

論文

UDC 621.771.237.016.2 : 621.771.07 : 66.045.5 : 621.7.022 : 620.191.32

熱間圧延ロール表面の黒皮生成に関する研究*

関本 靖裕**・田中 守通**・吉村 忠良**

Study on the Formation of Scale Layer on Work Rolls in Hot Rolling

Yasuhiro SEKIMOTO, Morimichi TANAKA, and Tadayoshi YOSHIMURA

Synopsis:

In hot strip mill, the surface of steel based Adamite work rolls are covered with black scale layer, which is considered to be mainly Fe_3O_4 . It has been reported that the scale layer was transferred from rolled stock or was the oxide of roll material. To study the formation mechanism of scale layer appearing on work rolls, experiments have been done using a model four-high rolling mill with scale breaker, and the results has been discussed. Main experimental results are as follows:

1) In the case of rolling without descaling or taking long time after descaling, work rolls were not covered with black scale layer without regard to water cooling on work rolls.

2) In the case of rolling with descaling rolled stock and water cooling on work rolls, steel based adamite and stainless steel work rolls were covered with black scale layer.

Prior mechanism does not explain the results of experiment. Then, the following mechanism can be proposed. The scale layer on work rolls is formed by corrosion reaction between water and rolled stock of metallic state in roll gap; the scale layer is composed of the most part of magnetite produced by the following reaction; $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$ and $3\text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$, that is $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$.

1. 緒 言

ホットストリップミル粗および仕上前後スタンドには C1.4~1.8% のアダマイト ロールが一般に 使用されている。これらのロールの圧延後の表面は光沢のある黒皮スケールでおおわれるが、この黒皮は不安定で黒皮が帯状にはく離するスケールバンデングあるいは局所的にはく離するコメットテールが発生する¹⁾²⁾。このような表面損傷がロールに発生するとロールは異常摩耗を起し、圧延材のプロフィールを悪くしたり圧延材表面のスケール疵の原因となる。ロール表面に生成される黒皮スケールは大部分が Fe_3O_4 で、これに微量の FeO も含まれている³⁾。この黒皮の成因について、これまで圧延材のスケールがロール表面に付着する説⁴⁾とロール表面が酸化する説⁵⁾があるが、いずれの説も実際の現象を十分に説明できるものではないと考えられる。筆者らは黒皮の成生機構を検討するために模型圧延機で実験を行ない、黒皮が生成される条件を検討しその機構を考察した。

2. 装置および実験方法

2.1 実験装置

実験装置は実際の熱間圧延条件を再現させるために、圧延材の加熱炉、デスケーリング装置およびロール冷却装置を付設した4重式圧延機とからなる。

Fig. 1に実験装置の配置図を示す。圧延材加熱炉は電気式の大気雰囲気炉である。デスケーリング装置は加圧水と加圧空気の噴射が別々、あるいは同時に作動するように独立ヘッダーをもうけた。4重式圧延機の諸元は次のとおりである。Photo. 1に装置の外観を示す。

作動ロール直径	30 mm
補強ロール直径	60 mm
ロール胴長	80 mm
電動機	2HP 3 相誘導電動機
減速機変速率	1/2, 1/1, 2/1,
圧下	手動ネジ式
ロール駆動	上下作動ロール駆動

ロール冷却は圧延材の入口および出口の両側に付設した孔あきパイプから行なつた。

* 昭和 49 年 11 月本会講演大会にて発表 昭和 49 年 7 月 3 日受付 (Received July 3, 1974)

