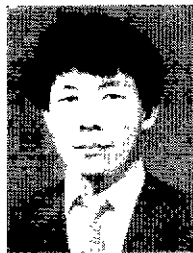


조질 압연용 작업롤의 조도가공에 관한 연구

전언찬*, 김순경**

A Study on the Texturing of Work Roll for Temper Rolling

Eun-Chan Jeon*, Soon-Kyung kim**



1. 서론

최근 냉간 압연 강판은 가전제품이나 자동차용 외장재로 널리 사용되고 있으며 도장처리를 한 후의 표면을 미려하게 하여야 한다. 자동차나 가전제품의 외판용은 도장성과 성형성이 매우 중요하므로 조도에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 도장성은 강판표면의 조도와 산 수(peak count)가 직접적으로 영향을 미치므로 도장방법에 따라 적절한 형태의 조도를 부여해야 하고 산 수를 조절하기 위하여 강판의 표면조도를 최종적으로 결정하는 조질압연 가공시 사용되는 작업 롤표면의 조도가공 방법에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다.^{1,2,3} 도장성을 우수하게 하기 위하여 판표면의 조도와 산 수를 균일하게 유지해야 하고 철 분말형성을 최대한 줄여 판표면을 깨끗하게 처리해야만 한다. 따라서 강판의 도장성을 좋게하고 롤 교환 후 첫 코일과 최종 코일과의 조도편차가 적게하고 롤당 가공

길이를 증가 시키기 위하여 두가지 방향으로 연구가 진행되어 왔다. 작업 롤의 표면조도를 쇼트 블라스트 조도가공 방법에서 전기적인 조도가공인 방전 조도가공(Electro-discharge Texturing)방법이나 Laser Beam Texturing 방법 등^{4,5}으로 변환시켜 왔으며 이 방법은 상당 수준까지 성과를 거두고 있다.^{6,7} 그리고 다른 한가지 방법은 이와 같은 조도가공방법에 의하여 조도를 가공할 경우 산의 형태가 매우 불균일하고 예리하며 작업롤 표면층이 경도가 높고 인성이 낮기 때문에 마찰에 의한 마멸이 급속히 진행된다. 이러한 작업 롤 표면에 인성이 높은 크롬을 도금하여 표면의 조도를 보다 균일하게 하고 산의 형태를 삼각파형에서 정현파형으로 변환시키기 위한 많은 실험이 이루어지고 있다. 크롬 도금방법은 주로 최종 제품의 조도를 결정하는 조질압연 가공에서 품질을 향상시키고 제조비를 절감시키는 물론 철 분말에 의한 환경오염도 개선시키고 자 실기계에서 실험을 하였다. 본 연구에서는 조질 압연가

* 동아대학교 기계공학과
** 동의공업대학 자동차과

공에서 가장 대표적으로 이루어지고 있는 작업물 표면가공방법을 비교하고, 마멸이론에 따른 크롬 도금의 특성을 조사하여 조도가공방법에 따른 차이점을 중심으로 연구하였다. 그리고 실제 사용수명을 서로 비교하고 실기계에 가장 적절한 크롬 도금 두께를 찾아내는 것을 주 목적으로 하였다.

2. 작업물의 마멸현상

본 연구에서는 물 마멸에 큰 영향을 미치는 응착마멸과 기계적 마멸에 관해서만 검토하였다.

상대운동에 의해 발생하는 마멸의 마찰계수를 구하는 식은 Von Mises⁽⁶⁾의 항복조건과 Tresca⁽⁷⁾의 항복조건을 사용하여 구하면 다음과 같이 된다.

$$m = \frac{F}{P} = \frac{Ar \cdot t}{Ar \cdot f} = \frac{t}{f} \quad (1)$$

식(1)에서 실 접촉면적(Ar)이 같을 경우 마찰계수(m)는 마찰력(F)이나 전단강도(τ)에 비례하고 접촉하중(P)이나 연질재료의 소성유동압력(f)에 반비례함을 알 수 있으며, 여기서 전단파괴는 일반적으로 계면 보다는 연질재료내에서 일어나므로 전단강도(τ)는 연질재료의 전단강도가 된다. 냉간압연의 경우 마찰계수를 줄이기 위하여 윤활 역할을 하는 조절 압연유를 사용하였다.

물의 마멸은 대부분 응착마멸에 의한 것으로 가장 고전적으로 중요한 응착마멸의 이론은 Holm⁽⁸⁾의 이론으로 물의 마멸량은 접촉력과 접촉길이에 비례하고 물의 경도에 반비례 한다는 것이다.

Fig. 1의 a)에서와 같이 A, B 두 금속이 임의의 접촉부분에서 두 표면원자 a_1 과 b_1 은 고체내부에 있어서의 원자간거리 정도로 근접하고 있다고 생각할 때, A가 이동하면 a_1 원자는 순차적으로 b_1, b_2, b_3 와 차례로 접촉하게 되고 그 사이에 어떤 확률로서 B가 제거되어 진다고 가정하면, 실제 접촉하는 부분의 면적(Ar)과 접촉하중(P)의 관계는 다음과 같다.

$$P = f \cdot Ar \quad (2)$$

근접원자간거리를 d 라고 하면 접촉원자수는 Ar/d ($P = d/f$)가 되며 미끄럼거리 L 사이에서 만나는 상대 원자수를 L/d 정도라고 가정하면 L 사이의 접촉면 전체에서 만나는 원자수(Na)는 다음과 같다.

