

# 냉간 압연가공에서 작업롤과 강판의 표면조도에 관한 연구

김순경\* · 전언찬\*\*

## A Study on the Surface Roughness of Work Roll and Strip in the Cold Rolling

Soon-Kyung Kim\*, Eun-Chan Jeon\*\*



### 1. 서 론

최근 제철소가 선철에서 최종 제품의 소제 산업 분야인 2차 가공제품 까지 생산하고 있는 일관제철소(一貫製鐵所)형태로 변해가고 있다. 2차 가공분야는 매우 다양하지만 슬래브를 재결정 온도 이상으로 가열시켜 압연 가공을 하는 열간 압연(hot rolling)분야와 열간 압연된 강판을 재결정 온도 이하에서 다시 압연 가공을 하는 냉간 압연(cold rolling)분야가 주종을 차지하고 있다. 특히, 냉간 압연분야는 열간 압연분야 보다 가공과정이 복잡하고 다양하며 정밀도를 필요로 하는 제품이므로 여러 가지 기술개발이 요구되는 분야이다.

냉간 압연장치의 발달은 냉간 압연분야의 발달과 같다고 할 수 있을 정도로 아주 중요하며 그 외의 가공은 냉간 압연을 위한 것이거나 냉간 압연된 강판을 후처리하는 과정이다.

냉간 압연가공에 사용되는 소재는 연속 주조제(continuous casting strip) 비율이 증가하여 최근에는 주종을 차지하고 있으며 광폭, 후판화되고 있다. 그러나 최종제품은 반대로 다양한 수요자의 요구에 의해 강판의 폭이 다양화되고, 박판화(薄板化)되고 있어 냉간 압연가공시 압하량이 많고 압하율이 큰 고부하 고속압연화의 경향을 나타내고 있다.

연속 주조제는 Ingot 주조제(ingot casting strip)에 비해 작업롤(work roll)의 경면화(鏡面化)현상이 조기에 발생되어 채터링(chattering) 및 슬립 등에 의한 판파단 및 롤 사고가 일어난다.<sup>[1][2]</sup> 이와 같은 현상이 발생되면 압연 롤의 관리가 어려울 뿐만 아니라 정상적인 가공속도유지가 불가능하여 생산성이 크게 떨어지므로 작업롤의 조도관리가 냉간 압연가공에서 매우 중요하다. 특히 작업롤의 표면조도는 냉간 압연 강판의 형상제이에도 영향을 미치며 형상제이가 어려워 판의 형상이 나쁠 경우 강판의 풀림 처리

\* 동의공업대학 자동차공학과  
\*\* 동아대학교 기계공학과

과정에서 용착(sticking)현상이 발생하기 쉽다.

텐덤 압연기의 경우 형상을 제어하는 최종 압연 스탠드의 작업롤만 조도가공(texturing)을 하고 그 외의 작업롤은 조도가공을 하지 않는다. 따라서 최종 냉연강판의 품질에 직접적인 영향을 미치는 조질 압연용 작업롤의 조도가공은 냉간 압연기의 작업롤 보다 중요하다. 강판표면의 조도가공은 먼저 냉간 압연가공이나 조질 압연가공에서 사용되는 작업롤 표면에 조도를 부여한 후 압연가공시에 압하력과 장력에 의하여 작업롤의 표면조도가 강판표면에 전사되게 하는 것이다<sup>1)</sup> 이때 전사되는 전사율은 강판의 재질, 압하력, 장력의 크기, 작업롤의 재질, 압연유의 윤활정도 등에 따라서 결정된다. 일반적으로 냉간 압연용이나 조질 압연용 작업롤의 조도가공은 작고 단단한 그리트( grit)를 작업롤 표면에 고속으로 때려서 작은 분화구 형태의 흠집을 만드는 쇼트 블라스트 가공에 의하여 실시되어 왔으나, 지금은 방진조도 가공과 Laser beam에 의한 조도가공장치가 개발되어 점차 실용화되고 있다.

## 2. 작업롤의 마멸

냉간압연 가공에서 작업롤과 냉연강판사이에 작용하는 윤활과 마멸의 주요 인자는 작업롤과 냉연강판, 그리고 압연유를 들 수 있다. 이것이 서로 계면을 이루는 지점에서 발생하는 마찰과 마멸, 그리고 윤활이 발생된다. 냉간압연 가공에서 윤활과 마멸에 관한 것은 너무 광범위하므로 여기서는 냉간 압연가공의 윤활 이론을 개략적으로 설명하고 실제 현장에서 사용중인 기계에서 발생하는 마멸현상을 연구하였다.

