

4단 압연기용 작업롤의 표면조도가공 특성과 판면조도 변화에 관한 연구

김문경,* 전언찬,** 김순경***

A Study on the Texturing Characteristics of Work Roll and Variation of Strip Surface Roughness in 4-Hi Mill

Moon Kyung Kim,* Eon Chan Jeon,** Soon Kyung Kim***

ABSTRACT

Work roll wear in the cold rolling of steel strip is strongly affected by rolling materials, rolling conditions and lubrication. Tests were performed to find the effects of rolling materials under the same lubricating conditions. Surface roughness of cold rolled steel strip as well as the coating technique itself is quite important in obtaining high image clarity of electronic products and car outer panels. Therefore this paper reviews for improvement of roughness and peak count about the surface of Cr coated work roll is investigated from the actual temper mill. The conclusions were obtained as follows :

1) Work roll wear in the cold rolling of steel strip is strongly affected by carbon contents of rolling materials, but there is not a separating force and total reduction ratio. 2) The roughness of strip surface is larger in the direction of width than in roll direction. 3) The electro-discharge textured roll has more uniform roughness distribution than shot blasted roll and it's life time is two times longer than shot blasted because it has more harmonic wave roughness, and the higher peak count of surface roughness. 4) The life time of Cr coated work roll is 2 times longer than that of shot blasted work roll and variation of peak count, roughness and life time of Cr coated work roll is similar to electro-discharge texturing work roll. 5) The proper Cr coating thickness is 10 μ m at the work roll of temper mill.

Key Words : Harmonic wave roughness(조화파형 조도), Electro-discharge texturing(방전조도가공), Separating force(압하력), Total reduction ratio(총 압하율).

* 부산대학교 대학원 기계설계공학과
** 동아대학교 기계공학과
*** 동의공업전문대학 자동차과

1. 서 론

냉간 압연용 원재료는 최근 연속주조재가 주종을 차지하고 대폭 후판화 되어지고 있는 반면 최종 제품은 반대로 판 폭이 다양화되고 薄板化 되어 냉간압연 가공시 壓下量이 많고 壓下率이 큰 高負荷 高速壓延化의 경향을 나타내고 있다.

연속주조재는 냉간압연 가공시 Ingot 주조재에 비해 작업물의 鏡面化 현상이 早期에 발생되고 채터링(Chattering) 및 슬립(Slip) 등에 의한 판 파단 및 롤 사고가 일어난다.⁽¹⁻²⁾ 이와 같은 현상이 발생되면 생산성이 크게 떨어지므로 작업물의 조도(粗度) 관리가 냉간압연 가공시 매우 중요하다. 調質 壓延機는 壓下率이 2% 이하이므로 작업물의 조도가 일정하고 정확하게 轉寫(Transcription)된다.

압연에서 전사율은 강판의 재질, 압하력, 장력의 크기, 작업물의 재질, 압연유의 윤활정도 등에 따라서 결정되며, 냉연강판의 품질에 직접적인 영향을 미치는 조질 압연기의 작업물의 조도 역할이 냉간 압연기의 작업물 보다 중요하다.

최종 제품의 외관이 중요시되는 가전제품이나 자동차 산업에 있어서는 표면상태가 수요가 들의 상품 선택에 매우 중요한 역할을 한다.⁽³⁾ 산의 수(Peak count)가 많고 균일할 수록 塗裝時 균일도장이 가능하며 높은 鮮影性(Image clarity)과 최종 제품의 외관을 개선시킨다. 자동차 공업이 발달한 독일과 일본, 그리고 미국에서는 수년전 부터 작업물의 표면 조도 가공방법의 개발에 박차를 가한 결과 Shot blast조도 가공 방법에서 방전 조도 가공(Electro-discharge texturing)방법으로 변화시켰으며, 전자 Beam과 Laser beam에 의한 조도가공 방법도 활발하게 연구는 되고 있으나⁽⁴⁻⁷⁾ 실제 사용중인 기계에서 실험한 결과는 거의 없는 실정이다.⁽⁸⁾

따라서 본 연구에서는 조질압연 가공시 작업물 표면의 조도 가공 방법에 관한 특성을 살펴보고 이에 따른 표면조도의 형태 등을 조사하고, 롤 마멸을 감소시키기 위하여 크롬도금을 하여 상, 하 작업물의 부위별 조도 변화를 비교하였다. 그리고 크롬도금 작업물의 실험은 최종 제품의 조도를 결정하는 조질압연 가공에 적용하여 磨減粉에 의한 환경오염을 개선시키고 가장 적절한 크롬도금 두께를 찾아내고자 실제 제품을 생산중인 압연기에서 실험을 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

1) 실험재료

본 실험의 실험재료는 냉간압연가공에 가장 많이 사용되는 열연강판으로 SAE 1006, SAE 1008, SAE 1012 및 SAE 1017 을 사용하였고, 조질압연 가공에서는 SAE 1008 만을 사용하였다. 실험재료의 두께는 2.75mm 이고 폭은 1219mm 인 열연강판을 사용하였으며 화학적 성분은 Table 1 과 같고 기계적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions of specimens (wt. %).