서로 만나는 원자가 상대측 원자에 대하여 제거되어지는 확률을 Z 라고 하고 한개의 원자가 제거되어지는 마멸량을 d^3 라고 하면 미끄럼거리(L) 사이의 마멸체적(W)은 다음과 같이 표시된다.

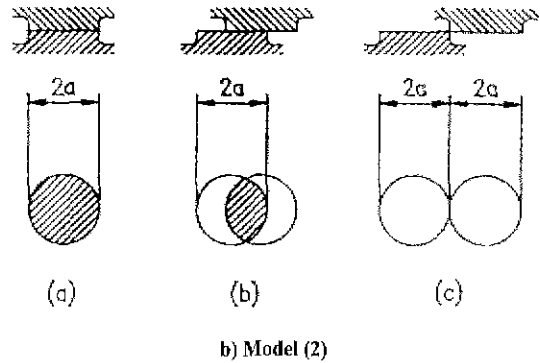
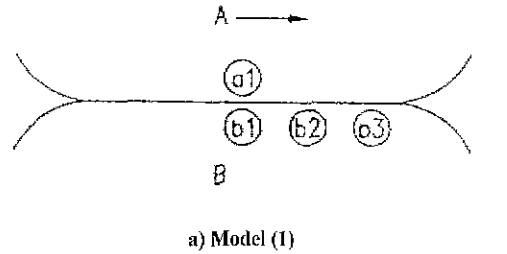


Fig. 1 A model of direct contact

$$Na = P/(d \cdot f) \cdot L/d \quad (3)$$

$$W = Z \cdot Na \cdot d^3 = Z \cdot L \cdot P/f \quad (4)$$

또한 소성유동압력(f)은 연질재료의 경도(Hv)와 같기 때문에 다음과 같이도 표시할 수 있다.

$$W = Z \cdot L \cdot P/Hv \quad (5)$$

즉, 물의 마멸체적은 상대 미끄럼거리(L)와 접촉하중(P)에 비례하고 소성유동압력(f)인 물의 경도(Hv)에 반비례한다.

실제 마멸된 마멸분은 원자의 크기에 비하여 상당히 크다는 점에서 Archard⁽⁹⁾는 거시적 마멸기구를 제창하였다. 즉, Fig. 1의 b)에 나타난 바와 같이 접촉부분에 반경이 a 인 원형 접촉점이 n 개 존재한다고 가정하면 접촉면적 A 는 다음과 같다.

$$A = n \cdot p \cdot a^2 \quad (6)$$

Fig. 5의 b)에서와 같이 미끄럼이 연속적으로 발생되면 전체 미끄럼 거리와 전체 접촉점수(N)의 관계식은 다음과 같다.

$$N = \frac{n \cdot L}{2 \cdot a} = \frac{P \cdot L}{2 \cdot p \cdot a^3 \cdot f} \quad (7)$$

마멸분의 형태가 직경 2a인 반구형태라고 가정하면 마멸체적 W는 다음 식에서 구할 수 있다.

$$W = \frac{2}{3} p a^3 ZN = \left(\frac{1}{3} ZLP\right)/f \quad (8)$$

즉, 마멸량은 $L \cdot P / f$ 에 비례한다. 이와 같은 개념이 성립하는 것은 윤활제 등을 포함하지 않는 모든 건조마멸의 경우이다. 철강재료의 경우는 마멸된 마멸분이 또 마멸작용을 하므로 매우 복잡하여 마찰면의 온도나 마찰속도 혹은 하중을 독립적으로 변화시켜 실험할수가 없기 때문에 완전한 마멸현상의 해명은 그다지 진행되지 않고 있다.

경질재료에 의한 연질재료의 마멸현상은 Fig. 2에서 보는바와 같이 설명할 수가 있다. 한쪽의 선단이 모두 동일한 반정각 θ 를 가지는 원추형의 경한 산(돌기)이 상대측 연질재료의 표면을 h만큼 파고 들어간 것으로 가정하여 이것이 거리 L만큼 이동하는 사이에 빗금친 부분이 절삭되어 마멸된 것이라 가정하면 이 산에 가해진 하중 P는

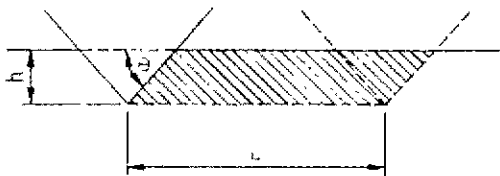


Fig. 2 A model of direct contact

$$P = p (h \cdot \cot \theta)^2 \cdot Hv \quad (9)$$

이 되며 마멸체적 W는 다음식과 같이 계산된다.

$$W = P \cdot L \cdot \tan \theta / Hv \quad (10)$$

Kruschov⁽¹⁰⁾와 Richardson⁽¹¹⁾ 등 많은 연구자들에 의해 경도가 가장 큰 변수라는데 확인되었다.

이와 같이 기계적 마멸은 경질재료에 의한 연질재료의 연삭이며, 철강재료의 산화물 및 응착마멸에 의하여 생성된 경질입자가 액체중에 분산되어 있어도 역시 같은 작용을 한다.

