

## 技術資料

UDC 621.77:669.14.018.8

## ステンレス鋼圧延技術の進歩\*

佐々木 進\*\*

## Development of Rolling and Processing Practice in Stainless Steel Production

Susumu SASAKI

## 1. 緒 言

ステンレス鋼は耐食性、耐熱性などに優れていることが一般に認識され、原子力産業用から家庭用にいたるまで非常に幅広く使用されるようになり、最近 10 年間の生産量の伸びは著しい。熱間圧延鋼帯でみると昭和38年 17万 t から昭和 47 年 66 万 t に、冷間仕上げ鋼材では同様に 15 万 t から 50 万 t に、約 4 倍となつている。それにともなつて、設備および技術面での進歩にめざましいものがあり、今や普通鋼なみの大量生産方式に近接した観がある。

ステンレス鋼帯の熱延および冷延技術の進歩の過程を要約すると次のとおりである。

(a) 広幅センジミア圧延機の導入に端を発した冷延技術の進歩

(b) 生産規模の増大により、連続式ホットストリップ圧延機以外にステンレス鋼専用の新熱延圧延機を設置するなど、製鋼から冷延までの一貫生産体制の確立

(c) センジミア圧延機の大型化、高速化および厚み制御などの自動化

(d) センジミア圧延機のタンデム化

(e) 連続焼鈍炉の加熱技術の進歩および新脱スケール方法の開発

(f) テンションレベラの開発などによる精整工程の合理化

昭和 40 年台はとくに、新技術の開発による生産性の飛躍的向上が認められ、省力、コストダウンなど多大な成果を収めた。同時に、高度の技術と改善努力による品質水準の向上も著しいものがある。

鋼板、形鋼、管材などの技術についても著しい進歩が認められるが、本論では省略する。

(注) 昭和 37 年より 47 年までの熱間圧延鋼材および冷間仕上げ鋼材の生産実績の推移を図 1 に示

す。

## 2. 分塊圧延

## 2.1 ステンレス鋼塊の熱間加工性

ステンレス鋼の熱間加工性はきわめて悪く、分塊圧延は非常に難しいものと考えられていたが、熱間加工性に関する各種の研究や製鋼技術の進歩によつて、現在ではいろいろなステンレス鋼種の広幅帯鋼が 5~12 t の大型鋼塊、あるいは連続鑄造や加圧鑄造のスラブなどから製造されている。1972 年に改正された JIS (G4306)熱間圧延ステンレス鋼帯に規定された鋼種を表 1 に示した。

マルテンサイト系やオーステナイト系ステンレス鋼の中には分塊圧延の際割れやすいものがあり、なかでも SUS 631 は高温で 20% 程度のフェライトを析出し、2 相組織になるので、スラブの表面に写真 1 に示すような屋根瓦状割れが発生しやすく、大型鋼塊の分塊は難しいと考えられていたが、特殊元素の添加などによつてこのようなバランス不良鋼種の大型鋼塊からの量産化も可能になった。

## 2.2 分塊圧延方法

分塊圧延機や均熱炉その他の付帯設備などについてはすでに詳述されており、ステンレス鋼としてとくに違つたところは少ないので省略するが、圧延機の強大化によつて鋼塊が大型化し、5~12 t 鋼塊から厚さ 120~150 mm 最大幅 1 600 mm のスラブが 20~25 パスで分塊されるようになった。オーステナイト系鋼種の場合、大型鋼塊としてとくに問題はないが、フェライト系鋼種では次のような異常が現われやすい。(a)凝固時に鋼塊の表面に割れが発生しやすく、スラブの疵取歩留が低下する。(b)冷塊になると加熱時の熱ショックで写真 2 に示すよ

\* 昭和48年5月19日受付(依頼技術資料)

\*\* 日新製鋼(株)

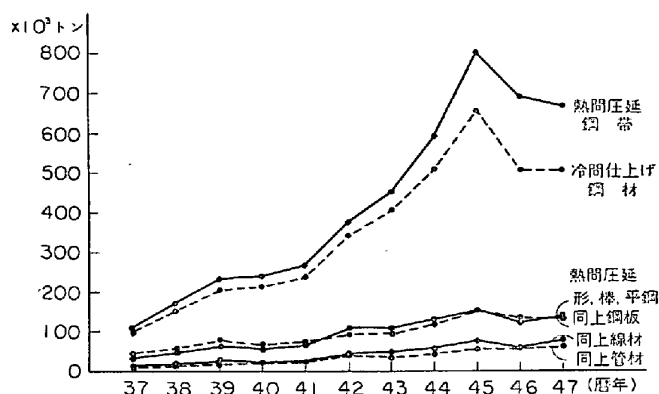


図1 熱間圧延および冷間仕上げ鋼材生産実績 (ステンレス協会統計資料)

表1 熱間圧延ステンレス鋼帯 (JISG4306) 鋼種

区 分	主 成 分	J I S 鋼 種
マルテンサイト系	低C-Cr	403, 410
	中C-Cr	420 J1
	高C-Cr	440A
フェライト系	Cr	429, 430
	Cr-Al	405
	Cr-Mo	434
2 相 系	低Ni-Cr-Mo	329 J1
オーステナイト系	Ni-Cr	301, 302, 304, 304L, 309S, 310 S
	Ni-Cr-Mo	316, 316L, 317, 317L
	Ni-Cr-Mo-Cu	316 J1, 316 J1L
	Ni-Cr-Mn	201, 202
	Ni-Cr-Ti	321
	Ni-Cr-Nb	347
	析出硬化系	Ni-Cr-Al

うな割れが発生しやすい。ステンレス鋼は熱伝導度が悪く、鋼種によつては加熱冷却の際割れやすいことから、大型鋼塊は熱塊処理が好ましい。

分塊後の高温スラブは冷却床で放冷されるのが普通であるが、オーステナイト系鋼種の場合、スラブクーラーによつて水冷も行なわれている。スラブクーラーは本来クーリングヤードの面積の節約が目的であつたが、ステンレス鋼の場合スラブ表面の硬いスケールが水冷することによつて除去され、グラインダー疵取りの研削能率が放冷されたものより向上するメリットも期待できる。フェライト系やマルテンサイト系鋼種では割れの危険性があるので行なわれていない。

2.3 スラブの手入れ

ステンレス鋼はスラブ加熱時のスケールの発生量が少なく、スラブの表面欠陥や凹凸などはそのままホットコイル表面に持ち込まれ、表面品質が著しく損なわれるの

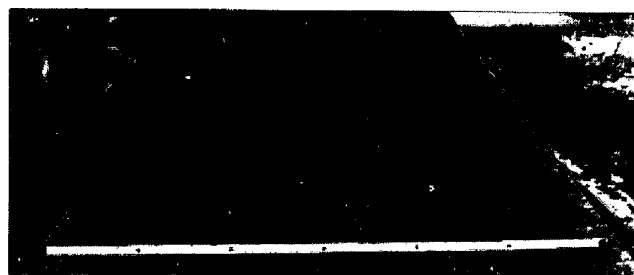


写真1 SUS 631 の分塊割れ



写真2 SUS 430 冷塊の熱割れ

表2 超高速自動研削機の設備仕様

被研削材	材料温度 材 質	常温~900°C 各種ステンレス鋼, 特殊鋼
研 削 材	砥石寸法 〃 周速 〃 回転数 〃 圧着力 〃 傾斜角度 台車走行速度	610φ×710×0, 203・2φ Max 4870 m/min 2540, 2810, 3120, 3480 PRM 4段変速 150~650 kg 45° 0~30 m/min(自動)

