

<論 文>

조질압연 가공시 작업롤조도와 판면조도 변화에 관한 연구

전언찬* · 김순경**

(1994년 7월 18일 접수)

A Study on the Surface Roughness Variation of Work Roll and Strip at the Temper Rolling

Eon-Chan Jeon and Soon-Kyung Kim

Key Words: Temper Rolling(조질압연), Surface Roughness(표면조도), Peak Count(산수), Electro-Discharge Texturing Method(방전가공방법), Image Clarity(선명성)

Abstract

A study on the surface roughness variation of work roll and strip at the temper rolling was performed. The results were obtained with changes according to the surface roughness of work roll and method to make the peak count on the roll in the temper rolling, and factors to affect to the work roll surface in actual rolling machine (ie. Temper mill). The results suggests that the electro-discharge textured roll has more uniform roughness distribution than shot blasted roll and its life time is two times longer than shot blasted because it has more sine wave roughness, and the higher peak count of surface roughness, the more time is necessary to roll texturing and it is possible to control the Rmax. In shot blasting method, Surface roughness is related to the impeller speed, But it can't control the peak count.

1. 서 론

냉간압연 강판은 최근 자동차 산업에 가장 많이 사용되고 있으며 일반적으로 몸체용과 부품용으로 대별된다. 부품용의 경우는 도장성과는 큰 관계가 없지만 성형성(formability)이 매우 중요하며 외판용은 도장성과 성형성이 좋아야 한다. 따라서 성형성과 도장성의 향상을 위하여 강판의 재질을 변경시키고, 기계적 성질을 개선하기 위한 열처리 조건도 다양하게 연구되고 있지만, 도장성에는 한계가 있으므로, 이를 개선시키기 위하여 조질압연 가공시 압연용 작업롤(work roll)표면에 적당한 조도를 부여하여 판면에 전사되게 한다. 특히 판면의

조도는 성형시 강판과 금형 사이에 윤활 작용을 하는 방청유를 강판이 머금고 있도록 하여 성형시 가공성을 좋게 하지만, 판면의 조도가 불균일하거나 적당하지 못할 경우 성형중에 표면에 긁힘 자국이 생기거나 터짐현상 등이 발생하게 되어 제품은 사용할 수가 없고 프레스나 금형수리비가 증가하게 되며 또, 다른 하나의 문제는 도장한 부분의 선명성(image clarity)에 관한 것으로 표면조도가 나쁠 경우 표면에 orange-peel 현상 등도 발생하게 되므로 강판 표면의 조도는 매우 중요하다.^(1~3) 강판의 표면조도는 최종제품의 가공특성에 맞게 결정을 하며 표면을 매끄럽고 평평하게 하여 도장성을 향상시키기 위한 것과 성형성을 우수하게 하기 위하여 표면을 아주 거칠게 하는 방법이 있으나, 제품의 가공조건에 맞는 이상적인 조건을 찾기 위하여 조도부여방법에 대하여 많은 연구가 행해지고 있다.⁽⁴⁾

*정회원, 동아대학교 기계공학과

**연합철강공업(주)

가장 일반적으로 사용하고 있던 shot blasting 방법은 조도의 재연성이 없고 부위마다 조도가 다르며 제어방법이 불완전한 방법이므로 점차 사라지고 있는 추세이며, grit의 크기나 경도 등 많은 제약조건이 없이도 쉽게 제어가 가능한 방전에 의한 조도 부여 방법인 방전가공방법(electro discharge texturing method) 이 보편화되어 가고 있으나, 가공 원리와 장치에 관한 연구가⁽⁵⁾ 많으며 자동차 공업의 선진국인 일본이나 독일 등에서는 laser texturing에 관해서도 많은 연구를 하고 있지만,^(6,7) 방전가공법의 사용결과에 관한 연구결과는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 냉간압연 강판을 열처리한 후 최종적으로 판면에 조도를 부여하는 조질압연(temper rolling) 가공시에 사용되는 작업물의 산수(peak count) 및 조도와 판면 전사형태 등을 실제 사용중인 기계에서 가공한 후 조질압연을 하

고 방전가공법과 shot blast 가공법으로 구분하여 비교하였으며, 물 표면조도의 마멸이 제품에 미치는 영향과 사용수명에 대하여 연구하는 것을 목적으로 하였다.

2. 가공원리

방전가공방법은 조도를 부여하고자 하는 물과 방전을 일으키는 전극(electrode)이 부전도유(dielectric oil) 속에서 전기적으로 방전을 일으키면서 가공물인 작업물 표면에 분화구 형태의 흠집을 균일하게 만들어 원하는 표면조도를 얻는 것으로써 이때 전극도 끝부분이 소모된다.⁽⁸⁾ 즉, 발전기에서 전류를 보내면 부전도유 속의 전도성 입자들이 양극성 전도(dipolar bridge) 매개체를 형성하게 되고 이 매개체는 단속적인 전류를 물에 전달하게 된

