

# ホットストリップミル仕上前段用ワークロールの問題点

——ホットコイルの流星きずとロールの肌荒れについて——

Some Problems of Front Stand Work Roll in Hot Strip Finishing Mills

——Comet Tail Scratch on Hot Coil and Surface Deterioration on Work Roll——

添 野 浩\* 玉 村 建 雄\*\* 赤 堀 公 彦\*\*  
Kô Soeno Tateo Tamamura Kimihiko Akabori  
末 永 允\*\*\* 田 中 守 通\*\*\*\*  
Makoto Suenaga Morimichi Tanaka

## 要 旨

ホットストリップミル仕上前段用ワークロールの肌荒れは、製品であるホットコイルの流星きずと密接な関係があると考えられている。本研究ではこのきずを詳細に調査することによって、ロールの肌荒れとの関連性を明らかにした。また、ロールの肌荒れに対し重要な役割を有するロールの黒皮とクラックについてその成因を考察した。

## 1. 緒 言

ホットコイルの表面きずとしては種々の形状のものが観察されているが、最も多く発生しているものは図1に示す流星きずである。このきずは酸洗や冷間圧延、メッキ、あるいは塗料のコーティングなどの表面処理によっても取り除かれなため、板材の品質を著しく劣化させている。このきずの発生原因として、仕上前段スタンド用ワークロール(F<sub>1</sub>～F<sub>3</sub>スタンドで使用される。以下これをFWロールと記す)の肌荒れが関係しているものと経験的に考えられている。このFWロールには一般にアダマイト材質のロールが使用され、圧延使用中、ロール表面に黒皮(スケール皮膜)が形成される。FWロールの肌荒れ現象を追求する場合には、この黒皮を含めてロール表面層の状態を知ることが重要である。本研究ではホットコイルの流星きずとFWロールの肌荒れを詳細に調査し、二、三の実験を加えて両者の関連性を明らかにするとともに、ロールの肌荒れに關係すると思われるロールの黒皮とクラックの成因を考察した。

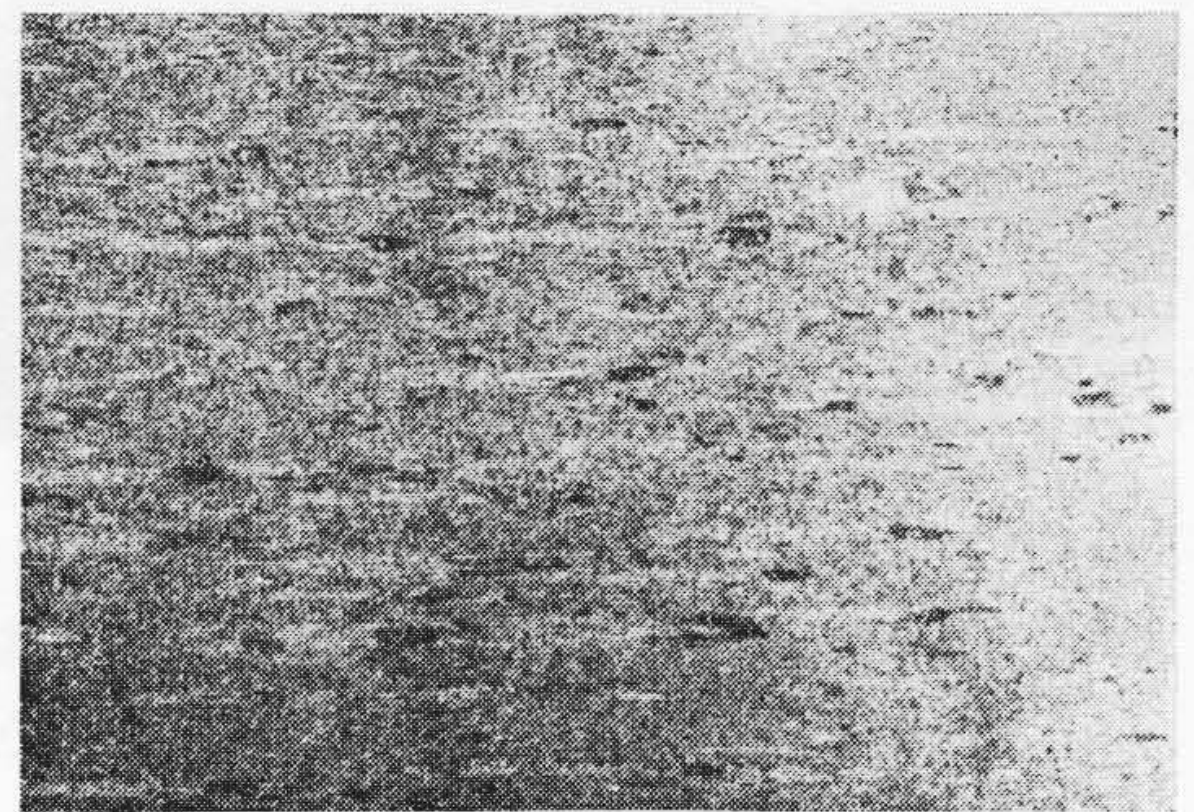
## 2. ホットコイルの流星きず

### 2.1 試料および実験方法

流星きずの発生しているホットコイルから、きずの大きさ分布密度の異なる試料を8種類用意した。コイルの材質はすべて軟鋼リムド鋼板で、酸洗処理前の黒皮の付着したものであり、厚みは1.2～2.0mmである。コイル表面に発生しているきず部と正常部の比較を行なうため普通の光学顕微鏡と偏光顕微鏡により、表面観察と断面観察を行なった。またEPMA(Electron Probe Micro Analyser)によりNi, Cr, Si, Mnなどの元素をコイル表面上から分析した。さらに、きず部の構成相を解析するために電子回折を行った。回折方法はコイルのきず部と正常部を分離し、表面を無処理の状態で反射回折を行なった。

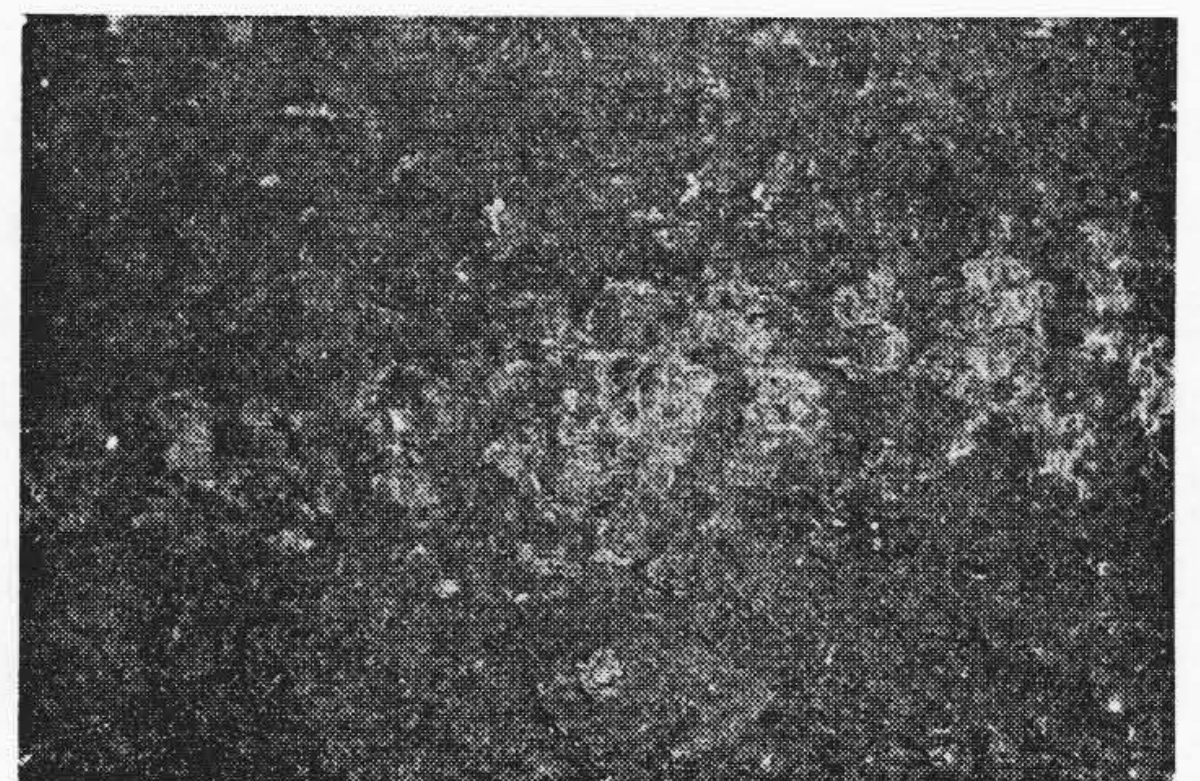
### 2.2 実験結果およびその検討

流星きずの外観は図1に示すように幅が1～2mmで圧延方向に線状または流星状に伸びている。普通顕微鏡できず部を観察すると黒色塊状の異物が認められるが、偏光で観察するとこの異物は赤色に着色し分布形態が明りょうになる(図2)。正常部ではこの種の異物はきわめて少なく、試料によっては皆無のものもある。このき