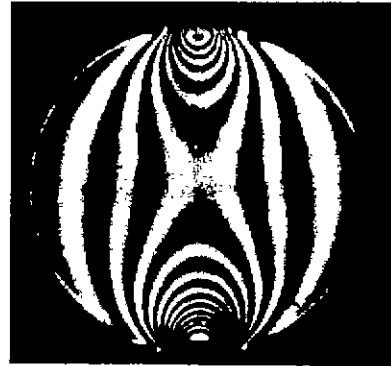


Fig. 3 The contacting model loaded condition of work roll

Fig 3은 압연기의 작업롤이 가공중에 받는 응력분포도로서 광탄성체를 사용하여 제작한 것이다. 강판과 접촉되는 부분에 집중적으로 응력이 작용하는 것을 알 수 있다

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험재료

본 실험에 사용한 조절압연용 작업 롤의 경도는 Hs 93 정도이며, 강판 재료는 일반적으로 가장 많이 사용되는 SAE 1008로서 기계적 성질은 Table 1과 같고 화학적 성분은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions of specimens (wt.%)

Material	C	Si	Mn	A	Cu
SAE 1008	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010

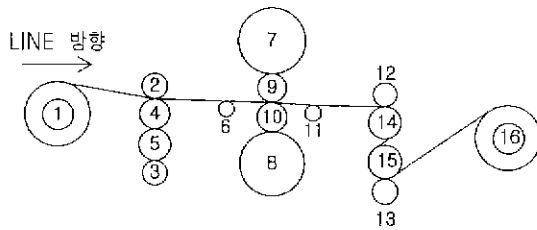
두께는 1.0mm, 폭은 1219mm인 냉간압연강판을 전해청정공정에서 판면의 불순물을 완전히 제거한 후 소둔처리를 하여 냉간압연시 발생된 잔류응력을 제거하고 재결정이 형성된 최종제품을 본 실험에 사용하였다.

Table 2 Mechanical properties of specimens

Material	Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Hardness (H _R B)	Elongation (%)
SAE 1008	710 00	640 80	85 90	4 20

3.2 실험장치

본 실험에 사용된 조질압연기는 Fig. 4와 같이 실제 냉간 압연제품을 생산하는 실압연기로서 4단으로 구성되어 있으며 작업 롤의 입측과 출측에는 장력을 부여하는 텐션 브라이들 롤이 있다.



- ① Pay off reel ② Pinch roll ③ Pinch roll ④ Tension bridle roll ⑤ Tension bridle roll ⑥ Anti-gripping roll ⑦ Back up roll ⑧ Back up roll ⑨ Work roll ⑩ Work roll ⑪ Deflector roll ⑫ Pinch roll ⑬ Pinch roll ⑭ Tension bridle roll ⑮ Tension bridle roll ⑯ Tension reel

Fig. 4 The Schematic Experimental Apparatus

조질 압연기는 제품을 균질화 하고 판표면의 조도를 수 요자가 원하는 수준으로 가공하는 장치이므로 제품의 표면에 직접적으로 조도를 부여하는 작업 롤의 조도가공이 매우 중요하며 동일 롤에서도 처음과 마지막에 가공한 판면의 조도편차가 적어야한다 조질압연가공중에는 조질압연유를 사용하지 않고 롤표면에 부착된 철분을 제거하기 위하여 코일의 시작과 끝부분에만 조질압연유를 분사하고, 정상 가공 부분은 건조한 상태로 가공을 하였다.

3.3 실험 방법

조질 압연가공전 강판표면의 조도는 철분 등을 제거한 후 측정하였으며, 압연가공후의 판면조도는 조질압연기에서는 진동 때문에 측정이 불가능하므로 다음공정인 최종 공정에서 시편을 채취하여 측정하였다. 작업 롤의 조도측

정은 조질압연기에 투입하기전 초기조도를 확인하고 25km마다 상 하롤을 취외하여 진동이 없는 상태에서 조도를 측정하였다. 강판면과 작업롤의 표면조도 측정에 사용한 조도기는 휴대용 Hommel Tester T1000을 사용하였고, 강판과 롤표면의 상태는 휴대용 광학 현미경을 사용하여 확대 촬영하였으며 강판의 표면을 보다 세밀하게 조사하기 위하여 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하였다. 일반적으로 롤과 강판의 조도와 산 수는 3번 측정하여 평균 값을 나타내었으며 이 값은 롤 몸체의 길이 방향으로 측정하였고 강판의 경우는 폭방향으로 측정하여 산술평균한 값이다

4. 실험결과 및 고찰

4.1 작업 롤 표면의 조도변화

냉간압연 제품의 도장성과 성형성에 영향을 미치는 강판표면의 조도는 조질압연시 사용되는 작업롤의 표면조도와 산의 형태에 따라 결정되므로 이를 적절하게 적용해야 한다. Fig. 5는 작업롤 표면을 방전조도 가공방법에 의하여 조도를 가공하여 조질압연 가공거리에 따른 작업롤의 조도의 변화를 나타낸 것으로 상(top) 작업롤과 하(bottom) 작업롤로 구분하여 나타내었다. 작업롤의 표면조도 변화는 가공거리 40km 까지는 가공거리에 비례하여 상 작업롤은 Ra 1.85 μ m 에서 Ra 1.5 μ m 까지 거의 직선적으로 조도가 감소되고 있다. 하 작업롤도 상 작업롤과 마찬가지로 조도가 급격히 감소되고 있지만 40km 이후 부터는 다소 완만하게 조도가 감소되고 있는 것을 알 수 있다.