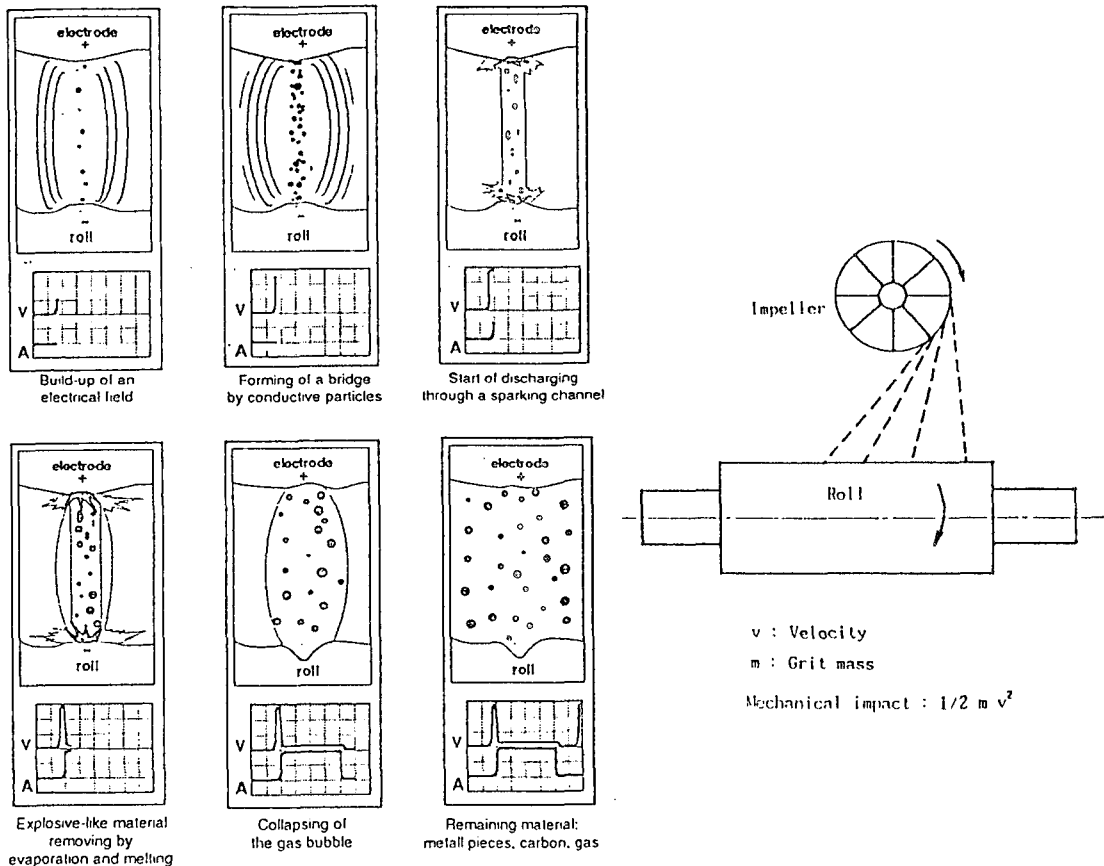


Fig. 1 The principle of electro-discharge texturing(EDT) and shot blast texturing(SBT) method

다. 이와 같은 단속적인 방전전류가 롤 표면을 반구형태로 용해시키면 가스를 지닌 기포가 형성되게 된다. 방전전류가 멈추면 방전이 없어지면서 용해된 입자가 밀려나게 되고 그 자리는 분화구 형태로 된다. 이와 같은 과정을 상세하게 구분하면 Fig. 1에서 보는 바와 같이 6단계로 나눌 수가 있다. 전극전압을 걸어주면 전극과 롤 사이에 서서히 통로(channel)가 형성되며 전압이 최대로 올라가면 확실하게 그 통로가 만들어진다. 에너지를 전달하는 통로가 완전하게 만들어지면 전류가 상승하기 시작하고, 이때 전압은 급격하게 떨어지면서 전류가 급상승하여 폭발형태의 스파크가 발생된다. 그리고 전극의 에너지가 롤에 완전히 전달되면서 가공이 완전히 끝나게 되며 여기서 발생된 입자들은 부전도유를 통하여 필터에서 제거된다.⁽⁹⁾

가장 보편적으로 사용되고 있는 조도 가공 방법의 하나인 shot blast의 가공방법은 Fig. 1에서 보는바와 같이 단단하고 끝이 예리한 쇠조각인 grit를 임펠라의 회전에 의하여 작업롤 표면에 부딪히게 하여 작업롤 표면에 흠집을 내는 방법이므로 설

비의 구성이나 가공원리가 간단하고 단조롭다. Grit가 작업롤 표면에 때리는 힘의 크기는 질량과 속도의 자승에 비례한다. 따라서 shot blast 가공 방법은 조도의 변화에 따른 조도 가공시간은 거의 일정하며 오직 임펠라의 회전속도만 변화시킨다.