Composition Materials	C	Si	Mn	P	S
SAE 1006	0.04	-	0.21	0.009	0.010
SAE 1008	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010
SAE 1012	0.11	0.005	0.47	0.013	0.003
SAE 1017	0.16	0.007	0.54	0.013	0.003

Table 2 Mechanical properties of specimens.

Properties Materials	Hardness (H _{RB})	Yield strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	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

2) 실험장치

(1) 작업물의 조도가공장치

본 실험에 사용된 Shot blast 장치 (Type : BICK4-1, Maker : 일본 Kuboda社)의 조도가공방법은 Fig. 1에서 보는바와 같이 경도가 높고 예리한 그리트(Grit)에 의하여 롤 표면에 흠집을 내는 방법임으로 설비의 구성이나 가공원리가 간단하며 임펠러(Impeller)의 회전속도에 의하여 조도가공을 하므로 균일한 조도를 얻을 수가 없다. 이와 같은 문제점을 보완하고자 개발된 방전조도 가공기 (Type : ET-60, Maker : 독일 Waldrich siegen社)의 조도가공은 방전시 발생하는 전기 스파크의 힘을 이용하여 작업물의 표면에 흠집을 내는 가공방법으로서 가공물인 롤과 전극(Electrode)이 부전도유(Dielectric oil) 속에서 Fig. 2와 같은 순서로 방전을 일으키며 방전전류가 멈추면 용해된 입자가 밀려나 그 자리가 분화구형태로 된다.

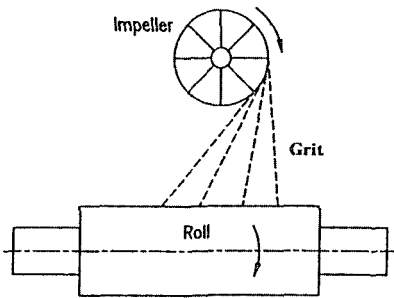


Fig. 1 Schematic diagram of shot blast texturing machine

(2) 냉간압연 및 조절 압연기

본 실험에 사용된 냉간 압연기는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 실제 압연제품을 생산하는 4단 가역식 냉간 압연기이며, 조절 압연기는 냉간압연기와 같이 4단으로 구성되어 있으나 비가역식이다. 냉간 압연기의 주요사양은 Table 3과 같고 자동두께 제어장치(Automatic gauge control system)⁽⁹⁾와 자동형상 제어장치(Automatic flatness control system)⁽¹⁰⁾를 사용하여 작업물의 조도가 냉연강판의 표면에 정확하게 전사⁽¹¹⁾될 수 있도록 하였다.

Table 3 Main specification of cold rolling mill.

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

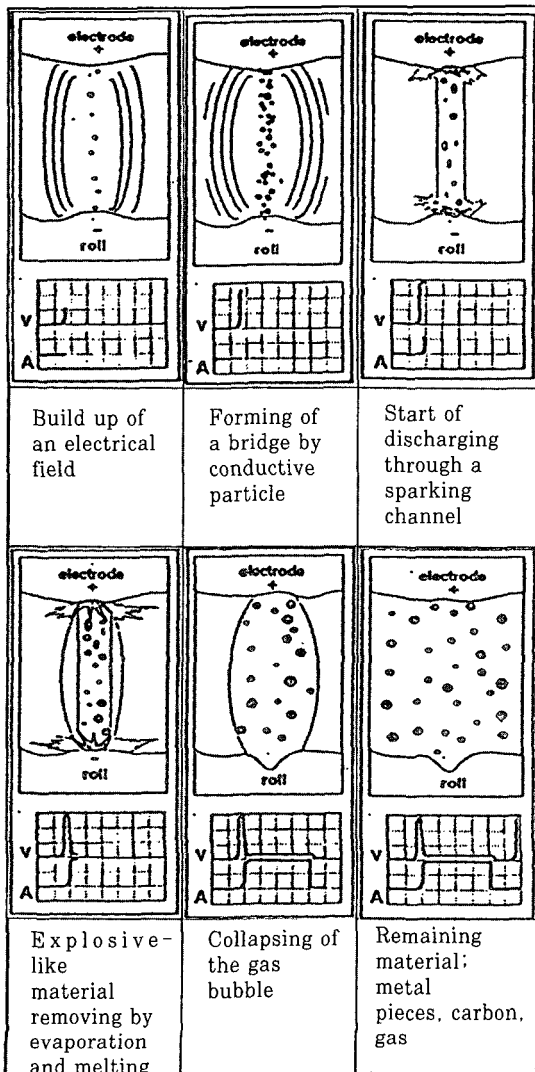
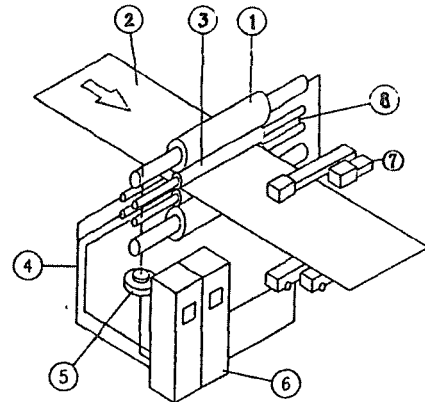