상하 작업롤의 표면조도가 완만하게 감소되는 이유는 냉간압연 가공과 같이 큰 압하력이 가해지지 않아 슬립이

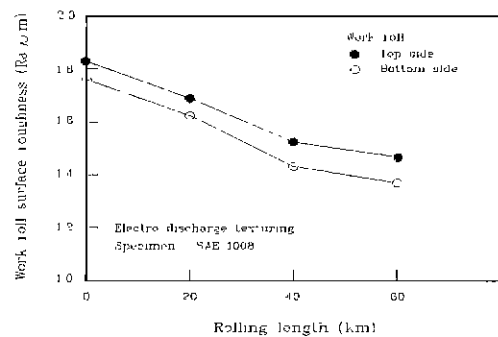


Fig. 5 Work roll surface roughness vs. rolling length on the EDT

없을 뿐 아니라 표면의 조도형태가 불규칙적이고 예리하게 가공되지 않고 균일하고 조화파에 가깝게 가공이 되었기 때문에 급속한 마멸은 없지만 작업롤간의 조도편차는 완전하게 해결되지 않고 있다.⁽¹²⁻¹³⁾ 그리고 식(9)와 (10)에서와 같이 경도가 높은 냉간압연 가공과 같이 가공경화된 강판이 아니고 냉간압연 강판을 풀림처리한 것이므로 작은 압하력에도 조도전사가 가능하여 작업롤의 마멸이 거의 없다.

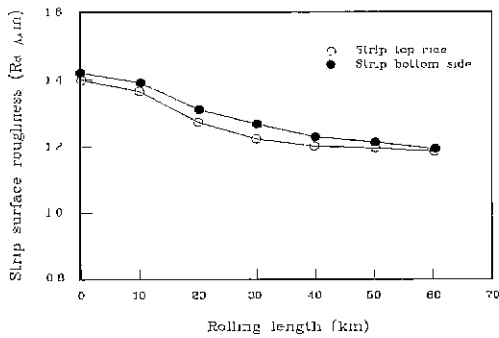


Fig. 6 Work roll surface roughness vs. rolling length on the SBT

Fig. 6은 조절압연 가공시 작업롤을 쇼트 블라스트 조도 가공방법을 사용하여 방전조도 가공물과는 전혀 다른 형태로 조도가 감소되었다. 따라서 작업롤을 조절압연 가공이나 냉간압연 가공에 의하여 마멸이 되는 것이 아니라 조도의 가공방법에 따라서 조도의 감소 정도와 형태가 결정되므로 결국 식(3)이나 식(4-5)에 의하여 마멸의 차이가 있지만 산의 모양과 분포에 따라 작업롤의 마멸 상태가 결정된다.⁽¹⁴⁾ Fig. 6의 쇼트 블라스트 조도가공방법에 의하여 가공된 롤의 표면조도는 초기에 급격하게 떨어져 경면화가 빠르게 이루어짐을 알 수 있다. 급격한 조도 저하가 이루어질 때 발생하는 롤 표면의 마멸현상은 마찰에 의한 마멸분을 생성하게 되고 이때 발생한 마멸분은 롤 표면에 부분적으로 응착되어 제품표면에 흔적을 남기게 되어 제품은 사용할 수 없게 된다. 방전조도 가공에서는 산의 모양이 삼각형이 아닌 조화파형태의 파형이 쇼트 블라스트 조도가공에서 보다 많기 때문에 작업롤의 수명이 2~5배 정도 길다고⁽¹⁵⁻¹⁶⁾ 하지만 본 실험에서 Ra 1.4μm을 기준으로 보면 2배 정도 작업롤의 수명이 길게 나타났다.

4.2 작업롤의 산의 수 변화

방전조도 가공에 의한 산의 수를 나타내는 Fig. 7에서 상, 하 작업롤의 산의 수는 냉간압연가공거리 40km까지는 급격히 감소하고 그 이상의 거리에서는 거의 변화가 없지만, 쇼트 블라스트 조도가공인 Fig. 7에서는 가공거리가 20km까지는 작업롤의 산의 수가 급격히 감소하며 가공거리 40km 이상에서는 거의 변화가 없어지고 산의 수가 Pc 65 ea/cm에서 안정화 됨을 알 수 있다. 양 조도 가공방법에서 냉간압연 가공초기에서는 돌출된 산이 냉간압연 가공의 시작과 동시에 마멸되기 때문이며 Fig. 8의 쇼트 블라스트 조도 가공에서 압연 가공거리 40km 이상에서 산의 수가 Pc 65 ea/cm 정도에서 거의 변하지 않는 것은 연마기에서 작업롤을 연마한 상태의 표면조도 값과 거의 유사한 값에서 머물러 있기 때문에 마멸이 잘 일어나지 않는다는 것을 나타낸다. 이 상태에서 계속적으로

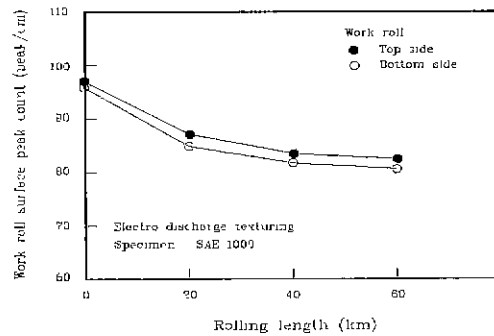


Fig. 7 Relationship between work roll surface peak count and rolling length on the EDT

