

# 高速デスケーリング設備の新技术

## New Technology for High Speed Descaling

近年の冷間圧延設備の連続化により、前段の設備である脱スケール設備に高速化、高効率化が要求されている。高速化に伴い脱スケールセクションが大規模化することを抑止するため従来のケミカル酸洗設備に加えるメカニカルデスケーリング設備を付加する、新技术の確立を行なうため、繰返し曲げ法、圧延法、研磨法などのデスケール試験を実施した。

その結果、メカニカルデスケーリング技術としては、繰返し曲げ法が優れていることを確認した。この技術は繰返し曲げにより、鋼板表面にクラックを与え、酸洗時間の高速化を達成したものである。ここでは、工場で実施したデスケール試験結果と、本方式を採用した酸洗ラインの特徴について言及した。

秦 和宣\* Kazunori Hata  
 山口輝雄\* Teruo Yamaguchi  
 三井裕光\* Hiromitsu Mitsui  
 菊池有二\* Yûji Kikuchi  
 伊藤雅彦\*\* Masahiko Itô

### 1 緒言

近年、鉄鋼製造プロセスで、大幅なコストダウン及び省エネルギー、省力化を目的として前後する複数工程の直結化、連続化が進められている。冷延製品でも、熱間圧延工程でストリップ表面に発生するスケール(鉄酸化物)を除去する脱スケール設備と後続の冷間圧延設備との連続化が進められ、省エネルギー、高効率化が図られてきている。

従来の脱スケール設備は、硫酸あるいは塩酸による化学的方法を利用した、いわゆる酸洗による脱スケール法が用いられてきた。この方式では、後続の冷間圧延設備の連続化に伴い要求される高速化、高効率化により、脱スケール設備の設備規模は極めて大きなものとなってきた。更に、廃酸回収装置、廃酸処理設備などの付帯設備費も増大してきている。

この不具合点をなくすため、日立製作所はメカニカル脱スケール法と酸洗法とを併用する効果的な脱スケール設備を開発した。メカニカル脱スケール法としては、種々の方式が提案されているが、日立製作所はストリップに「曲げ・引張り」を与え、ストリップ表面のスケールにクラックを入れ、スケールをはく離させる方式を採用し、酸洗法との併用方式により、高速、高効率な脱スケール設備を完成した。

本報告では、川崎製鉄株式会社千葉製鉄所納め新連続酸洗設備を例にとり、メカニカル脱スケール設備の新技术の内容とその効果について紹介する。

### 2 デスケーリング技術の動向

#### 2.1 スケール組成と酸洗性

脱スケール設備で除去するスケールは、高温に加熱された鋼材が熱間圧延機で圧延されかつ冷却される過程で生成するミルスケールと呼ばれるものである。このスケールは、鋼材の冷却速度や雰囲気酸素濃度により組成が変化し、3種の酸化鉄、すなわちFeO(ウスタイト)、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(マグネタイト)、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ヘマタイト)の相からできている。図1に各組成によるスケールの状態図を示す。これによると、575°C以下で生成したスケールにはウスタイトの相が存在しないことを示している。更に、575°C以上で生成したスケールであってもこの温度以下で徐冷すれば、生成したウスタイトが分解してしまう。これらスケールの各組成は酸洗性に非常に大きく影響し、熱間圧延鋼板の酸洗性を良くするためには、酸に対する溶解速

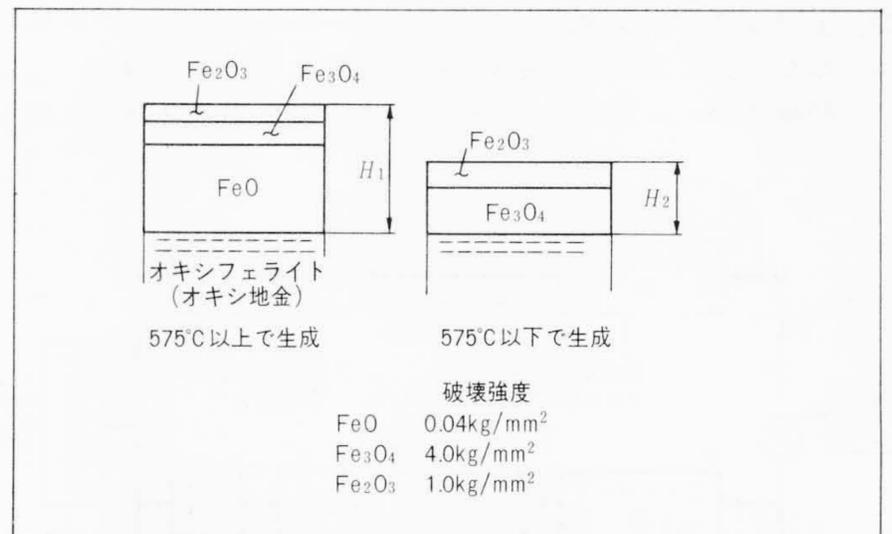
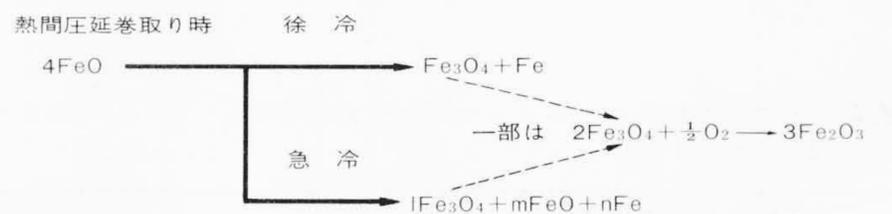


図1 スケールの生成 熱間圧延工程で生成されるスケールは、生成温度及び鋼材の冷却速度によりその組成が変わる。

表1 スケールの組成 コイルのエッジ部と中央部とではその冷却曲線が異なり、スケールの組成に変化がでる。

		巻取り後水冷	巻取り後空冷
組成	エッジ部	FeO+Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe
	中央部	FeO+Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> +Fe