で最近ではとくに入念な手入れが行なわれている。プレーナーによる切削疵取りは仕上面が非常にきれいであり、グラインダー疵取りで割れやすい鋼種も処理でき、スクラップの回収も完全に行なえるなどの利点をもつが、超高速自動研削機の開発によりこの砥石疵取り方式が一般化している。超高速自動研削機の設備仕様の1例を表2に示す。

この研削機は高能率であると同時に砥石の角度が走行方向に対して45°でありかつ高周速のために研削仕上面の凹凸が比較的小さい。その他温間疵取りの可能なこともきわめて大きな長所である。フェライト系やマルテンサイト系鋼種は部分的に重研削すると割れが発生しやすく、その防止法としては200~500°Cの温間で研削するのが最も効果的である。また通常の冷却条件ではスラブの表面が焼入れ状態となる鋼種は、Ms点以上の温度で研削を終了させることが必要であり、このような作業も容易に行なわれるようになった。SUS 430などを温間疵取りすると砥石の研削量が4~5%向上するが、仕上面が粗くなるので砥石の粒度調整が必要である。

2.4 その他

連続鋳造や加圧鋳造技術の進歩はめざましく、鋳造が難しいといわれた SUS 430 など現在では問題なく製造されるようになった。表1のなかで鋳造に問題のある鋼種は数鋼種にすぎず、この残された鋼種も近い将来鋳造技術が完成するであろう。

作業の機械化、自動化、連続化、などの合理化のなかで造塊方式から連続方式への移行は最も生産性を高め、コストを低減させる方法であり、ステンレス鋼の分野ではとくに推進されるであろう。

3. 熱間圧延

ステンレス鋼の広幅の熱延鋼帯の製造方式としてはタンデム圧延機、ステッセル圧延機およびプラネタリ圧延機による圧延が採用されている。ストリップの幅はタンデム圧延機による圧延では最高 1600 mm までのものが製造され、ステッセル圧延機およびプラネタリ圧延機による圧延では 1300 mm までのものが製造されている。

3.1 熱間変形抵抗

ステンレス鋼の熱延は普通鋼に比較して変形抵抗が高いので強圧下の圧延が行ないがたく、圧延速度を小さくし、ロールパワーを大きくせざるをえない。ステンレス鋼の代表的な鋼種の高温における変形抵抗の一例を表3に示し、実際の圧延における変形抵抗を図2に示す。

3.2 熱延鋼帯の製造方式

(1) タンデム圧延機による圧延

連続式ホットストリップ圧延機は板の需要増加に伴って、圧延機の中で最も進歩が著しいものである。

ホットストリップ圧延機の設備概要は後に掲載の「熱間ストリップ圧延機の進歩」を参照されたいが、ステンレス鋼の圧延は普通鋼の圧延設備がそのまま用いられる。ステンレス鋼の加熱はプッシュ式あるいはウォーキングビーム式連続炉が使用されるが普通鋼に比較して熱

表3 ステンレス鋼の変形抵抗 (kg/mm<sup>2</sup>)

変形速度 鋼種	0.8/s	7/s	77/s
普通鋼	9.0	11.6	14.8
SUS 410	18.8	14.0	15.8
SUS 304	15.0	18.4	21.2
SUS 316	19.6	21.9	24.3

(注) 1. 変形速度 7/S は毎秒標点距離 (25mm) の 7 倍伸びるような速さを示す  
 2. 試験温度 : 1030°C  
 3. 加工度 : 20%

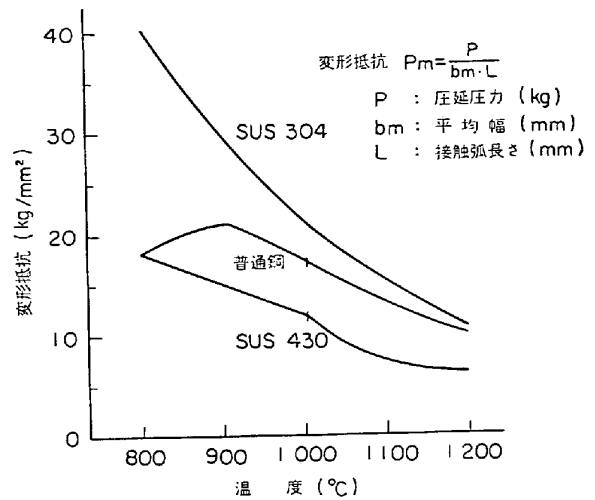


図2 ステンレス鋼の変形抵抗と温度の関係

伝導が悪く、約2倍の予熱、均熱が必要とされ、普通、長時間の加熱がなされている。しかしながら、最近では生産能率の向上および表面品質向上の要求から、鋼種によつてはかなり時間の短縮された急速加熱が行なわれている。この点、ウォーキングビーム式加熱炉は4面加熱であるため急速加熱が容易である。

また、スラブとスキッドの接触位置を変えよう設計されており、抽出装置も落下式に代つてスラブエキストラクターが使用され、プッシュ式に比較してスキッドマークの軽減、ヘゲ疵の防止などの理由からステンレス鋼にはとくに利点のあるものといえる。

加熱炉用の熱源としては通常、重油あるいはガス、重油とガスの併用が用いられている。加熱温度は圧延機パワーによつて多少異なるが、一般的には

- マルテンサイト系 : 1100~1260°C
- フェライト系 : 1100~1180°C
- オーステナイト系 : 1150~1260°C

である。

また、ステンレス鋼の圧延は普通鋼に比較して変形抵抗が高いこと、スケールの発生が少ないことなどの特性から圧延速度、デスクーリングの使用、ロール冷却水の量などが若干異なつた圧延となつているが、コイル単重の増に伴う寸法精度の維持および向上を目指して、普通鋼と同様に加速圧延、AGCなどの適用も行なわれている。

ストリップの素材であるスラブは従来の圧延機では厚さ 120~130 mm、幅 800~1600 mm、単重 5~8 t 程度であるが最新式の圧延機では厚さ 120~150 mm、幅 800~1600 mm、単重 10~12 t 程度まで拡大されている。

