論文 한국정밀공학회지 제10권 제4호 1993.12
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 10. No.4 Dec. 1993.

冷間壓延加工時 壓延材料와 Work roll 磨滅에 관한 硏究

전 언 찬*, 김 순 경**, 김 문 경***

A Study on Rolling Materials and Work Roll Wear in the Cold Rolling

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

ABSTRACT

Work roll wear in the cold rolling of mild steel strip is strongly affected by rolling materials, rolling conditions and lubrication. The tests were performed to find the effects of rolling materials under the same lubricating conditions. The obtained results are as follfws; 1) The decrease in surface roughness of work roll is more rapid in that case of continuously cast Al-killed steel strip than ingot cast steel strip. In rolling of continuously cast Al-killed steel strip, worn powder rich in Al_2O_3 sticks to the work roll surface, and so it makes the mirror surface of work roll accelerate. 2) Amount of work roll wear is small in rolling of continuously cast Al-killed steel strip. 3) In rolling of continuously cast Al-killed steel strip, it is necessary to put up the initial surface roughness of work roll in order to prevent work roll slip.

I. 서 론

냉간압연의 최근 동향은 연속주조재(Continuous Casting Strip)인 CC재의 비율이 증가하여 최근에는 냉간압연 재료의 주종을 차지하고 있으며 두께도 점차 두꺼워지고 있다. 그러나 최종제품은 반대로 판의 폭이 다양화 되어지고 있으며 박물화 되고 있어 압연 가공시 압하량이 많고 압하율이 큰 고부하 고속압연화의 경향을 나타내고 있다.

CC재는 냉간압연 가공시 Ingot 주조재(Ingot Casting Strip)인 IC재에 비해 Work roll의 조도 저하가 현저하게 크기 때문에[1-4] 압연가공시 Work roll의 조기경면화 현상이 발생되어 채터링(Chsttering) 및 슬립(Slip)등에 의한 판파단 및 Roll 사고가 일어난다. 이와 같은 현상이 발생되면 압연 Roll의 관리가 어려울 뿐만 아니라 정상적인 가공속도유지가 불가하여 생산성이 크게 떨어지므로 Roll의 조도 관리가 냉간압연 가공시 매우 중요하다.

압연 Roll의 마멸에 의한 조도저하에 큰영향을 주는 원인으로는 압연가공시 판면과 Roll의 마찰, 제강시 탈탄재로 사용된 알루미늄이 슬라브(Slab) 가열시 내부산화에 의한 산화 개재물로 강판표면에 잔존하여 Roll 표면의 마멸을 촉진시키는 경우이며,[5-7] 윤활적인 측면에서는 압연유의 성상, 농도 및 Scum생성[8] 등을 들 수 있다.

특히, Work roll의 마멸정도에 따라 냉간압연가공시 판형상의 제어에도 큰 차이가 있으며, 마멸이 심하여 조도가 현저히 떨어졌을 경우에는 판면조도도 낮아져서 열처리시 소부(Sticking) 현상이 발생되기 쉽다. 따라서 최근에는 냉간압연 가공시 Roll의 마멸과 조도관리의

* 동아대학교 기계공학과
** 동아대학교 기계공학과(대학원)
*** 부산대학교 생산기계공학과(대학원)

정밀도가 점차 문제로 대두 되어 자동차 공업이 발달한 독일과 미국에서는 수년전 부터 냉간압연 가공용 Work roll의 조도 부여 방법의 개발에 박차를 가한 결과 Shot blasting 방법에서 방전가공법으로 변화시켰으며 현재에도 Lasor texturing 가공방법이 일본 등 선진국에서 활발하게 진행되고 있으나 이 분야에 관한 연구결과는 거의 없는 실정이다.

냉간압연 가공시 문제가 되는 Work roll의 마멸에 관한 연구가 해외에서는 부분적으로 이루어지고 있으므로 보다 활발한 연구가 필요하다고 생각된다.