度の大きなウスタイトの分解を抑えることが効果的であり、575°C以上の温度から300°Cまでをできるだけ急冷することが望ましい。

一方、スケールの組成はコイルの板幅方向によっても異なり、通常表1に示すパターンにより表わされる。同表は、ストリップのエッジ部には酸に対し難溶性であるヘマタイトが生成されることを示しており、酸液中でのスケールの溶解が均一に進行せず、ストリップの肌荒れ、鉄損失及び酸素損失

\* 日立製作所日立工場 \*\* 日立製作所日立研究所

が生じる原因ともなっている。

### 2.2 脱スケール法の改善

従来の酸洗による脱スケール法の欠点は2.1項スケール組成の面から考えると下記となる。

- (1) スケール最外部の組成がヘマタイトとなり、酸液に対し難溶性であり、酸洗時間が長くなる。
- (2) 特に高温(750°C前後)巻取材の場合、生成スケール量も多く酸洗時間が長くなる。
- (3) コイルエッジ部と中央部でスケール組成が異なり、均一な酸洗性が得にくい。

以上の欠点をなくすための脱スケール法の改善案を図2に示す。同図に示す改善案の基本的考え方を以下に列挙する。

- (1) コイル冷却を現状のままとし酸洗効果を向上させるために、メカニカルデスケーリングを行なった後で酸洗を実施する(A案)。
- (2) コイル冷却を575°C以上から水冷で急冷し、除去しやすいスケールを生成する(B, C及びD案)。
- (3) 上記(2)項により除去しやすいスケールを生成させ、メカニカルな方式により完全脱スケールを行なう(B, C案)。

上記脱スケール方式で、コイルの水冷による急冷方式及び

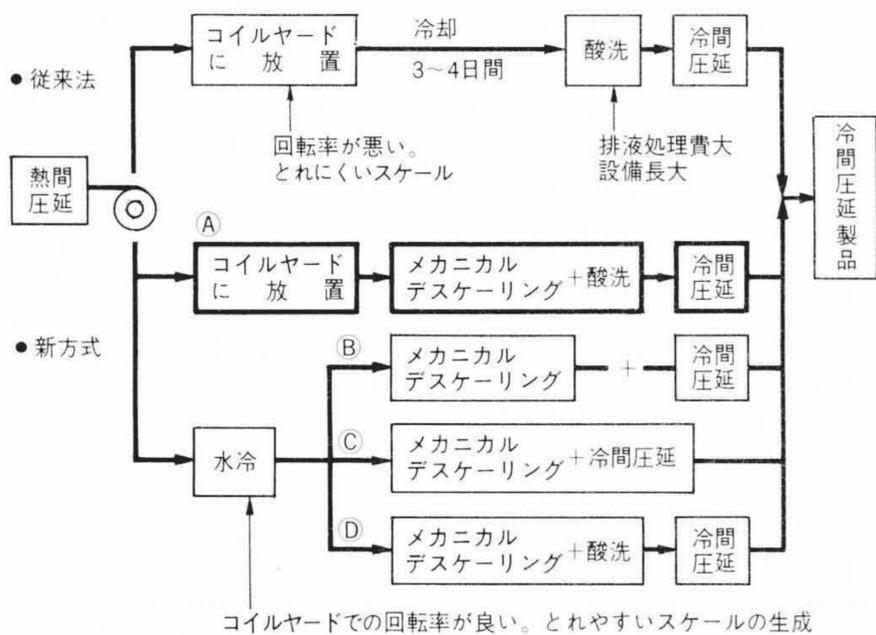


図2 デスケーリング法の新方式と従来方式の比較 デスケーリング法の新方式としてA~Dが考案され、その方式のうち日立製作所はA方式を採用し、そのデスケーリング法を確立した。

メカニカル方式だけによる脱スケール方式は、現状では設備コスト的に実現が難しい面が多く、今回はA方式を採用した。

### 2.3 メカニカルデスケーリング方式比較

従来の酸洗法を改善し、デスケーリング効果を向上させるためにメカニカルデスケーリング方式に種々の方式が考案されている(表2)。日立製作所ではこれら方式を比較検討し、繰返し曲げ法が最も優れている方式であるとの判断で、酸洗との併用方式により、効果的な脱スケール法を完成した。以下に各種のデスケーリング方式の特徴を紹介する。

#### (1) 圧延法

圧延によりストリップを伸ばし、スケールにクラックを発生させるのが圧延法である(図3)。

圧延法では、板の性状によってはクラックが均一に発生しない場合(図4)や板幅方向でのデスケーリング率が顕著な場合がある。更に図5に見るように、はく離したスケールと一緒に圧延するためにへげきずが発生する場合がある。

#### (2) 研磨法

鋼板の表面をと石などで研磨する方法であり、図6に示すようにプレーニングカッターを用いる方式が考案されている。本方式によると、カッターの稼動時間に従いカッター摩耗が著しく、その消耗度合に厳しいものが認められる。

#### (3) ショットブラスト法

ショットブラスト法は、ブラスト材料を鋼板に投射し、鋼板表面のスケールを直接的に破砕する方式である。

本方式は直接的にスケールを破砕するために、スケールの均一性などの優位さは認められるものの、粉塵などの作業環境改善に多大の設備費を要する。

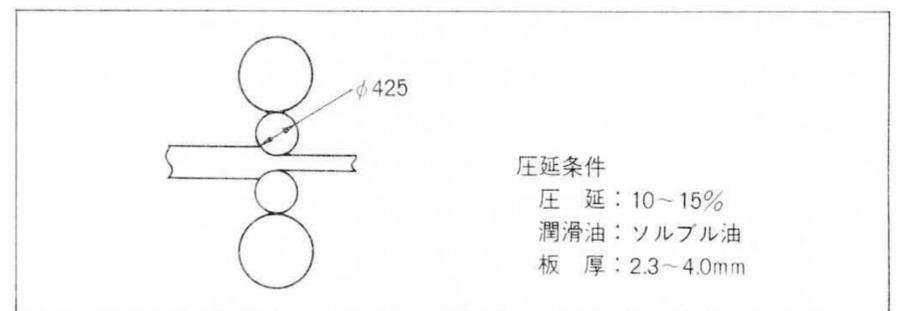


図3 圧延法 メカニカルデスケーリング法として、圧延によるスケール層でのクラック発生を期待できる。

表2 メカニカルスケールプレーキング法の分類 メカニカルスケールプレーキング法として4種考案され、そのうち繰返し曲げ法が種々の条件を満足する方式といえる。

スケールプレーキング法	繰返し曲げ法	圧延法	ショットブラスト法	研磨法
スケールプレーキング法のモデル				
スケールプレーキングの均一性	○	○	○	×
ストリップ表面のきず付き	○	○	×	○
板厚の減少	○	△	○	△
ランニングコスト	○	△	×	×
設備費	○	△	△	△
作業環境	騒音	○	×	○
	粉塵	○	×	○