** 日立金属(株)若松工場 (Hitachi Metals, Ltd., Kitahama, Wakamatsu-ku, Kitakyushu 808)

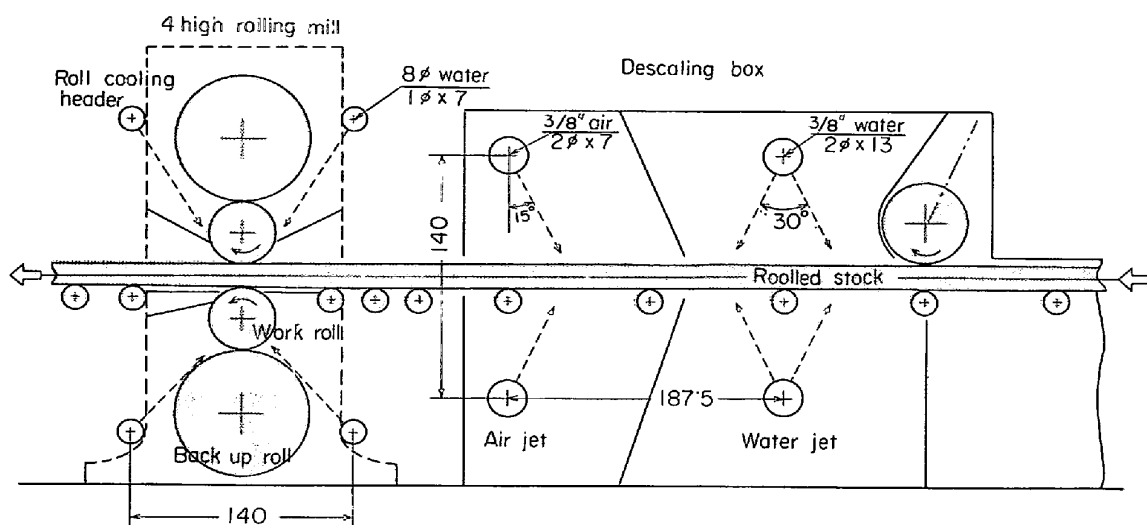
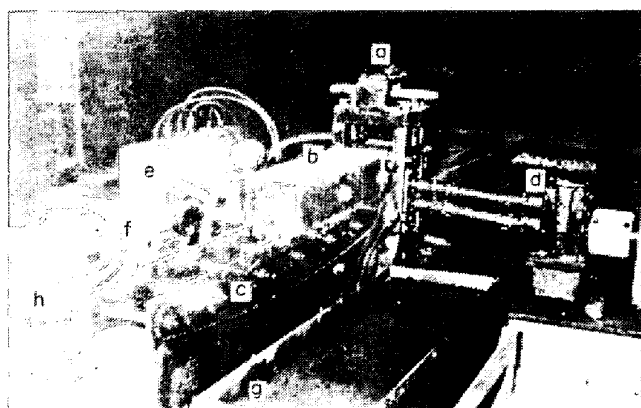


Fig. 1. Schematic sketch of the rolling mill and descaling box.

Table 1. Chemical compositions of work rolls (Wt %).

Rolls	Composition	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Hardness of roll barrel (Hs)
Adamite steel work roll		1.70	0.55	0.65	0.03	0.01	—	1.10	0.30	47~50
Stainless steel work roll		0.07	0.80	1.50	0.02	0.01	9.0	18.5	—	27~30



a 4 high rolling mill e Strain-meter
 b Descaling box f Pen-recorder
 c Table g Water box
 d Cam h Thermo-meter

Photo. 1. Apparatus for experiment.

作動ロールはアダマイトロール材と SUS 304 の 2 種から加工した。補強ロールは S 45C から加工し、胴部表面は高周波焼入れを施した。Table 1 にロールの化学成分を示す。

テーブルローラーは直径 14 mm, 胴長 75 mm で S 45 C 材から加工した。テーブルローラの駆動はチェーンで行ない、テーブル長さは 800 mm である。

圧延材の寸法は厚さ 12 mm, 幅 50 mm, 長さ 500 mm で, SS 41 の黒板を切断して製作した。

2.2 実験方法

圧延材を 1120°C に昇温した加熱炉内で 3 hr 均熱したあと炉から取出し、テーブル上に乗せた。圧延材の表面をデスケリングする場合は、炉から取出したあと、ただちに水槽に入れ、デスケリングを行なったあとにテーブル上に乗せた。または、炉から取出したあと、デスケリング装置で加圧水 (1 kg/cm²) と加圧空気 (2 kg/cm²) の噴射によりデスケリングを行なった。後者はデスケリング後の圧延までの経過時間を短くする条件の場合に用いた。水槽でデスケリングを行なった場合は、テーブル上のデスケリング装置は使用しない。

圧延機の作動ロールのギャップは圧下量 0.75 mm (圧下率 6.3%) にセットし、作動ロール回転数は 30 r.p.m (周速 47 mm/sec) で一定とした。