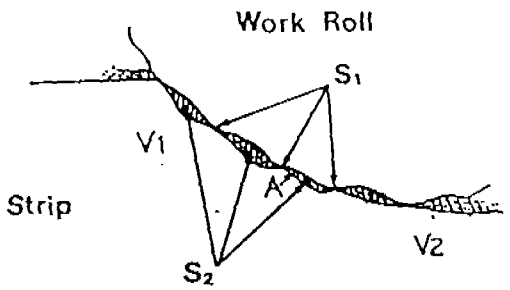
Work roll의 마멸에 영향을 주는 요인은 많지만 본 연구에서는 냉간압연 가공시 경도변화, 상하 Work roll의 마멸상태와 재질변화에 따른 마멸상태변화에 관해서 연구하는 것을 목적으로 하였다.

Ⅱ. Work roll의 磨滅現象

Roll의 조도는 압연속도가 크면 윤활유의 유입량이 많아 일정한 포화상태가 되지만 압하율이 크면 접촉율은 크게되고 유막은 얇아진다.[9] 따라서 접촉율의 크기에 따라 마찰력이 크게 되어 Roll마멸을 촉진시킨다. 경계윤활상태에서는 Roll마멸이 크게 되고 압연가공시 슬립현상이 발생되어 압연가공이 불안정하게 된다. 그리고 접촉호내에서의 Roll마멸은 판면조도도 관계되므로 매우 복잡하다.

Fig. 1[10-11]에서는 경계윤활과 유체윤활구역을 표시하고 판면과 Work roll이 접촉하는 Roll bite를 나타낸 것으로 S_1은 판면과의 경계윤활에 의한 전단응력이 발생하는 부분이며 S_2는 유체윤활이 이루어지는 구역이다.

여기서 경계윤활구역의 전단응력을 τ_b, 유체윤활구역의 전단응력을 τ_f라하고 혼합윤활상태의 것을 τ라하면 전단응력을 구하는 공식[12]은 식 (1), (2), (3)과 같다.



S1 : Part of boundary lubrication
S2 : Part of hydrodynamic lubrication
a : Contact ratio
h : Lubrication film thickness
V : Rolling speed
T : Lubricant temperature
μb : Coefficient of lubrication
μ : Viscosity
V1 : Entry speed of strip
V1 : Delivery speed of strip
A : Neutral point

Fig. 1 Diagrm of work roll bite

$$\tau_b = \mu_b \cdot P \quad \text{----------} \quad (1)$$

$$\tau_f = [\mu . V . h] \quad \text{--------} \quad (2)$$

$$\tau = a \cdot \tau_b + (1-a)\,\tau_f \quad \text{----} \quad (3)$$

A부분은 중립점으로서 Work roll과 판의 속도가 동일하여 슬립발생이 없으나 중립점을 경계로 입구측에서는 V1 < V이 되며 출구측에서는 V2 > V이 된다. 따라서 중립점을 제외한 부분에서는 속도차가 발생하게 되며 이 속도차에 의하여 S_1부분에서 마멸작용이 발생하여 Dull분말이 생성된다.

Ⅲ. 실험장치 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 냉간압연가공에 많이 사용되는 SHP-1(SAE1008)이며 화학적 성분은 Table 1과 같다. 두께는 2.75mm, 폭은 1219mm인 열연강판을 열간압연시 판표면에 생성된 Scale을 산세공정에서 제거한 후, 본 실험에 사용 하였다.

Table 1. Chemical compositions of specimen

(wt. %)

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

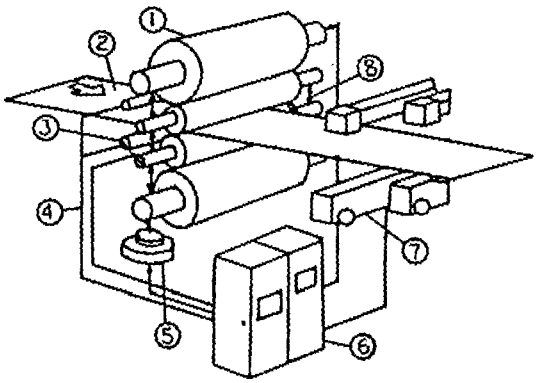
화학적 성분은 CC재와 IC재가 유사하나 CC재의 경우는 제강시 탈산재로 사용된 알루미늄 성분이 0.04%정도 잔존해 있다.