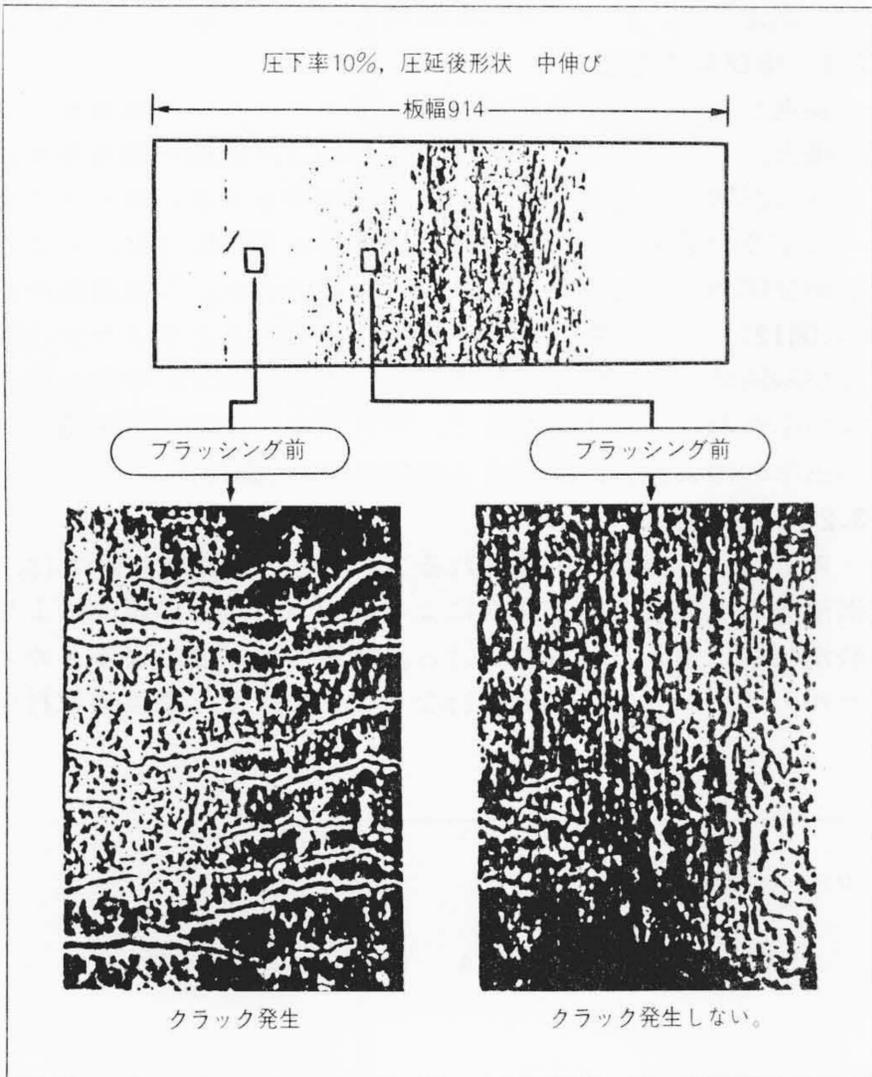


図4 圧延時クラックが発生しない例 圧延法によるメカニカルデスケーリング処理を実施したが、条件によっては本図に示すようにスケール層にクラックが発生しない例があり不安定であった。

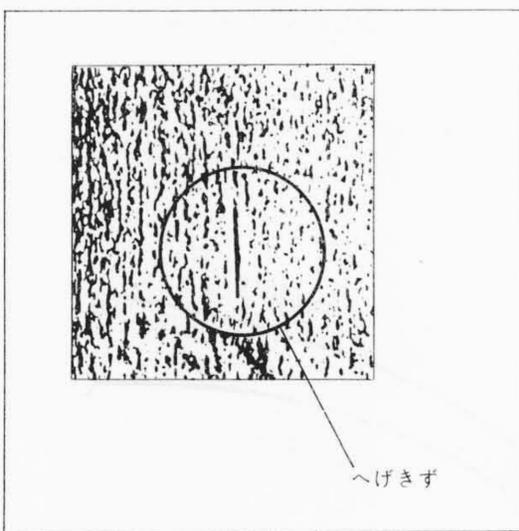


図5 へげきずの発生 圧延法によると、スケールをかみ込み、同時に圧延を行なう場合もあるため、本図に示すようなへげきずの発生が見られる。

(4) 日立式スケールブレイキング法(繰返し曲げ法)

日立製作所では、各種項目に優れた方式である繰返し曲げ法による日立式スケールブレイキング装置を開発した。本方式は鋼板を繰返し曲げることにより、表面にクラックを発生させ、酸洗時間を大幅に短縮するものである。日立製作所ではスケールブレイキング部でスケールにクラックを入れ、矯正部で形状修正を行なう構造を採用した。そのローラ配置を図7に、ローラ構成を図8に示す。本方式の特徴は、鋼板に