냉간 압연의 이론은 여러 가지 해석방법이 발표되어 있으나 균일변형을 Model로 해석한 Karman과 Orowan의 이론<sup>6)</sup>이 가장 많이 이용된다

Fig. 1에 나타난 바와 같이 접촉호 내부에 있어서 작업롤과 냉연강판이 완전하게 유체유막에 의하여 분리되어 있다고 가정하면 Reynolds방정식을 사용하여 해석할 수 있다.

Fig. 1에서 완전한 유막이 형성되었다고 가정하면 Reynolds 방정식은 다음 식과 같다.

$$\frac{dP}{dX} = 6\eta(h_0 + V_R) \frac{h_1 - h}{h^3} \quad (1)$$

이때 가장 많이 사용되는 점도 변화식의 예는

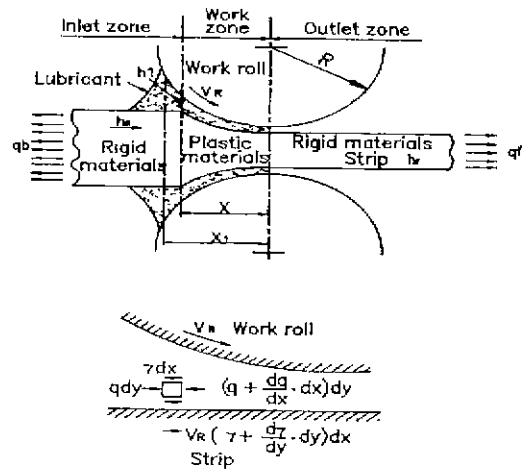


Fig. 1 Model of hydrodynamic lubrication and equilibrium of stress in the strip

$$\eta = \eta_0 \exp(\gamma P - \delta T_0) \quad (2)$$

이다.

그리고 작업롤 입구의 유막 두께는 다음 식에 의하여 나타낼 수 있다.

$$h_i = h_1 + \frac{X_1}{R} (X - X_1) \quad (3)$$

Energy 방정식은

$$K \frac{\partial^2 T_0}{\partial y^2} + \frac{\tau^2}{\eta} = 0 \quad (4)$$

이고, 유막 온도는

$$T_0 = -\frac{\eta}{12M^2K} \mu^4 + C_1 \mu + C_2 \quad (5)$$

이며, 유막 평균온도는 다음 식에서 얻을 수 있다.

$$T_A = \frac{1}{h_c} \int_{\frac{h_c}{2}}^{\frac{h_c}{2}} T_0 dy \quad (6)$$

단, 마찰계수  $\mu$ 는 다음식에서 얻어진다.

$$\mu = My - \frac{V_R - h_0}{h_c}$$

$$M = \frac{dp}{dx} = 6(h_0 + V_R) \frac{h_1 - h_c}{h_c^3} \quad (7)$$

여기서  $P$ 는 압력,  $V_R$ 는 작업물의 원주속도,  $T_0$ 는 유막 온도,  $K$ 는 압연유의 열전도율,  $\eta$ 는 압연유의 점도,  $\eta_0$ 는 압연유의 상온상압에서의 점도,  $h_c$ 는 유막두께,  $h_1$ 은 입구의 유막두께,  $\gamma$ 는 점도의 압력,  $\delta$ 는 온도계수,  $h_0$ 는 입구에서의 냉연강관의 두께다. 상기 식들을 연립시켜 풀어보면 접촉호 입구의 유막 두께, 점도, 입구의 압력, 유막온도, 전단응력 등을 구할수 있다. 압연 이론식에서 전단응력을  $\tau$ 라고 하면 이것을 사용하여 작업물 바이트 내부의 압연압력의 분포를 구할수 있다. 이때 얻을수 있는 결과에서 가장 중요한 의미를 갖는 것은 압연유 점도의 온도 의존성을 고려한 식 (2)<sup>9)</sup> 등을 사용하면 입구유막 두께가 고속 영역에서 거의 일정한 값을 나타낸다.

실제 냉간압연가공에 있어서 접촉호내에서의 슬립이 유체유막이 끊어져 있다고 생각해야 한다. 냉간압연가공이 끝난 강관표면을 살펴보면 윤활유 퍼트면적을 구할수 있다. 접촉율을 구하는 식은 다음과 같다

$$\text{접촉율 } R_c \% = \left\{ 1 - \frac{\text{Oilpit 면적}}{\text{측정면적}} \right\} \times 100 \quad (8)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad rms \quad (9)$$

$R_c$ 의 값이 큰것은 경계윤활영역이 많다는것을 의미한다. 작업물 바이트 내부에서의 해석에 사용되는 이론은 혼합윤활이론이다. 그리고 작업물( $\sigma_p$ )과 냉연강관( $\sigma_s$ )의 표면조도를 고려한 식 (9)에서 합성조도를 구하기 위하여 원주를 평면으로 생각한다. 접촉호내에 있어서  $\sigma_c$ 가 유막 두께  $h_c$ 보다 크면 경계윤활로 생각되어지고  $\sigma_c$ 가  $h_c$ 보다 작으면 유체윤활로 생각된다.