圧延材の圧延中の温度降下を知るために、予備実験において圧延材の厚み、幅および長さの中心にアルメルクロメル熱電対をそう入し、ペンレコーダーによつて测温した。デスケリング条件とロール冷却条件を変えた場合の圧延材の温度降下曲線を Fig. 2 に示す。横軸の時間は圧延材をテーブルローラー上に乗せる時刻を原点にして表示している。図中の矢印で示した時間帯は水槽およびデスケリング箱で圧延材で処理される時間を示す。また、○印はデスケリングあるいはロール冷却を施した場合、×印は施さない場合を意味する。この結果

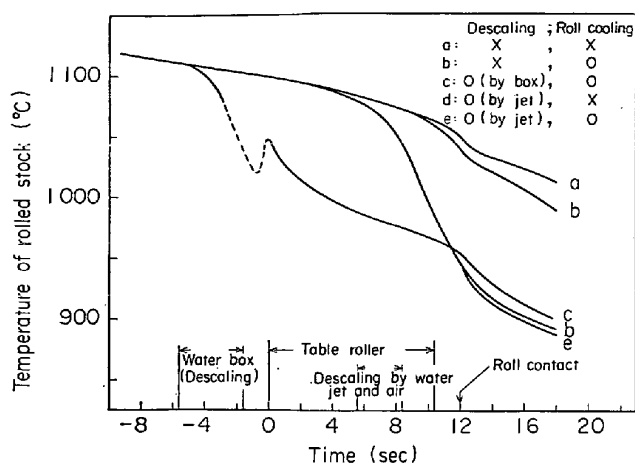


Fig. 2. Temperature variations of rolled stocks on rolling conditions.

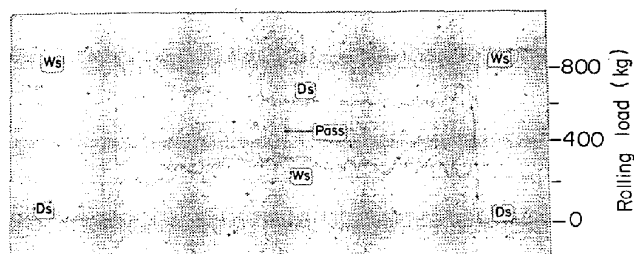


Fig. 3. Rolling load of the case e in Fig. 2.

からわかるように、圧延材がロールに接触するときの圧延材の温度は $940 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ の範囲であり、実際の圧延条件とはほぼ同じである。本実験はこの圧延温度で行なった。

圧延荷重は予備実験で圧下ネジと補強ロールメタルチェック間にひずみゲージ式ロードセルをそう入し、圧下ひずみを電磁オシログラフに記録して測定した。デスケーリング条件、つまり圧延温度によつて圧延荷重は変化したが生が $1000 \sim 1200 \text{ kg}$ であつた、ロール面圧にして $6 \sim 7 \text{ kg/mm}^2$ であつた。Fig. 3 に Fig. 2 の曲線 e の時の圧延荷重の記録を示す。図中の D_s は駆動側の荷重

を、 W_s はその反対側の荷重を示す。

黒皮がロール表面に生成する圧延条件をうるためと、黒皮の成因を考察するために、次の4条件を組み合わせるて実験を行なつた。

条件1 デスケーリングの影響

- (a) デスケーリング作動
- (b) デスケーリング作動せず

条件2 デスケーリング後圧延までの経過時間の影響

- (a) デスケーリング箱使用 (経過時間 5 sec)
- (b) 水槽使用 (経過時間 15 sec)

条件3 ロール冷却の影響

- (a) ロール冷却作動
- (b) ロール冷却作動せず

条件4 ロール材質の影響

- (a) アダマイトロール
- (b) ステンレスロール

実験後のロール面の調査は上述の条件の各組み合わせのもとで、6本の圧延材を圧延したあとに行なつた。

3. 実験結果

圧延条件を変化させて圧延したあとのロール表面状況の結果を Table 2 に示す。実験 No. 2 と 3 の場合にロール表面に黒皮が生成した。Photo. 2 にロール肌の状況を示す。実験 No. 8 と 9 の場合にはロール表面に赤錆が付着した。その他の実験の場合はロール表面には黒皮はほとんど生成せず圧延前の金属肌に近い状態であつた。これらの結果の再現性をみるために実験 No. 1, 2, 3, 4 および 6 の再実験を行なつたが、すべて初めの結果と同一の結果がえられた。

実験 No. 2 と 3 の場合、1本の圧延が終了した時点ですでにロール表面に黒皮で生成していることが観察された。所定の圧延材6本を圧延したあとのアダマイトロール表面を観察した結果を Photo. 3 に示す。アダマイ

Table 2. Results of experiments.