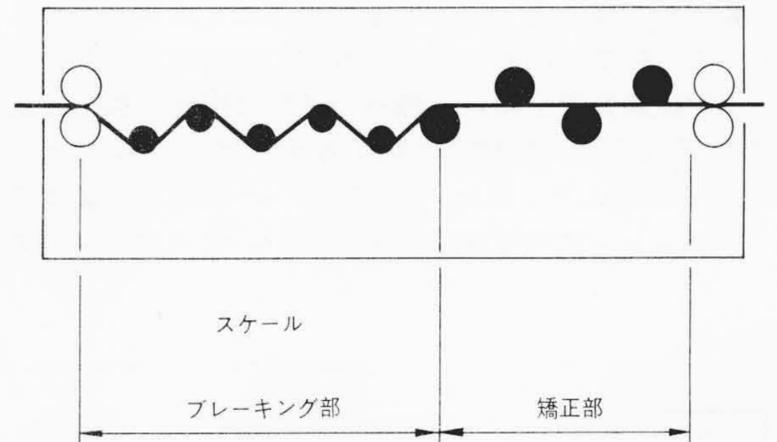


図7 メカニカルスケールブレイキング装置のローラ配置 メカニカルスケールブレイキング装置は、スケールブレイキング部と矯正部が別々に設けられ、形状修正能力を向上させている。

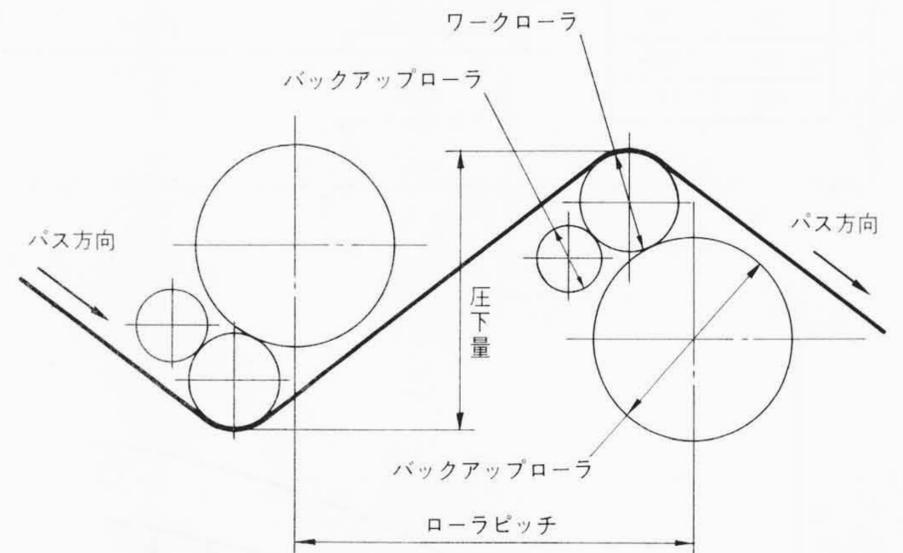


図8 メカニカルスケールブレイキング部のローラ構成 メカニカルスケールブレイキング部のワークローラは2種のバックアップローラで受けられている。

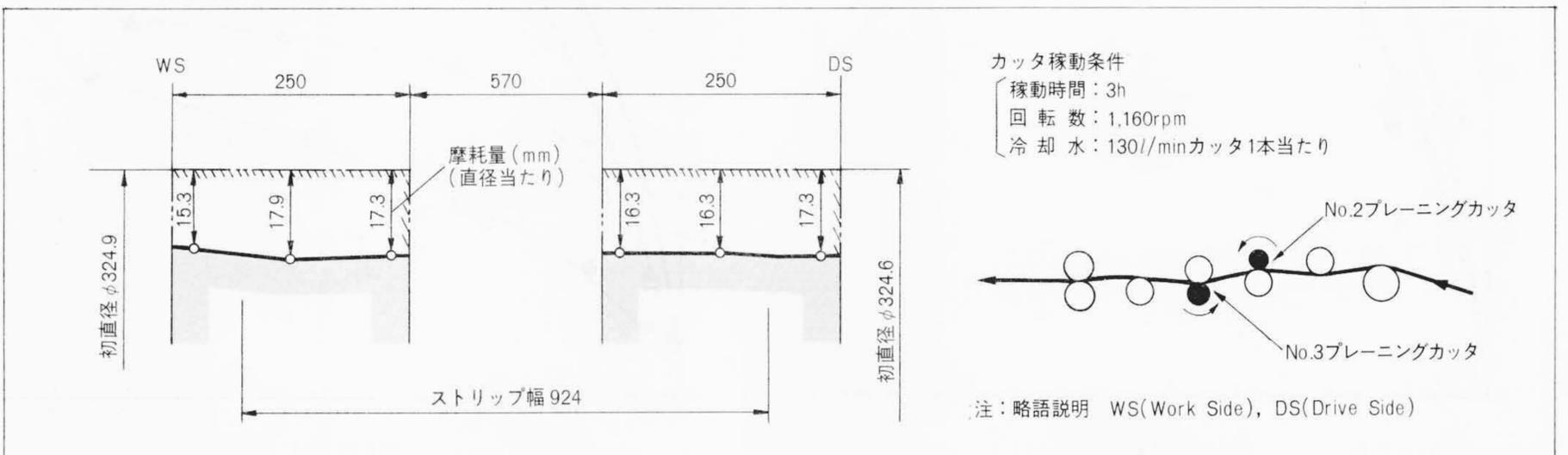


図6 プレーニングカッタ法稼働条件及び刃物の摩耗状況 プレーニングカッタ法によると、カッタの稼働時間に従いカッタの摩耗が進行し、消耗度合が厳しいものがある。

曲げを与えながら引張荷重を加えることにより、鋼板に伸びを付加し、鋼板表面のスケールにクラックを入れ、更にスケールをはく離させることにより、後段の酸洗を効果的に行なうものである。本方式のローラ構成によれば、圧下量を大きく取れるために、大きな引張力が不要であるとともに、スケールブレーキング部と矯正部を一体フレーム内に配設することにより、ストリップの形状修正を効果的に実施できる。