Fig. 2는 냉연강관과 작업물이 서로 접촉하여 소성가공이 이루어지고 있는 작업물 바이트를 나타낸 것으로 이 부분에서의 윤활은 냉연강관의 판면과 작업물 사이에서 압연유에 의한 윤활이 전혀 이루어지지 않는 경계윤활에 의한 전단응력이 발생하는 부분과 작업물과 냉연강관 사이에 압연유가 유막을 형성하고 있는 유체윤활 구역이 동시에 존재하는 혼합윤활 구역이다.

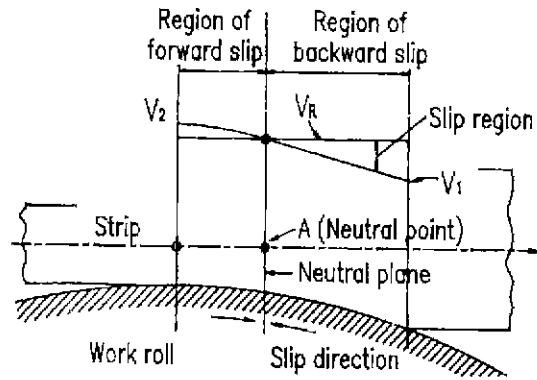


Fig. 2 Schematic diagram of work roll bite

Fig.2에서 N부분은 강관의 속도와 작업물의 원주속도가 같고 소성변형이 일어나지 않는 중립점으로서 작업물과 냉연강관의 속도가 동일하여 슬립발생은 없으나, 냉연강관의 진행방향으로 볼 때 중립점을 경계로 출구측은 강관의 속도가 작업물의 원주속도 보다 빠른 선진구역(region of forward slip)<sup>10)</sup>이며 작업물의 원주속도 보다 냉연강관의 속도가 느린 입구측은 후진구역(region of backward slip)이라고 한다.<sup>10)</sup>

따라서 중립점을 제외한 부분에서는 속도 차가 발생하게 되며 이 속도 차는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 선진구역에서는 강관의 속도가 작업물의 원주속도  $V_R$ 보다  $V_R \cos \psi$ 만큼 큰  $V_0$ 가 되며, 후진구역에서는 강관의 속도가 작업물의 원주속도  $V_R$ 보다  $V_R \cos \psi$ 만큼 작은  $V_1$ 이 된다. 따라서 슬립의 작용방향은 선진구역과 후진구역에서 동시에 중립점을 향하며 그 크기는 중립점의 위치에 따라 다르지만, 이때 발생하는 속도차에 의한 슬립에 의하여 작업물과 냉연강관 사이에서 마멸작용이 발생하게되고 이 마멸작용에 의하여 생성된 마멸분은 압연유의 흐름에 의하여 제거 되지만, 조절압연 가공시는 압하율이 작기 때문에 중립점과 슬립발생부분이 명확하게 구분되지 않아 냉연강관의 표면상태로는 확인이 어렵고 일반적으로 조절압연유를 사용하지 않기 때문에 마멸에 의하여 생성된 마멸분은 대부분 비산된다.<sup>6)</sup>

실제 압연기에서 냉간압연 가공을 할 경우 작업물과 냉연강관이 접촉하는 접촉호내에서의 마멸현상은 판면과 롤의 표면조도와 각종 압연조건이 복합적으로 관계되므로 완전한 이론적 해석이 거의 불가능하다.<sup>(11-13)</sup>

### 3. 실험장치 및 실험방법

#### 3.1 실험재료

본 실험의 실험재료는 냉간압연가공에 가장 많이 사용되는 열연강판으로 SAE 1006, SAE 1008, SAE 1012 및 SAE 1017을 주로 사용하였으며, 압하량이 많고 재질별로 압하력의 차이가 뚜렷한 냉간압연가공에서 4가지 실험재료를 전부 사용하였다.

Table 1 Chemical compositions of specimens (wt. %)

Materials	C	Si	Mn	P	S
SAE1006	0.04	-	0.21	0.009	0.010
SAE1008	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010
SAE1012	0.11	0.005	0.47	0.013	0.003
SAE1017	0.16	0.007	0.54	0.013	0.003

본 실험에 사용된 실험재료의 두께는 냉간강판 가공용 재료의 가장 대표적인 2.75mm이고, 폭도 일반적으로 가장 많이 사용되는 1219mm인 열연강판을 사용하였다. 열연강판의 판 표면에 생성된 스케일을 제거하는 방법은 여러가지가 있지만, 냉간압연 가공의 준비과정인 산세공정에서 제거하고 냉간압연 가공을 하였으며 조질압연 가공은 냉간압연된 강판을 풀림처리 한 후에 사용하였다.