3. 실험장치

본 실험에 사용된 방전가공기의 주요 구성은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 기계 본체의 베드부분과 주축대, 심압대, 그리고 neck rest로 구성되어 있다. 그리고 실린더 작동용 유압장치와 부전도유축에 잔존해 있는 입자들을 제거시켜 주는 필터장치가 있다. 가공하고자 하는 롤을 neck rest 위에 안착시키면 주축대와 심압대의 위치가 자동으로 설정되고 심압대의 유압 실린더가 롤의 끝부분을 밀어주면서 고정시킨다. 컴퓨터에 입력된 롤의 직경에 따라 전극을 지지하고 있는 서보 실린더가 전극과 롤의 간격을 적당하게 조절한다. 이와 같은 과정이 진행되는 동안 롤 몸체가 반정도 잠길 수 있

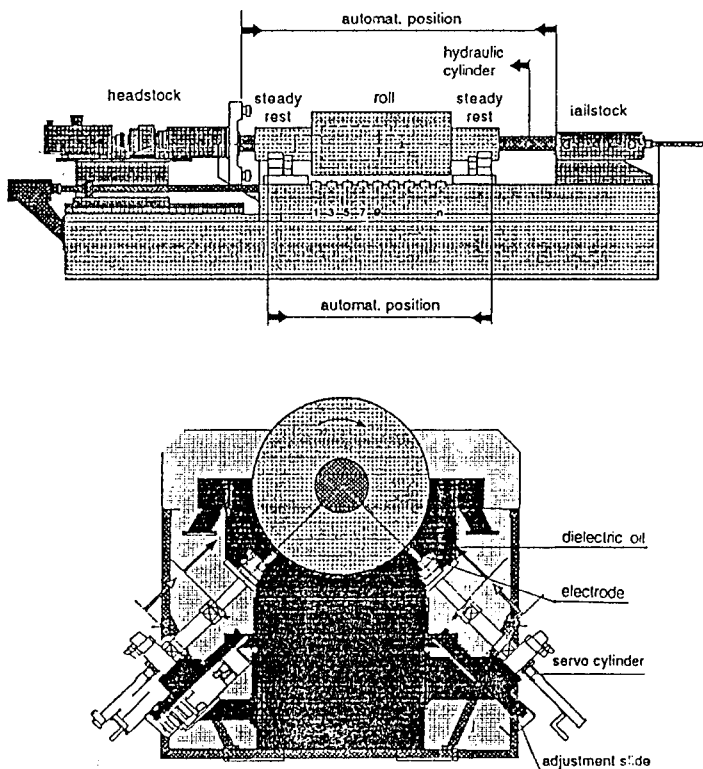


Fig. 2 General arrangement of EDT machine

는 부전도유가 전극 중앙에 있는 구멍을 통하여 흘러나오며, 원하는 조도를 설정해 두고 그 프로그램 숫자만 입력시키면 가공이 완전히 끝날 때까지 자동으로 운전된다. 가공중에 원하는 조도가 균일하게 가공되지 않을 경우에는 가공시간을 연장시켜 조도를 정확하게 가공하는 경우도 있다. 전극과 롤의 간격은 일반적으로 0.02~0.2 mm까지 조절가능하며 같은 조도에서도 산수(peak count)를 임의대로 조절할 수 있는 5가지의 모드가 있다. 이와 같은 산수의 결정은 발전기의 전압과 전극을 바꾸면서 행해지는데 전압은 일반적으로 35~50볼트 범위에서 조절되며 조도는 전류와 펄스(pulse)폭에 따라서 결정된다. 본 실험에 사용된 shot blast가공기(Type: BICK 4-1)는 Fig. 1에서 보는바와 같이 원리가 간단하고 기계자체도 매우 간단하다. 가공물을 운반하고 회전시켜 주며 길이방향으로 일정한 속도로 움직이게 해주는 대차부분과 가공물의 표면에 grit를 뿌려주는 장치인 입펠라부분이 있고 부대적으로 grit의 크기를 선별해 주고 작게 부서져 먼지로 변한 grit와 철분들을 밖으로 제거시켜 주는 집진장치로 구성되어 있다.

4. 실험재료

본 실험에서는 같은 작업률과 동일한 강판을 사용하였으며 조질압연용 작업률 성분은 Table 1에서 보는 바와 같이 크롬함량이 3%인 가장 보편적

Table 1 Chemical composition of work roll (wt. %)

C	Si	Mn	P	S
0.95	1.00	0.60	0.03	0.02

Table 2 Mechanical properties of strip

Material	Tensile strength (kgf/mm ²)	Hardness (Hr B)	Elongation (%)
SCP-1	32.10	42.70	44.40

Table 3 Chemical composition of strip (wt. %)

Material	C	Si	Mn	P	S
SHP-1	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010

인 롤을 사용하였으며, 롤의 표면조도의 전사상태를 확인하기 위하여 사용한 소둔 열처리한 강판의 기계적 성질은 Table 2와 같고 화학적 성분은 Table 3에서 보는 바와 같다. 여기서 사용된 강판의 두께는 1.0 mm이며 폭은 1,219 mm로써 냉간 압연 강판의 가장 대표적인 규격이다.