ストリップの厚さは通常、1000 mm 幅のとき 3~4 mm 程度のものであるが大型の最新式圧延機ではさらに

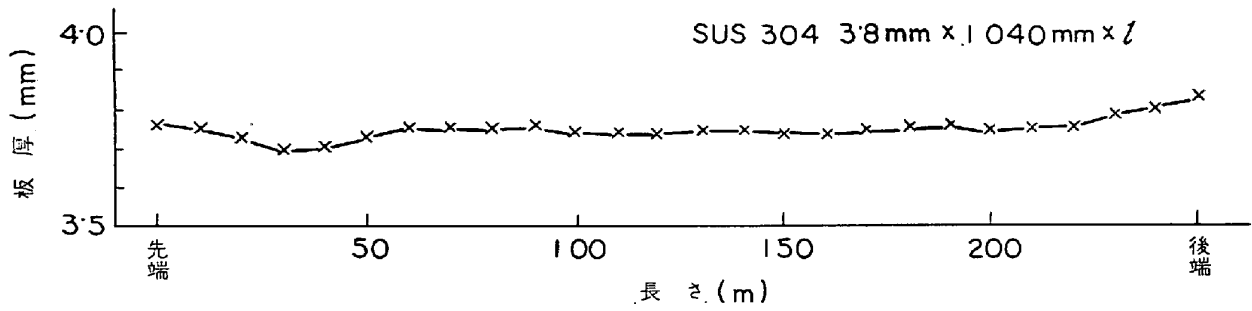


図 3 タンデム圧延機の長手方向の板厚変動

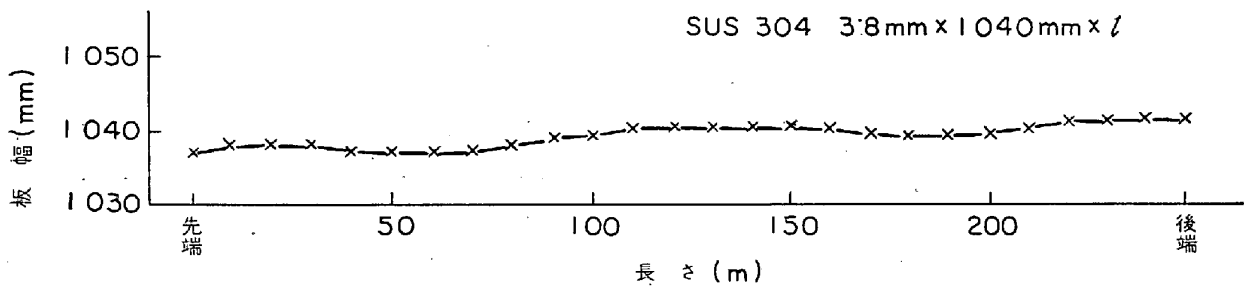


図 4 タンデム圧延機の長手方向の板幅変動

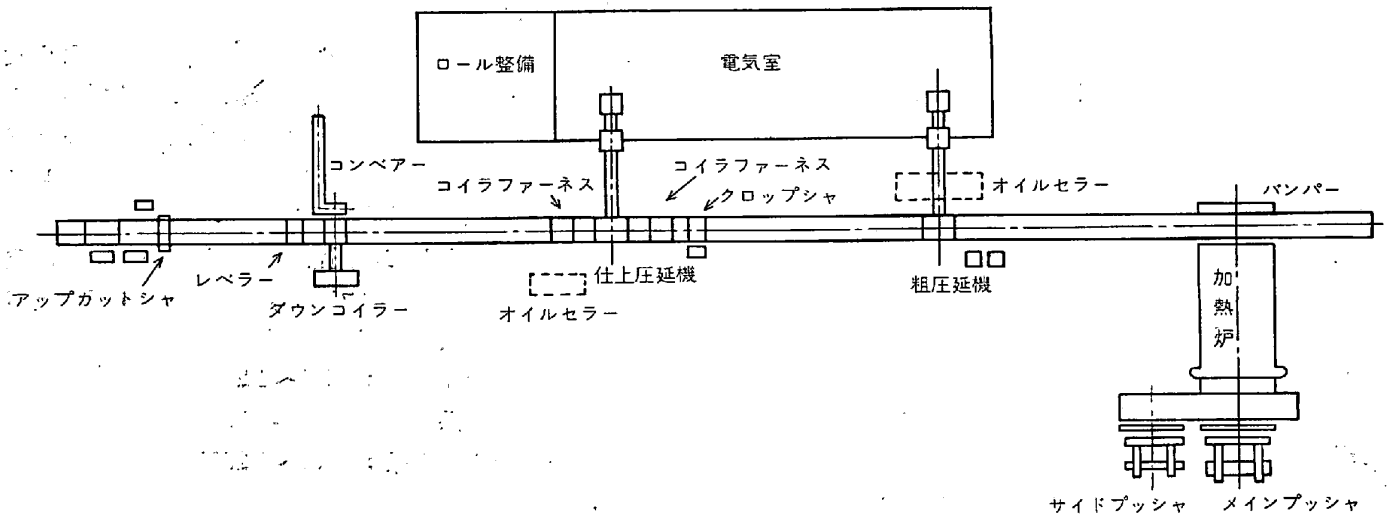


図 5 ステッケル圧延機の設備配置 (A社の例)

薄いものまでが圧延されている。

ステンレス鋼の場合は普通鋼に比較して機械設備によつて疵がつきやすいので、輸送、加熱、圧延、巻取の各段階で注意を要する。とくに、仕上圧延機のガイドおよび巻取機における機械設備の改善と制御技術に工夫がなされている。

ステンレス鋼のタンデム圧延機で圧延された板厚、板幅の一例を示すと図 3、図 4 の通りであるが、寸法精度はステッケル圧延機およびプラネタリ圧延機で圧延されたものより、そのバラツキは少なく良好といえる。また、表面品質についてもタンデム圧延機で圧延されたよりも

アップが最も良いといわれている。

(2) ステッケル圧延機による圧延

A社の設備配置の一例および世界の保有数を示すと次のとおりである。

(a) ステッケル圧延機の設備配置

(b) ステッケル圧延機の世界の保有数

日本	2台	西 欧	5台
アジア	2台	東 欧	1台
北 米	4台	ソ 連	3台
中南米	3台	計	20台

ステッケル圧延機用の加熱炉としては圧延機の能力が

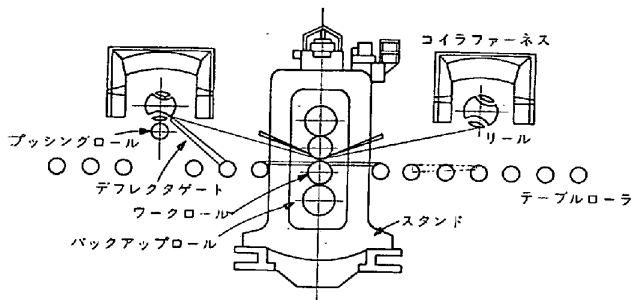


図6 ステッケル圧延機の構造

小さいので、炉長 15m 程度のプッシュ式あるいはウォーキングビーム式の連続炉で、加熱能力 30~50 t/hr 程度のものが使用されている。加熱炉用熱源は通常、重油かガスが使用されているが、灯油を使用しているところもある。粗圧延機は通常、可逆式の四重圧延機が用いられ、スラブ厚さ 80~130 mm、幅 800~1300 mm、単重 5~7 t 程度のスラブを 5~7 パスの圧延で 15~20 mm 程度の厚さにする。この粗圧延機は均熱炉と組合わせて分塊圧延を行なっている工場もある。