본 실험에 사용된 실험재료의 화학적 성분은 Table 1과 같고 기계적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Mechanical properties of specimens

Materials	Hardness (H <sub>KB</sub> )	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
SAE 1006	43	103	207	33
SAE 1008	53	264	357	42
SAE 1012	56	286	363	43
SAE 1017	64	318	442	38

냉간압연 가공시에 압하량을 크게 할 수 있어 열연강판을 보다 효과적으로 얇게 할 수 있고 압연하중과 압연 토크 등의 압연부하를 작게 하며 고속화에 의한 압연능률을 향상시킬 뿐만 아니라 부하의 경감에 따른 작업률과 보강물의 마멸을 감소시키는 가장 중요한 역할을 하는 냉

간 압연유의 종류를 크게 분류하면 윤활성은 우수하나 균일한 농도 유지가 쉽게 되지 않는 분산제와 농도는 일정하게 유지가 되지만 윤활성이 다소 떨어지는 유화제로 구분된다. 따라서 본 실험에는 윤활성이 우수하고 냉연강판의 표면을 미려하게하고 냉연강판과 작업물의 냉각효과가 큰 분산제를 사용하되 농도의 균일성을 유지하기 위하여 교반기를 사용하는 것이 우수하므로 본 연구에서도 교반기를 사용하였다. 그리고 Table 3은 실험에 사용된 압연유의 주요성분을 나타낸 것으로서 쇠기름(牛脂)이 대부분이며 그 외에 지방산과 기타 첨가제가 약간 포함되어 있다.

Table 3 Compositions of lubricant (wt. %)

Compositions	Tallow (base)	90.5
	Fatty acid	2.5
	Lubricity additives	2.0
	Antioxidants	1.0
	etc.	4.0

#### 3.2 실험장치

##### 3.2.1 작업률의 조도가공

가장 보편적으로 사용되고 있는 조도가공 방법의 하나인 쇼트 블라스트 조도가공방법은 Fig. 3에서 보는바와 같이 단단하고 끝이 예리한 그리트를 임펠라의 회전력에 의하여 작업물 표면에 부딪히게 하여 작업물 표면에 흠집을 내는 방법이므로 설비의 구성이나 가공원리가 간단하고 단조롭다. 그리트에 의하여 작업물 표면이 받는 충격력의 크기는 질량(m)에 비례하고 속도(v)의 자승에 비례한다. 따라서 쇼트 블라스트 조도가공방법은 조도의 변화에 따른 조도가공시간은 거의 일정하며 오직 임펠라의 회전 속도만 변화시킨다. 회전속도는 모터의 회전수를 조절하여 변화시키지만 그리트의 크기는 일정하고 균일하게 관리할 수가 없으므로 원하는 조도를 균일하고 정확하게 얻을 수가 없다.

##### 3.2.2 냉간압연 및 조질압연기

본 실험에 사용된 냉간 압연기는 Fig. 4에서 보는바와 같이 실제 냉간 압연제품을 생산하는 냉간 압연 가공기로써 작업률과 보강률이 각각 두께인 4단이며 왕복으로 압연가공이 가능한 가역 압연기이므로 탠덤 압연기와는 달리 한 개의 스탠드로 구성되어 있다. 그리고 압연기의 설

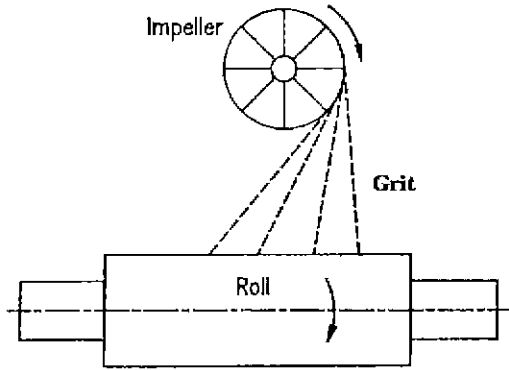
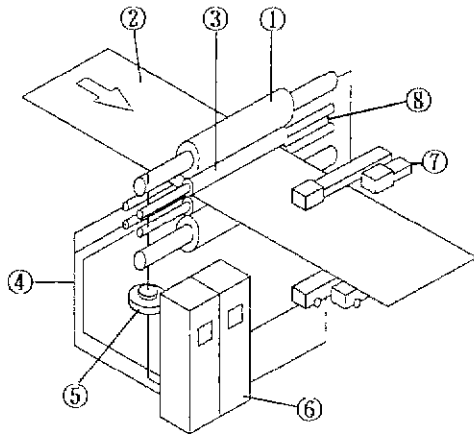