5. 실험방법

조질압연 가공을 마친 후 압연기에서 빼낸 작업물을 상온에 가깝게 냉각시킨 후 롤 연마기에서 연삭을 하여 롤 표면의 피로층을 완전히 제거하고 롤 crown을 만든 다음 롤 dull기로 롤을 운반한다. 운반된 롤을 dull기의 neck rest 위에 얹고 원하는 형태의 조도를 롤 표면에 부여한 다음 조질압연기에서 강판의 표면가공을 한다. 롤의 표면조도는 조질압연기에 투입하기 전에 상, 하 roll의 부위별로 조도 및 산수를 측정하고 가공을 끝내고 빼낸 상태에서 투입전과 동일하게 측정하였다. 그리고 강판과 롤 표면의 상태를 휴대용 광학현미경(portable microscope, model: VH6100)을 사용하며 확대촬영하였으며 강판의 표면을 보다 세밀하게 조사하기 위하여 주사 전자현미경(SEM, Model: S2700)을 사용하였다. 그리고 조도는 휴대용 조도측정기(hommel tester, model: 1000T)를 사용하였다. 롤과 강판의 조도와 산수는 평균값을 나타내었으며 이 값은 롤 몸체의 길이 방향으로 9군데를 100 mm 간격으로 측정하였고 강판의 경우는 폭방향으로 9군데를 100 mm간격으로 측정하여 산술평균한 값이다. 강판표면의 측정은 조질압연기 상에서 측정할 수가 없으므로 Fig. 3에서 보는 바와 같이 조질압연가공 후 재 권취(Recoiling) 공정에서 측정하였으며 롤은 투입전과 인출 후에 진동이 없는 상태에

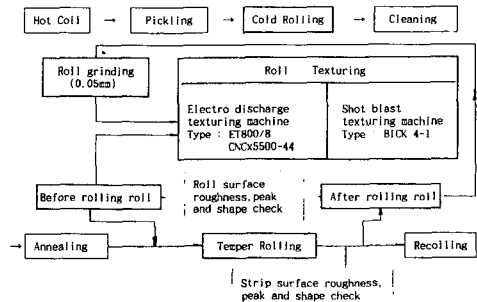


Fig. 3 Flow chart of cold-rolling processing

서 측정하였다.

6. 실험결과 및 고찰

6.1 작업롤 표면의 조도변화

냉간압연 제품의 도장성과 성형성에 영향을 미치는 강판표면의 조도는 조절압연시 사용되는 작업롤의 표면조도와 산의 형태에 따라 결정되므로 이를 적절하게 적용해야 한다. Fig. 4는 롤 표면을 방전 가공하여 조절압연 가공을 한 그래프이며 Fig. 5는 shot blast방법에 의한 가공 롤의 표면조도가 조절압연시 변화하는 것을 나타냈다. 방전가공에 의한 롤 표면의 조도는 상, 하 롤 모두가 거의 안정된 구배를 가지고 있으며 일정한 경향을 나타내지만, shot blast방법에 의하여 가공된 롤의 표면조도는 초기에 급격하게 떨어져 경면화가 빠르게 이루어짐을 알 수 있다. 급격한 조도 저하가 이루어질 때 발생하는 롤 표면의 마멸현상은 마찰에 의한 철분말(iron powder)을 생성하게 되고, 이때 발생된 철분말은 롤 표면에 부분적으로 응착되어 제품표면에 흔적을 남기게 되며 제품은 사용할 수가 없게 된다. 방전가공을 한 Fig. 4의 경우는 조절압연 가

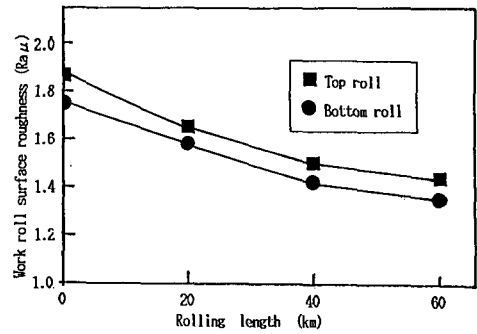


Fig. 4 Relationship between work roll surface roughness and temper rolling length on the EDT

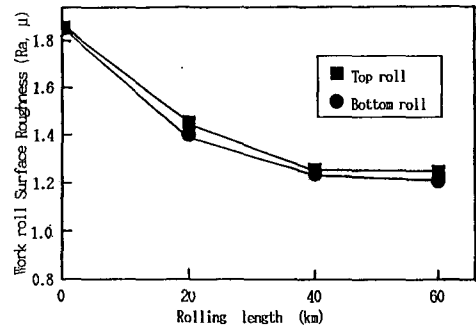


Fig. 5 Relationship between work roll surface roughness and temper rolling length on the SBT

Method	Rolling State	Surface Roughness (Ra, μ)		R-PROFILE RC	Sampling Rate	Filter	Graph Scale
		Top Roll	Bottom Roll				
EDT Method	Before Rolling	1.88 μm	1.75 μm	R-PROFILE RC	5 μm	2008	4.8 mm / 0.8 mm
	After Rolling (60 km)	1.31 μm	1.21 μm	R-PROFILE RC	5 μm	2008	4.8 mm / 0.8 mm
SBT Method	Before Rolling	1.60 μm	1.50 μm	R-PROFILE RC	5 μm	2008	4.8 mm / 0.8 mm
	After Rolling (30 km)	1.37 μm	1.18 μm	R-PROFILE RC	10 μm	1008	4.8 mm / 0.8 mm