### 3 日立式スケールブレーキング法の原理

従来のデスケール技術に対し、高速で処理するために日立製作所では繰返し曲げ法を採用したメカニカルデスケールリング法の技術を開発した。これらの技術確立のために、図9に示す試験装置を用い、種々の試料に引張り繰返し曲げを付加し、それぞれの伸び率に対するデスケール率(スケールの脱落率)を測定した。更に、酸洗時間への効果を確認するために、ブラッシング処理後酸洗を行ない、その酸洗時間の短縮

率を測定した。以下にその影響割合について説明を加える。

#### 3.1 伸び率の影響

繰返し曲げ法によるメカニカルデスケールリング処理を行なう場合、ストリップに付与する伸び率は、後続の酸洗効果に大きな影響を与える。すなわち、伸び率が大きいほどデスケール率及び酸洗時間の短縮率が増加する(図10, 11)。ところが伸び率の増大に従いストリップ表面のスケールは離脱が進み(図12)、その離脱量がある程度以上になるとデスケール率及び酸洗時間の短縮率の増大割合が少なくなる。すなわち、伸び率が約5%以上になると、デスケール率及び酸洗時間の短縮率の増大割合は鈍化する傾向にある(図10)。

#### 3.2 鋼種の影響

ストリップ表面に生成されるスケールの組成及び厚さは、鋼種巻取温度及び冷却速度により決定され、その組成により酸洗時間は大きく影響を受ける。繰返し曲げ法によるメカニカルデスケールリング処理を行なうことにより、高温巻取材の

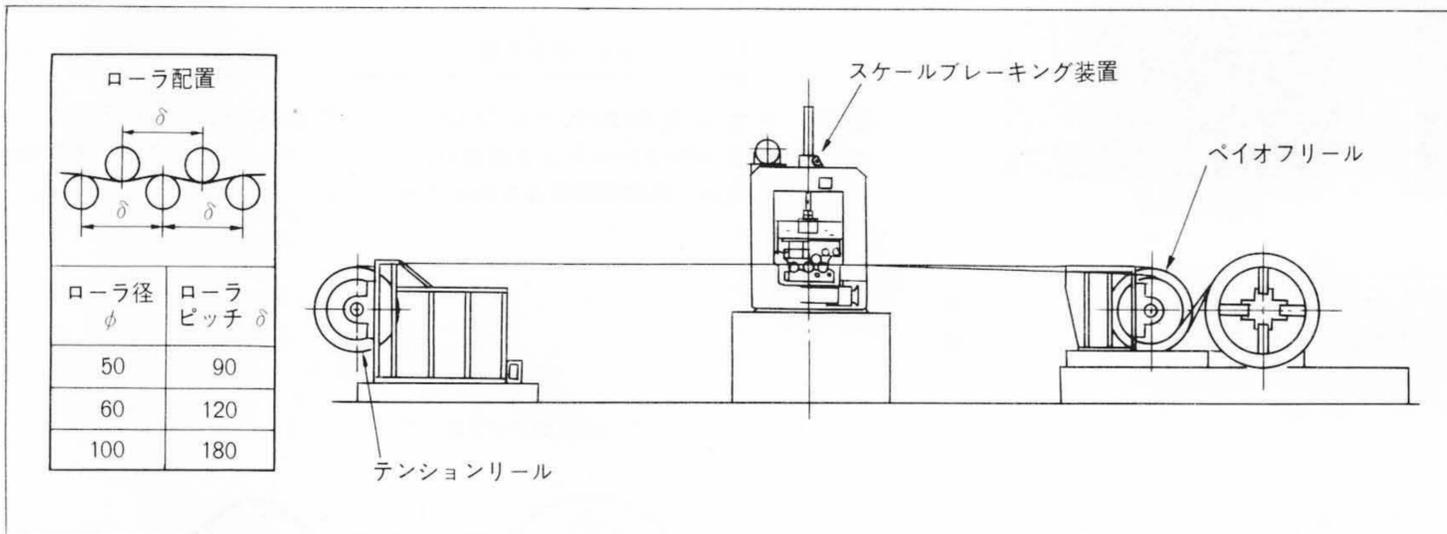


図9 試験装置配置図  
スケールブレーキング装置の前後にペイオフリール、テンションリールを設置し、スケールブレーキング部は5本のワークローラにより構成されている。

