평 crack을 형성하여 roll재와의 고온응착에 의해 이 부분이 탈락된다는 sticking발생기구<sup>(7)</sup>와 고온에서의 강도차이가 sticking발생거동에 매우 큰 영향을 줄 수 있다는 이전보고<sup>(6)</sup>로부터 온도변화에 따른 sticking발생량 변화는 압연재의 고온강도에 매우 의존하고 있으며, 아울러 접촉호내에서의 윤활작용이 sticking발생량을 감소시킨다는 보고<sup>(3,8)</sup>로부터 압연재표면의 산화거동 또한 큰 영향을 줄 것으로 사료된다.

여기서 강종에 따른 고온특성을 알아보기 위해 HSS roll에 있어서 304, 430, 430J1L 강종의 온도변화에 따른 sticking발생량 변화그래프(Fig. 9)와 상기 세 강종의 인장강도 및 산화량의 변화를 조사하여 Fig. 10에 나타내었다. 시험온도가 증가함에 따라 고온인장강도는 급격히

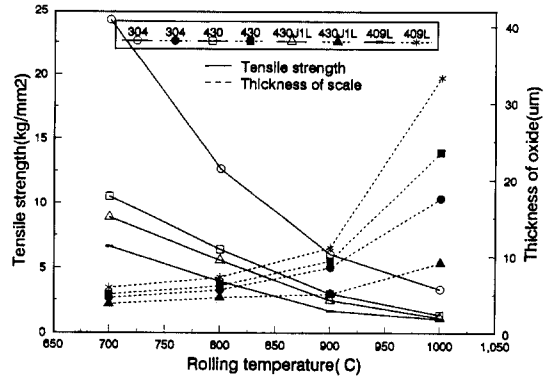


Fig. 10 Tensile strength and thickness of scale in 304, 430, 430J1L and 409L stainless steels as a function of temperature

감소하고 있으며, 이와는 반대로 산화량은 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 강종별로는 어느 온도에서나 304가 430, 430J1L 및 409L에 비해 높은 고온강도를 유지하고 있으며, 고온에서의 산화층두께는 각 온도에서 409L이 가장 큰 산화량을 보이고 있고 430, 304 및 430J1L 순의 산화량이 적은 경향을 나타내고 있다. 이러한 결과로부터 900℃이전에는 압연재표면의 산화 scale량은 적지만 압연재의 고온인장강도가 일정 한계이상 유지되고 있기 때문에 압연시 압연재표면의 국부 소성변형량이 작아 지므로 roll표면에 응착되는 압연재의 양이 작게 되어 결과적으로 sticking발생량이 작은 값을 나타내지만, 900℃ 이상에서 고온강도가 급격히 감소함에도 불구하고 sticking발생량이 감소하는 이유는 압연재표면의 국부 소성변형량은 크지만 표면의 산화 scale량이 급격히 증가하여 압연시 이 산화층이 윤활효과를 나타내기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 본 sticking simulation 경우 900℃이하의 온도에서는 압연재의 고온 인장강도가 지배하는 영역이며, 900℃이상의 온도에서는 압연재의 고온산화거동이 지배하는 영역이라고 판단할 수 있다.

실기압연조건에 근접한 900℃이상에서 강종간에 sticking발생량의 차이는 이 온도영역에서 강종의 고온인장강도와 산화거동으로 설명될 수 있다. 먼저 430J1L 경우 이 온도영역에서 3강종중 가장 낮은 고온인장강도 및 고온산화량 값을 나타내어 sticking발생확율이 가장 높기 때문에 이에 따른 sticking발생량이 4 강종중 가장 높은 것으로 판단된다. 한편 304의 경우는 상기 두 인자중 고온인장강도값이 가장 높고, 409L 경우에는 304와는 반대

로 가장 높은 고온산화량 값을 나타내어 sticking 발생량이 낮은 값을 나타내고 있다고 판단된다. 이처럼 sticking 발생량이 강종의 온도변화에 따른 고온인장강도 및 고온산화량의 변화에 매우 의존하고 있고, 특히 두 인자중 어느 한 인자의 값이 높으면 sticking발생량이 감소하는 것으로 보아 이들 사이에 하기식(1)과 같이 특정한 관계함수가 존재할 것으로 판단된다.