Fig. 6 Variable for the surface roughness of work roll center according to texturing method, (C1, C2: Min. size of measured peak on the center line)

공거리가 60 km정도까지도 물 표면의 조도가 1.4 $Ra_{\mu m}$ 유지하고 있지만 shot blast방법으로 가공한 경우는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 20 km를 지나면서 그 이하로 떨어짐을 볼 수 있다. 이는 물의 사용수명과 관계가 있으므로 매우 중요한 사항이며 방전가공시는 조도의 파형이 삼각형이 아닌 정현파 형태의 파형이 shot blast방법보다 많기 때문에 2~5배 정도 물의 수명이 길다고 하는데⁽⁸⁾ 실 기계에서 실험한 결과 2배 이상 수명연장이 가능함을 알 수 있었다.

Fig. 6은 앞에서 언급한 두 가지 방법을 사용하여 물을 가공하였을 경우, 물 표면의 조도를 나타낸 것으로 방전가공인 경우는 매우 균일하게 나타나 있고 사용 후에도 거의 일정한 형태를 유지하고 있지만, shot blast방법인 경우는 조도부여 상태부터 매우 불규칙적이고 마멸도 급격하게 이루어질 뿐만 아니라 불균일하다. 이는 grit의 크기, 경도, 임펠라의 회전속도 등 많은 변화요소가 있기 때문이다. Fig. 7은 방전가공시 작업률 표면에 부여하고자 하는 조도에 따른 소요시간을 나타낸 것으로 조도가 낮을수록 소요시간이 길며 높을수록 짧지만 일정한 조도 이상에서는 소요시간의 변동이 없다. 소요시간의 차이는 표면조도가 클수록 분화구 형태의 개수가 적지만 낮은 경우는 개수가 많아 여러번 스파크가 일어나야 하기 때문이다. 이때 전극과 물과의 간격은 조도가 높을수록 크고 낮을수록 작다. Shot blast에 의한 조도가공시간은 Fig. 8과 같이 표면조도에 따라 소요시간이 변하는 것은 아니며 임펠라의 속도(RPM)에 따라 조도가 결정되므로 일반적으로 물 한 분 가공시 소요시간은 20분 정도 소요되는 데 이는 대차의 속도에 해당한다. 방전가공에 의하여 얻어진 물 표면의 조도는 Fig. 9에서

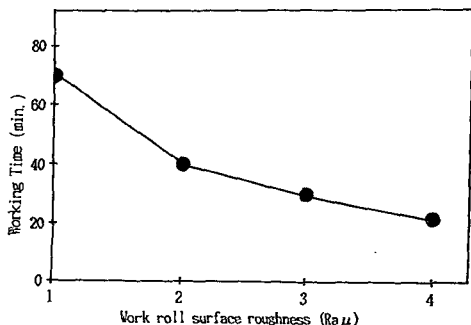


Fig. 7 Relationship between work roll surface roughness and working time in the EDT

보는 바와 같이 분화구 형태의 매우 균일한 형태이지만, shot blast방법에 의하여 얻어진 표면상태를 확대하여 보면 물 연마기에서 연삭시 형성된 표면이 상당부분 그대로 잔존해 있고 grit가 닿은 부분만 흔적이 남아있는 것을 알 수 있다. 따라서 이 부분이 조질압연 후에는 매우 불규칙적으로 판면에 전사되어 성형성이나 도장성이 불량하게 된다. 이와 같은 현상은 Fig. 6에서도 확인이 되는데, R_{max} 값은 shot blast방법에 의한 경우가 크지만 가공에 의하여 조도형성이 된 부분과 그렇지 못한 부분이 구별되며 산의 크기가 큰 부분에 집중적으로 마찰력이 작용하여 급격하게 산이 마멸되지만

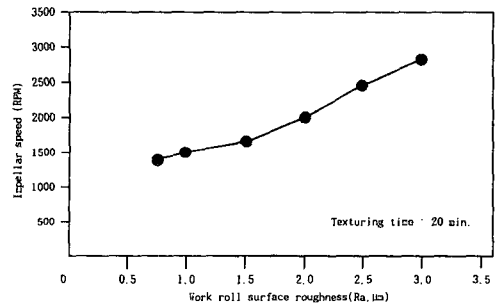


Fig. 8 Relationship between work roll surface roughness and impeller speed(RPM) in the SBT

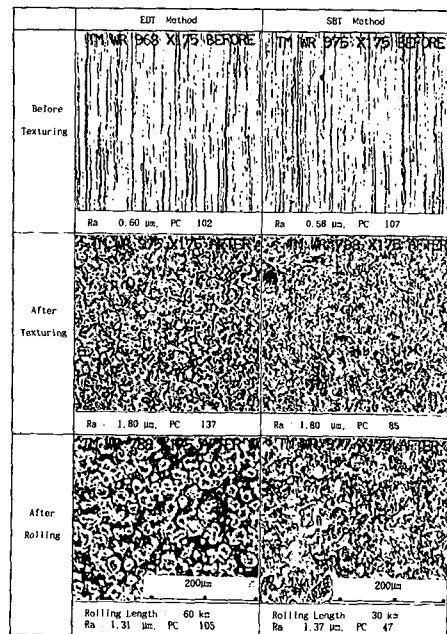


Fig. 9 Photo, for center of work roll barrel surface ($\times 175$)

방전가공에 의한 경우는 Rmax 값이 작고 균일하기 때문에 전단력이 균일하게 작용하여 마멸이 일정하게 되고 그 정도가 작음을 알 수 있다.