Fig. 2 Schematic display of discharging phases



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

Fig. 3 Overall view of experimental apparatus

3) 실험방법

냉연강판의 가공과정은 Fig. 4와 같이 열연강판인 Hot coil의 산화층을 酸洗工程에서 제거하고 냉간압연을 한 후, 판 면에 부착된 Scum을 電解淸淨(Electrolytic cleaning)방법으로 제거하고 냉간압연 가공에서 발생된 응력 제거와 적절한 기계적 성질을 냉연강판에 부여하는 풀림(Annealing)처리를 한다. 그리고 판 면에 적당한 조도를 부여하는 조절압연(Temper rolling) 가공을 한다.

조도 측정은 판의 전체 폭에서 1/4되는 지점에서 측정하고 길이 방향으로는 작업롤의 조도가 강판 표면에 정확하게 전사되는 200m 지점에서 측정하였다. 그리고 작업롤은 사용 전과 슬립이 발생될 때까지 사용한 후 조도를 측정하였으며 표면상태는 주사 전자 현미경으로 확인하였다. 조도는 평면측정용 조도계(Type : T1000, Maker : 독일 Hommel社)를 사용하여 측정하되 표시는 보편적으로 통용되고 있는 Ra 값으로 표기하였고⁽⁶⁾ 조도 측정시 산의 높이가 0.25 μm 보다 작은 것은 제외하였다.

조질압연의 경우는 롤의 마멸이 적기 때문에 크롬도금을 하여 작업롤의 수명과 조도의 균일성을 Shot blast 조도 가공방법과 방전조도 가공방법과 서로 비교하고, 가장 적절한 크롬도금 두께를 찾기 위하여 크롬도금 두께에 따른 작업롤과 강판의 표면상태를 조사하였다.

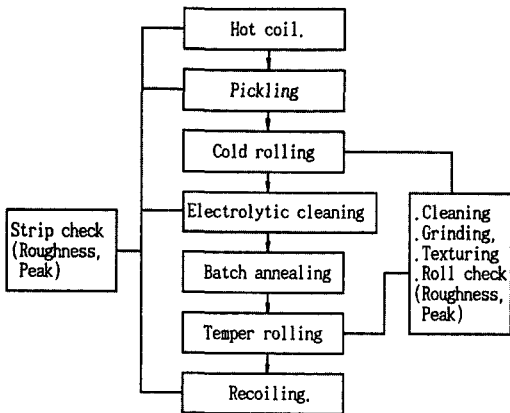


Fig. 4 Flow chart of experimental procedure

3. 실험결과 및 고찰

1) 조도가공방법의 특성

냉간압연 가공길이가 40 km인 지점에서 조도 가공방법별 작업롤의 표면조도와 산의 수를 측정하여 Fig. 5에 나타냈다.

Fig. 5에서 방전 조도가공은 산의 크기가 중심선 상하에 균일하게 분포되어 있고 매우 조밀한 형태를 나타내고 있지만, Shot blast 가공에서는 불규칙적이고 부분적으로 조도가 가공된 것을 볼 수 있다. 롤 표면의 초기조도는 Ra 1.8 μm 으로 방전 조도가공과 Shot blast가공이 같은 값을 나타내지만, 산의 수는 방전 조도가공이 137개/cm