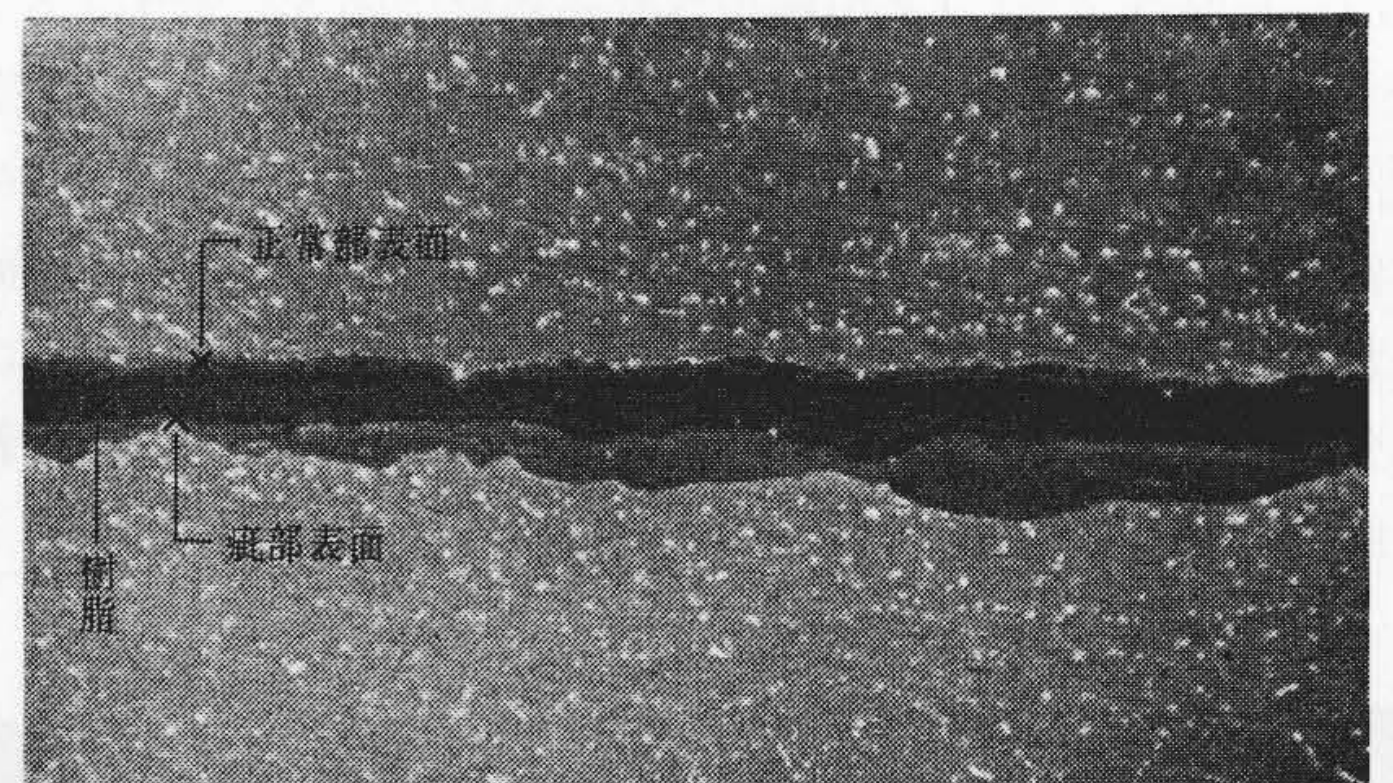
圧延方向：←

図1 ホットコイル表面に発生した流星きず (×1)



圧延方向：←

図2 ホットコイル表面に認められる流星きず (×50 偏光観察)



樹脂をはさんで上側が正常コイル、下側がきずが発生したコイル

図3 ホットコイルの垂直断面組織 (×200 偏光観察)

ず部中の異物の分散状態は圧延方向に沿って直線状に断続的に分布している。

コイル内部の状態を知るために、きずが発生したコイルと正常コイルの垂直断面を比較観察したものが図3である。コイル表面は酸

\* 日立製作所日立研究所 工学博士  
\*\* 日立製作所日立研究所  
\*\*\* 日立金属株式会社若松工場 工学博士  
\*\*\*\* 日立金属株式会社若松工場