6.2 작업롤의 산수의 변화

롤 표면의 산수는 방전가공일 경우는 Fig. 10에서와 같이 일정한 기울기를 가지고 떨어지다가 가공 거리의 40 km를 지나면서 거의 변화가 없어지지만, shot blast방법의 경우는 Fig. 11에서와 같이 가공 초기에 급격하게 떨어지다가 20 km를 지나면서 변화가 거의 없게 된다. 이는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 가끔 돌출된 산이 가공 시작과 동시에 거의 마멸되기 때문이며 산수 65정도에서 변하지 않는 것은 연마기의 롤 표면 가공상태와 거의 유사한 값에서 머물러 있기 때문에 마멸이 잘 일어나지 않음을 나타낸다. 방전가공에서는 롤 초기 조도와 산의 수는 대체로 반대현상을 나타내는데 Fig. 12에서 보는 바와 같이 조도가 Ra 1.0 μm일 때는 산의 수가 200 정도이지만 Ra 1.8 μm일 경우는 산의 수가 100 정도로 급격하게 떨어지며 그 이후 부터

는 서서히 감소됨을 볼 수 있다.

6.3 강판표면의 조도와 산수의 변화

냉간압연 제품의 표면조도는 조절압연시 작업롤의 표면조도의 전사에 의하여 결정되며 산의 수나 형태도 조도와 마찬가지로이다. 그러나 강판의 조도는 조절압연 가공시에 작용되는 연산율에 의하여 약간의 차이가 생기므로 여기서는 1.0%를 기준으로

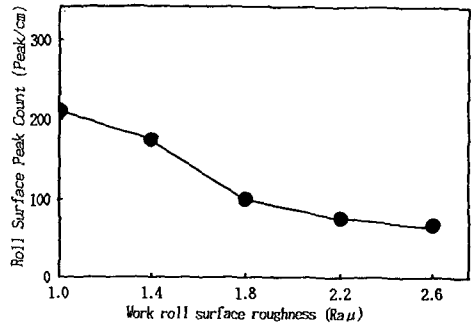


Fig. 12 Relationship between work roll surface peak count and surface roughness on the EDT

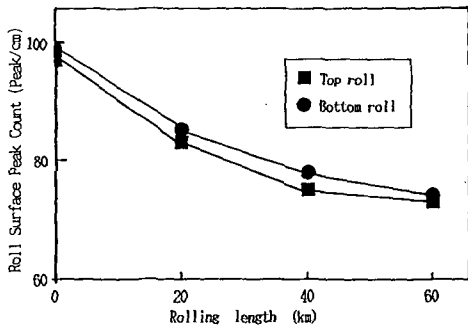


Fig. 10 Relationship between work roll surface peak count and temper rolling length on the EDT

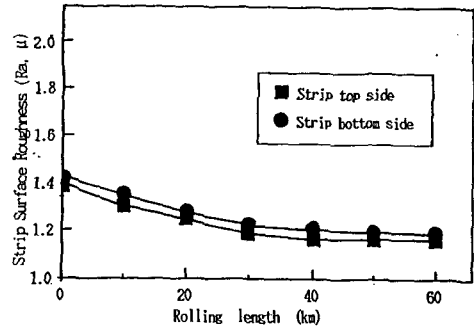


Fig. 13 Relationship between strip surface roughness and temper rolling length on the EDT

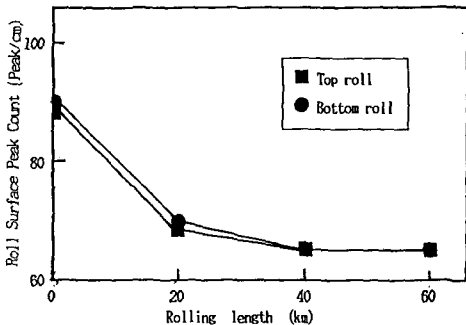


Fig. 11 Relationship between work roll surface peak count and temper rolling length on the SBT

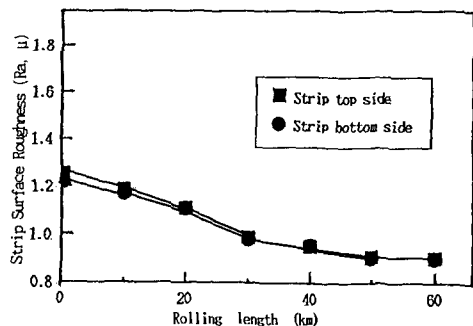


Fig. 14 Relationship between strip surface roughness and temper rolling length on the SBT