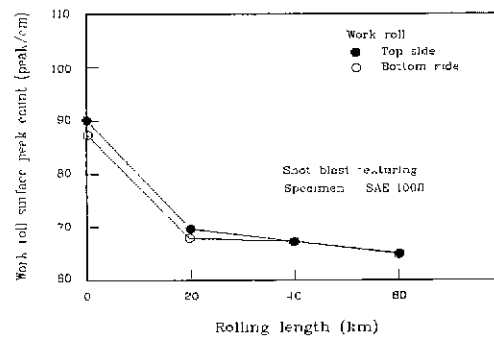


Fig. 8 Relationship between work roll surface peak count and rolling length on the SBT

조질압연 가공을 계속할 경우 냉연강판과 작업물 사이에 슬립이 발생되고 접촉점수는 식(7)에 의해 구해진다.

Fig. 7과 Fig. 8을 비교해 보면 방전조도 가공방법에서는 조질압연거리 60km 에서도 산의 수가 Pc 80 ea/cm 정도를 유지하고 있지만, 쇼트 블라스트 조도 가공방법인 Fig. 8에서는 조질압연 가공거리 20km에서 부터 산의 수가 Pc 70 ea/cm 이하로 감소됨을 볼 수 있다. 따라서 방전조도 가공물의 경우가 조도와 마찬가지로 산의 수도 장시간 유지됨을 알 수 있다.

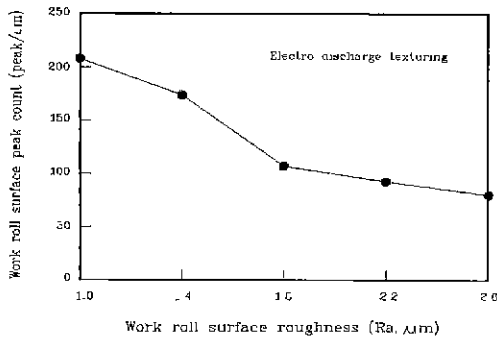


Fig. 9 Influence of the work roll surface peak count for the work roll surface roughness on the EDT

Fig. 9에서는 방전조도 가공에서 작업물의 표면조도의 변화에 따른 작업물 산의 수를 나타낸 것으로 방전조도 가공에서는 작업물 초기조도와 산의 수는 대체로 반대편 상을 가진다는 것을 알 수 있다. 그림에서 조도가 Ra. 1.0 μm일 때는 산의 수가 Pc 200 ea/cm 정도이지만 Ra. 1.8μm 일 경우는 산의 수가 Pc 100 ea/cm 정도로 급격하게 감소되며 그 이후 부터는 서서히 감소됨을 볼 수 있다.

4.3 강판표면의 조도와 산의 수

냉연강판의 표면조도는 작업물의 표면조도가 냉연가공 중 전사에 의하여 결정되므로 산의 수나 형태도 조도와 동일하게 된다. 그러나 강판의 조도는 연신율에 의하여 약간의 차이가 생기므로 여기서는 1.0%를 기준으로 가공하였다.

Fig. 10에는 작업물을 방전조도 가공을 하였을때 냉간 압연 가공거리에 따른 강판 상, 하면의 표면조도를 나타내었으며, Fig. 11은 쇼트 블라스트 조도 가공방법에 의한 결과이다. 방전조도 가공 물을 사용한 판 면의 조도는 시

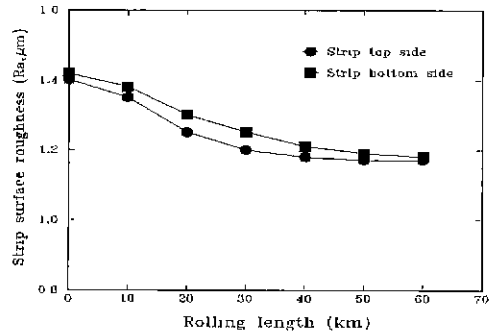


Fig. 10 Relationship between strip surface roughness and rolling length on the EDT

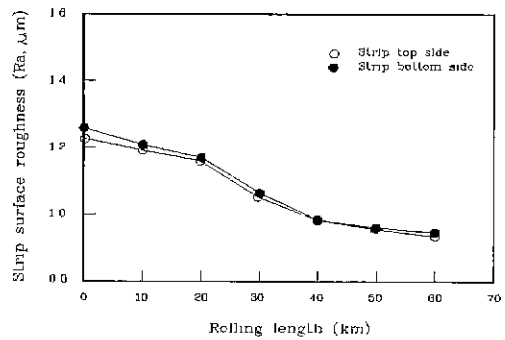


Fig. 11 Relationship between strip surface roughness and rolling length on the SBT

작부터 거의 변화가 없지만 쇼트 블라스트 조도가공 물을 사용한 Fig. 11에서 보면 30km 를 지나면 거의 조도가 없어지는 현상을 볼 수 있고, 강판표면의 산의 수는 물의 표면에 따라 결정되지만, 압하율이 클 수록 다소 증가하게 되며 식(8)에 의하여 마멸량을 구할수 있다.