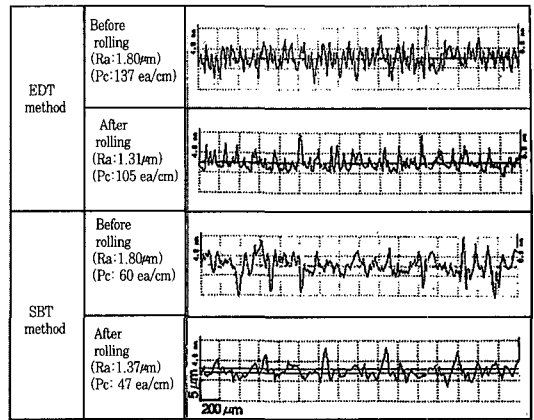


Fig. 5 Comparison of the work roll surface roughness between texturing methods

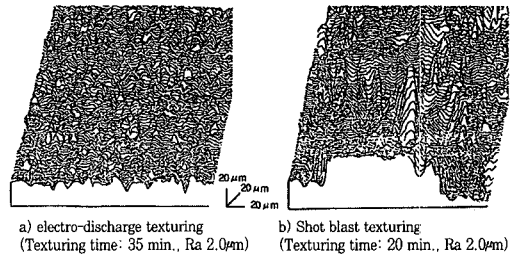


Fig. 6 Shape of peaks and roughness for the work roll surface on the texturing method

로서 60개/cm인 Shot blast 가공보다 2배 이상 많고 압연가공이 끝난 후에도 거의 같은 경향을 나타낸다.

Fig. 6은 작업롤 표면의 조도형태를 나타낸 것으로 방전 조도가공의 경우는 산의 크기가 매우 균일하고 조밀하지만, Shot blast에 의하여 가공된 조도는 불규칙적이고 조밀하지가 못하며 예리하고 높게 돌출된 산 뒤에 조도가공이 안된 편평한 부분에 연삭숫돌 자국이 그대로 남아 있다. 이 작업롤을 사용하여 압연가공을 하면 방전 조도가공 롤은 냉간강판의 판 면에 지속적으로 조도를 전사시키지만, Shot blast 조도가공 롤은 예리한 부분이 집중적인 하중을 받아 압연가공 초기에 마멸되어 平面化된다.⁽¹¹⁾ 따라서 Ra 값은 같다고 해도 Shot blasting 롤이 급속하게 마멸되므로 강판표면의 조도 균일성이 나쁘고 롤의 수명도 짧다.

2) 냉간압연 가공에서의 조도변화

(1) 작업롤의 표면조도변화

Fig. 7은 강판의 재질이 작업롤의 조도변화에 미치는

영향을 나타낸 것으로 탄소함유량이 많은 SAE 1012와 SAE 1017은 압연가공 시작부터 25km까지 롤 표면조도가 급속하게 감소되다가 그 이후부터는 서서히 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 가공에 많이 사용되는 SAE 1008과 SAE 1006은 가공거리 50km까지는 다소 조도의 감소가 빠르지만 75km를 지나면서 조도의 감소정도가 완만하게 되어 SAE 1012와 SAE 1017과 매우 유사한 경향을 나타낸다. 이와 같이 표면경도가 높은 재료는 낮은 재료를 가공할 때 보다 작업롤 표면에 있는 산의 마멸속도가 빠르게 진전되기 때문으로 생각된다. 작업롤 표면에 예리하게 가공된 산은 가공초기에 판 면과의 마찰에 의하여 거의 마멸되고, 마멸량은 열연강판의 경도가 높고 압연하중이 클수록 많게 된다.⁽¹²⁾ 이때 발생된 磨滅粉의 일부가 작업롤 표면에 凝着되어⁽¹⁻²⁾ 작업롤 표면을 早期에 鏡面化시킨다고 생각된다.

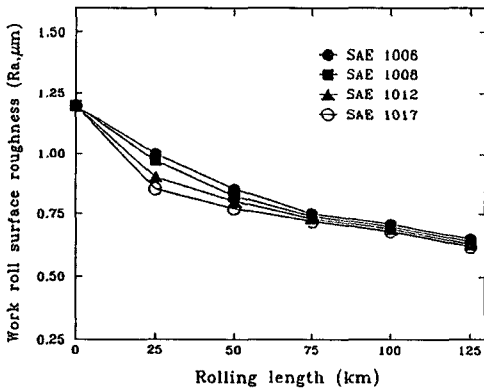


Fig. 7 Dependence of rolling length of the variation on the work roll roughness for the various specimens in the cold rolling

(2) 냉연강판 표면의 조도변화

Fig. 8은 열연강판과 가공중인 강판의 표면상태를 주사전자 현미경을 사용하여 나타낸 것으로 냉간압연 가공시 Pass수에 따라 판면조도가 변하는 과정과 슬립의 흔적(Plowing)을 자세히 볼 수가 있다. 열연강판은 산화층을 제거하고 나면 산의 모양이 방향성을 가지지 않고 섬유조직처럼 되어 어느 방향이나 조도 값이 비슷하지만, Pass수가 증가하면서 작업롤 바이트의 슬립흔적이 선명해져 방향성이 있는 조도가 형성된다.⁽¹²⁾