가공하였으며 방전가공 롤을 사용한 결과는 Fig. 13과 같고 shot blast가공롤을 사용하여 가공한 판 면의 조도는 Fig. 14와 같다. 방전가공 롤을 사용한 Fig. 13에서는 판면의 조도가 처음 시작부터 60 km까지 거의 변화가 없지만 shot blast가공롤을 사용한 Fig. 14는 30 km를 지나면 거의 조도가 없어지는 현상을 볼 수 있고, 강판표면의 산의 수는 롤의 표면에 따라 결정되지만, 압하율이 클수록 다소 증가하게 된다. Fig. 15에서 보면 처음에는 급격하게 산의 수가 떨어지다가 10 km나면서 안정된 값을 가지게 되고 30 km를 지나면서 강판의 하면이 상면보다 산의 수가 많게 되는데 이는 롤 bite의 중립점이 정확하게 중앙에 접촉되지 않고 상하가 다르기 때문이며 이와 같은 현상은 조질압연 가공시 불량률을 방지하기 위하여 출추에 설치된 cross brake roll을 사용하여 상하 롤의 접촉호의 길이를 다르게 하기 때문이다.⁽¹⁰⁾

Shot blast 가공롤을 사용하여 가공한 강판은 Fig. 16에서와 같이 상하면의 산의 수가 서로 교차하는 점이 방전가공시 보다는 낮고 분명하지가 않음을 볼 수 있다. 이는 롤 표면의 조도가 불규칙적으로 마멸되기 때문에 정확한 경향을 나타내지 않

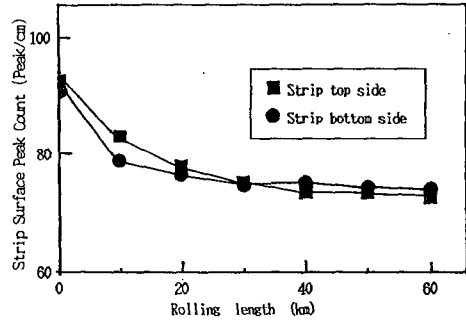


Fig. 15 Relationship between strip surface peak count and temper rolling length on the EDT

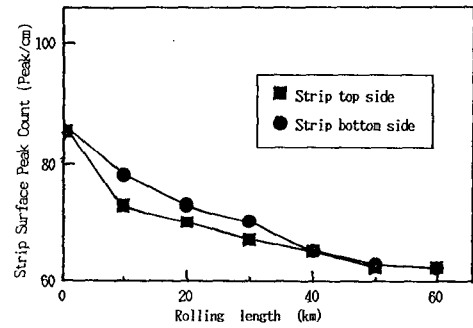


Fig. 16 Relationship between strip surface peak count and temper rolling length on the SBT

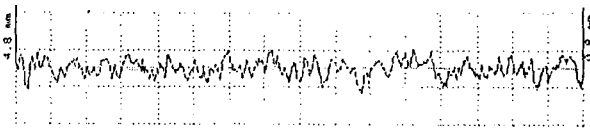
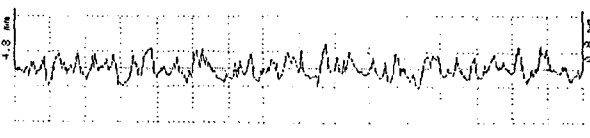
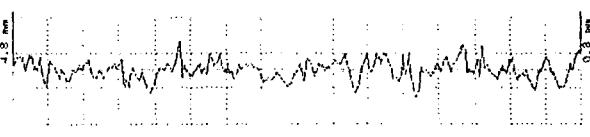
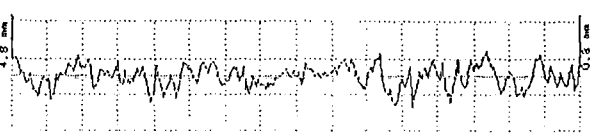
EDT Method	Top Side	- Ra : 0.91 Ra μ - PC : 105 R-PROFIL RC 5mm 2000 250mm 40 
	Bottom Side	- Ra : 0.99 Ra μ - PC : 95 R-PROFIL RC 5mm 2000 250mm 40 
SBT Method	Top Side	- Ra : 1.04 Ra μ - PC : 71 R-PROFIL RC 5mm 2000 250mm 40 
	Side Bottom	- Ra : 1.20 Ra μ - PC : 67 R-PROFIL RC 5mm 2000 250mm 40 

Fig. 17 Variable for surface roughness of strip center according to texturing method. (Rolling length of measured point : EDT ; 55km, SBT ; 28 km)

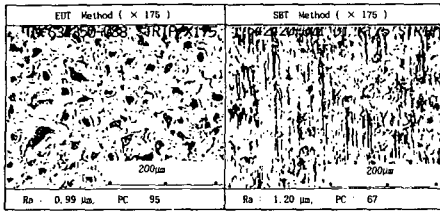


Fig. 18 Photo of strip surface (portable microscope)