4.4 크롬도금이 조도와 산수에 미치는 영향

최근에는 냉연강판 표면의 조도를 다양하게 하기 위하여 여러가지 방법이 사용되고 있으나 최종제품 가공에서 요구되는 성형성과 도장성 향상을 위한 판 면조도 개발이 계속되고 있다. 냉간압연 제품의 도장성과 성형성에 영향을 미치는 강판표면의 조도는 조질압연에서 사용되는 작업물의 표면조도와 산의 형태에 따라 결정되므로 이를 적절하게 선택하여 적용해야 한다.

Fig. 12는 작업물 표면을 쇼트 블라스트 조도가공방법

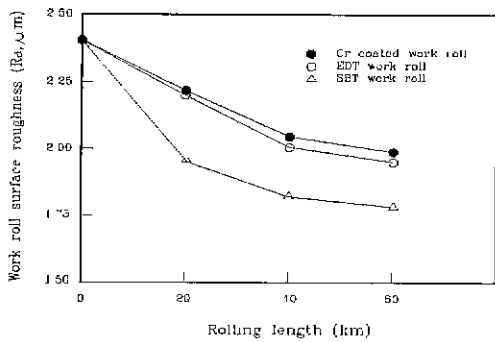


Fig. 12 Relationship between work roll surface roughness and temper rolling length according to texturing method

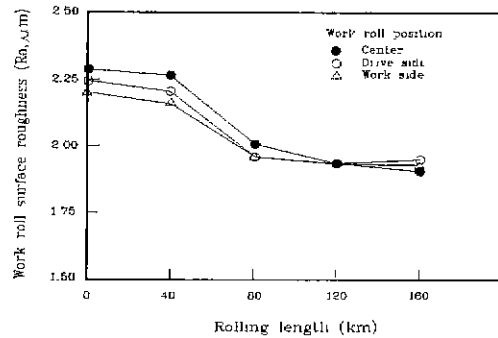


Fig. 13 Relationship between work roll surface roughness and temper rolling length on the work roll position

을 사용하여 조도를 가공하고, 그 위에 크롬도금을 한 크롬도금 작업롤과 방전조도 가공롤 그리고 쇼트 블라스트 조도 가공롤을 사용하여 조질압연 가공거리에 따른 상, 하 작업롤의 각각의 조도변화를 나타내었다. Fig. 12는 조질압연 가공길이에 따른 상 작업롤의 조도변화를 나타낸 것으로 초기조도 Ra 2.4μm으로 조도 가공을 하여 조질압연 가공거리 20km에서 보면 크롬도금롤과 방전조도 가공롤은 거의 유사하게 완전한 조도감소가 이루어지고 있으나 쇼트 블라스트 조도 가공의 경우는 급격하게 감소되고 있음을 볼 수 있고 압연 가공거리 40km에서는 쇼트 블라스트 조도 가공롤은 Ra 1.75μm 정도로 감소 되었지만, 크롬도금롤과 방전조도 가공롤은 Ra 2.0μm 근처 값을 유지하게 됨을 볼 수 있다. 그러나 조질압연 가공거리 40km 이후에서는 완전하게 조도가 변하고 있지만 초기 작업롤의 조도값과 큰 차이를 나타내므로 실제 조질압연에서의 제품생산에는 사용 할 수가 없게 된다.

이는 삼각파형의 조도모양은 조화파형의 조도형태 보다 마멸이 빠르게 일어나 초기에 작업롤의 경면화가 일어나기 때문이다.¹⁷⁾ 따라서 크롬도금 작업롤과 방전조도가공 작업롤의 경우는 마멸이 적게 되어 마멸분이 적게 발생되고 냉연강판 판면의 조도도 일정하게 유지되어 판면이 매우 깨끗하게 가공이 된다. 그리고 동일한 초기 표면조도에서 조질압연가공을 시작할 경우 방전조도가공이나 크롬도금을 한 작업롤은 가공할 수 있는 길이가 쇼트 블라스트 조도가공시 보다 2배정도 길게 나타났다.

조질압연 가공에서 조질압연 가공길이에 따른 작업롤의 부위별 조도변화를 Fig. 13에 나타내었다. 그림에서와 같

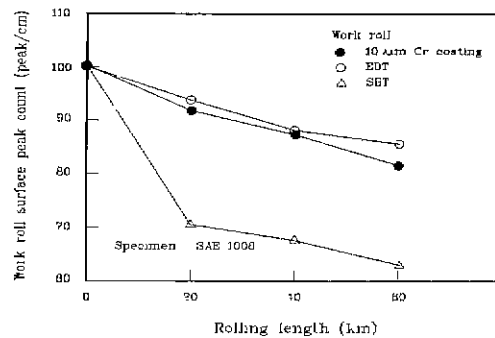


Fig. 14 Relationship between work roll surface peak count and rolling length on the texturing method

이 상 작업롤 표면의 초기조도는 작업롤의 중앙부위가 양쪽 끝부분보다 다소 높지만 가공길이가 증가함에 따라 점차 그 차이가 줄어들어 조질압연 가공거리의 80km를 지나면서 거의 같은 수치를 나타내다가 그 이후 부터는 중앙부위가 가장 낮은 조도를 유지하게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 냉간압연시에 형성된 강판의 단면형태와 관계가 있으며, 이는 냉간압연가공시 작업롤의 굽힘에 의하여 항상 냉연강판의 중앙부분이 양쪽 끝부분보다 10-20μm 정도가 두껍게 가공이 되기 때문에 이 부분이 압하력을 많이 받아 마찰에 의한 마멸량이 많게 된다. 따라서 냉연강판의 중앙부분이 양 끝부분 보다 작업롤 조도의 전사율이 가장 높게 나타나며 양쪽 끝부분 5mm 정도는 조질압연 가공에서 조도부여가 불가능하다. 이는 전술한 바와 같이 냉연강판의 중앙부위가 냉간압연 가공시 작업롤

의 급함에 의하여 두께가 되고 양 가장자리는 급격히 두께가 감소되어 최종 제품사용시는 제거하기도 하는데 이와 같은 현상을 Edge drop 이라고 한다.