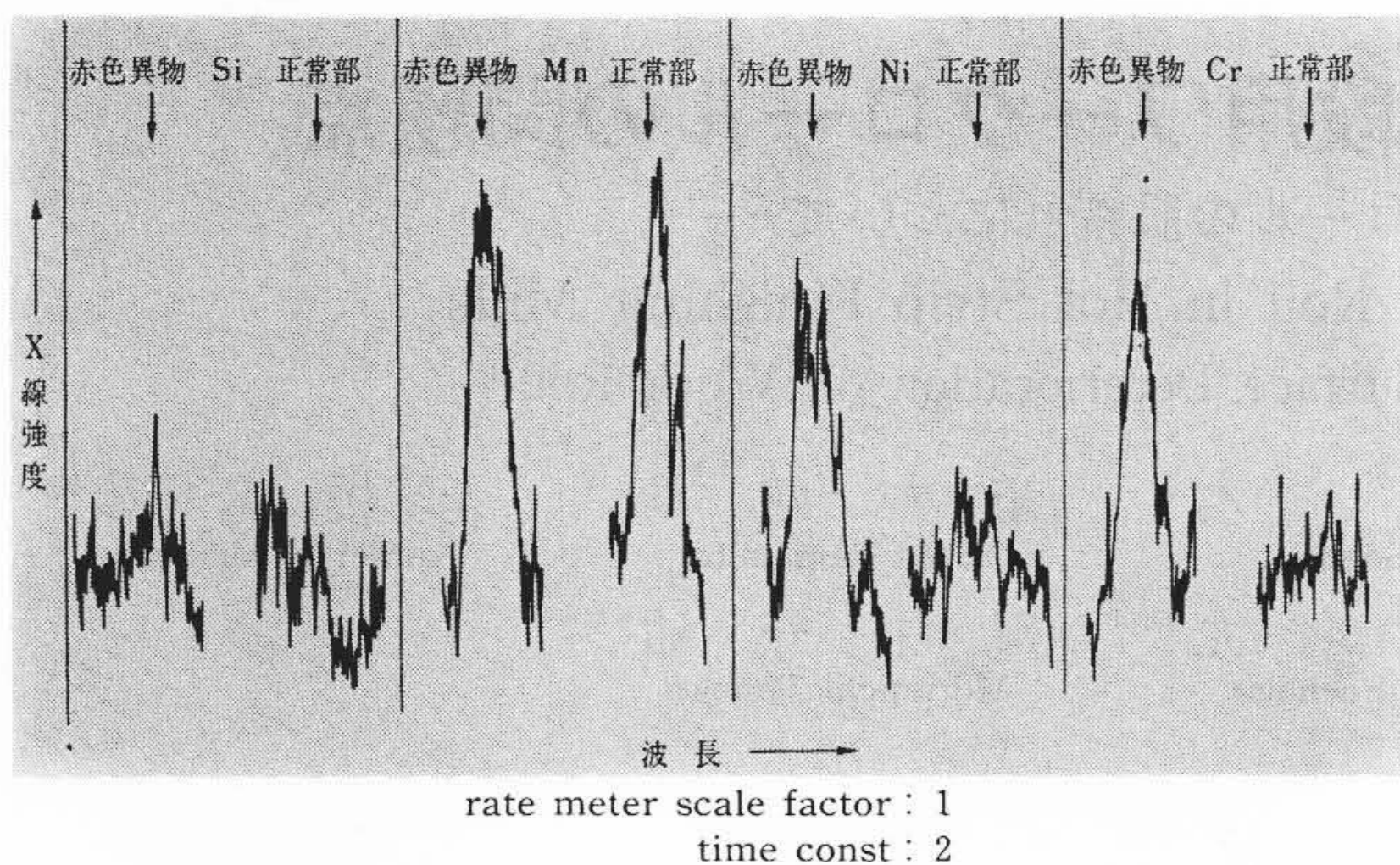


図4 EPMAによるきず部中の異物と正常部の元素分析例



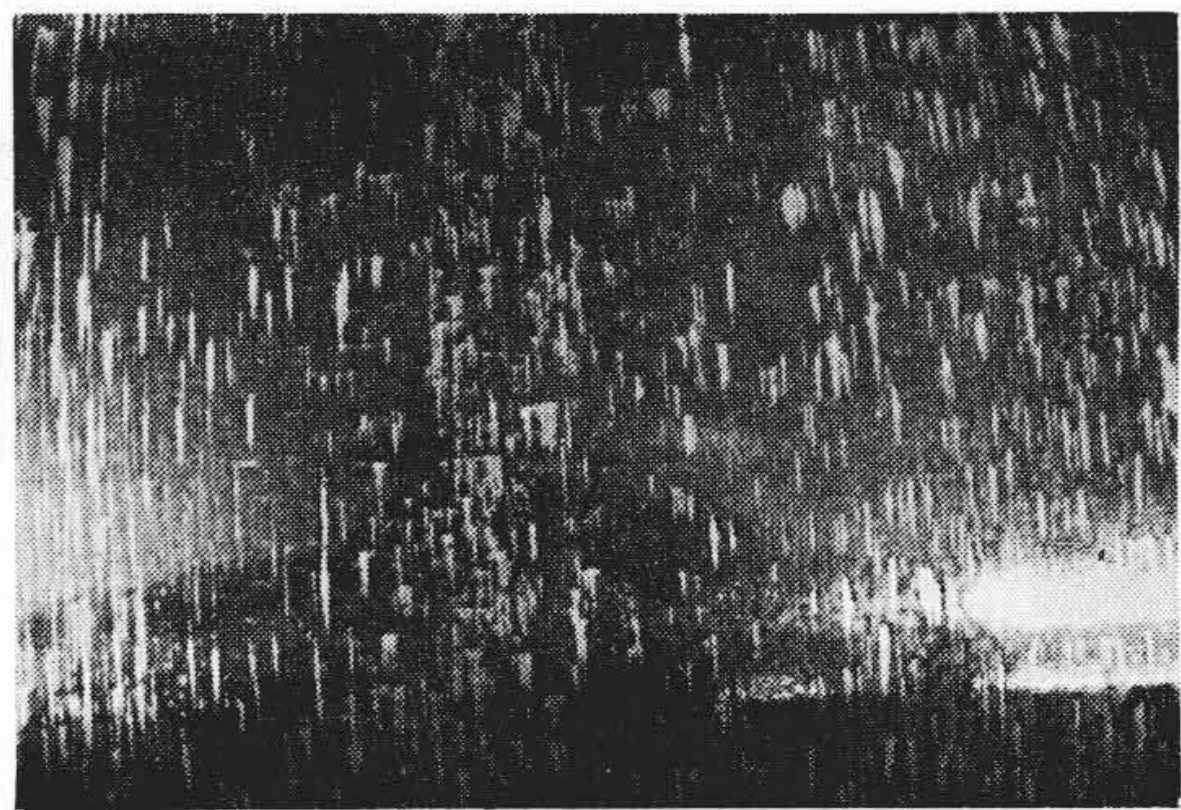
圧延方向：←

図5 ホットコイル表面に認められる白色粒状物 (×50)

化物によって全面をおおわれているが、きず部ではこの酸化物はコイル内部にかみ込まれており、偏光で表面観察すると赤色に着色する異物はこの酸化物層の上層部にあり、酸化物のかみ込んでいいる位置と赤色異物の存在する位置は完全に一致していることがわかった。

以上の観察結果から、きずの発生原因は圧延中に異物がなんらかの形でコイル表面上に付着し圧着されたものと推定できる。そこでまず、ロール材の添加元素として一般に使用されているNi, Cr, Mn, Siの4元素を選び、EPMAによってきず部の異物と正常部との含有量を比較した。図4に結果の一例を示したが多数の測定結果を総合して次のことが明らかになった。

- (1) Siは検出量が低く、異物と正常部との間に差がない。
- (2) Mnは両者とも明りょうに検出されたが、検出量はほぼ同量で差がない。
- (3) Ni, Crは異物から明りょうに検出された。正常部では(4)に述べるごく一部の場所を除いては全く検出されない。
- (4) 正常部でNi, Crが検出される部分は図5に示すように、偏光では着色されない比較的金属光沢を呈する小さい白色の粒状物で、NiとCrの検出量はきず部中の赤色異物に比較してやや多い傾向がある。しかし、この粒子の直下では図3のきず部断面にみられるような酸化物のかみ込みはなく、またコイル表面上に均一に分布してきずとの対応性は全くない。なお、軽くバフ研磨すると除去できることから、きわめて微細なロールの摩耗粉末(金属



ロール回転方向：↑

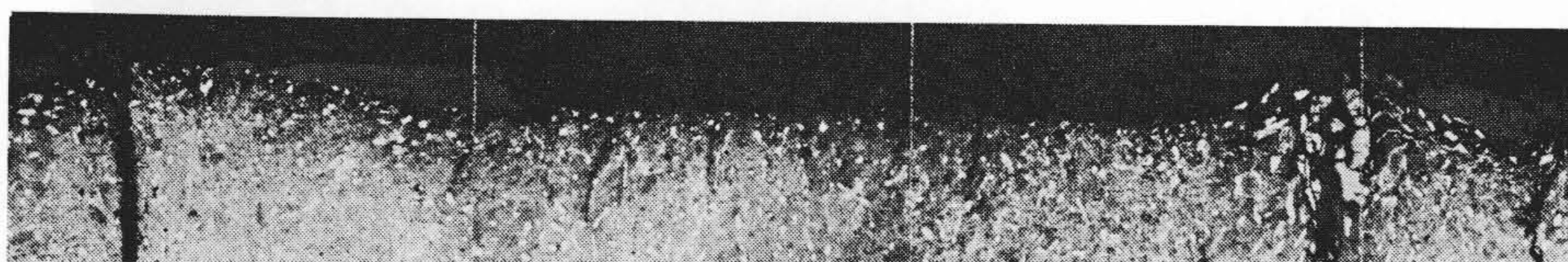
図6 FWロール表面に発生した流星状肌荒れ (×14)

あるいは金属酸化物のいずれであるか不明)がコイル表面上に付着しているものと思われる。この種の白色粒状物の存在する試料は8種の調査試料のうち2種あった。

以上の実験結果を総合すると、ホットコイルの流星きずの原因となる異物は作業ロールの肌荒れでハク離したロール材であると考えられる。ホットストリップミル仕上前段用アダマイトロールは圧延使用中に流星状の肌荒れを起こすことがある。また仕上後段用高合金グレンロールは摩耗現象によってロール表面が一様に肌荒れを起こす傾向がある。これらのロールはいずれもNi, Crを含有する合金材である。以上の圧延中ロールに起こる諸現象とコイルの調査結果を合わせて考慮すると、流星きずはコイルが仕上前段スタンドを通過する際に作業ロール表面層がハク離してコイル表面に付着し、さらに後段スタンドに進んで圧着されることにより発生するものと思われる。また、コイル表面上にみられた白色粒状物はコイル全面に一様に分散している微細粒子であることから、仕上後段スタンド用作業ロールの摩耗粉が付着したものと思われる。しかしながら、きずの部分に存在し、きずの発生原因になっている異物が偏光で赤色に着色する理由を圧延条件に沿って考察することはむずかしい。ただ、電子回折によって正常部ときず部を比較してみると、正常部では $\text{Fe}_3\text{O}_4$ からなるスケール皮膜がコイル表面をおおっているのに対し、きず部では $\text{Fe}_3\text{O}_4$ のほかに種々の鉄酸化物系の回折像が混じって認められる。また、大気中で酸化したロール材の赤さびは偏光で赤色に着色し、これを電子回折してみるとほぼコイル表面の異物と類似した回折像が得られることから、この異物はコイル表面に付着したロール材が大気中で酸化し赤さびになった可能性も考えられる。