ステッケル圧延機の構造は図6に一例を示すように、四重式の圧延機で正逆の運転を繰返して仕上圧延を行なうが、ストリップの温度降下を防ぐために、圧延機の両側にコイラファーネスとよばれる保熱炉を備えている。コイラファーネスにはストリップ巻取り用として、リールを内蔵し、ストリップを正確に導くためにデフレクタ

ゲートおよびプッシングロールなどが設置されている。

ステッケル圧延機はコイラファーネスとの組合わせて正逆を繰返して圧延を行なう圧延機であるが各機器の構造が若干異なる型式の圧延機がある。たとえば

(a) コイラファーネスでは図6に示すような下部が開放型となつているオープンタイプとストリップの入口部のみが開いているクローズドタイプのものがある。

(b) コイラファーネスに内蔵されているリールでは図6に示すようなセグメントタイプと一体構造の単式スロットタイプがある。

(c) コイラファーネスおよびリールの構造によつてはストリップを正確に送り込み、送り出しを行なうために、圧延機とコイラファーネスの中間にピンチロールを設けたタイプがある。

コイラファーネスの炉温は圧延材によつて異なるが、800~1100°C 程度である。

ステンレス鋼の場合、ステッケル圧延機で圧延されるストリップの厚さは5~9パスの繰返しで、通常1000 mm幅のとき3~5 mm程度である。板厚、板幅の一例を示すと、図7、図8の通りである。

ステッケル圧延機は正逆の運転を繰返して圧延を行なうため、ストリップの頭部、尾部の温度降下が中央部に比較して著しくなり、図7に示すように頭部、尾部の厚さが厚くなり、タンデム圧延機に比較して、コイル内の変

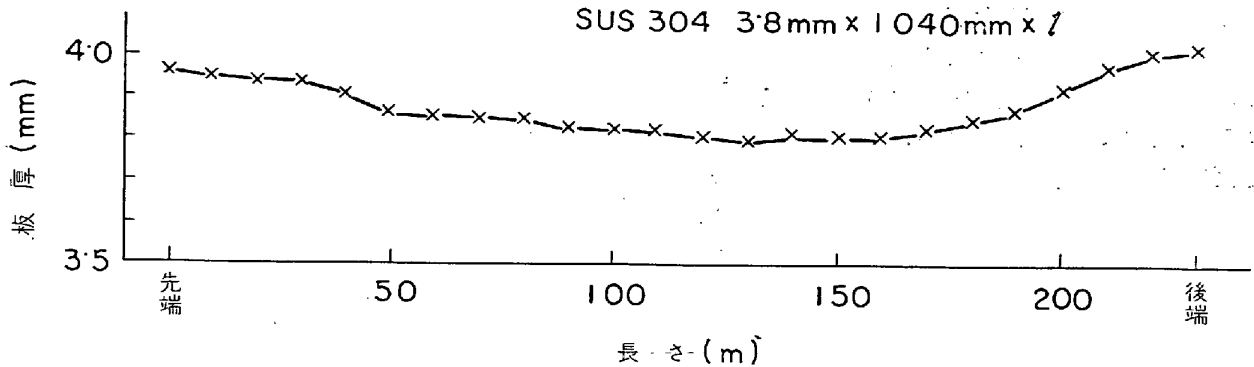


図7 ステッケル圧延機の長手方向の板厚変動

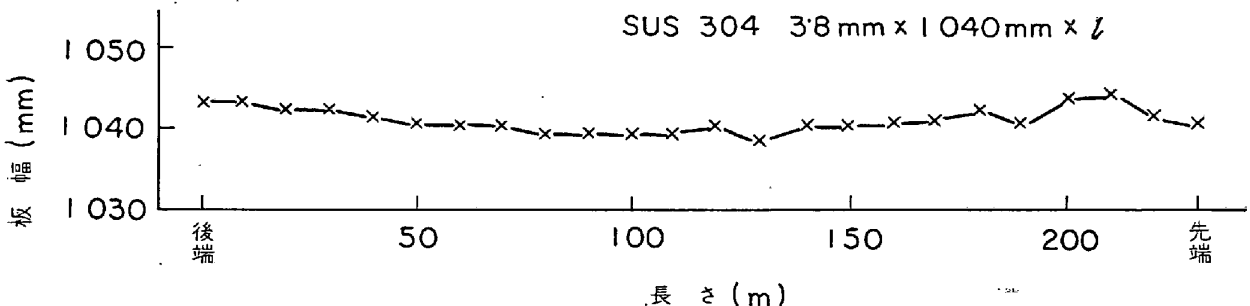


図8 ステッケル圧延機の長手方向の板幅変動

動が大である。また、普通鋼や特殊鋼を圧延した場合、スケールの発生が多い。

品質向上のため、つぎに示すような改善が行なわれている。

(a) レバース圧延の際、頭部、尾部の放熱による温度降下が著しいので、正逆運転のアイドルタイム短縮のための対策

(b) リールの回転開始時期を正確にするために、ストリップの先端の通過をエアジェットで検出し、スロットまでの時間をタイマで調整するか、あるいは圧延機と連動した長さ計を用いている。

(c) ストリップのループを最小限におさえるために、リールの加速および張力の電気制御を工夫している。

ステッセル圧延機の特徴はタンデム圧延機に比較して、次の点があげられる。

(a) 粗圧延機と仕上圧延機の2スタンドで設備費がかからない。

(b) 温度、圧下量などの調整範囲が広く、とくに、ステンレス鋼などに適している。

(c) 圧延中に、ストリップの耳部が保温されるため、よいエッジのストリップができる。

(d) 製造コイル単重が5~7t程度の少量多品種の生産に適している。

ステッセル圧延機は能力が15000~20000t程度で、中規模ステンレス鋼一貫工場の圧延機にふさわしく、最もフレキシビリティに富んだ圧延設備である。

### (3) プラネタリ圧延機による圧延

プラネタリ圧延機は現在、実用化されているものに、センジミア式、プリア式およびシングル式がある。現在までに世界で設置稼動されたセンジミア式プラネタリ

圧延機を示すと表4のとおりである。

プラネタリ圧延機の圧延設備について、B社の例の概略を示すと図9のとおりである。また、プラネタリ圧延機本体の構造を図10に示す。

プラネタリ圧延機はほかの圧延機と構造および圧延機構が異なり、図10に示すように、大径のバックアップロールのまわりに多数の小径ワークロールを取りつけ、バックアップロールを駆動することにより、ワークロール群を公転および自転させて、ワークロールにより少しずつ圧延するものである。したがって、スラブはロールバイトを通過中に多数のワークロールにより、つぎつぎに小さな圧下に加えられ、一回のパスにて90%以上の圧下量を得ることができる。