Table 2. Mechanical properties of specimen

Material	SHP-1	
	IC Strip	CC Strip
Hardness (HB)	53.80	70.00
Yield strength (kgf/mm^2)	27.00	25.00
Tensile strength (kgf/mm^2)	36.50	38.50
Elongation (%)	42.20	40.00

2. 실험장치

본 실험에 사용된 냉간압연기는 Fig. 2와 같이 실제 냉간압연제품을 생산하는 실압연기로써 4단가역압연기의 압하용 유압 실린더가 Back up roll chock 하부에 위치하고 있으며 압하력은 1,400톤 이하에서 압연가공을 행하였고, 판두께는 자동두께 제어장치(Automatic gage control system; Adaptive mass flow control)를 사용하였다.



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

Fig. 2 The schematic experimental apparatus

압연가공조건은 Table 3과 같으며 압연유의 사용조건은 Table 4와 같이 일정하게 두었다.

Table 3. Cold rolling conditions of experiment

Mill type	4Hi reversing mill
Line speed	800MPM (max.)
Work roll dia.	ϕ450 (mm)
Back up roll dia.	ϕ1360 (mm)
Reduction force	920~1,300M/T
Thickness control	Automatic gage control system

Table 4. Compositions and properties of lubricants

Compositions (wt%)	Tallow (Base)	90.5
	Fatty acid	2.5
	Lubricity additives	2.0
	Antioxidants	1.0
	etc	4.0

Free fatty acid	10.5%
Saponification NO.	195
Viscosity (100℉)	280 SUS
Specific gravity (60℉)	0.900
PH	5.0

3. 실험방법

판면의 조도측정은 압연전 산세공정에서 열간압연판을 산세한후에 측정하고, 냉간압연가공후 판표면의 조도를 측정하였으며 판면의 조도측정부위는 판의 폭 방향에서 1/4되는 지점에서 측정하였고, 각 코일의 앞뒤부분 1톤 지점에서 측정하였다. 그리고 Work roll의 조도도 최초 압연가공 전과 가공이 끝난 후에 측정하였고, 측정은 전체 Roll barrel의 중앙에서 실시하였으며, 슬립이 발생 될때까지 사용한후 Work roll조도를 측정하고 표면상태를 확인하기 위하여 SEM촬영을 실시하였다. 판면의 상태를 확인 비교하기 위하여 SEM촬영을 실시하여 Roll의 마멸현상과 조도저하의 관계를 비교검토하였고, Work roll표면의 조도는 상하Roll을 구분하여 측정하였으며 압연재료에 따라 마멸현상이 다르므로 CC재와 IC재를 구분하여 Work roll의 경면화현상과 마멸량 등을 비교하였다. 마멸량 측정은 Roll직경 측정용 Micrometer와 Dial gauge를 사용하였으며, 조도측정은 평면측정용 조도계(Taylor Hobson社)를 사용하였으며 Ra값으로 표기하였다.

Ⅳ. 실험결과 및 고찰

1. Work roll의 마멸상태

Work roll표면의 조도부여방법은 Shot blasting 법이 사용되었으며 Fig. 3에서 보는 바와 같이 Work roll 표면조도는 IC재의 경우 Roll 표면조도가 비교적 오래 동안 보존 유지되지만 마멸량은 많고, CC재의 경우는 반대로 Roll 표면조도가 Dull분말의 Work roll 표면응착현상으로 조기에 경면화현상을 나타내어 슬립발생 가능성이 높게됨을 알수 있으며 Roll 마모량은 IC재 가공시보다 적음을 알 수 있다.[13-14] Roll의 전체적인 마멸량은 하Roll이 상Roll 보다 많으며 광폭재의 고부하 압연에서는 Roll 양단의 압력이 중앙보다 크게되어 Roll의 국부적인 마멸현상이 발생되었으나, Fig. 3과 Fig. 4는 Work roll barrel의 1/4되는 지점에서 측정한 값이다. Fig. 3에서는 IC재인 경우는 거의 직선적으로 마멸이 일어나지만 CC재는 75km부터는 마멸이 거의되지 않음을 알 수 있고, Fig. 4에서는 CC재의 조도저하가 빠름을 알 수 있다. 압연가공재료별로 보면 하Roll은 마멸량이 크고 조도 저하도 크게됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 Roll coolant spray 방법에 기인하는 것으로 하Roll은 접촉호내에서 충분한 Coolant pocket을