Experiment No	Rolling condition				Roll surface
	Descaling	Time after descaling	Roll cooling	Roll material	
1	Descaling	Long	Water	Adamite	Metallic bright
2	Descaling	Short	Water	Adamite	Dark grey
3	Descaling	Short	Water	Stainless	Dark grey
4	Descaling	Short	Dry	Adamite	Metallic bright
5	Descaling	Short	Dry	Stainless	Metallic bright
6	No descaling		Water	Adamite	Reddish-brown
7	No descaling		Water	Stainless	Reddish-brown
8	No descaling		Dry	Adamite	Metallic bright
9	No descaling		Dry	Stainless	Metallic bright

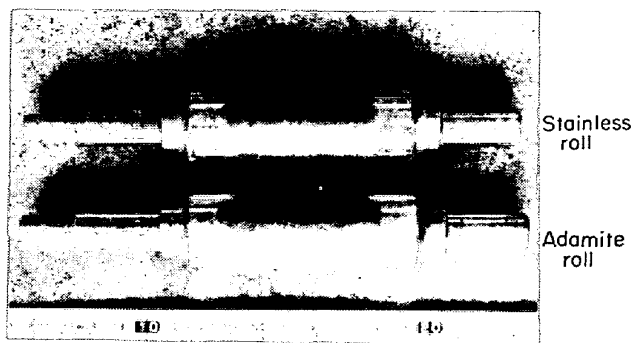


Photo. 2. Scale layer on roll surface
(Exp. No 2 & No 3).

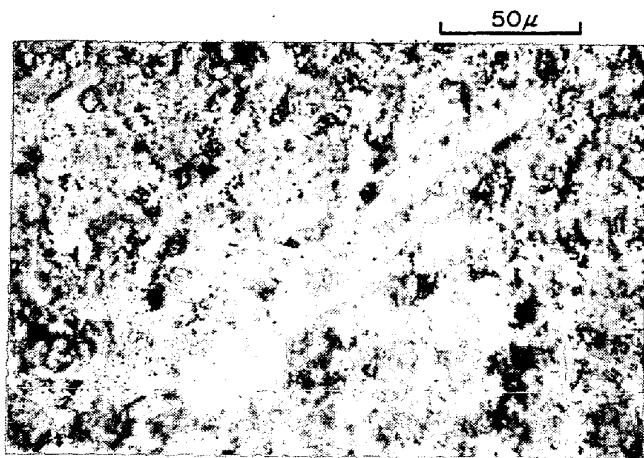


Photo. 3. Micro-photograph of adamite roll
surface.

トロールではロール材組織中の炭化物が表面に白く露出していることが認められた。ロール表面の黒皮は灰色を呈しており、酸液で溶解し難く Fe_3O_4 と推定された。黒皮の厚みは非常に薄かった。

実験 No 2 のロール冷却を行なった場合の実験終了直後のロール表面温度を接触表面温度計で測定した結果 40°C であった。実験 No 4 のロール冷却を行なわない場合は 90°C であった。

本実験の圧延条件ではロール表面にはヒートクラックは発生しなかった。この実験では圧下率が少ないためにロール表面の最高到達温度は圧延材との接触からくる流入熱でほぼ定まり 500°C 以下と考えられ、しかも 1 回の実験では約 30 回の接触回数である。このような熱サイクルに対してロール材は十分な耐熱性があつたものと考えられる。

4. 考 察

4.1 黒皮生成時の圧延条件

加熱された圧延材をデスケリングし、短時間のうちに冷却水のかかったロールによつて圧延する条件下では

ロール面に黒皮が生成するが、このうちの一つの条件が異なつた圧延条件のもと、すなわちデスケリングを施さないか、デスケリング後長時間後かあるいはロール冷却をやらない場合では黒皮ができなかつた。