Fig. 9는 Pass수에 따른 조도의 변화를 나타낸 것으로 조도 측정은 압연방향으로 하였다. 강판 중앙부분의 조도

는 최초 Ra 0.9/μm에서 1 Pass 후에 Ra 0.6/μm으로 되었으나 점차 둔화되는 경향을 나타낸다. 그러나 가장자리의 경우는 중앙부위 보다 조도변화가 완만하고 가공 후에는 모든 부분의 조도가 거의 유사하게 됨을 볼 수 있다. 압연방향의 직각으로 표면조도를 조사한 Fig. 10에서 폭방향의 표면조도가 Pass수에 따라 크게 증가하는 것은 냉간압연 가공시 판과 롤 표면의 슬립흔적이 점차 크게되기 때문이며, 특히 롤의 중앙부분은 압하력이 많이 작용하므로 줄무늬 형태의 슬립흔적이 크고 명확하게 생성된다.

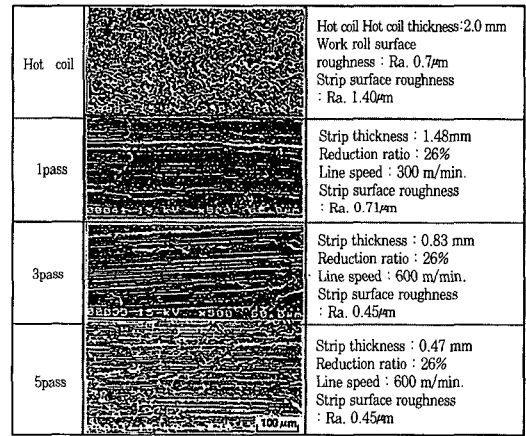


Fig. 8 Scanning electron micrographs of strip surface which were cold rolled on the pass number for the SAE 1008

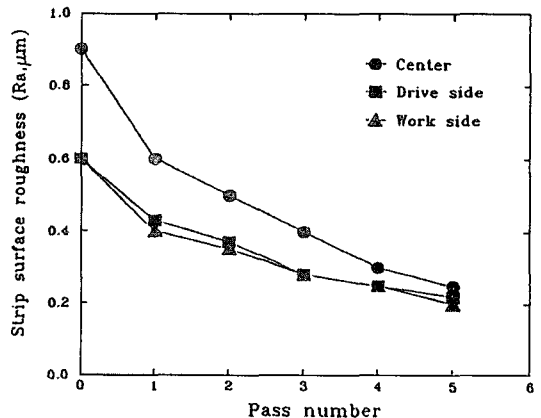


Fig. 9 Relationship between strip surface roughness and pass number in the cold rolling direction

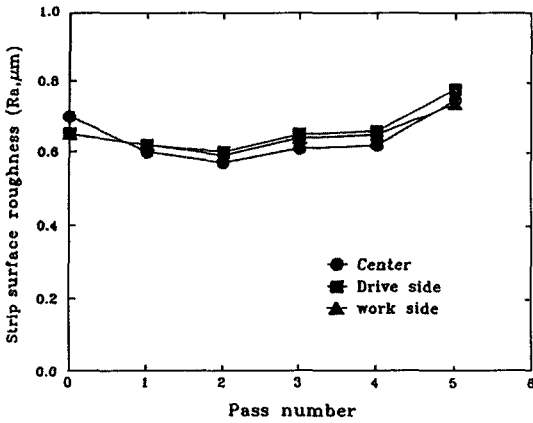


Fig. 10 Relationship between strip surface roughness and pass number in the cold rolling direction

(3) 압하력 및 압하량이 조도변화에 미치는 영향

Fig. 11에서는 SAE 1008을 사용하여 압하력(Separating force)의 변화에 따른 냉연강판의 표면조도 변화를 나타낸 것이다. 압하력은 일반적으로 가장 많이 사용되는 930톤, 980톤 및 1030톤으로 가공을 하였으나, 압하력에 따른 조도의 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

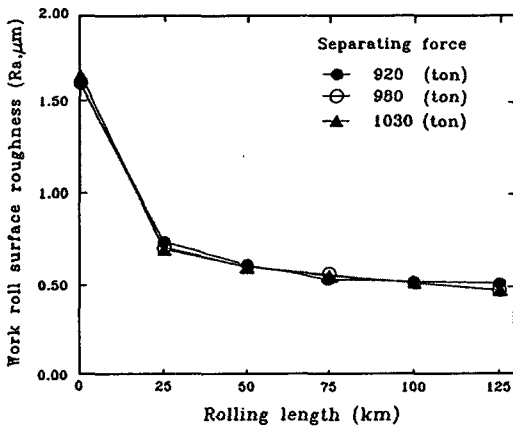


Fig. 11 Relationship between strip surface roughness and rolling length for the separating force in the cold rolling

Fig. 12는 SAE 1008을 압하력 1030톤에서 압연가공을 하되 총 압하율(Reduction ratio)을 56.36%, 63.63% 및 70.09%로 변화시켰을 때 압연가공거리에 따른 냉연강판의 조도변화를 나타낸 것이다. 냉간압연 가공거리의 증가에 따라 냉연강판의 표면조도가 감소되

만, 압하력과 마찬가지로 총 압하율의 변화에 따른 판면의 조도변화는 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 냉간압연 가공에서 총 압하율과 압하력은 판면조도 변화에 큰 영향을 미치지 않고 압연가공거리에 따라 판면조도가 감소되는 것을 알 수 있다.