### 3. FWロールのクラックおよび黒皮

熱間圧延に使用されるFWロールは、その使用条件からみて熱的にも機械的にも非常に過酷である。ロールの具備すべき条件としては従来から耐ヒートクラック性と耐肌荒れ性が要求されており、今日までに相当な材質面での改善がなされてきている。図6はFWロールの典型的な肌荒れである流星状肌荒れを示したものである。この肌荒れはロール軸方向に発生したクラックを起点としロールの回転方向と逆の方向に流れているのが特色である。図7は軸方向ク



(a) 黒皮ハク離による肌荒れ (×250)

ロール回転方向：→



(b) 母材ハク離による肌荒れ (×250)

ロール回転方向：←

図7 ロール表面層の肌荒れ部垂直断面組織



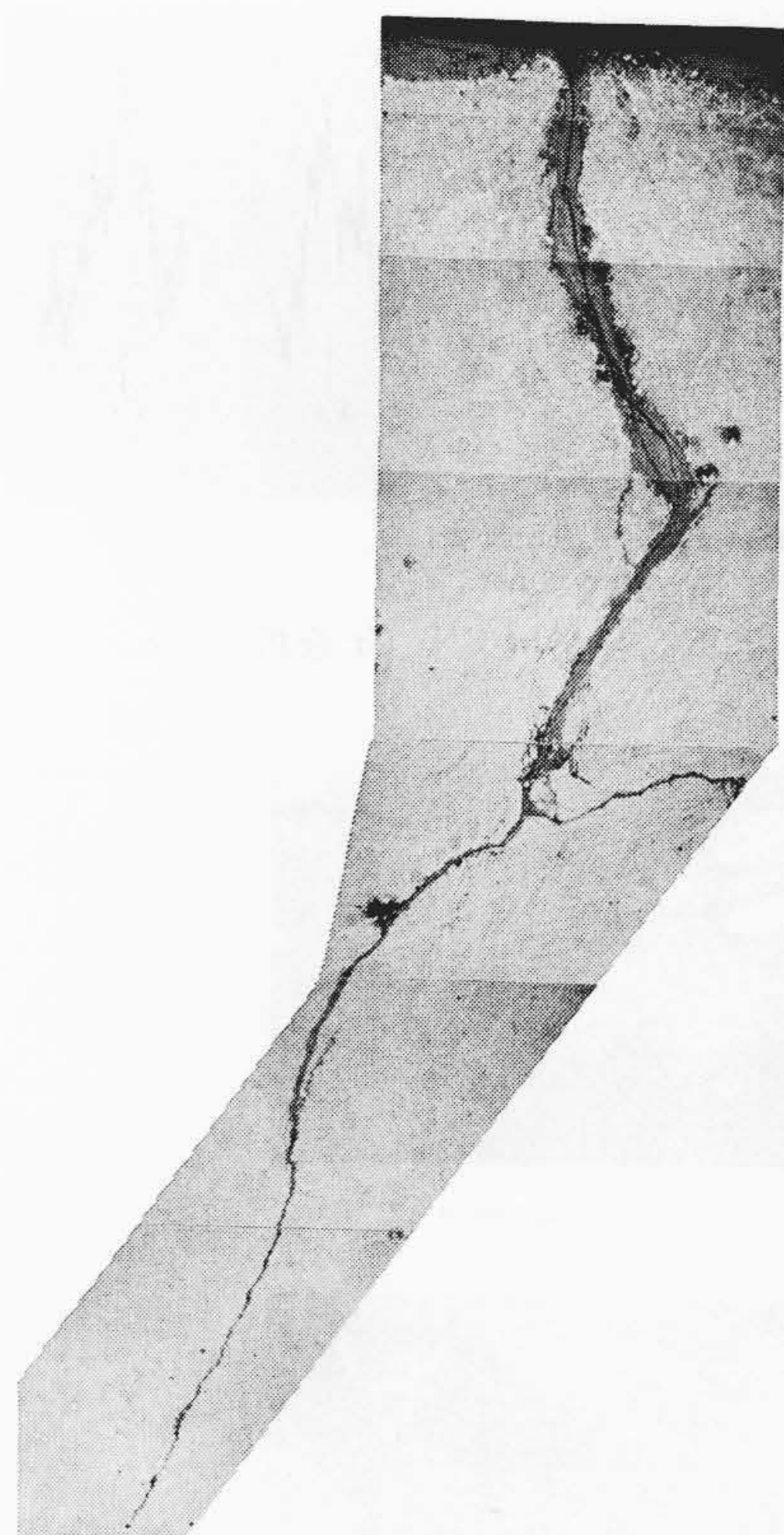
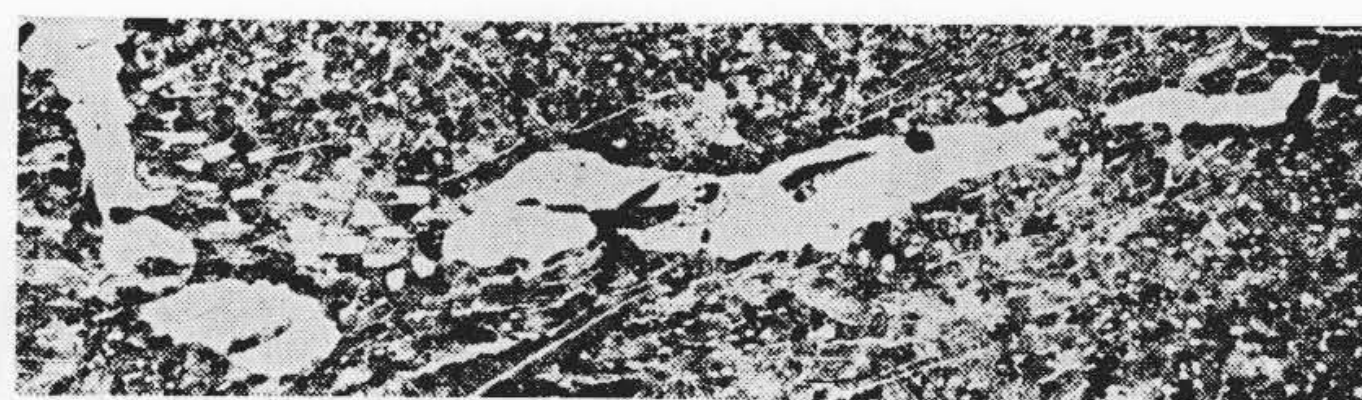
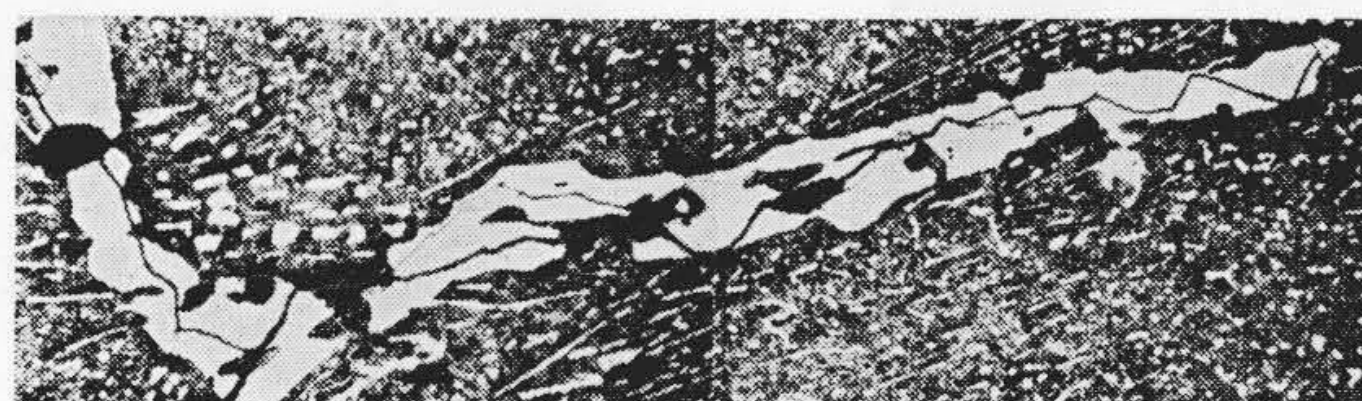