圧延材をデスケリングすることと、デスケリングのあと短時間のうちに圧延する条件はいずれも圧延材表面のスケールを極力減少させて圧延する条件に等しい。本実験では、この条件が黒皮を生成させるための必要条件になつた。これはロールの黒皮は圧延材スケールの付着であるとの説⁴⁾と矛盾する。スケール付着説の一つはデスケリングによつて除去されなかつたスケールがロール面に付着すると推論されたものであるが、本実験の No 1 あるいは 6~9 のようにデスケリング後の経過時間が長い場合、あるいはデスケリングを行なわない場合にはロールに黒皮が生成しなかつた結果からも矛盾している。スケール付着説のもう一つの推論はデスケリング後に新たに生成されたスケールがロール表面に付着すると考えたものである。本実験ではロール冷却を行なうことが必要条件であつた。ロール冷却を行なうことによつてロールギャップにおけるロール表面温度が低下することが考えられ、これが圧延材のスケールをロール表面に付着させやすくなるとは考え難い。

黒皮の生成についてロール材酸化説⁵⁾があるが、本実験での黒皮付着条件から考えると矛盾がある。すなわちロール冷却を行なわない場合の圧延終了後のロール温度は高くなり、この条件はロール材の酸化を助長させる条件となつているにもかかわらず黒皮は生成しなかつた。逆に、ロール冷却を行なつた条件で黒皮が生成した結果はロール材酸化説とは矛盾する。また、本実験 No 3 のようにロール材がステンレスの耐酸化材でも前述の必要条件が満たされれば黒皮が生成することからロール材酸化説には無理があると考えられる。

以上に述べたように、本実験で得られた黒皮生成の必要条件はこれまでの黒皮生成に対する推論と多くの矛盾があることが明らかになつた。次に本実験結果から新たな黒皮生成の機構を考察してみる。

4.2 腐食生成物付着機構

ホットストリップミル仕上げ前段 1 号スタンドのロールはデスケリング直後の圧延材を圧延している。圧延材がデスケリング後 1 号スタンドにはいるまでに要する時間は約 4 sec であり、ロールは水冷されている。圧延材温度は 1000°C 前後である。このような実際の圧延条件と実験 No 2 と 3 の条件は類似している。これらの条件は圧延材表面が金属状態に近い状態で化学的には活性化されており、ロール冷却水によつて圧延材表面

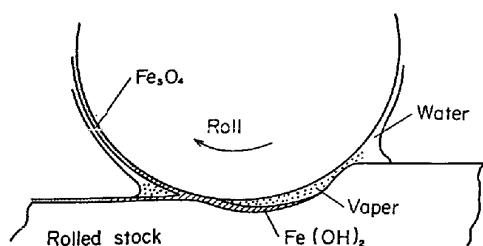


Fig. 4. Schematic expression of scale layer formation on roll.

は腐食反応をおこすことが考えられる。

Fig. 4は圧延材がロールと接触する状況を模式的に示したものである。ロールギャップ内に冷却水が浸入する条件としてロール表面の粗さや圧延材表面の凹凸に水が付着しロールギャップに巻き込まれる可能性が考えられる。実際のロールではヒートクラックが発生しており、そのき裂内に水が付着しやすいことが考えられる。ロールギャップに水が巻き込まれた場合には、高温高压の水や水蒸気雰囲気形成されるであろう。実際の圧延条件下ではロールの表面温度は 700°C 近くになっているものと考えられる²⁾⁶⁾。分塊ロールのナールング端や縞板ロールの凹溝端にみみず状の激しいエロージョンが認められるが、これはロールギャップに浸入した水が水蒸気になって侵食反応をおこした跡である。このような高温高压の水蒸気雰囲気中では金属状態の圧延材表面は急速な腐食反応が進行するものと推論される。

UHLIG⁷⁾によればボイラー管の腐食は H_2O と Fe の間でおこり、 570°C 以下では $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$ の反応がおこると述べている。また 570°C 以上では FeO が生成し温度が下ると $4\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}$ に分解すると述べている。EVANS⁸⁾は腐食の初期生成物は $\text{Fe}(\text{OH})_2$ であつて、 Fe_3O_4 でないことを実験的に明らかにしている。さらに、SCHIKORR⁹⁾はEVANSの示した $\text{Fe}(\text{OH})_2$ の生成を認め、これがしだいに分解して Fe_3O_4 が生成され、その反応速度は温度に依存することを示した。すなわち、SCHIKORRの反応といわれるもので