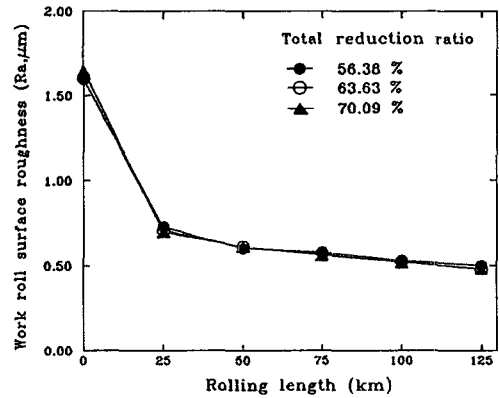


Fig. 12 Relationship between strip surface roughness and rolling length for the total reduction ratio in the cold rolling

3) 조질압연가공에서의 조도변화

(1) 작업롤 표면의 조도형태가 롤 수명에 미치는 영향

냉간압연 제품의 도장성과 성형성에 영향을 미치는 강판의 조도는 조질압연용 작업롤의 표면조도와 산의 형태에 따라 결정되므로 이를 적절하게 적용해야 한다. Fig. 13은 방전조도 가공롤의 조도가 조질압연 가공거리에 따라 변화하는 것을 상, 하 작업롤로 구분하여 나타냈다. 상하 작업롤의 조도가 40km까지는 가공거리에 비례하여 Ra 1.85μm에서 Ra 1.5μm 까지 거의 직선적으로 감소되지만, 40km이후부터는 다소 완만하게 조도가 감소되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 압하력이 작아 슬립에 의한 마멸이 거의 없고, 산의 형태가 균일하고 調和波에 가깝기 때문에 급속한 마멸이 없는 것으로 생각된다.

Fig. 14는 Shot blast에 의하여 조도 가공을 한 작업롤의 표면조도 변화를 조사한 것으로 조도감소 경향이 방전가공과는 전혀 다르지만, 냉간압연 가공과는 거의 유사한 형태로 변하는 것을 알 수 있다. 조질압연 가공거리 20km에서 Ra 1.4μm로 조도가 감소되고 40km를 통과하면서 Ra 1.2μm까지 감소되었지만, 그 이후부터 60km까지는 거의 변화가 없는 것을 알 수가 있다. 방전

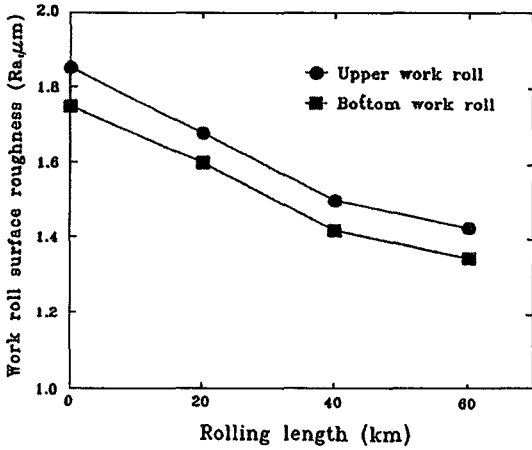


Fig. 13 Work roll surface roughness vs. rolling length in the electro-discharge texturing

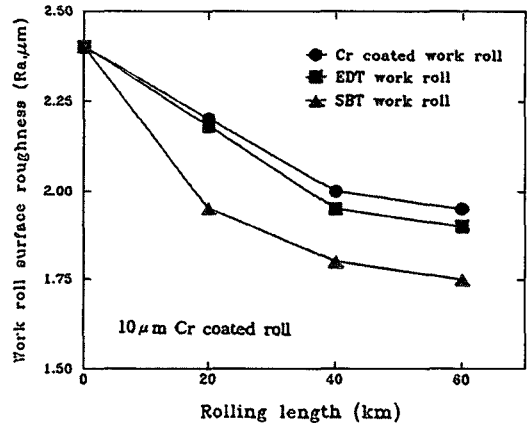


Fig. 15 Relationship between top work roll surface roughness and temper rolling length in the texture method