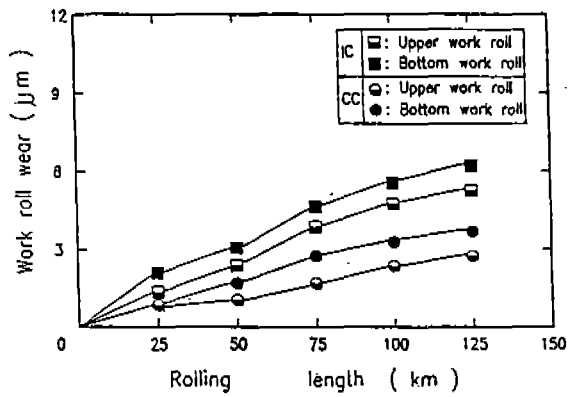


Fig. 3 Relation between work roll wear and rolling length of strip for IC and CC steel.

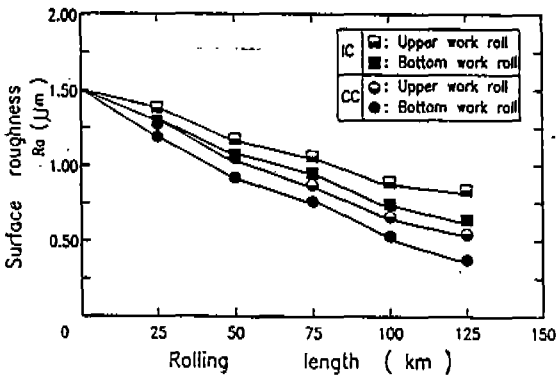
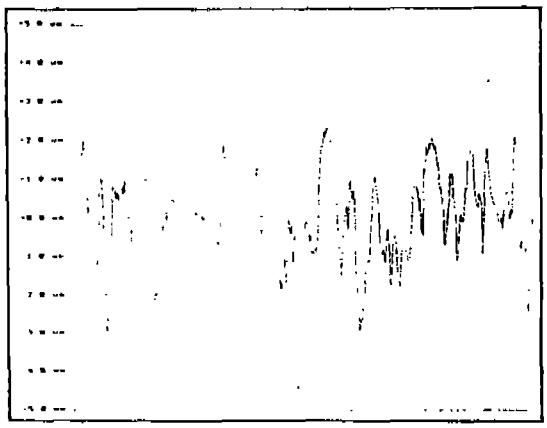
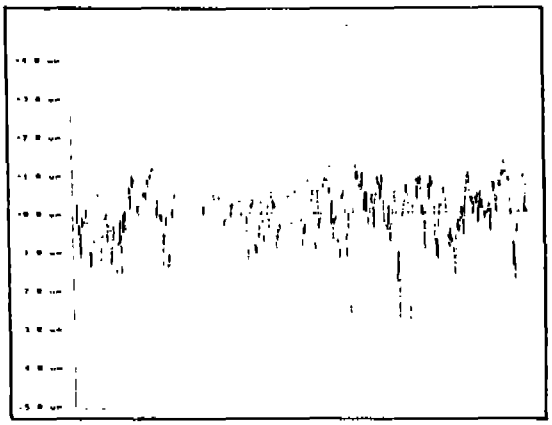


Fig. 4 Relatiln between work roll roughness and rolling length of strip for IC and CC steel.



a) Before rolling (initial roughness : 1.0Ra㎛, rolling length : 0km)



b) After rolling (final roughness : 0.7Ra㎛, rolling length1250km)

Fig. 5 Surface roughness of work roll

형성하지 못하며 유체윤활부가 적기 때문이다.[15]

Fig. 5는 압연가공전과 후의 Roll 표면조도를 나타낸 것으로 압연전에는 Peak수가 많지만 압연후에는 마멸과 응착에 의해 거의 평면화됨을 알 수 있었다. 또한, CC재에서 Roll의 조기 평활화마멸은 압연시 발생된 Dull분말이 Roll표면에 전착되고 Back up roll과의 고접촉압력에 의해 응착되어 Roll표면의 Peak 부분을 조기에 마멸시킨다. 이같은 응착현상은 CC재의 압연시에 특히 크며 압연재중의 알루미늄성분이 Dull분말의 Roll표면 응착에 관여되고 있다는 것이 판명되었다. CC재 압연시 조도저하가 큰 것은 슬라브 가열시 내부산화작용에 의해 슬라브 표면근방에 생성된 미세한 알루미늄산화물이 열연강판면에 잔존하여 냉연 Roll을 연마하기 때문이다.