で表わされる。

ロールギャップでの腐食反応は上述のSCHIKORRの反応と考えると本実験の結果が説明できる。すなわち、Fig. 4に図示したようにロールギャップ内で圧延材表面は高温高压の水や水蒸気により腐食反応がおこり $\text{Fe}(\text{OH})_2$ が生成され、それがロールギャップ内でロール表面にこすりつけられ黒皮 (Fe_3O_4) に成るものと考えられる。この黒皮生成機構は実験 No 2 と 3 の圧延条件から

推察したものである。

以上の考察は酸素の存在しない系での反応であるが、酸素の存在下では



の反応が進行する¹⁰⁾。本実験で生成される黒皮は大部分が Fe_3O_4 である実体の黒皮に類似していることから、ロールギャップでの酸素の影響は少ないものと考えられる。

またロール材がアダマイトおよび耐酸化林のあるステンレスにおいても、ともに黒皮が生成し、かつ黒皮の程度にほとんど差がなかったことは、腐食生成物の大部分が圧延材側で生成されたものと考えることができる。

4.3 実体ロールでの黒皮生成について

本実験で黒皮がロールに生成する圧延条件の場合、1本の圧延材通過後黒皮がすでに生成していることが認められた。その場合、ロール表面と圧延材との接触回数は5回であり、1回の接触時間は 0.072sec である。1回の実験は6本の圧延材を通過させたが、累積接触時間は、 2.16sec にすぎない。このような短時間中にロール表面に黒皮が生成されることは上述の腐食生成反応が急速に行なわれるものと考えることができる。

ホット・ストリップミルの F_1 スタンドでのロールと圧延材との接触時間は 0.03sec 前後であり、1本の圧延材通過には約 60 回接触する。したがって1本の圧延材との累積接触時間は約 1.8sec 程度である。実際のロール面に黒皮が生成される状況を調べるために 56 in のホットストリップミル F_1 スタンドにおいて研削されたロールを組み入れたあと、圧延材通過によつてロール表面の状況をストロボ写真で撮影した。Table 3にロールを組み入れたあとの圧延材の構成を示す。表中の*印の圧延材通過後のロール肌の写真をPhoto. 4に示す。写真撮影時にはロール冷却を一時停水したが、若干ヘッダーからの水が白く映っている。この結果から明らかのように1本の圧延材通過後すでにロール表面に黒皮が生成していることが認められる。また、途中で薄物の圧延材が通過したあと、コイル No 22, 23 はロール表面の一部の黒皮がはく離し、いわゆるスケールバンディングをおこしている。そのあと厚物コイル No 34 の圧延材が通過すると再び黒皮におおわれることが認められる。このような現象は黒皮の生成は容易であるが、黒皮の状態は圧延温度、圧延速度および圧下率などの圧延条件によつても大きく影響をうけることを示している。