Fig. 3 Schematic diagram of shot blast texturing machine



- ① Back up roll
- ② Strip
- ③ Work roll
- ④ Lubricant sprayer
- ⑤ Hydraulic cylinder
- ⑥ Control panel
- ⑦ X-ray gauge meter
- ⑧ Roll bender

Fig. 4 Overall view of experimental apparatus

Table 4 Cold rolling conditions for experiment

Mill type	4 Hi reversing mill
Line speed	800 m/min. (max.)
Work roll dia.	450 (mm)
Back up roll dia.	1,360 (mm)
Separating force	1,300 Ton
Gauge control	Automatic gauge control
Flatness control	Automatic flatness control

험조건은 Table 4와 같다

#### 4. 실험방법

냉연강판의 판면조도와 작업물의 조도 측정은 시기와 위치가 가장 중요하기 때문에 냉간압연 가공을 하기전 산세공정에서 열연강판을 산세한 후 뜨거운 공기로 건조시키고 난 다음 냉간압연 가공전의 판표면조도를 측정하고, 냉간압연 가공후의 판 표면 조도측정은 냉간압연 가공시 발생된 압연유와 철분 등을 전해청정공정에서 완전히 제거한 후 조도를 측정하였다. 판 면의 조도측정부위는 판의 폭방향에서 중앙부와 가장자리의 한가운데 지점인 판의 전체 폭에서 1/4되는 지점에서 측정하였고, 길이방향으로는 작업물의 조도가 강판 표면에 정확하게 전사되는<sup>(19)</sup> 200m되는 지점에서 측정하였다.

그리고 작업물의 표면조도는 최초 압연가공 전에 표면조도를 측정하고 냉간 압연 가공후의 작업물의 표면조도 측정시기는 작업물의 슬립이 발생 될 때까지 사용한 후 작업물 조도를 측정하였으며 표면상태를 확인하기 위하여 주사전자 현미경(SEM)촬영을 실시하였다.

#### 5. 실험결과 및 고찰

##### 5.1 작업물의 표면조도

작업물 표면조도의 마멸은 작업물 마멸이므로 작업물 표면의 조도감소가 빠르면 재연삭과 조도가공회수도 많게되어 품질을 저하시키고 가공비도 많이 들게 되므로 조도가공이 매우 중요하다. 냉간압연 가공 전과 후의 작업물 표면조도를 작업물 몸통길이의 1/4되는 지점에서 측정한 값이 Fig. 5와 같이 나타났다. 냉간 압연 가공 전 작업물의 표면조도는 쇼트 블라스트 조도 가공을 한 것이기 때문에 불균일 하지만 작업물 표면에 산의 수가 많고, 60km정도 냉간압연 가공후의 작업물 표면의 산이 철판과의 마찰에 의하여 거의 다 마멸되고 산의 형태를 찾을수 없고 연삭 가공시의 조도 Ra 0.6 $\mu$ m보다도 낮은 Ra 0.49 $\mu$ m이하로 되어 거의 평면화 되었음을 알 수 있다. 산의 수도 조도와 마찬가지로 작업물의 조도가공시는 Pc 107 /cm로 산의 수가 많지만 냉간압연 가공 후에는 Pc 60 /cm로 감소되어 슬립발생의 가능성이 높게되고 냉연강판 표면의 조도가공이 불가능하게 된다. 일반적으로 냉간압연가공의 경우는 작업물의 표면조도가 Ra 0.6 $\mu$ m이하가 되면 롤 사고의 위험성이 있으므로 이 보다 높은 조도에서 작업물을

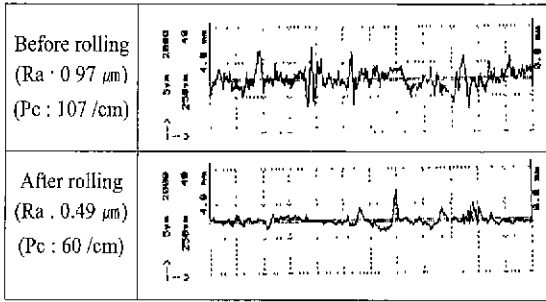


Fig. 5 Surface roughness and peak count of work roll in the cold rolling (texturing : shot blasting, cold rolling length: 60km)

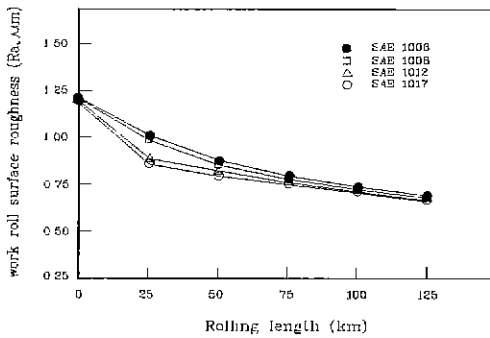


Fig. 6 Relation between work roll roughness and rolling length of strip in the cold rolling

교체하는 경우가 많다. 그러나 본 실험에서는 가공거리 125km를 기준으로 실험하였으며 25km마다 조도의 감소 정도를 조사 하였다.