Fig. 6에서는 Work roll의 표면과 판면상태를 SEM으로 촬영하고 상관관계를 비교 하였으며, 판면의 균열상태와 Work roll bite상에서의 Peak부 마멸이 발생하는 양상을 확인하였으며 중립점 전과 후에서 미세한 슬립이 발생되었음을 알 수 있었다. 공식 (1)에서 알 수 있듯이 판과 Roll표면에 존재하는 Peak가 예리하고 많을수록 경계윤활부분이 많으며, 이 부분이 클수록 판표면에는 전단력이 많이 발생되어 Dull분말이 판면에 많이 잔존하게 되고 Roll표면은 경면화 된다.

실제 냉간압연가공시에는 경계윤활부분과 유체윤활부분이 명확하게 구분되지 않고 혼합윤활상태로 되어지므로[15] 공식 (1), (2)를 구분하여 사용하기는 어렵다.

2. 판표면의 조도변화

Fig. 7은 IC재와 CC재의 판면조도를 Pass별로 비교

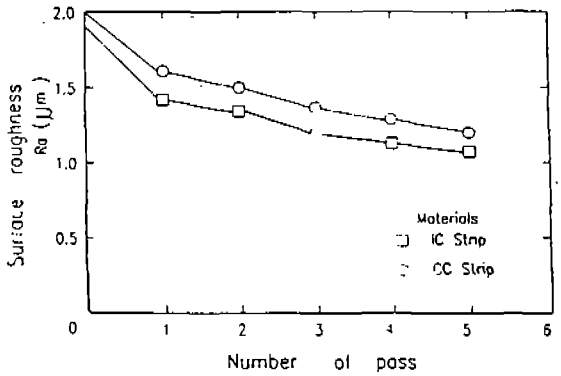


Fig. 7 Relation between strip surface roughness and number of pass

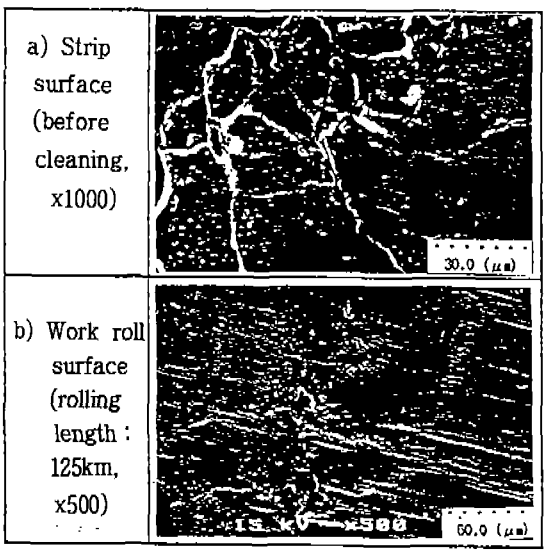


Fig. 6 Photo. of strip surface work roll surface after cold rolling.