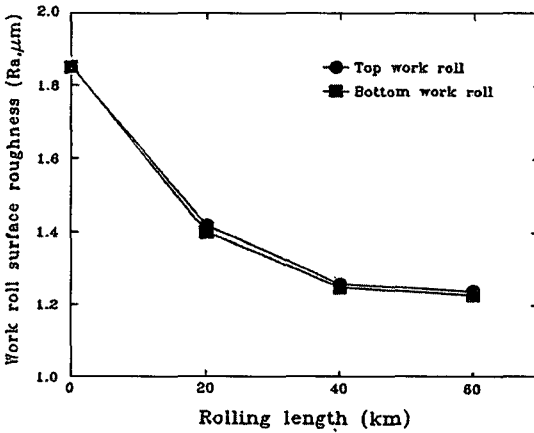


Fig. 14 Work roll surface roughness vs. rolling length in the shot blast texturing

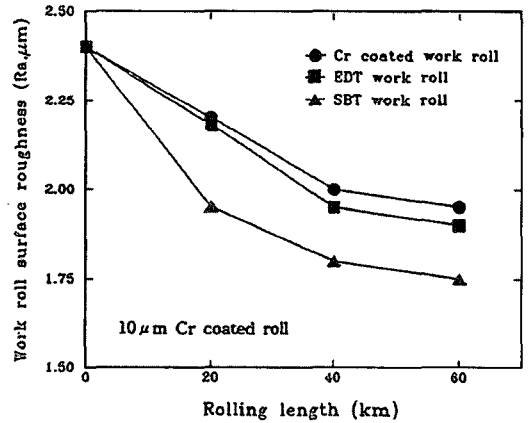


Fig. 16 Relationship between bottom work roll surface roughness and temper rolling length in the texture method

조도 가공 롤은 조화파 형태의 산이 Shot blasting 보다 많기 때문에 수명이 2~5배정도 길다고⁽¹³⁾ 하지만 본 실험에서 Ra 1.4μm을 기준으로 보면 2배정도 작업롤의 수명이 길게 나타났다.

(2) 크롬도금이 조도의 변화에 미치는 영향

냉연 제품의 도장성과 성형성에 영향을 미치는 강판표면의 조도는 조질압연에서 사용되는 작업롤의 표면조도와 산의 형태에 따라 결정되므로 이를 적절하게 선택하여 적용해야 한다.

Fig. 15와 Fig. 16은 작업롤을 Shot blast에 의한 조도가공을 한 후, 그 위에 크롬도금을 한 크롬도금 롤과 방전조도 가공롤 그리고 Shot blast에 의한 조도 가공롤을

사용하여 조질압연 가공거리에 따른 상, 하 작업롤의 조도변화를 나타낸 것이다. Fig. 15에서 보면 상 작업롤의 초기조도를 Ra 2.4μm으로 하여 20km 조질압연 하였을 때 크롬도금롤과 방전조도 가공롤은 유사한 조도감소가 이루어지고 있으나⁽¹⁴⁾ Shot blast 조도 가공의 경우는 급격하게 감소되고 있음을 볼 수 있다. 40km에서는 Shot blast 조도 가공롤은 Ra 1.75μm 정도로 감소되지만 크롬도금롤과 방전조도 가공롤은 Ra 2.0μm을 유지하게 됨을 볼 수 있다. Fig. 16은 하 작업롤의 조도변화를 조사한 것으로 상 작업롤과 유사하게 변화함을 볼 수 있다.

이는 삼각파형의 조도모양은 조화파형의 조도형태 보다 마멸이 빠르게 일어나 조기에 작업롤의 경면화가 일어나기 때문이다.⁽¹⁵⁾ 따라서 크롬도금 롤과 방전조도 가공롤은

마멸이 작아 마멸분이 적게 발생되고 냉연강관의 조도도 일정하게 유지되어 판 면이 매우 깨끗하게 가공되므로 동일한 초기 표면조도에서 조질압연 가공을 시작할 경우 방전조도가공이나 크롬도금 롤의 수명은 Shot blast 조도 가공 롤 보다 2배정도 길게 나타났다.