プラネタリ圧延機のおもな特徴は次のとおりである。

(a) ロールバイトでの変形速度が大きく(70~140 sec<sup>-1</sup>)、圧延中に発熱が起こるため、変形抵抗を小さく保つて圧延することが可能である。したがって、軟鋼から超合金鋼までのほとんどすべての鋼種のストリップ圧延ができる。その他、チタンなどの特殊金属の圧延にも適している。

(b) スラブの加熱は通常の圧延機ほど高温にする必要がないため、スケールの生成量が少ない上に、ロールバイトで形成するバックバンプによつて連続的にスケールが除去されるので、表面品質のよいものが得られる。

(c) 炉抽出口からロールバイトまでの時間はスラブのどの位置でも等しく、また、圧延機構造がプレストレス方式であるため、ストリップ全長にわたる板厚変動がきわめて少なく、頭部、尾部のオフゲージ部分はわずかである。

(d) タンデム圧延機に比較して、生産能力は高くな

表4 センジミア式プラネタリ圧延設備一覧表

番号	形 式	建設年	会 社 名	場 所	圧 延 材
1	PL11-8	1950	新日本製鉄株式会社	日 本	ステンレス, 高炭素鋼
2	PL16-11	1951	Naval Ordnance Laboratory	アメリカ Washington D.C.	合金鋼
3	PL32-24	1954	Atlas Steel Ltd.	カナダ Welland	ステンレス
4	PL24-18	1954	Ductile Steels Ltd.	イギリス Willenhall	低炭素鋼
5	PL16-13 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	1955	Magnetics Inc.	アメリカ Butler Penn	Electrical Alloys
6	PL16-13 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	1955	General Electric Co.	アメリカ Schenectady N.Y.	Electrical Alloys
7	PL24-18	1955	Ductile Steels Ltd.	イギリス Rotherham	ステンレス, 低炭素鋼
8	PL52-44	1955	United States Steel Corp.	アメリカ	普通鋼
9	PL52-52	1962	Norbottens Jarnverk	スウェーデン Lulea	低炭素鋼
10	PL32-22	1962	Benteler Werke	ドイツ Schloss Neuhaus	低炭素鋼
11	PL24-19	1962	Henry Wiggin & Co.	イギリス Herford	ナイモニック, 特殊鋼
12	PL32-22	1962	Hellefors Jerverk	スウェーデン Hellefors	ステンレス, 低炭素鋼 ニクロム鋼, 合金鋼
13	PL32-26		Esteban Orbegozo S.A.	スペイン Zumarraga	低炭素鋼
14	PL64-57	1965	Atlas Steels Ltd.	カナダ Tracy	ステンレス
15	PL64-57	1965	日本冶金工業株式会社	日 本 川崎	ステンレス
16	PL24-18	1965	日立金属株式会社	日 本 安来	合金鋼, 高速度鋼

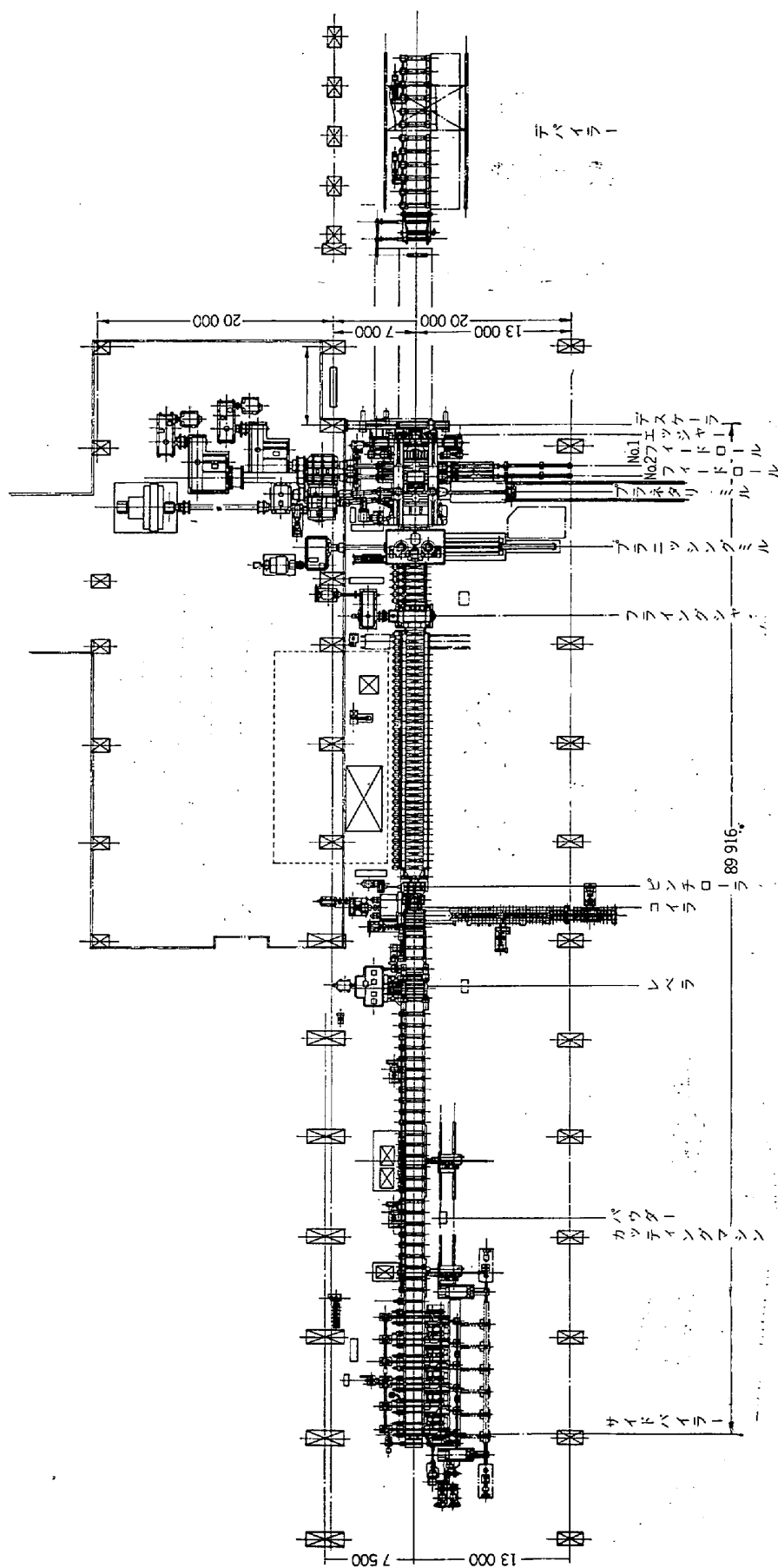


図9 プラネタリ圧延機の設備配置 (B社の例)