$$\Delta W = K \cdot f(T.S, T) \quad (1)$$

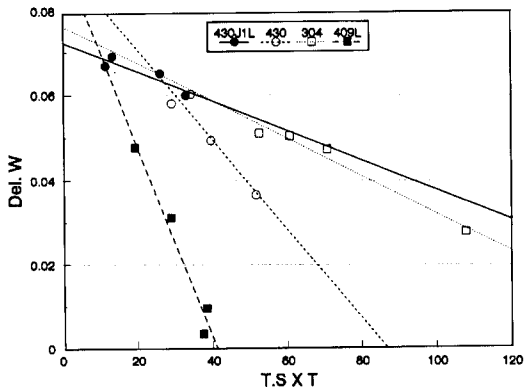
$\Delta W$  : sticking 발생량  
 $K$  : STS강종의 constant  
 $T.S$  : 고온인장강도  
 $T$  : STS표면의 산화층 두께

상기식을 배경으로 각인자들의 관계를 분석하였다. 각 강종의 고온인장강도와 고온산화량은  $T.S \times T$ 형태로 roll별  $\Delta W$ 와의 선형회기분석을 한 결과를 Fig. 11와 12에 나타내었다. 먼저 Hi-Cr roll의 경우(Fig. 11)에서 304, 430 및 409L경우에는 R-square값이 0.9이상을 나타내고 430J1L경우는 0.8이상을 나타내었으며, HSS roll경우(Fig. 12)에도 Hi-Cr roll 경우에 비해 그 정도는 미약하게 낮게 나타났지만 상기의 함수관계로부터 stick-

ing발생량의 예측이 충분히 가능하다고 판단되며, sticking발생량이 두 인자에 직접적으로 의존하고 있기 때문에 상기와 같은 해석이 가능하다고 사료된다.

한편, 동일 압연재 및 시험조건에 대해 HSS와 Hi-Cr roll의 sticking발생량 차이는 HSS roll이 Hi-Cr roll의 값보다 큰 것을 알 수 있고, 900℃이상에서 roll재질에 따른 발생량 차이가 벌어지는 경향을 알 수 있다. 이로부터 Hi-Cr roll은 900℃이상에서는 압연재표면의 급격한 산화거동에 의해 압연시 윤활효율을 할 수 있는 두꺼운 scale층이 존재함에도 불구하고 roll표면의 sticking핵생성처가 많기 때문에 sticking발생량이 크게 감소하지 않는 것으로 판단할 수 있으며, HSS경우에는 900℃이상에서 sticking핵생성처가 적어 scale층의 윤활효과로 sticking발생량이 뚜렷히 감소하는 경향을 나타낸다고 판단된다.

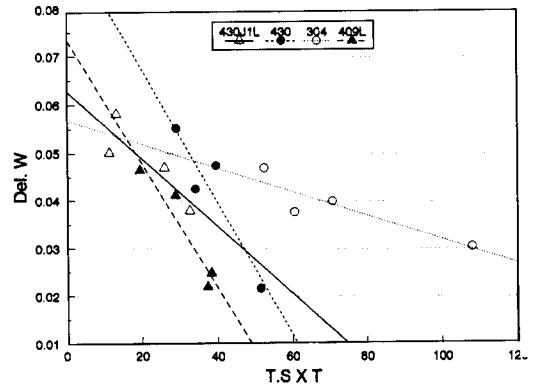
압연온도변화에 따른 sticking발생량의 변화는 압연재의 고온강도 및 고온산화량에 매우 의존한다는 본 연구결과를 Fig. 13와 같은 모식도로 나타내었다. 이 그림에서 압연온도 900℃를 경계로 이하 온도구역은 압연재의 고온강도에 매우 의존하여 온도가 하강할수록 sticking발생량이 감소하는 구역이며, 900℃이상 온도구역은 압연재의 고온산화량에 의존하기 때문에 온도가 상승할수록 sticking발생 무계증량이 감소하는 구역임을 알 수 있다. 따라서 400계 스테인레스강의 압연온도의 조절에 의해



Linear regression results

SUS	R-square
430J1L	0.825
430	0.910
304	0.970
409L	0.960

Fig. 11 Relationship between T.S X T and Del. W of 430J1L, 430, 304 and 409L stainless steels in Hi-Cr roll