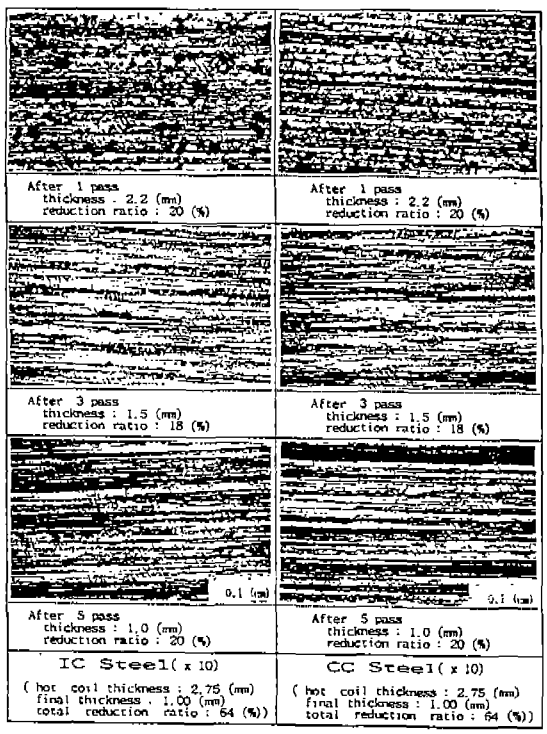
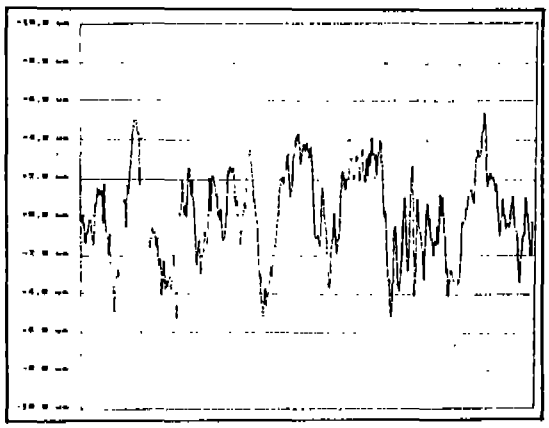


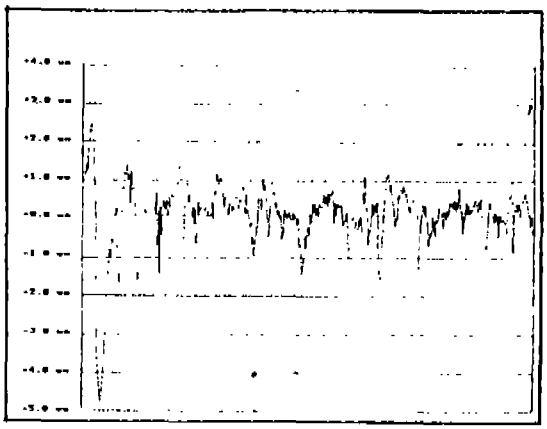
Fig. 8 Photo. of strip surface after each pass rolling.

한 것으로 판면조도가 높은 CC재 압연에서는 판표면 마찰계수가 크게되는 경향이 있다. Fig. 8에서는 CC재는 IC재에 비하여 압연접촉호면에서의 Micro적 경계윤활이 많이 발생되어 슬립흔적의[16] 폭이 좁고 깊이가 깊어진다는 것을 알 수 있다. 여기서 CC재는 IC재 보다 알루미늄성분이 0.04%정도 높게 나타났으며, 알루미늄 함유량이 많은 Dull분말이 Work roll표면에 凝着되어 Back up roll에 전착경화되고, Work roll의 표면조도를 조기에 경면화시키므로 IC재 처리시보다 조기에 Work roll 슬립이 발생된다고 생각할 수 있다.

냉간압연가공시 열간압연된 판면의 조도는 크게 중요



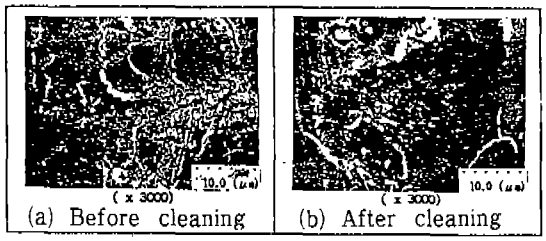
(a) Before rolling
(hot coil roughness : 2.0Raμm)



(b) After rolling
(sheet roughness : 0.6Raμm)

Fig. 9 Surface roughness of strip

하지 않으나, 압연가공후의 판면조도는 다음 공정에서 불량(Sticking)을 유발시키는 인자가 되므로 매우 중요하다고 할 수 있다. 압연가공전과 가공후의 판면조도를 Fig. 9에 나타냈다. 그리고 電解脫脂한 판면을 보면 Fig. 10에서 보는 바와 같이 판면에 Roll과 판면의 마멸에 의한 Dull 분말이 균열이 발생한 곳에 산재해 있음을 알 수 있다. 또한 압연가공후 판면을 깨끗하게 전해



(a) Before cleaning (b) After cleaning

Condition : rolling length : 25(km)
roll roughness : 1.0(Raμm)
strip roughness : 0.8(Raμm)