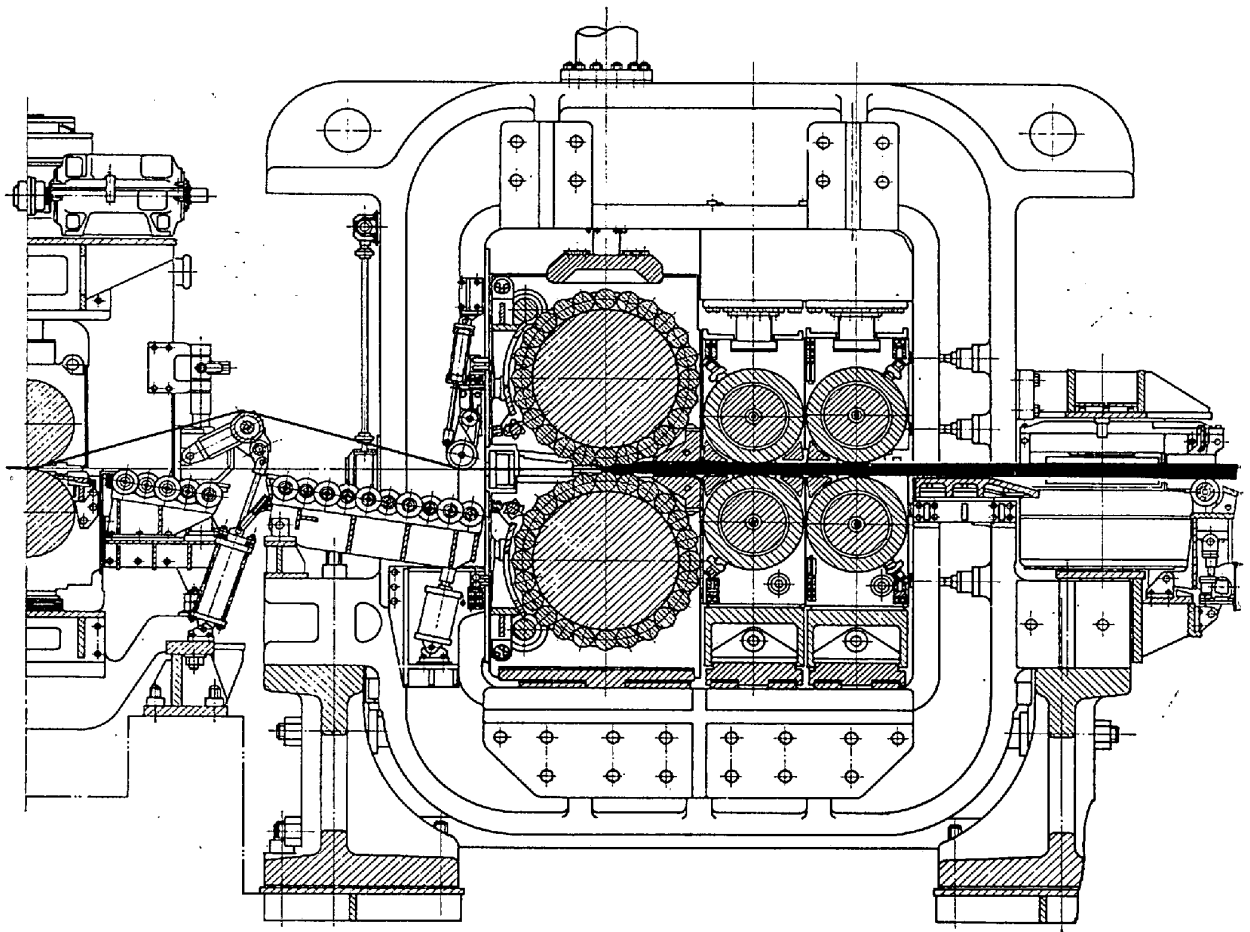


図10 プラネタリ圧延機の断面図

いがロールスタンドの数が少ないため、圧延設備、工場敷地などの建設費が安く、とくに、少量多品種の圧延に適している。

(e) 圧延中の振動および騒音はほかの圧延機より大きく、振動に対しては特殊な考慮を払う必要がある。

(f) 通常の圧延機に比較して、エッジクラックの発生が高い。

(g) 圧延機の機構が複雑で操業およびメンテナンスに高度の技術を要し、ロール組替調整に時間がかかる。

プラネタリ圧延機は表4に示すように、現在まで16台が設置されており、圧延材料は普通鋼から超合金鋼までが対象となっているが、おもにステンレス鋼、合金鋼に適用されている。

つぎに、最近設置された設備の主要機器について述べる。

#### (i) 加熱炉

加熱炉はプラネタリ圧延機へのスラブの送り速度がきわめておそいため(約1~2m/min)、炉から抽出したスラブの温度降下を防ぐ目的で、きわめて圧延機に近接し

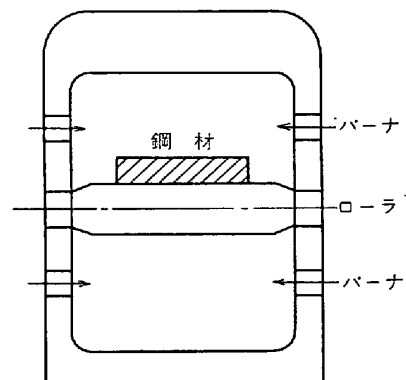


図11 ローラハース式加熱炉

て設置され、ローラハース式加熱炉が用いられる。炉の断面は図11のごとくで、炉長105m、炉幅2680mmで、長さ6500mmのスラブを $1\text{t/m}^2\cdot\text{hr}$ の炉床負荷、135t/hrの加熱能力を有している。加熱炉の熱源としては重油とガスの併用である。

#### (ii) デスケーリング装置

スケールのロールバイトへのくい込みを防止するために、炉出口とエッジャとの間に本装置が設けられてい



る。機構としては  $140 \text{ kg/cm}^2$  程度の高圧水噴射ノズルをスラブの直角方向に往復動作させるようになってい  
る。ステンレス鋼の圧延ではスケールの発生が少ないた  
め、その使用は必要条件ではない。

(iii) エッジャ

プラネタリ圧延機入口に近接して配置され、これでス  
ラブ幅方向にわずかに圧下を加える。耳割れを極力少な  
くするために、ロールはRをつけている。しかしながら  
板のエッジの形状は数mmのV溝がある。

(iv) プラネタリ圧延機

プラネタリ圧延機は図 10 に示すとおり、2組のフィ  
ードロールと一組のプラネタリロールから構成されてい  
る。フィードロールは圧延機のロールバイトにおいて、  
バックスラストに打ち勝つてスラブをロールバイトに連  
続に、一定速度で送り込むため、No 1, 2 のフィ  
ードロールでおのおの 10~30% の圧下を加えられる。