このように実際のミルにおいてもロールに黒皮が容易に生成することが認められ、本実験の結果とも類似している。

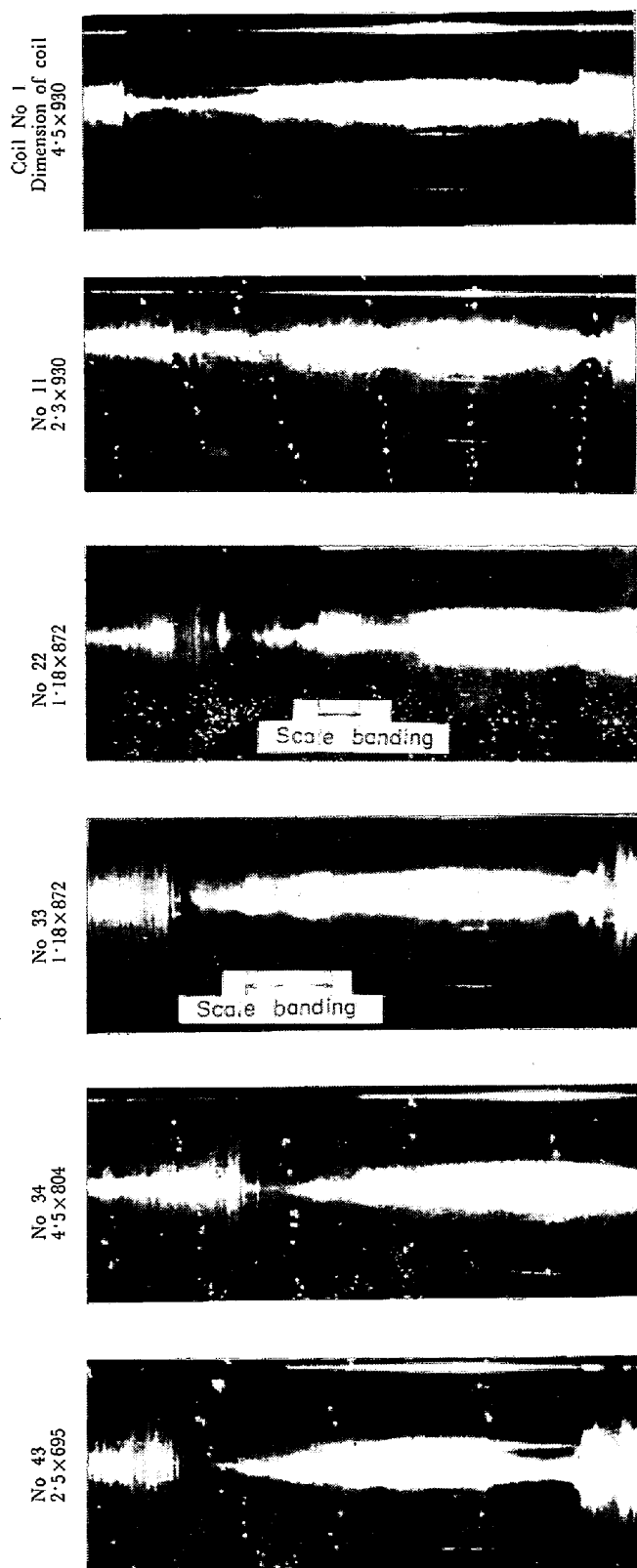


Photo. 4. Roll surface of work roll at F_1 stand in hot strip mill.

実際のミルでロールに黒皮が生成する条件のスタンドにおいて圧延材出口側のロールギャップから白色の焰が

Table 3. Formation of rolled stocks in one rolling chance.

Coil number	Dimension of coil (mm)	Pieces of coil
1	4.5×930	4*
5	2.5×930	6
11	2.3×930	1*
12	1.5×930	8
20	1.2×930	2
22	1.18×872	12**
34	4.5×804	2*
36	4.5×768	7
43	2.5×695	3*
46	2.5×650	1

出る現象が観察される。この焰は前述の腐食反応の際に生成される H_2 ガスではないかと考えている。

5. 結 論

模型圧延機によつてロール表面に黒皮が生成される条件を調査し、その条件から黒皮の生成機構を考察して以下のような結論をえた。

(1) ロール表面に黒皮が生成するためには、圧延材をデスクーリングしたあと短時間のうちに冷却水のかかったロールで圧延することが必要条件である。

(2) 上述の圧延条件下で圧延を行なった場合、ロールギャップ内に水が巻き込まれ、圧延材表面に腐食生成物が生成されて、これがロール面に付着し黒皮になると考えると現象をよく説明できる。

(3) ロール表面の黒皮生成は短時間で形成されることを実験的に確かめるとともに現場現象でも確認した。

なお、本研究に関し、実際のロール肌の観察に協力いただいた日新製鋼(株)呉製鉄所に厚くお礼を申しあげるしだいである。

文 献

- 1) 河原: 鉄と鋼, 57 (1971) 5, p. 69
- 2) 関本: 潤滑, 16 (1971) 8, p. 53
- 3) 堀, 田部: 鉄と鋼, 55 (1969) 3, p. 163
- 4) C. E. PETERSON: Iron Steel Eng., 33(1956) 12, p. 98
- 5) 添野, 玉村, 赤堀, 末永, 田中: 日立評論, 50 (1968) 6, p. 53
- 6) 関本: 日立評論, 別冊-42 (1961) p. 43
- 7) ユーリック, 岡本・松田・松島訳: 腐蝕と腐蝕制御 (昭43-3) p. 240 [産業図書]
- 8) V. EVANS and J. WANKLYN: Nature, 162 (1948) p. 27
- 9) G. SCHIKORR: Z. Electrochem., 35 (1929) p. 65
- 10) L. L. SHREIR 編: Corrosion, 1 (1963) p. 9, p. 32 [George Newnes Ltd.]