Fig. 10 Strip surface of before and after cleaning

탈지한후 표면을 전자현미경으로 확대하여 보면 Fig. 10에서 보는 바와 같이 접촉면에 의한 凝着磨滅과 硬質突起에 의한 軟質表面의 절삭작용으로 Abrasive마멸이 발생함과 동시에 가공경화된 단단해진 판표면에 龜裂이 발생되었다. Fig. 11에서는 압연 Pass수가 증가함에 따라 가공경화에 의한 철판의 경도변화를 나타낸 것으로, IC재 보다 CC재는 경도가 높기 때문에 Roll표면의 경면화가 조기에 발생함을 알 수 있다.

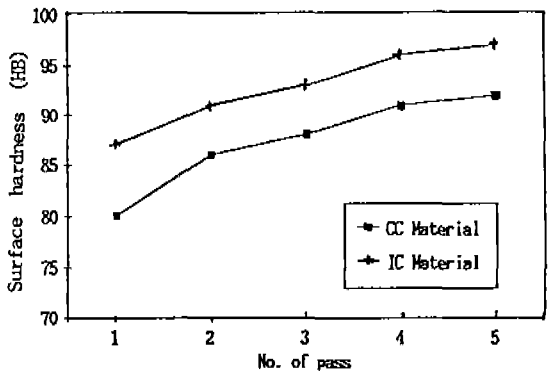


Fig. 11 Relation between strip surface hardness and number of pass

V. 결 론

냉간압연가공시 Work roll 마멸과 슬립은 재질, 압연조건, 그리고 압연유 등 제반 부하조건에 따라서 크게 변하지만 여기서 실험한 Work roll의 마멸현상을 IC재와 CC재를 비교 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) IC재 보다 CC재는 Roll 표면에 산화알루미늄을 포함한 Dull 분말의 凝着으로 인한 Roll 表面鏡面化가 조기에 발생하여 압연가공시 슬립이 발생되기 쉽다.
2) 알루미늄이 많이 함유된 CC材는 IC材 보다 판면경도가 높지만 조기 경면화가되므로 Work roll의 전체 마멸량은 IC재가 많다.
3) CC재는 IC재 보다 냉간압연 Work roll을 조기에 마멸시키므로 슬립방지를 위해 초기조도를 크게 하여야 한다.

참고문헌

1. P. Ratte and J. T. Bouteille; Proc. of int. conf. on steel rolling p. 885 (1980)
2. 柳島章也, 藤原俊二, 北村邦雄, 安田 顯; 鐵と鋼, 第13號, p. 1204 (1982)
3. 神馬照正, 岩藤秀一, 岡見雄二; 潤滑, 第8號, p. 17 (1982)
4. 北村邦雄, 安田 顯, 角山浩三, 柳島章也; 鐵と鋼, 第13號, p. 1202 (1982)
5. 岩藤秀一, 園田 榮; 鐵と鋼, 第11號, p. 103 (1989)
6. 原木錄二, 萬羽昭夫; 鐵と鋼, 第3號, p. 126 (1987)
7. 待貫 輝, 川竝高雄; 塑性と加工, 第3號, p. 990 (1982)
8. 神馬照正, 岩藤秀一, 園田 榮, 山本 昇, 青林智幸; 鐵と鋼, 第5號, p. 377 (1983)
9. 福山 敏, 御園生一長; Journal of the JSTP, 第25號, p. 899 (1984)
10. 春日保男, 山日勝康, 加藤勝人; 日本機械學會論文集, 第33號, p. 1294 (1967)
11. 工藤英明; 塑性と加工, 第13號, p. 529 (1972)
12. 大貫 輝, 川竝高雄; 塑性と加工, 第23號, p. 991 (1982)
13. P. Ratte and J. T. Bouteille; Proc. of int. conf. on steel rolling p. 885 (1980)
14. T. Okamoto, T. Jinba. H. Kuwamoto, & S. Iwadoh : Proc. of int. conf. on steel rolling p. 668 (1980)
15. A. Akira : ISIJ, p. 1769 (1992)
16. K. Kitamura, K. Masanori, Y. Ikuo : 潤滑, 第28號, p. 644 (1992)