Fig. 6에서는 압연가공거리에 따른 가공재질별 작업물의 조도변화를 나타낸 것으로 탄소함유량이 많은 SAE 1012와 SAE 1017은 냉간압연 가공시작부터 25km까지는 작업물 표면의 산이 마멸되면서 급속한 조도감소가 그 이후 부터는 거의 직선적으로 조도가 감소된다. 그러나 냉간압연가공에 많이 사용되는 SAE 1008과 SAE1006은 경도가 낮기 때문에 압연가공거리 50km까지는 다소 조도의 감소가 빠르지만 75km를 지나면서 조도의 감소 정도가 완만하게 되어 SAE 1012와 SAE 1017과 매우 유사한 경향을 나타낸다. 이 같이 표면경도가 높은 재료를 압연가공처리를 할 경우는 표면의 경도가 낮은 재료를 가

공할때 보다 작업물 표면에 있는 산의 마멸속도가 빠르게 진전되기 때문에 생각된다. 여기서도 탄소 함유량이 많아 경도가 높은 SAE 1017을 냉간압연 할 경우는 예리하게 가공된 작업물의 표면조도가 가공초기에 판면과의 마찰에 의하여 마멸된다. 이때 발생된 마멸분의 양은 열연강판의 경도가 높고 압연하중이 클수록 마멸량이 많아지며 이 마멸분은 작업물 표면에 응착되어<sup>14)</sup> 작업물 표면이 조기에 경면화되게 한다.

### 5.2 냉연강판 표면의 조도

Fig. 7은 냉연강판의 재질별 판면 조도가 냉간압연 가공거리의 변화에 따라 어떻게 변화하는가를 나타낸 것으로 냉간압연 작업물을 거친 판면의 조도는 작업물의 조도변화와 거의 유사한 경향을 나타내지만, 냉간압연가공거리 25km 까지는 전체적으로 조도감소가 급속히 이루어지다가 여기서 부터는 탄소함유량이 적은 SAE 1006 이 가장 완만한 조도 감소를 보이고 있는 반면, 탄소함유량이 가장 많은 SAE 1017의 조도 감소가 가장 많다. 냉간압연 가공초기에는 작업물 표면의 불규칙적이고 예리한 산의 마멸이 급속하게 이루어져 냉연강판의 판면조도도 급속히 저하한다. 냉간압연거리 25km 까지는 앞에서 설명한 바와 같이 급속한 조도 감소가 되고 그 이후 부터 조도가 직선적으로 변하는 것은 쇼트 블라스트조도가 공에 의하여 형성된 삼각파형의 산은 25km이내에서 거의 마멸되고 25km 이후 부터는 조화파 형태의 산이 조금씩 마멸되는 것으로 보여지고, 다른 한편으로는 냉연강판의 표면과 작업물 표면 사이의 마멸작용에 의하여 마멸분이 생성되며 대부분 압연유에 의하여 마멸분이 제거되지만 미량의 마멸분은 작업물 표면에 부착되어 연삭

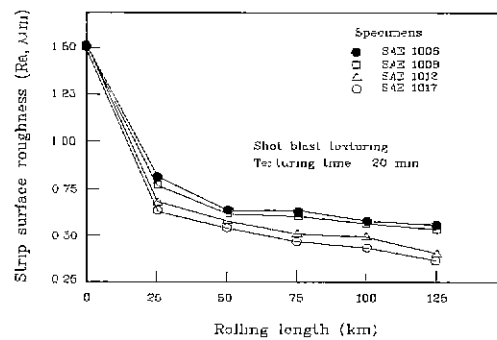


Fig. 7 Relationship between strip surface roughness for the various materials and rolling length in the cold rolling

가공시 슷돌에 발생하는 눈매움 현상과 같이 작업물 표면의 사과 산 사이에 응착되어 경면화를 촉진시키는 것으로 생각된다.

냉간강관의 표면조도 변화는 작업물의 표면조도 변화와 같은 경향을 나타내므로 냉간강관 표면의 조도변화를 정확하게 분석하여 냉간압연 가공시 슬립이 발생하지 않도록 작업물의 조도가공시 가공하고자 하는 조도값을 결정해야 한다. 이와 같은 조도변화는 식(2)에서와 같이 온도가 증가할수록 (3)식에서 유막두께가 감소되어 유체윤활에서 혼합윤활이 이루어지기 때문인 것으로 판단된다.