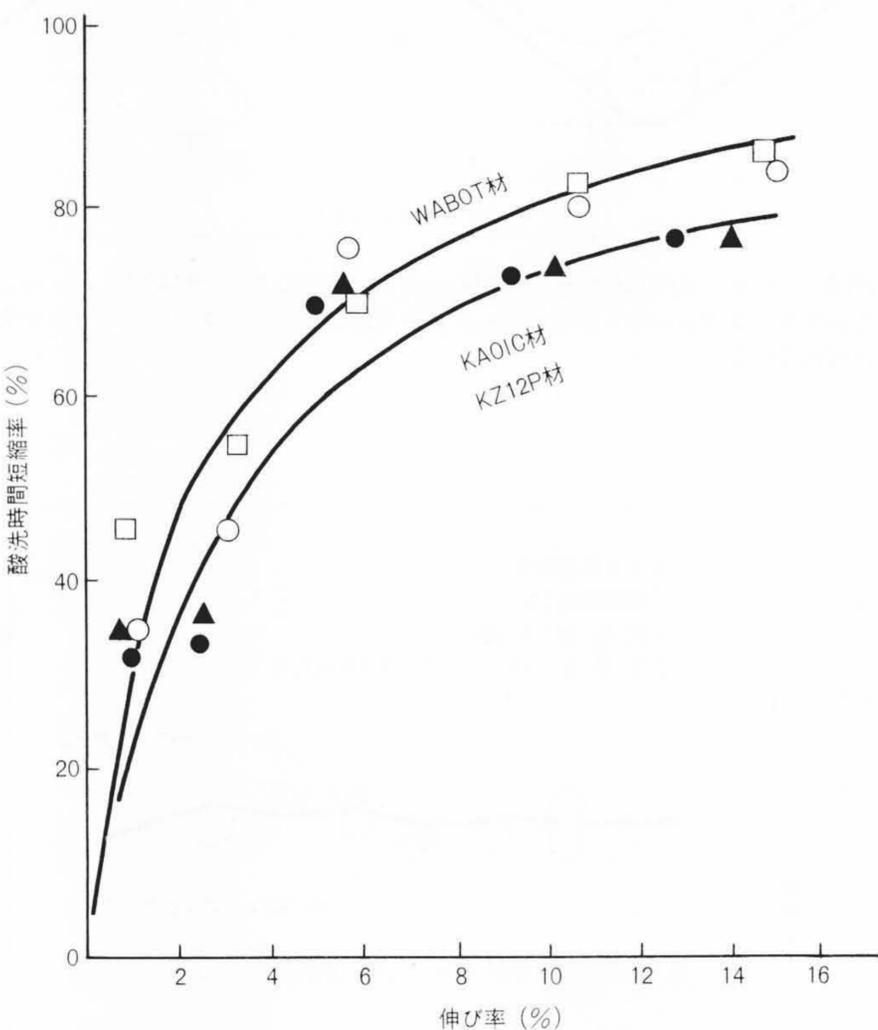


図10 酸洗時間の短縮率 伸び率の増加により酸洗時間は短縮するが、伸び率5%以上となると短縮率の増加割合は少なくなる。

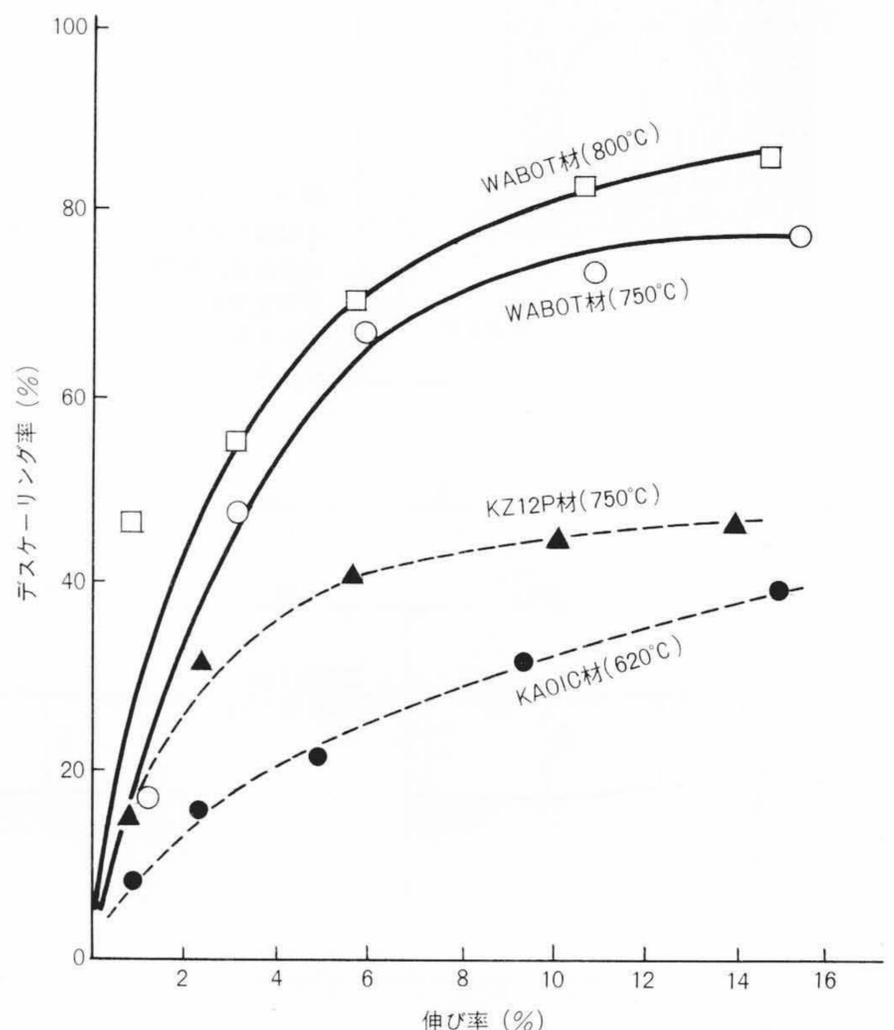


図11 デスケール率 デスケール率は、伸び率5%以上でその増加割合は少なくなる。

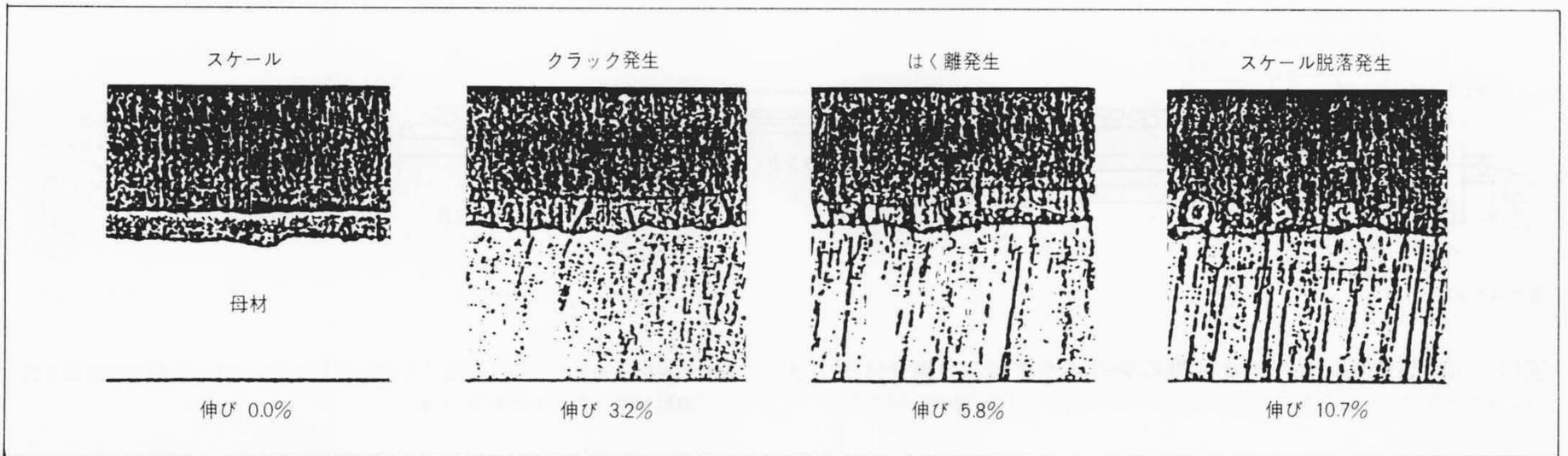


図12 曲げ・引張りによるスケール脱落状態 曲げ・引張りによりスケールの状況が変化し、伸び3.2%でクラック発生、5.8%でははく離が始まっている。

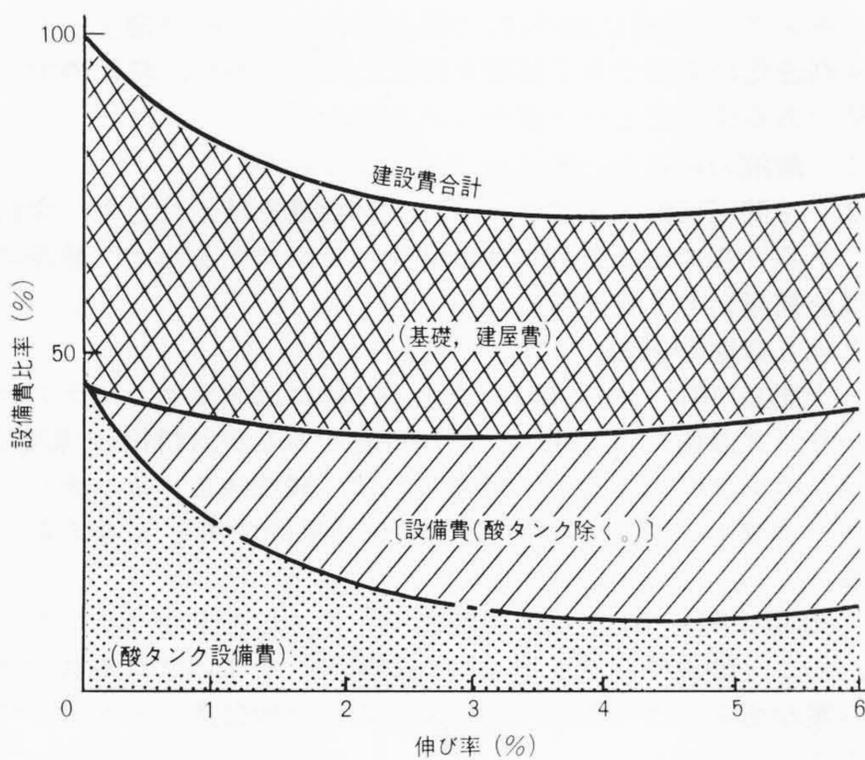


図13 建設設備費の比率 伸び率により設備費比率は変化し、設備費合計は伸び率がある値で極小値をとる。

ように酸洗時間のかかる材質についても酸洗時間は大幅に短縮され、その効果は鋼種によりあまり差異が認められない。これは、メカニカルデスケーリング処理により、ストリップ表面に生成されたスケール層にクラックが多数生じて、難酸洗性の $Fe_2O_3$ （ヘマタイト）が破壊され、酸洗時間が短縮されるようになったからである。

### 3.3 ブラッシング効果

ブラッシングの効果は、繰返し曲げ法により、スケール層にクラックを発生させた材料に対し有効であることが明らかになった。ブラッシング効果はブラシによりスケール層を積極的に研磨することが主な目的ではなく、はく離したスケールをブラッシングによって取り去るために用いられる。

このようにメカニカルデスケーリング処理は、繰返し曲げによるクラックの発生効果とブラッシングによるスケール除去効果とを併用することが最も有効であり、その効果は下記となる。