図8 ロールに発生した軸方向クラックの垂直断面(×400)

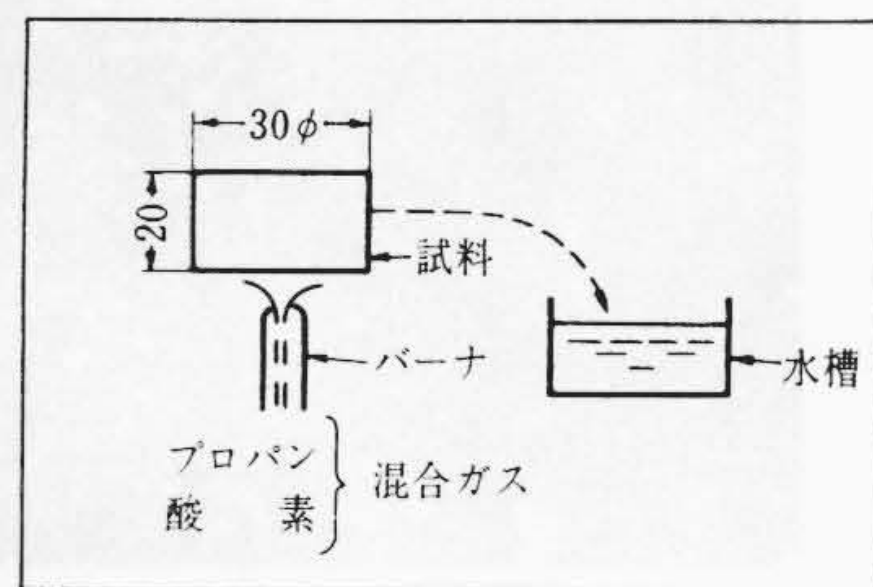


(a) 試験前

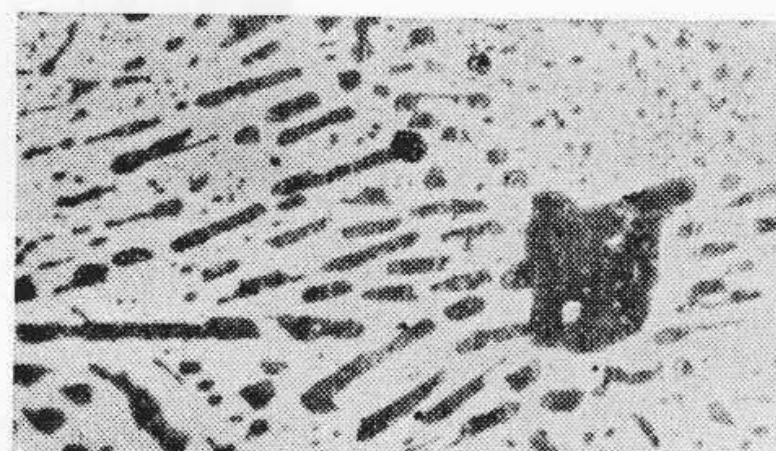


(b) 加熱→水冷の10回くり返し後

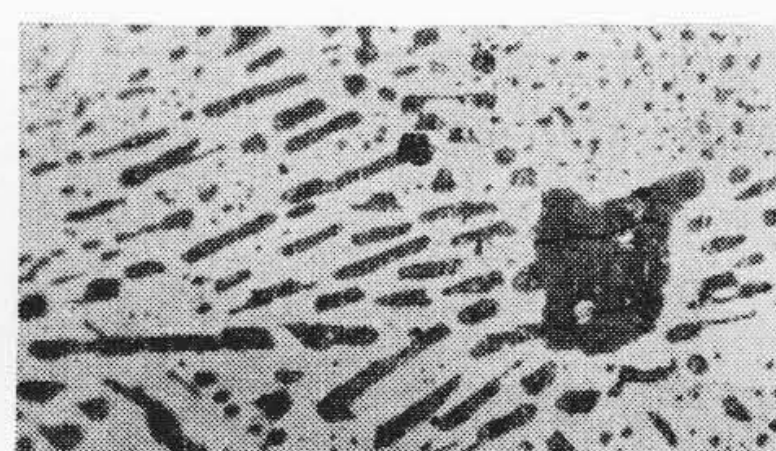
図9 ロール材のヒートクラック試験により発生したクラック(×400)



(c) 試験方法モデル図



(a)



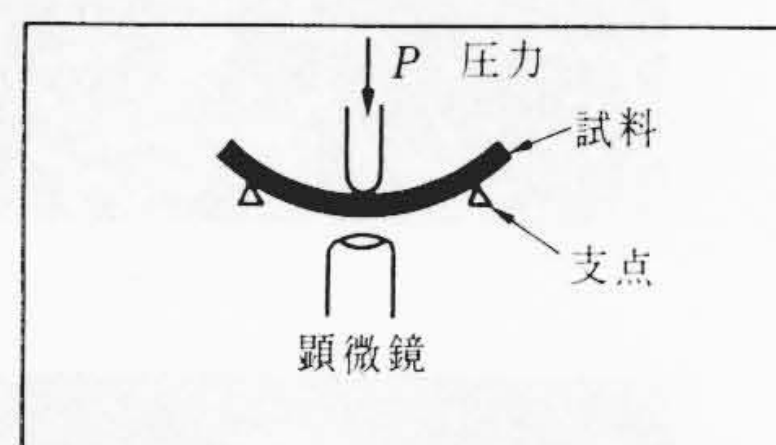
(b)



(c)

(a)→(b)→(c)の順に曲げ応力が增大する。村上氏液腐食  
(d) 試験方法モデル図

図10 ロール材の曲げ試験により発生したクラック(×400)



(d)

クラック近傍でロール表面に形成された黒皮がハク離して肌荒れが生じたものと、母材金属がハク離して肌荒れが生じた例を示したものである。本項ではこのような肌荒れに影響を及ぼしていると思われるクラックや黒皮を含むロール表面層の状態を調査し、その生成機構を考察した。

### 3.1 試料および実験方法

圧延使用中に流星状の肌荒れを起こしたFWロールを入手し、調査ならびに実験試料とした。まず、ロール表面層の状態を調べるためにロール表面層から約10mm角のブロック試料を切り出し、ロール表面ならびに断面観察を行なった。

ロール材の熱的機械的性質を検討するために、熱衝撃試験と曲げ試験を行なった。熱衝撃試験では、ロールから30φ×20mmの試料を切り出し、端面をガス加熱して700℃→水冷の熱サイクルを与えクラックの発生起点を調査した。また、曲げ試験では、ロールから10×30×1mmの試料を切り出し常温と700℃の温度で引張応力の生ずる面を顕微鏡観察しながらクラックの発生起点を調査した。

ロール表面に形成する黒皮の本質を調べるために、EPMAにより黒皮中のNiやCrの元素分析を行なった。また、ロール材を600℃の温度で大気中と水蒸気ふんい気中で酸化させ、生成したスケール皮膜の断面から酸化物層の状態を調査し、ロールの黒皮と比較検討した。

### 3.2 実験結果およびその検討

#### 3.2.1 ロールのクラック

ロール表面のクラックの発生原因は、ロールの使用条件からみて、ロール表面層が加熱冷却をくり返すことによって発生する熱応力と、圧延材に接触するときに受ける機械的な応力とによると考えられる。図8はロールに発生したクラックの垂直断面形態である。クラックは組織中の巨大炭化物を優先的に通っている。実