プラネタリロールは一对のバックアップロールのまわ  
りに多数のワークロールを公転させスラブを圧延する。  
各ワークロールはバックアップロールと同軸に組み込ま  
れたケージによつて支持され、ケージ内に組み込まれた  
ワークロールショックおよびスプリングアセンブリによ  
り遠心力に打ち勝つ力でバックアップロールに押し付け  
られている。ケージはシャフトおよびギヤにより、水平  
および垂直方向に同調してバックアップロールのまわり  
を回転する機構になっている。すなわち、上一対のワ  
ークロールはまったく同時にロールバイト内の垂直中心  
線を通るとともに、水平方向に対してはワークロー  
ルとバックアップロール軸がつねに平行であるように同  
調機構により調整できる構造になっている。

圧延中に発生する 30~35Hz の振動と圧延圧力および  
バックスラストの急激な変動に対して、 $350 \text{ kg/cm}^2$  の  
高圧シリンダによるプレストレス方式、ソールプレート  
下面の弾性パットの工夫などでこの振動を吸収するよう  
設計されている。このプレストレス方式は圧延機の剛性  
を増し、板厚精度を高め、かつ振動を吸収し、さらには  
ハウジングの断面積および重量を低減できる特徴をもつ  
ている。

ゲージ調整は上下バックアップロールのショック間に  
ウェッジが設けられ、これを摺動することにより圧延中  
のゲージ変更も可能な構造になっている。

図 12 にロールバイトの原理を示す。ワークロールお  
よびケージはバックアップロールとスラブ間の摩擦によ  
り駆動される機構になっている。ワークロールがスラブ  
の進出方向と逆に回転しているため、スラブをロールバ  
イトに引き込む力は発生しない。このため、フィードロ

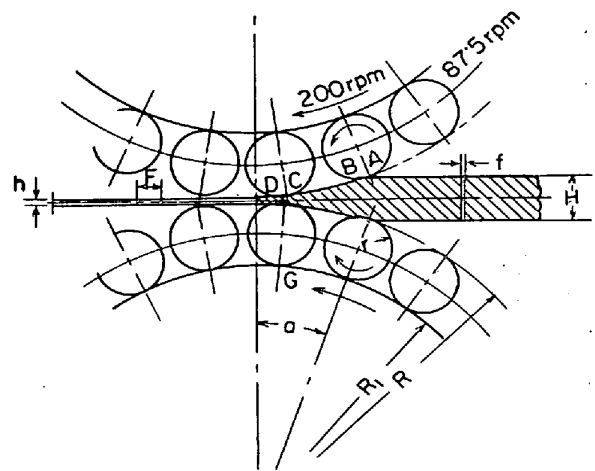


図12 ロールバイトの原理

ールによつて、一定の速度で連続的にスラブの押し込み  
を行わなければならない。また、ワークロールは常  
に、被圧延材に1~2本コンタクトしていなければケー  
ジの回転が不安定となるので入側スラブ厚さは出側厚さ  
に対して 18~24 倍程度必要である。

(v) プラニッシング圧延機

プラネタリ圧延機およびコイラ巻取りに適当な張力を  
与え、かつ、プラネタリ圧延機特有のスキヤロップマ  
ークをわずかな圧下で平坦にするためにプラニッシン  
グ圧延機を設置している。圧下率は 5~10% 程度である。  
この圧延機で圧延された板ではスキヤロップによる厚  
みの差は  $\pm 0.01 \text{ mm}$  以下で 30~50% の冷間圧延で視  
覚的にも完全に消えている。また、圧延機構から起こ  
るストリップ尾部の厚肉部がこの圧延機を通過する  
ときに発生する過負荷を逃げ、後続ストリップの頭  
部の通過を容易にするためのロールクイックオープン  
機構を取り入れている。

各種プラネタリ圧延機のスラブおよび製品寸法の例  
をあげると次のとおりである。

(a) PL64-57 の例

- 材 料：ステンレス鋼，その他
- スラブ寸法：最大  $140 \times 1300 \times 6500 \text{ mm}$
- スラブ重量：最大 7800 kg
- ストリップ：3.5~6 mm厚
- シ ー ト：6~25 mm 厚
- プレ ー ト：25~50 mm厚

(b) PL24-18 の例

- 材 料：合金工具鋼，高速度鋼，ステンレス鋼
- スラブ寸法：最大  $49 \times 380 \times 5000 \text{ mm}$
- スラブ重量：最大 750 kg
- ストリップ：1.5~6 mm厚

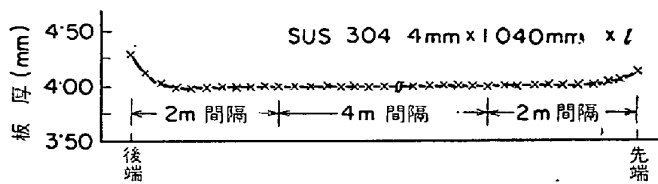


図13 プラネタリ圧延機の長手方向の板厚変動

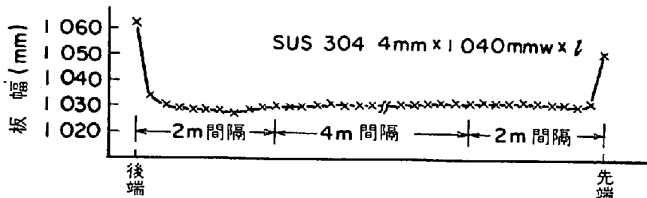


図14 プラネタリ圧延機の長手方向の板幅変動

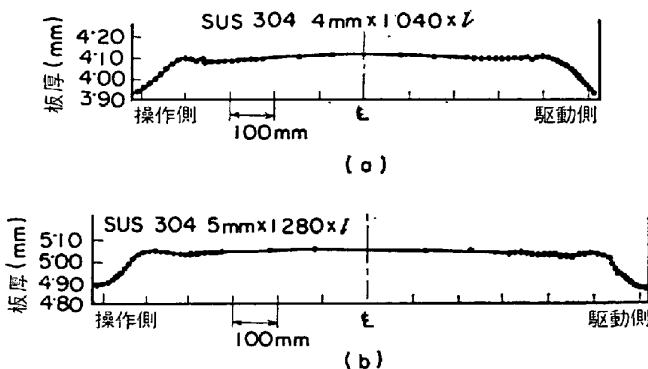


図15 プラネタリ圧延機の幅方向の板厚変動

また、PL64-57 で圧延された製品の板厚および板幅の一例を示すと図13、図14および図15の通りである。

ストリップ長手方向の板厚の変化は頭部、尾部それぞれ7~10mを除いて、中央部は非常に安定している、また、板幅も板厚と同様、両端の不安定部を除いて、そのバラツキは非常に少ない。板厚の頭部、尾部における変動はプラネタリ圧延機とプランニング圧延機間の無張力とストリップエンドの折れ曲りをさけるためのプランニングロールのクイックオープンが原因となっている。板幅方向の変化は図15のごとく、耳部がドロップしている。