Linear regression results

SUS	R-square
430J1L	0.750
430	0.866
304	0.801
409L	0.910

Fig. 12 Relationship between T.S X T and Del. W of 430J1L, 430, 304 and 409L stainless steels in HSS roll

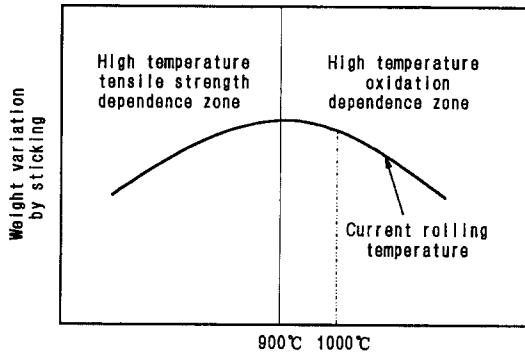


Fig. 13 Schematic diagram showing the transition of Weight variation in sticking phenomena for ferritic stainless steels

sticking발생량의 감소를 유도할 수 있으나 sticking현상의 방지를 위해서는 타압연조건의 복합적인 고려가 요구된다고 판단된다.

#### 4. 결론

페라이트계 스테인레스강의 sticking현상에 미치는 roll재질특성 및 roll회전수 그리고 압연온도와 연관된 압연재의 강종별 고온인장강도 및 고온산화량의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) sticking현상은 발생조건이 만족되면 즉시 생성되는 과정으로서 roll회전수 초기 20회까지는 roll표면에 sticking핵의 발생과 성장이 이루어지는 단계이며, 20회에서 40회까지는 sticking핵의 발생 및 성장과정과 연속 압연에 의한 압연재와의 마찰로 roll 표면 sticking입자의 탈락과정이 병행되는 단계로서 발생량의 변화가 거의 없는 포화단계를 나타낸다.

(2) HSS roll은 단위면적당 sticking의 핵생성처가 적어 sticking의 발생경향이 크고, Hi-Cr roll은 상대적으로 핵생성처가 많아 sticking의 성장경향이 커서 결과적으로 포화회전수 40회에서 Hi-Cr roll이 HSS roll에 비해 sticking발생량이 큰 것으로 판단된다.

(3) 압연온도변화에 따른 sticking발생량의 변화를 조사한 결과, 전강종이 모두 700 ~ 900°C까지는 sticking발생량이 증가하여 900°C에서 peak를 이루다가 이 온도 이후 부터는 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 압연온도 900°C이하에서는 압연재의 고온강도에 매우 의존하여 온도가 하강할수록 sticking발생량이 감소하며, 그 이상의 온도구역은 압연재의 고온산화량에 의존하기 때문에 온도가 상승할수록 sticking발생량이 감소한다고 판단된다.

(4) 강종별 sticking발생량은 430J1L, 436L, 430, 304, 409L순으로 적었다. 이는 sticking발생경향이 특정 온도에서의 각 강종의 고온강도 및 고온산화량에 밀접하게 의존하기 때문인 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- (1) T. Wada, M. Ueda and M. Oshimi : 鐵と 鋼, 9(1991), P.1458.
- (2) 加藤 治, 川竝高雄 : 塑性と 加工, 28(1978), No.314, p.264.
- (3) 内田 秀, 加藤 治 : 日本鐵鋼協會 基礎研究會 壓延 roll 研究部會 研究報告書, 1995.2, p.185.
- (4) 加藤 治, 内田 秀, 菊間敏夫 : 鐵鋼研究, 335(1989), p.35.
- (5) 류재화, 강기봉, 이필중, 시성규 : "열연 roll표면거침에 미치는 압연조건의 영향연구", 1994.12, POSCO 연구결과보고서, p.13.
- (6) 이용득, 이윤용, 권오준, 김교성, 이영국 : "페라이트계 430 스테인레스강의 제조기술개발", 1992. 8, POSCO 연구결과보고서, pp.138~164.
- (7) 加藤 治, 川竝高雄 : 塑性と 加工, 30(1989), No.336, p.103.
- (8) Tetsuya Nakanishi : Journal of the society of tribologists and lubrication engineers, Vol.4, 5, 1993, pp.365~370.