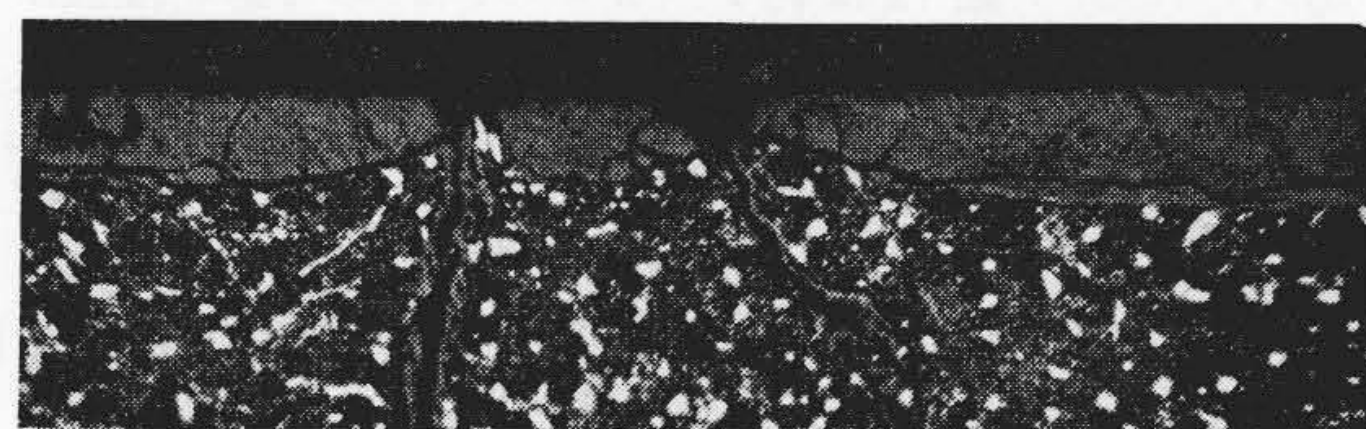


図11 FWロール表面の黒皮(×400 垂直断面)

験的に熱応力を与えクラックを発生させたものを図9に、機械的な応力を与えクラックを発生させたものを図10に示す。これらの実験より、クラックは熱応力や機械的な応力のいずれの場合でも組織中の巨大炭化物粒内に発生することを認めた。したがって、組織中の巨大炭化物はクラックの伝達を促進するほか、クラックの発生起点にもなることが推定され、ロールに発生するクラックを軽減させるには、組織中に巨大炭化物を作らないよう組織の微細化、均一化が望まれる。

#### 3.2.2 黒皮について

圧延ロールの黒皮が、被圧延材のスケールが付着したものか、あるいはロール自体の酸化によって形成されたものかは非常に興味ある問題である。同時にこのことはロール材質の改善および圧延条件の適正化に対する重要な指針ともなるものである。図11はロールの黒皮の垂直断面を示したものである。図より軸方向クラックの近傍ではロール材が黒皮の表面近くまで突き出している



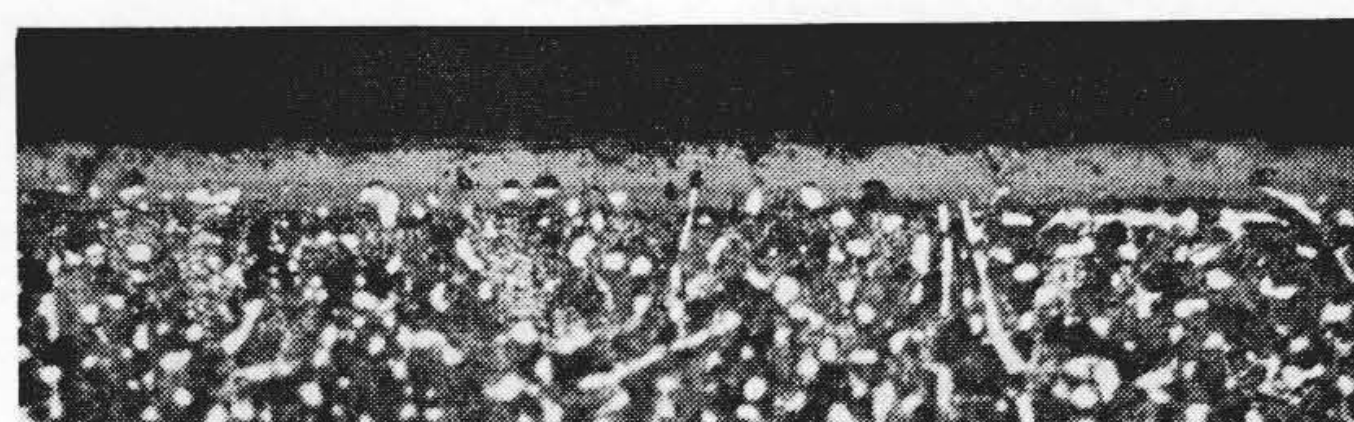


(a) ロール表面層斜断面 (×400)