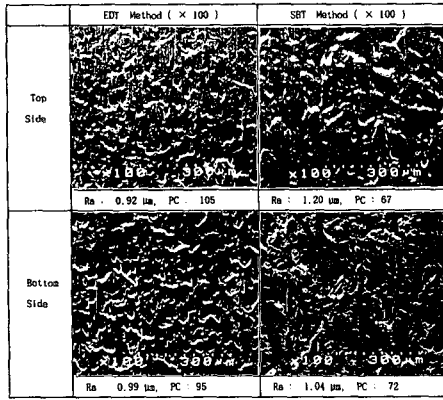


Fig. 19 Photo of strip surface (SEM)

기 때문이다. 따라서 방전가공시는 최종 제품의 수요처에 맞게 조도와 산의 수를 조절할 수가 있지만, shot blast가공시는 조도는 어느정도 변화시킬 수 있으나 산수는 제어가 거의 불가능하다.

상기 두가지 방법에 의하여 가공된 강판의 상면과 하면을 Fig. 17에 나타냈으며 여기서 나타난 산의 형태나 크기 등을 살펴보면 롤과 마찬가지로 형태로 나타나며 방전가공시는 균일하지만 grit를 사용한 shot blast 가공방법의 경우는 싸인곡선처럼 롤에 조도가 형성된 부분과 그렇지 않는 부분이 선명하게 구분된다. 이 부분을 휴대용 광학현미경으로 확대해 보면 Fig. 18에서와 같이 롤 표면과 거의 같은 형태임을 알 수 있다. 주사 전자현미경으로 더 크게 확대해보면 Fig. 19와 같이 더욱 더 자세히 볼 수 있다. 방전가공 롤을 사용한 경우는 매우 선명하고 균일한 조도를 형성할 뿐만 아니라 표면이 매끈하고 깨끗하나 shot blast가공롤을 사용한 경우는 표면의 조도가 불분명하고 부스러기나 냉간압연시에 형성된 조도가 압연방향으로 그대로 잔존해 있음을 볼 수 있다. 이와 같은 상태로 가공 및 도장을 할 경우 선명성과 성형성이 떨어진다.

7. 결 론

조질압연 가공시 작업물의 표면조도 및 산수형성하는 방법에 따른 변화와 판면조도에 미치는 요인 및 현상에 관하여 실제 사용중인 기계에서 조사해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 방전가공롤의 경우는 shot blast에 의한 가공 롤보다 조도분포가 균일하며, 정현파 형태의 조도가 많기 때문에 2배 이상 수명이 길다.
- (2) 방전가공은 롤의 표면조도가 높을수록 가공 시간이 짧아지고 산의 수는 감소하며, 도장성과 관계되는 Rmax. 제어도 가능하다.
- (3) Shot blast에 의한 롤의 조도가공은 롤 표면에 grit를 뿌려주는 임펠라의 속도에 의하여 결정되며, 산의 수를 조절할 수는 없다.
- (4) 강판의 조도와 산수는 방전가공롤을 사용한 경우가 shot blast에 의하여 가공된 롤보다 균일하며 산의 수가 많다.

참고문헌

- (1) Fawzy, El-M., Brian, S., 1991, "Advances in Electro-Discharge Texturing(EDT) for Cold Mill Work Rolls" *Iron and Steel Engineer*, Vol. 68, No. 8, pp. 57~59.
- (2) Fujiwara, T., 1987. "The Development of High Clarity Steel Sheet," *Nissan Technical Review*, No. 23, pp. 53~59.
- (3) Furukawa, K., 1988, "Development of High Image Clarity Steel Sheet Laser Mirror," *Kawasaki Steel Tech. Report*, Vol. 20, No. 3, pp. 123~141.
- (4) Nilan. T. G., Perfetti, B. M., Scialabba. B. J., 1977, "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.
- (5) Aspinwall, D. K., Zhao, F. L., and El-Menshawy, M. F., 1989, "Electro-discharge Texturing(EDT) of Steel Rolls," *Surface Topography 2*, pp. 123~141.
- (6) Jacques A. Defourny, Vincent M. Leroy. and Paul E. Nilles. 1991, "Updata of Developments in

- Lasertex Technology," *Iron and Steel Engineer*, Vol. 68, No. 8, pp. 39.
- (7) Naohiko Soeda, Shin Ujihara and Masahide Nagaoka, 1991, "Development of High Image Clarity Steel Sheet by Laser Texturing," *Iron and Steel Engineer*, Vol. 68, No. 8, pp. 46.
- (8) 佐藤 國彦, 青野富士雄 外 3名, 1979, "放電加工による グルロール加工," 三菱電機技報, Vol. 53, No. 5, pp. 373~377.
- (9) Kenji, K., Katsumi, M., Yoichi, K. and Mitsugi. K, 1981, "Electric Discharge Method for Work Roll of Cold Rolling Mill" *Nippon Kokan Technical Report*, Overseas No. 33, pp. 40~46.
- (10) Kobasa D. and Schultz, R. A., 1968, "Experimental Determination of the Arc of Contact in Cold Rolling," *Iron and Steel Engineering*, Vol. 45, pp. 97.