- (1) 伸び率2%：酸洗時間の短縮率20~40%
- (2) 伸び率5%：酸洗時間の短縮率30~60%

### 3.4 設備費

日立製作所で開発したメカニカルデスケーリング法の技術は、メカニカルデスケーリング効果とケミカルデスケーリン

グ効果とを併用したものであり、伸び率により設備費に占めるメカニカルな部分とケミカルな部分との占める割合が変化する。図13に設備費比率の一試算例を示す。伸び率の増加に伴い酸洗タンク設備費の割合は減少し、その他設備費の割合が増大する。これらの合計である総建設費は、伸び率と相関関係をもっている。

### 4 実機への適用例

日立製作所ではメカニカルデスケーリング設備（繰返し法）を併用した連続酸洗ラインを完成し、川崎製鉄株式会社千葉製鐵所に納入し、昭和59年11月1日から稼動を開始している。本設備は酸洗槽入側にメカニカルデスケーリング装置を設け、酸洗時間短縮効果を上げるとともに、入側、中央、出側の各設備に新機構を取り入れた。本設備の主仕様を表3に、各設備ごとの機器の特徴を表4に、全体配置図を図14に示す。

表4に示すように入側、中央及び出側各設備の特徴をまとめると下記のようなになる。

#### (1) 入側設備

コイル先端口出し自動などによる自動化を推進し、小人数によるライン運転を可能としている。特にウエルダまでの先端自動通板技術、及び高速(600m/min)化技術を確立した。

#### (2) 中央設備

酸洗槽入側に既に述べた繰返し曲げ法を採用したメカニカルデスケーラ及びメカニカルブラシ装置を設け、酸洗時間の短縮化及び酸消費量を低減させ、効率を向上させた。

表3 川崎製鉄株式会社千葉製鐵所新連続酸洗設備の主仕様 今回納入したピッキングラインの主仕様を示す。スケールブレイキング効果を上げるためにφ80ワークローラを用いている。