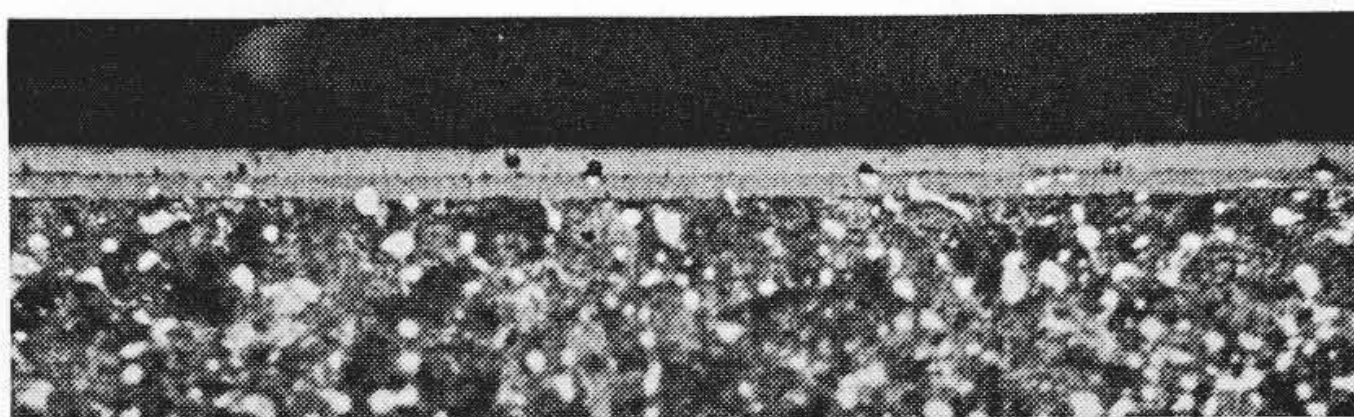


(b) (a)図の横方向垂直断面をモデル化したもの

図12 ロール表面層の斜断面



(a) 大気中 600°C, 3時間恒温加熱



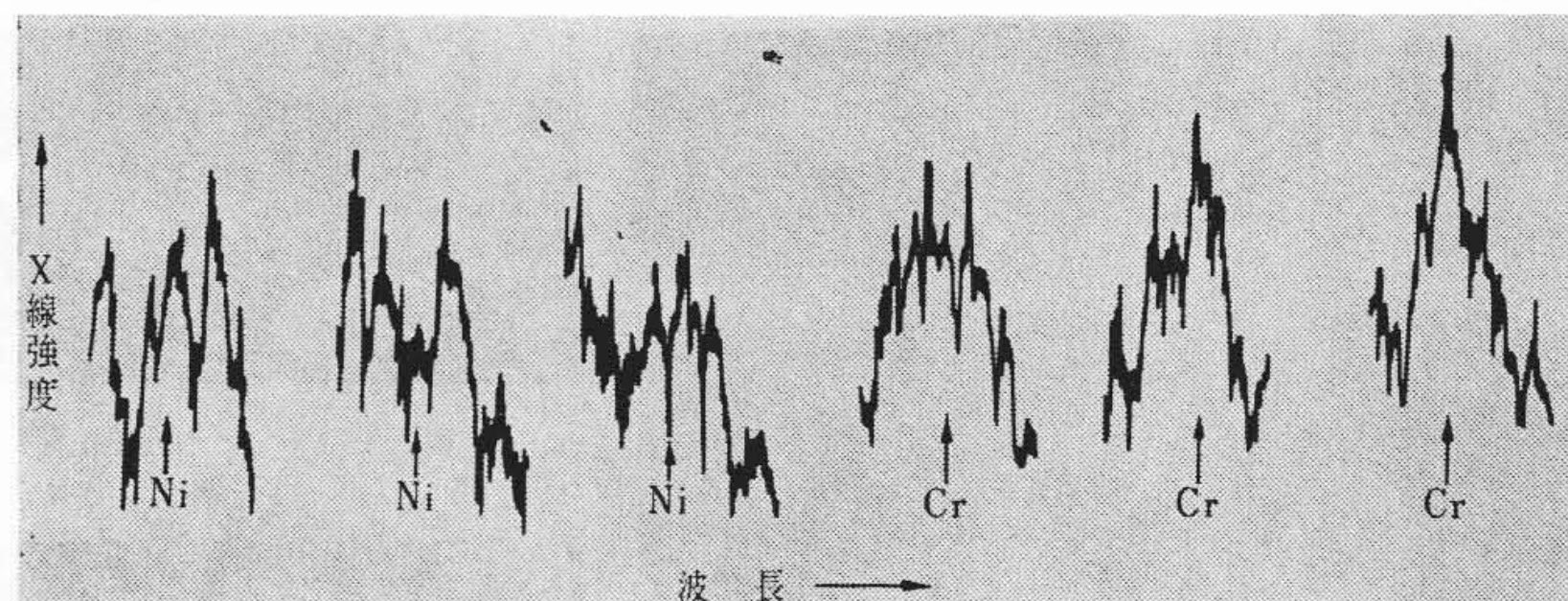
(b) 水蒸気中 600°C, 3時間恒温加熱

図13 ロール材酸化物中の炭化物の挙動 (×400)

のが認められる。図12は約1～2 $\mu$ のきわめて薄い黒皮が形成しているロール表面層を斜断面から観察したものである。これによれば炭化物が黒皮中に同図(b)のような状態で突き出していることがわかる。

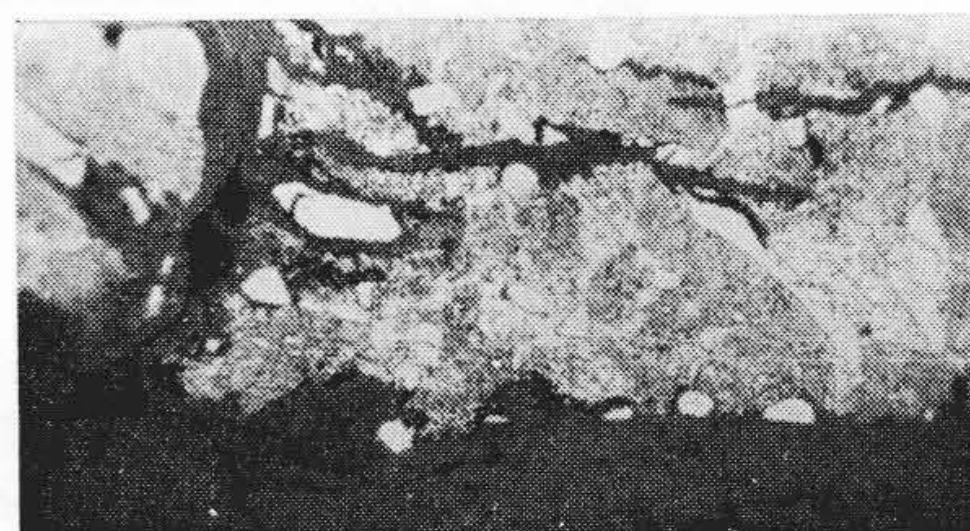
図13は実験室的にロール材を大気中と水蒸気ふんい気中で酸化させた結果を示したものである。いずれも炭化物は基地からスケール皮膜中に突き出しており、炭化物の酸化抵抗が基地より大きいことを示している。スケール皮膜は二層からなり、基地と接する内層(FeO層)では基地から突き出した炭化物や浮遊した炭化物を認めることができる。また外層(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層)では炭化物は黒色粒状に変化している。この現象は内層と外層の境界に位置する炭化物の両層間での変化によってわかるが、炭化物がいかなる組成のものに変化したかは明らかでない。しかし FeO・Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が黒灰色を呈する<sup>(1)</sup>ことから、炭化物が酸化してこれに類似した化合物に変化したとも考えられる。ロールの黒皮断面を詳細に調べてみると図11からもわかるように黒色の粒状物が認められる。ただし、図11と図12を比較して注目されるのは、ロールの黒皮は Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> の一層よりなり FeO 層が認められないことである。これは主として酸化温度の差によるものと考えられる。Fe-O 系平衡状態図では、FeO は 570°C 以下では生成されないことが示されている。したがって、ロールの黒皮は 570°C 以下の温度で生成しているものと推察される。

ロールの黒皮の成因をさらに確認するために EPMA により黒皮中の Cr と Ni の分析を行なった。図14はその結果の一例を示した

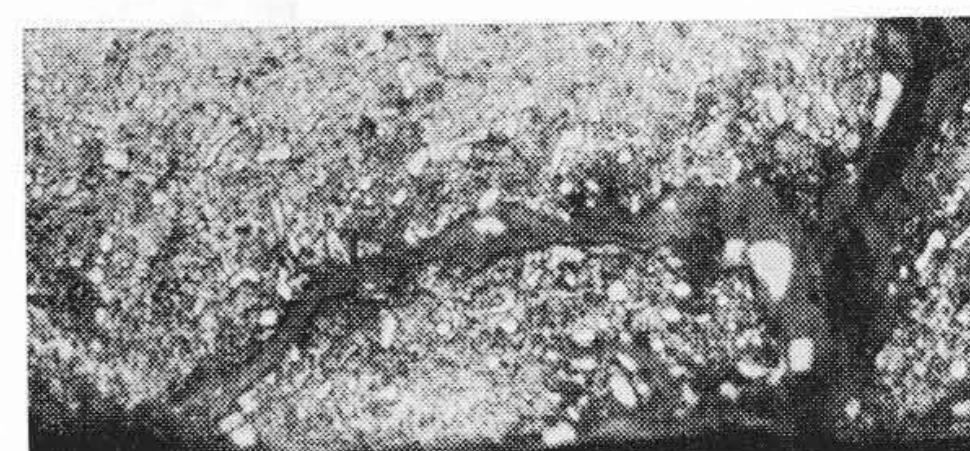


rate meter scale factor : 1  
time const : 2

図14 EPMA による黒皮中の Ni, Cr 分析



(a) ロール回転方向：→



(b) ロール回転方向：←

図15 軸方向クラックを起点とする  
ロール表面に平行なクラック (×1,000)

ものである。試料は黒皮の厚みが約20 $\mu$ のもので黒皮表面に垂直に電子線を照射し、波長分析を数個所で行なった。これによると Ni は相当する波長のところではなんらピークが認められないが、Cr はあまり強くはないが点々と検出される部分が存在する。黒皮の厚みを異にする数種の試料についても同様な結果が得られた。

一般に合金鋼の酸化現象においては、スケール中に添加元素は残らず、ほぼ純粋な鉄の酸化物が形成されることが実験的<sup>(1)</sup>にも理論的<sup>(2)</sup>にも示されている。しかしながら、ロール材のように組織中に炭化物が存在する場合には、さきにも指摘したように、酸化の進行に伴って炭化物の酸化が遅れ、炭化物と基地との接続が断たれて酸化物中に炭化物が浮遊した状態が生ずることがある。また、さらに酸化が進行すると炭化物も酸化されるが、この部分では局部的に Cr を含有する可能性がある。黒皮中にわずかながら検出される Cr は、このような機構で含有されたものと推定される。以上の一連の実験より、ロールの黒皮はロール自体の酸化によって形成されたものと考えられる。

金属材料のスケール皮膜は一般にその厚みを増すにつれ強度が低下し、皮膜のハク離が容易に起こることが知られている。したがって、FWロールの場合、黒皮のハク離による肌荒れを防ぐために、材質としては耐酸化性を向上させることが考えられ、圧延条件としては圧延温度の適正化およびロール冷却の強化などが検討されねばならない。

FWロールの肌荒れの要因となるものに、軸方向クラックの近傍で母材金属がハク離する現象があることをさきに述べた。肌荒れを起こしたロールの断面を観察すると、図15に示すような軸方向クラックを起点としロール表面に平行なクラックが多数存在する。このようなクラックについては奥本、新山氏ら<sup>(3)</sup>は鋳鋼系FWロールで指摘しており、Williams 氏<sup>(4)</sup>は FW 用合金グレンロールで認め