Fig. 14는 작업물을 3가지 즉, 방전조도 가공, 크롬도금 및 쇼트 블라스트 조도 가공을 한 경우 조절압연 가공거리에 따른 작업물 표면의 산의 수를 나타낸 것이다. 조도의 경우는 조절압연 가공 시작부터 조절압연 가공길이 60km를 통과할 때까지 크롬도금 작업물과 방전조도가공 작업물이 동일한 비율로 감소하고 있으나 산의 수의 경우는 쇼트 블라스트 조도가공 작업물과 마찬가지로 조절압연 가공거리 20km를 통과할 때까지는 비슷한 형태로 감소하다가 그 이후부터는 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있다. 특히 냉연강판의 경우는 산의 수가 적어도 Pc 70 ea/cm 이상은 유지해야 하는 것이 성형성과 도장성에 좋으므로 조도가공 작업물의 경우는 20~25km 정도 조절압연 가공을 한 후 작업물을 교환하여야 한다.

조도측정기를 사용하여 작업물 표면의 산의 형태를 살펴보면 Fig. 15에 나타난 바와 같이 방전조도가공 작업물은 산의 형태가 매우 균일하고 산의 수가 많지만 쇼트 블라스트 조도가공 작업물의 경우는 산의 형태가 불균일하고 산의 수도 적음을 알 수 있다. 크롬도금 작업물의 경우는 이 두 가지 방법의 중간형태를 보여주고 있지만¹⁶⁾ 실제 조절압연가공시 마멸이 쉽게 되지 않기 때문에 가공거리는 방전조도가공 작업물과 거의 같게 된다. 그림에서 C₁과 C₂ 값은 산의 크기가 0.25 μ m 이하로 아주 작은 것은 조도계산에서 제외하였다는 것을 나타낸 것이다. 쇼트 블라스트 조도 가공의 경우는 조도가 Ra 1.80 μ m 이지만 산의 형태가 매우 불규칙적이며 크롬도금을 하고나면 조도

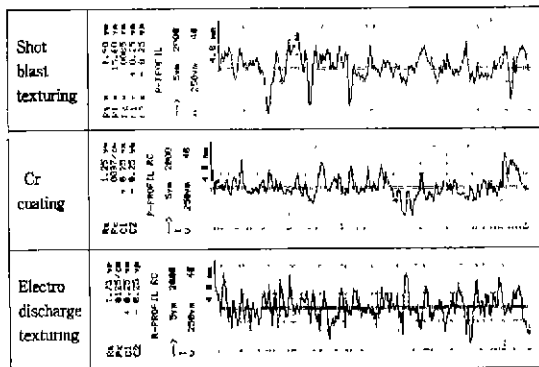


Fig. 15 Comparison of work roll surface peak count on the texturing method

는 Ra 1.25 μ m 으로 감소하였으나 산의 형태는 균일하게 되었고 산의 수도 Pc 85 ea/cm 에서 Pc 97 ea/cm 로 증가하였음을 볼 수 있다. 크롬도금물과 방전조도 가공물을 비교해 보면 산의 형태는 유사하지만 산의 수는 많은 차이가 있음을 알 수 있는데 이는 쇼트 블라스트 조도 가공후에 작업물 표면에 크롬도금을 하였기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 크롬도금물은 선명성이 요구되는 도장강판의 가공에 매우 효과적이라 생각된다.

Fig. 16은 크롬도금 두께를 변화시켜 조절압연 가공을 한 후의 작업물의 표면상태를 나타내었다. 조절압연 가공 후 작업물 표면조도 Ra 2.4 μ m를 기준으로 하였을때 도금 두께 14 μ m에서는 작업물 표면의 크롬도금층이 조절압연 가공초기에는 큰 문제가 없었으나, 조절압연 가공길이 80km를 지나면서 크롬층이 박리되었다 크롬도금두께 14 μ m은 조절압연용 작업물의 크롬도금 두께로는 너무 두껍다고 판단하고 8 μ m정도로 크롬도금두께를 조정하여 보았더니 가공거리 60km 정도에서 크롬도금층이 거의 마멸되어 냉연강판표면에 이물자국형태가 발생되고 조도저하에 따른 작업물과 냉연강판표면 사이에서 슬립이 발생하였다. 10 μ m 정도로 조절압연용 작업물 표면에 크롬도금을 하였을 경우는 가공거리 120km 까지는 아무런 문제가 발생되지 않았기 때문에 이 정도의 크롬도금두께가

Cr coating thickness	Cr coated work roll surface	Remarks
14 μ m		Ra : 2.4 μ m Rolling length : 80 km
10 μ m		Ra : 2.4 μ m Rolling length : 120 km
8 μ m		Ra : 2.4 μ m Rolling length : 60 km

Fig. 16 Photographs of work roll surface on the Cr coating thickness after temper rolling.