項目	仕様
取扱い材料	熱間圧延済み低炭素鋼
ストリップ厚×幅	Max.4.5mm×1,310mm
ライン速度	入側 600m/min, 中央 330m/min, 出側 400m/min
スケールブレイカ形式	非駆動形ウェット式
ワークローラ径×面長	φ80×L1,550(mm)
レベラローラ径×面長	φ200×L1,550(mm)
最大圧下量	250mm
伸び率	Max.2.0%

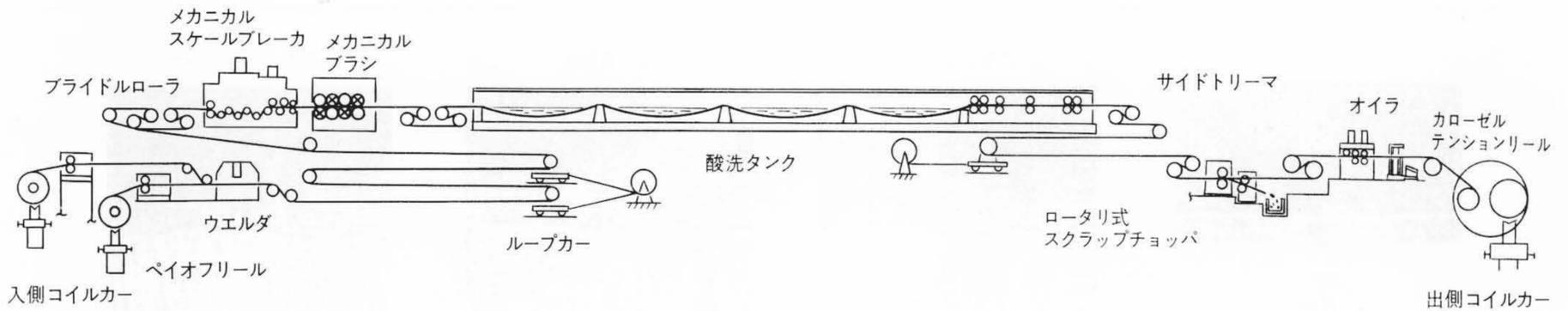


図14 川崎製鐵株式会社千葉製鐵所納め新連続酸洗設備全体配置図 省力化を図り運転員人数を少なくした全自動ラインであり、酸洗槽前にメカニカルスケールブレイカ及びメカニカルブラシを設けた高効率酸洗設備であり、ストリップの形状修正能力も優れている。

表4 川崎製鐵株式会社千葉製鐵所新連続酸洗設備各機器の特徴  
新連続酸洗設備の特徴は自動化であり、入側、中央及び出側の各セクションで各種の自動化を取り入れている。

設備	項目	特徴
入側	自動通板	自動先端口出しほかによる自動通板
	ダブルカットシャヤ	カートリッジ式刃物台採用による刃替の迅速化
中央	スケールブレイカ	繰返し曲げ法採用による効果的なスケールブレイキング処理
		スケールブレイキング部と矯正部の別体化による効果的形狀修正能力
	メカニカルブラシ	メカニカルブラシローラ採用によるスケールブレイキング後のスケール除去
		オシレート機構採用によるブラシ寿命の延長
酸洗槽	張力付加装置(テンションパッド)によるストリップリフタの廃止 不等分割方式の採用によるカテナリ量制御の安定化	
ループカー	ガイドウェイ式ストリップサポートロールの採用による信頼性向上	
出側	サイドトリーマ	高剛性プルカット式採用による切断面形状の改善
		迅速刃替機構採用による刃替時間の短縮化
	スクラップチョッパ	刃物オシレート機構採用による刃物寿命の延長
		ロータリドラム式による切断性能の向上
フライングシャヤ	走間カット、停止カット切換式	
テンションリール	カローゼルリールの採用によるライン構成のシンプル化	

(3) 出側設備

高剛性サイドトリーマ及びロータリ式スクラップチョッパの構成により、トリミング処理の確実化、高速化を図っている。更に、走間、停止切断機構併用のフライングシャヤ及びカローゼルテンションリールの採用により、設備の効率化、シンプル化を図っている。

5 今後の展開

日立製作所は従来酸洗法の改良とメカニカルスケールブレイキング法(繰返し曲げ法)の組合せにより、酸洗槽を長くせず高速化に適用できる技術を確認した。しかし、時代のすう勢である連続化という点からみると、

- (1) 酸液のいらぬ脱スケール法はないか。
  - (2) 冷間圧延設備とデスケーリング設備を結んだとき、主機であるミルで定まる入口速度にマッチングするため、酸洗時間を簡単にどう変えるか。
- という命題がある。

上記(1)項については、高速化のためにはメカニカルデスケーリング設備だけで脱スケール可能であるが、材料への影響、ランニングコストなどを考慮すれば、酸洗法とメカニカルスケールブレイキング法の組合せが効果的であると考えられる。

(2)項に関しては、冷間圧延設備とのスピードマッチングのために、酸洗時間を簡単かつ自動制御しやすいプロセスにする案がある。このための高速酸洗方式は次に述べるとおりである。

- (a) 攪拌酸液の拡散効果及び高周波振動付加による高速、高効率酸洗技術
- (b) 外部加熱及び加熱酸液の拡散効果によるストリップの短時間加熱による酸洗の高効率化技術
- (c) 冷間圧延入口速度とマッチングするための酸洗時間の自動制御技術

6 結 言

熱間圧延材のスケール除去を行なうデスケーリング設備の高速化、高効率化のために、スケール組成の研究により高効率メカニカルスケールブレイキング設備を開発し、酸洗設備とのコンビネーションラインを完成した。本ラインは川崎製鐵株式会社千葉製鐵所に設置され、昭和59年11月から稼動を開始し、脱スケール能力に優れ、ストリップ形状の良好なコイルを生産している。

今後、デスケーリング設備と冷間圧延設備の連続化が進む中で、このメカニカルスケールブレイキング設備の技術とともに、酸洗設備での酸洗時間の自動制御技術の確立を期す必要がある。

終わりに、メカニカルデスケーリング設備を導入したピッキング設備の実現を目指して、実用化段階で積極的に推進、御指導をいただいた川崎製鐵株式会社殿に対し深謝申し上げる次第である。