Fig. 17은 크롬도금 두께에 따른 작업롤 표면상태의 변화를 나타낸 것으로 조질압연 가공 후 작업롤의 조도 기준을 Ra 2.4 μ m으로 하였을 때, 도금두께 14 μ m에서는 조질압연 가공초기에는 큰 문제가 없으나 조질압연 가공 길이 80km를 지나면서 크롬층이 박리 되었다. 크롬도금 두께가 8 μ m인 경우는 가공거리 60km에서 크롬도금층이 거의 마멸되어 냉연강판표면에 異物形態가 발생되고, 조질압연용 작업롤 표면에 10 m 두께로 크롬도금을 하였을 경우는 가공거리 120km 까지 문제가 발생되지 않았다. Fig. 17에서 검은 부분은 크롬도금층이 마멸 또는 박리된 부분으로 크롬도금층의 박리가 일어난 경우는 마멸에 의한 경우보다 검은 부분의 크기가 크며, 정상적으로 마멸된 경우는 많이 돌출된 부분만 마멸된 것을 알 수 있다. 따라서 작업롤의 크롬도금층의 두께는 10 μ m 정도가 적당하다고 생각된다




Cr coating thickness	Cr coated work roll surface	Remarks
14 μ m		. Ra : 2.2 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. 17 Photographs of work roll surface for the Cr coating thickness after temper rolling.

4. 결 론

냉간압연 가공에서 강관의 제질변화가 작업롤의 마멸에 미치는 현상과 제품의 표면품질을 최종적으로 결정하는 조질압연 작업롤의 조도가공 특성을 조사하고, 작업롤의 표면조도를 균일하게 하고 수명을 길게 하기 위한 적절한 크롬도금 두께를 알아내기 위하여 현장 압연기에서 실험해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 냉간압연 가공에서 작업롤의 마멸량은 열연강관의 탄소 함유량이 많을수록 크지만, 압하력과 압하율의 영향은 거의 없다.
- 2) SAE 1008을 냉간압연(5 Pass) 하였을 경우 판면 조도는 폭 방향이 압연 방향보다 높고, 작업롤 표면의 마멸량은 강판두께가 두꺼운 중앙부분과 하 작업롤이 많다.
- 3) 연신율 1.0 %, 조도 Ra 2.5 μ m 이하로 조질압연 가공 할 경우 크롬도금과 방전조도 가공 작업롤의 조도변화는 유사하다.
- 4) 조질압연용 작업롤의 크롬도금 두께는 약 10 μ m 정도가 가장 적절하고, Shot blast조도가공 롤 보다 수명이 2배정도 길다.
- 5) 방전조도 가공 롤은 Shot blast에 의한 조도가공 롤 보다 수명이 2배 이상 길고 강판표면이 美麗하다.

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 檢討”, 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檢討”, 鐵と鋼, 第 3號, p. 126, 1987.
3. T. Kono, Y. Misaka, “A Methmetical Model on Strip Profile and Shape in Cold Rolling”, 鐵と鋼, 第15號, pp. 286-294, 1981.
4. Fujiwara, T., “The Development of High Clarity Steel Sheet”, Nissan Technical Review, No. 23, pp. 53-59, 1981.
5. Furukawa, K., “Development of High Image Clarity Steel Sheet Laser Mirror”, Kawasaki Steel Tech. Report, vol. 20, No. 3, pp. 123-141, 1988.

6. Filan. T. G., Perfetti, B. M., Scialabba. B. J., "Relationship of Sh Surface-Roughness Texture to Painted Sheet Appearance", Proceeding 19th Congress on Mech. Working and Steel Processing Pittsburgh, Pa., June, pp. 148-157, 1977.
7. Aspinwall, D. K., Zhao, F. L., and El-Menshawly, M. "Electro-discharge Texturing EDT. of Steel Rolls", Surface Topography 2, pp. 123-141, 1989.
8. Jacques A. Defourny, Vincent M. Leroy. Paul E. Nilles., "Update of Developments in Lasertex Technology" Iron and Steel Engineer, vol. 68, No. 8, p. 39, 1991.
9. Katsuya Kondo, yoshisuke Misaki, Masaki Okamoto, Yasuno Matsumori, Toshimitsu Miyagi, " A new automatic gauge control system for a reversing cold mill", Technical report, Transactions ISIJ, vol. 28, pp. 507-513, 1988.
10. Roger davidson, "Automatic flatness control system", Iron and Steel, October, pp.44-48, 1986
11. 전언찬, 김순경, 김문경, "냉간압연가공시 압연재료와 Work roll 마멸에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제10권, 제4호, pp.128-129. 1993.
12. 朴興植, "오스텝퍼링 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.
13. Kenji, K., Katsumi, M., Yoichi, K. and Mitsugi, K. , "Electric Discharge Method for Work Roll of Cold Rolling Mill" Nippon Kokan Technical Report, Overseas No. 33, pp. 40-46, 1991.
14. 田中純彦, 田中昌平, 長友 司, "壓延ロールクロムめっき設備の建設と實機適用" R&D 神戶製鋼技報, vol.36, No.3, pp.81-84, 1989.
15. Yaw-Hei, Tung. "A good way to prevent the slippage in TCM when rolling coils from Al. killed CC slab" 4th International steel rolling conf., vol.2, pp. 1-2, 1987.