가장 적절하다고 판단된다. 크롬도금을 한 조질압연용 작업롤을 사용하여 조질압연 가공시 작업롤 표면을 확대해 본 결과 사진에서 보는 바와 같이 나타났다. 여기서 검은 부분은 크롬도금층이 마멸되어진 부분으로 작업롤의 재질에 해당되며 그 밖의 부분은 크롬이 부착된 상태이다. 그러나 크롬도금층의 박리가 일어난 경우는 순수 마멸에 의한 경우보다 큰 부분이 박리되었음을 볼 수 있고 정상적으로 마멸된 경우는 많이 들출된 부분만 마멸된 것을 알 수 있다. 따라서 진술한 바와 같이 실험을 한 결과 작업롤의 크롬도금층의 두께는 10 μ m 정도가 적당하다고 생각된다

5. 결 론

제품의 표면품질을 최종적으로 결정하는 조질압연 가공시 작업롤의 표면조도를 균일하게 하고 수명을 길게하기 위하여 크롬도금을 하여 조도와 산 수의 변화를 조사하고 적절한 도금두께를 알아내기 위하여 실기계에서 실험해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 조질압연용 작업롤 표면의 조도변화는 강관두께가 두꺼운 중앙부분의 조도저하가 양끝부분보다 빠르다.
- (2) 상작업롤과 하작업롤의 표면조도는 거의 유사하게 빈하나 가공길이 80km 이상에서는 하작업롤의 표면조도 저하가 빠르다.
- (3) 크롬도금한 작업롤의 수명은 쇼트 블라스트가공롤 보다는 2배 정도 길며 방전가공롤과는 유사하다. 작업롤 표면에 크롬도금을 할 경우 산 수의 변화는 가공거리와는 거의 관계가 없다.
- (4) 쇼트 블라스트 가공롤 표면에 크롬도금을 하면 조도와 산 수는 큰 변화가 없으며, 조질압연 가공용 작업롤의 가장 적절한 크롬도금 두께는 10 μ m 정도다.
- (5) 조질압연 가공에서 연신을 1.0 %, 조도 Ra 2.5 μ m 이하 일 때는 크롬도금과 방전조도 가공 작업롤의 조도변화는 거의 같다.
- (6) 방전조도 가공이 쇼트 블라스트 조도 가공에 의한 롤 보다 수명이 2배 이상 길고 도장시 강관표면이 미려하여 선형성이 우수하다.

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 稔二, 萬羽昭夫, "鋼板の冷間壓延におけるRollの粗度底下に關する検討", 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) 玉野敏隆, 柳本左門, "混合摩擦域の壓延理論", 日本機械學會論文集, 第36 號, pp. 126~133, 1970.
- (4) Fawzy, El-M., Brian, S., "Advances in Electro-discharge Texturing for Cold Mill Work Rolls" Iron and Steel Engineer, vol. 68, No. 8, pp. 57~59, 1991.
- (5) Fujiwara, T., "The Development of High Clarity Steel Sheet", Nissan Technical Review, No. 23, pp. 53~59, 1981.
- (6) Von Mises R. "Mechanic der festen Korper im las deformablen zustand", Nachr. Ges. wiss. Göttingen, p. 582, 1953.
- (7) Tresca h., "Sur l'écoulement des corps solides sous pression", Acad. Sci. Paris, 1959, p. 754, 1864.
- (8) 朴興植, "오스텝핑링 한 低合金 球狀黑鉛鑄鐵의 機械的性質 및 摩滅特性 에 關한 研究", 한양대학교 대학원 공학박사 학위논문, pp. 7~10, 1989.
- (9) J. F. Archard, "Contact and Rubbing of flat Surfaces", J. App. Phys. 24-8, pp. 981~986, 1953.
- (10) M. M. Kruschov, "Resistance of Metals to Wear Abrasion; Related to Hardness", Insten Mech. Engrs conf. Lubrication and Wear, London, pp. 655~659, 1957.
- (11) R. C. D. Richardson, "The Wear of Metals by Relatively Soft Abrasives", Wear 11, pp. 245~275, 1968.
- (12) Furukawa, K., "Development of High Image Clarity Steel Sheet Laser Mirror", Kawasaki Steel Tech. Report, vol. 20, No. 3, pp. 123~141, 1988.
- (13) 전언찬, 김순경, "냉간압연가공시 Work roll 마멸과 표면조도에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제8권, 제4호, p. 2, 1991.

- (14) 전연찬, 김순경, 김문경, “냉간압연가공시 압연재료와 Work roll 마멸에 관한 연구” 한국정밀공학회지, 제10권, 제4호, pp. 128~129, (1993).
- (15) Filan, T. G., Perfetti, B. M., Scialabba, B. J., “Relationship of Sheet Surface-Roughness Texture to Painted Sheet Appearance”, Proceeding 19th Congress on Mech. Working and Steel Processing Pittsburgh, Pa., June, pp. 148~157, (1977).
- (16) Aspinwall, D. K., Zhao, F. L., and El-Menshawy, M. “Electro-discharge Texturing(EDT) of Steel Rolls”, Surface Topography 2, pp. 123~141 (1989).
- (17) 田中純彦, 田中昌平, 長友 司, “壓延ロールクロムめつき設備の建設と 實機適用” R&D 神戸製鋼技報, vol.36, No.3, pp. 81~84, (1989).
- (18) 技術解説, “壓延機ワークロールのクロムめつき”, 日本鋼技報, No.118, pp. 71~72, 1987.