냉간압연 가공시 압연압력은 압하력을 접촉면적으로 나눈 값으로 압하력 보다는 압연압력이 냉간강관을 작업물 사이에서 소성변형시키는 가장 중요한 역할을 한다. 그러나 접촉호의 길이와 접촉폭이 같으면 접촉면적이 같으므로 평균 압연압력의 변화는 압하력의 변화와 비례한다. Fig. 8에서는 냉간압연 가공시 압하력의 변화에 따라 냉간강관의 표면조도 변화를 나타낸 것으로 다소 압하력의 차이가 있어도 조도는 거의 일정함을 알 수 있다.

압하력은 텐션 릴의 장력과 같이 중요한 사항이므로 압연하중과 판면의 조도관계를 조사하기 위하여 모든 가공조건을 동일하게 두고 압하력을 변화시켜 보았으며, 이때 압하력을 크게 하면 텐션 릴의 장력은 줄어들고 텐션 릴의 장력을 크게 하면 압하력이 작아도 냉간압연 가공이 가능하게 되지만 여기서는 텐션 릴의 장력을 1200~1400 Amp 정도로 고정시켜 두고 실험을 실시하였다. 압하력의 변화 범위는 일반적으로 가장 많이 사용되는 930톤, 980톤 및 1030톤으로 가공을 하였으나 Fig. 8에서와 같이 큰 차가 없었다.

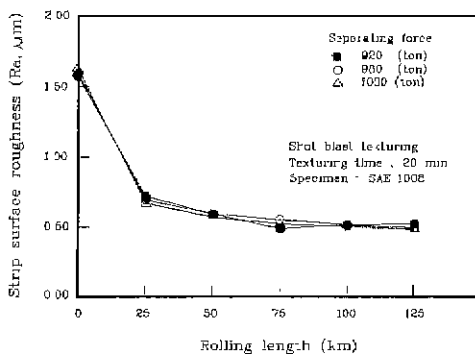


Fig. 8 Relationship between strip surface roughness and rolling length for the separating force in the cold rolling

압연가공시 압하력은 유압실린더에서 보강물 초크를 통하여 작업물 초크에 전달되며 이 하중에 의하여 작업물 사이를 통과하는 철판이 소성변형을 할 수 있도록 한다. 압하력이 다소 차이가 발생하여도 Fig. 9에서와 같이 압연가공거리에 따라서는 조도가 감소되지만 압하력의 변화에 대한 조도차는 거의 없었다. 또한 4가지 재질 사용하지 않고 SAE 1008만 사용하여 실험을 하였다.

냉간 압연가공시 총 압하율을 구하여 Pass수를 정하고 정해진 Pass수에 따라 Pass별 압하율을 분배하여 압연 가공을 위한 스케줄을 정하게 된다. 이와 같은 압하율 계산 방법은 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 가장 일반적인 방법을 사용하여 총 압하율을 구하였고 실제 압연가공시 가장 중요한 각 Pass별 압하율은 등 압하율을 적용하였다.

총 압하율은 56.38%, 63.63% 및 70.09%에서 냉간압연 가공을 실시하였으며 5 Pass로 등분배하여 가공하기 위하여 각 Pass별 압하율을 각 Pass 마다 입구측 두께에 따른 출구측 두께를 사용하여 구하고 이 값에 따라서 압연가공을 하였다.

그리고 냉간압연가공시 각 Pass별 등 압하율은공식에 의해 얻어진 값에서 1,3,5 Pass 가공시에는 2,4 Pass 가공시보다 압하율을 2~3%정도 더 많이 주어 작업물의 중심점이 출구 측으로 약 6 mm정도 이동되어있어 발생하는 문제점을 보완하였다. 그리고 본 실험에 사용된 재료는 SAE 1008 이며 냉간압연가공 압하력은 980톤에서 실시하였다.

총 압하율을 56.36%, 63.63% 및 70.09%로 변화시키면서 냉간압연 가공을 실시한 결과 압연가공거리에 따른 냉간강관면의 조도변화는 Fig. 9와 같다. 냉간압연가공시

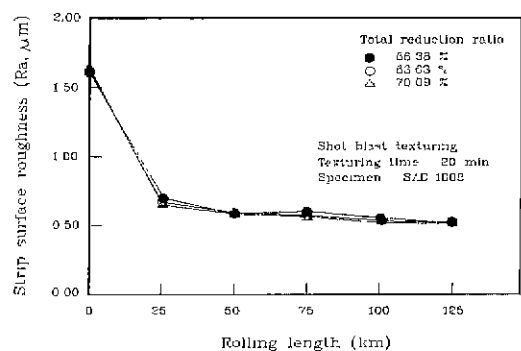


Fig. 9 Relationship between strip surface roughness and rolling length for the total reduction ratio in the cold rolling