ている。このクラックは圧延中ロール表面に働くせん断応力によって生ずるものと思われ、肌荒れに対しては黒皮のハク離と同様に重要な要因として注目される。

このように、ロールの黒皮を含めロール表面層がハク離した場合、ホットコイル表面にこのハク離物が付着し、きずが生成される可能性がある。ホットコイルの流星きずの調査で得た結果とFWロールの肌荒れは以上のような検討から強い関連性があると考えられる。

#### 4. 結 言

ホットコイルの流星きずを調査し、きずの発生原因を考察した。この結果、流星きずはFWロールの肌荒れ現象に付随して、ロールからのハク離物がコイル表面上に付着し、さらにその後の圧延過程で圧着されて生じたものと推定された。

また、FWロールの表面層を調査し、肌荒れの要因となるクラック、黒皮についてその生成機構を考察した。この結果、クラックの発生と進展に対しては組織中の巨大炭化物が大きく影響を及ぼしており、また黒皮はロール自体の酸化によって生成したものと推定された。

本研究を遂行するにあたり、ご懇切なご指導を賜った日立金属株式会社宮下副社長、小野開発研究部長、日立製作所日立研究所根本正博士に深謝の意を表する。

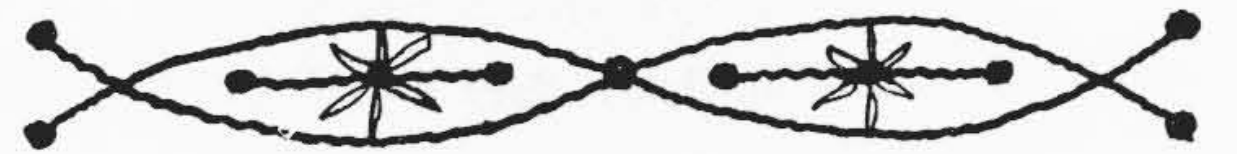
#### 参 考 文 献

- (1) 相山：金属材料の加熱と酸化，107 (1955)
- (2) K. Hauffe：Progress in Metal Physics. 4, 71 (1953)
- (3) 奥本，新山：日立評論 47, 1603 (昭 40-9)
- (4) W.J. Williams：Iron and Steel, 35, 373 (Aug. 1962)



登録実用新案 第541516号

### 新 案 の 紹 介



佐々木 精 治

#### 高 温 高 圧 用 給 水 加 熱 器

この考案は高温高压用給水加熱器の改良構造に関するものである。給水の温度および圧力が高くなるにつれて給水加熱器全体は給水の高圧に耐えうる十分な強度を有する構造が要求され、そのために、特に給水出入室の構成壁および給水出入室密閉用ふたは厚肉に構成される。ところが、従来のこの種の給水加熱器の給水出入室の構造は二つあるいはそれ以上の小室に区分され、その区分室の一つには冷水が常時充満し、ほかには加熱媒体により加熱された温水が常時充満するような構造のため、その温度が厚肉壁に直接影響して熱膨張の相異による変形を生じさせ、その変形がふたの水密パッキング部に影響して、その水密を不完全にする。この考案はこのような欠点を改善せんとするもので、厚肉の給水出入室の構成壁に温度分布の偏寄を生じないように配慮した構造、すなわち、給水出入室内に冷水分配もしくは温水集収室をその構成壁面が給水出入室の構成壁面から隔絶するような構造を与えることである。

図に示すように、1は給水加熱器の殻体、2は水管、3は給水出入室、4は冷水入口もしくは温水出口、5は温水出口もしくは冷水入口、6は給水出入室密閉用ふた、7は給水出入室内に設けられた冷水分配もしくは温水集収室で、その構成壁面が給水出入室の構成壁面から隔絶するように構成してある。8は蒸気入口、9は凝縮水出口である。このように給水加熱器を構成することによって、高压の冷水は冷水入口4からいったん冷水供給室7に供給され、ここから多数の水管2内に分配され、水管2内を流れる間にこの水管2の周囲にある高温の蒸気によって加熱され、高温となって給水出入室3に集められ、温水出口5から導出される。

この考案によれば、給水出入室内に冷水分配もしくは温水集収室7をその構成壁面が給水出入室の構成壁面から隔絶するように配置したことにより給水出入室3の構成壁面には温度の一定な温水もしくは冷水のみが接触することになり、これと温度差のある水は同壁面から絶縁され、その温度差による影響を与えないようになり、し

たがって、給水出入室の構成壁の温度分布は一様となり、異常変形がなくなり従来のようなパッキングの不完全の問題が解消する。

(山田)

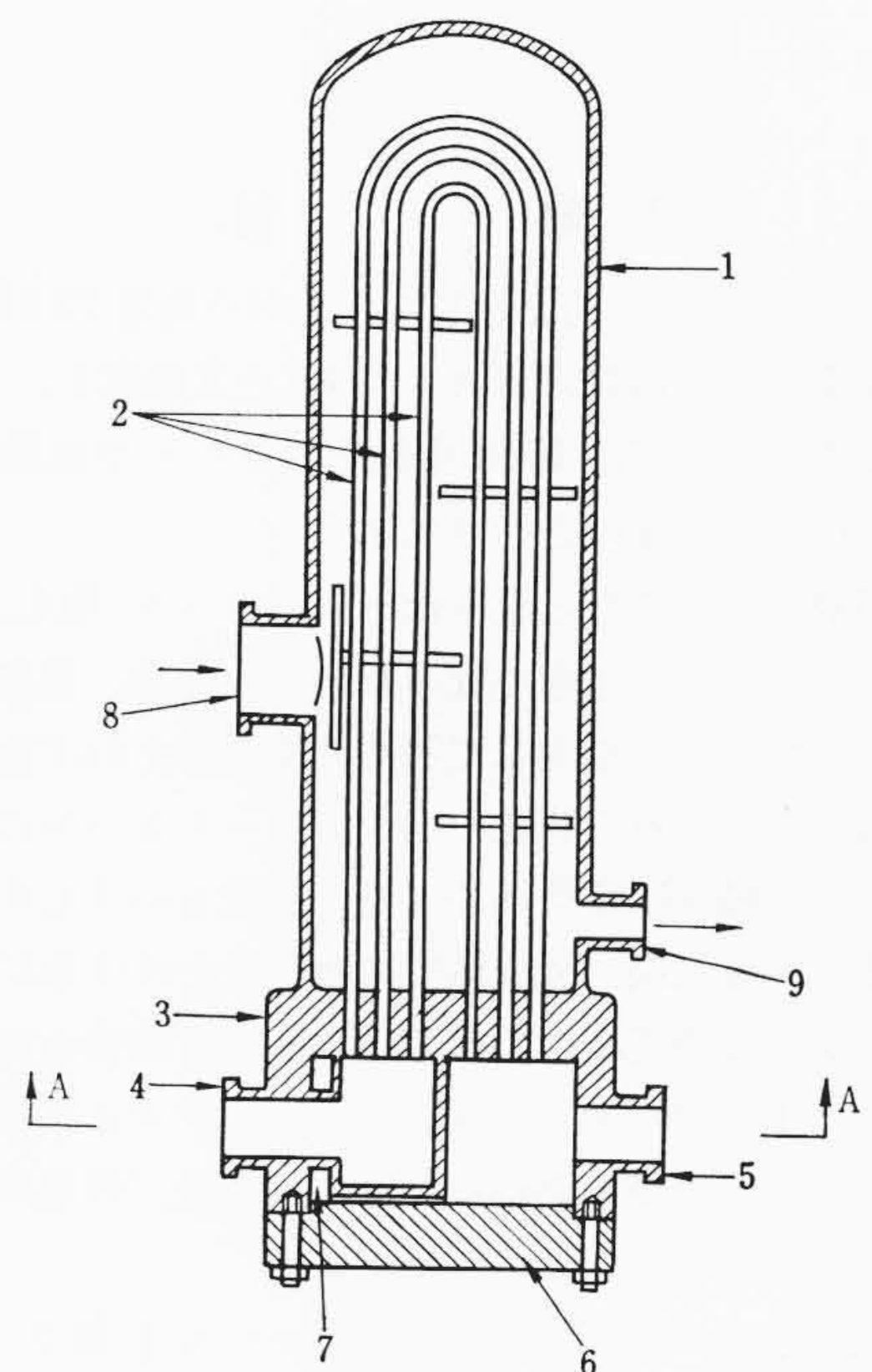


図 1