총 압하율을 변화시켜 압연가공거리에 따른 판면조도변화를 나타내 보면 Fig. 9에서와 같이 냉간압연 가공거리의 증가에 따라 냉연강판의 표면조도가 감소되어짐은 알 수 있고, 압하력과 마찬가지로 총 압하율의 변화에 따른 판면의 조도변화는 거의 없음을 알 수 있다. 압하량과 작업물 직경과의 관계에서 보면 압하량이 클 수록 접촉각이 크게됨을 알 수 있고 압하량을 크게하기 위해서는 작업물 직경과 식(7)에서 마찰계수  $\mu$ 를 크게 하여야 한다. 이와 같이 작업물 직경과 마찰계수의 변화 없이 압하량을 증가시켜 압하율을 크게 하여도 실제 압하량의 변화는 거의 없으므로 압하율의 변화에 따른 판면조도의 변화는 압하력의 변화에 따른 조도의 변화와 매우 유사한 경향을 나타내고 있다. 따라서 냉간 압연가공시 총 압하율과 압하력 보다는 식(8)과 식(9)에서 보는바와 같이 접촉율과 접촉율이 판면조도변화에 큰 영향을 미치므로 압하율과 압하력에 따른 조도변화가 아닌 작업물의 마멸에 의한 조도감소로 추정된다.

## 6. 결 론

4단가역 압연기에서 이루어지는 냉간 압연 가공에서 강판표면에 나타나는 조도와 작업물의 조도변화에 관하여 가장 많이 사용되는 재질과 압하력, 그리고 압하량에서 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압연 가공용 작업물 조도는 삼각파형이므로 압연가공시 롤과 강판사이의 슬립에 의해 조기에 산(peak) 부분이 마멸되었다.
- (2) 작업물 표면조도는 강판의 경도가 높을수록 초기에 마멸이 심하며 일정량의 마멸이 된후에는 거의 일정하게 나타났다.
- (3) 강판의 표면 조도도 초기에는 작업물 보다 급속하게 조도가 떨어지다가 25km 지점부터는 일정한 기울기를 갖고 저하되었다.
- (4) 동일한 소재와 냉간 압연가공 조건에서는 총압하력의 변화에 따른 강판의 조도변화는 거의 없었다.
- (5) 압하력과 압연조건을 동일하게 할 경우 총압하율의 변화에 따른 강판의 표면 조도변화는 크지 않았다.

## 참 고 문 헌

- (1) 藤秀一, 園田 榮, “冷間壓延におけるWork rollの摩耗 Mechanism 検討”, 鐵と鋼, 第11號, p. 103, (1989)
- (2) 原木 尊二, 萬羽昭夫, “鋼板の冷間壓延におけるRollの粗度底下に關る検討”, 鐵と鋼, 第 3號, p. 126, (1987)
- (3) 大 貫輝, 川竝高雄, 菊池勁, “冷間壓延ワークロールの摩耗に關する 研究”, 塑性と加工, vol. 23, No. 261, pp. 990~995, (1982)
- (4) 日本鐵鋼協會 鐵鋼基礎共同研究會 鐵鋼材料の摩耗部會編, “鐵鋼材料の摩耗”, p. 73, (1984)
- (5) 角山浩三, 北村邦雄, 伊藤健治; 鐵と鋼, 第13號, p. 1203, (1982)
- (6) E. Orowan, “The caculation of roll pressure in hot and cold flat rolling”, Proc. Instn. mech. engineering, pp. 141~167, (1943)
- (7) Th. von Karman, “Beitrag zur Theorie des Walzvorgangs”, Z. ang. Math. u. Mecht., vol.5, pp. 139~141, (1925)
- (8) E. Orowan, K. J. Pascoe, “A simple method of calculation roll pressure and power consumption in hot flat rolling”, Iron and Steel Inst. Spec. Report, No. 34, pp. 124~146, (1946)
- (9) 岡本豊彦, “壓延理論と變形抵抗”, 第2章, 鐵鋼技術共同研究會編, 誠文堂新光社, (1960)
- (10) 井浦輝生, 福山 放, “板壓延の理論と實際”, 日本鐵鋼協會, pp. 201~220, (1983)
- (11) Kobasa D., and Schultz, R.A., “Experimental Determination of the Arc of Contact in Cold Rolling”, Iron and Steel Engineering, vol. 45, pp. 97~11, (1968)
- (12) 北村邦雄, 北浜正法, 鎌田征雄, “冷間壓延におけるヒートストリ-ク現象”, 潤滑, 第28卷, 第9號, pp. 10~11, (1983)
- (13) 小豆島明, “塑性加工における最近のトライボロジ技術”, 鐵と鋼, 第78號, p. 18, (1992)