ストリップの表面肌はプラネタリ圧延機の特徴で述べたごとく、スケールの発生が少なく、きわめて良好なものが得られ、タンデム圧延機と同程度の水準である。

本設備の能力は最大5万t程度が可能と推定され、連鋳スラブとの組み合わせでコイルの大型化が容易な圧延機である。

#### 4. 冷間圧延

冷延技術の進歩についてみると、品質、能率、原価面において製造工程全般にわたってみられるが、その顕著

なものについてつぎに述べる。

冷間圧延は、特殊鋼、軟鋼、珪素鋼などと大差なく、圧延機の型式としては多段式のセンジミア圧延機、4段レバーシング圧延機、幅狭用として多段のローン圧延機などがあり、実作業においては、それぞれの特徴を生かした作業がなされているが、ステンレス鋼のように加工硬化の大きい材料を能率良くしかも厚み精度良く圧延するには、径の細いワークロールと圧延機の剛性が重要な要素であり、この点でセンジミア圧延機が最も適しているものといえる。

表5に国内各社に設置されているステンレス鋼用のセンジミア圧延機の状態を示す。

##### 4.1 冷間圧延機の進歩

当初わが国に導入された広幅センジミア圧延機は、4フィート幅圧延機であり、圧延機仕様の一例は次のとおりである。

コイル重量	: 8 t
幅	: 最大 1 240 mm
コイル外径	: 1 100 mm
コイル内径	: 510 mm
標準ワークロール径	: 54 φ
ミルモーター	: 1 400 HP
巻取機用モーター	: 1 200 HP
圧延速度	: 最大 200m/min
巻取張力	: 最大 22.5 t

その後、生産量の増大とともに、圧延機の高速度化、大型化の構想が持たれている折、溶接工数の低減を主目的に、化学プラント用材として広幅鋼板の要求が出されてきたこともあつて、昭和46年以降5フィート幅圧延機が設置され始め、現在国内で5基が設置されている。その仕様を表6に示す。

5フィート幅圧延機の特徴として次の点が挙げられる。

- コイル単重の増加
- 圧延速度の増加
- 巻取張力の増大
- ワークロール径の増大

コイル単重については最大27tのものもあり、幅の増加と相まって設備が非常に大型化した。このコイル単重増によりコイル長さが長くなった結果、圧延速度増はますます意味のあるものとなり、そのため、ストレートミネラルオイルより冷却性能が優れた、ソリブルオイルを使つて、最大圧延速度500m/minの圧延機も現われた。

当初の圧延機の巻取り機は、コラプシブルマンドレル

表 5 国内のステンレス鋼用広幅センジミア圧延機一覧表

型 式	建 設 年	社 名	所 在 地	備 考	速 度 F/min
Z R 22-50	1962	川 崎 製 鉄	西 宮		750
Z R 22-50	1968	〃	〃		1 150
Z R 21 A-62	1971	〃	〃		1 000
Z R 22-50	1960	日 本 金 属 工 業	相 模 原		900
Z R 22-50	1970	〃	〃		900
Z R 21 B-62	1972	〃	衣 浦		1 200
Z R 22-50	1962	日 本 ス テ ン レ ス	直 江 津		625
Z S 07-75	1966	〃	〃	シ ー ト 圧 延 機	242
Z R 22 B-50	1969	〃	鹿 島		1 310
Z R 21 B-62	1971	〃	〃		1 150
Z R 22-50	1958	日 新 製 鋼	周 南		790
Z R 22-50	1964	〃	〃		1 200
Z R 22 N-50	1969	〃	〃	タ ン デ ム 圧 延 機	1 000
Z R 21 B-50	〃	〃	〃	〃	1 320
〃	〃	〃	〃	〃	1 640
〃	〃	〃	〃	〃	1 970
Z R 22-50	1959	日 本 冶 金 工 業	川 崎		650
Z S 07-60	〃	〃	〃	シ ー ト 圧 延 機	250
Z R 22-50	1964	〃	〃		656
Z R 21 B-62	1971	〃	〃		1 475
Z R 22-50	1964	新 日 本 製 鉄	光		750
Z R 22-50	1968	〃	〃		1 150
Z R 21 B-63	1972	〃	〃		1 510

表 6 国内各社の5フィート幅センジミア圧延機の状況

項目	会 社 名	日 本 ス テ ン レ ス	新 日 鉄	川 鉄	日 本 金 属 工 業	日 本 冶 金 工 業
圧延材型式		Z R 21 B-62	Z R 21 B-63	Z R 21 A-62	Z R 21 B-62	Z R 21 B-62
max コイル重量 (kg)		20 000	27 000	15 000	20 000	15 000
最大幅 (mm)		1 600	1 600	1 580	1 580	1 580
最小幅 (mm)		914	914	950	940	940
圧延速度 (m/min)		250/350	250/500	125/300	200/400	260/450
原 み 計		X-Ray	X-Ray	γ-Ray フライング マイクロメーター	X-Ray	X-Ray フライング マイクロメーター
A G C		なし	あり	あり	あり	あり
潤 滑 油		ストレート ミネラル	ソリブル	ストレート ミネラル	〃	〃
フ ィ ル タ ー		スパミック	ホフマン	スパミック	スパミック	カートリッジ
巻 取 機		コラブシブル マンドレル	〃	ソリッドタイプ	コラブシブル マンドレル	〃
ドラム径 (mm)		610	660	660	610	610
最大張力		45 000 kg (350 m/min)	50 000 (350)	60 000 (225)	45 000 (340)	45 000 (360)

タイプで、径は 510 mm φ が標準であつたが、その後圧延時の帯鋼の形状確保と圧延能率向上のために張力増を図り、ドラム強度の高いソリッドブロックマンドレルタイプが作られ径も 610 mm φ が標準である。ソリッドブロックマンドレルタイプは、圧延時の層間スリップが少ないという利点があるが、このタイプは巻き戻しのための設備（リワインダー）が必要であり、またハンドリング時間が若干長くなる。

5 フィート幅圧延機では、従来よりも大幅な張力増となつてはいるが、マンドレル径を大きくして、強度増がなされた結果、コラブシブルマンドレルタイプが使用され

ている例が多い。

圧延速度の増大により、ワークロールの冷却対策を強める必要があり、また、コイル長さが長くなることと大型化による強圧下のため、ロール摩耗対策をとる必要があり、ワークロール径は当初の標準径 54 mm φ より標準径 86 mm φ へと大きくなつた。このことはまた、5 フィート幅圧延機で圧延された成品の形状改善も寄与している。

なお、ワークロールの交換は従来作業者の手作業によつてはいたが、ロール径が大きくなり、長さも長くなることによりロール交換装置が使われだした。

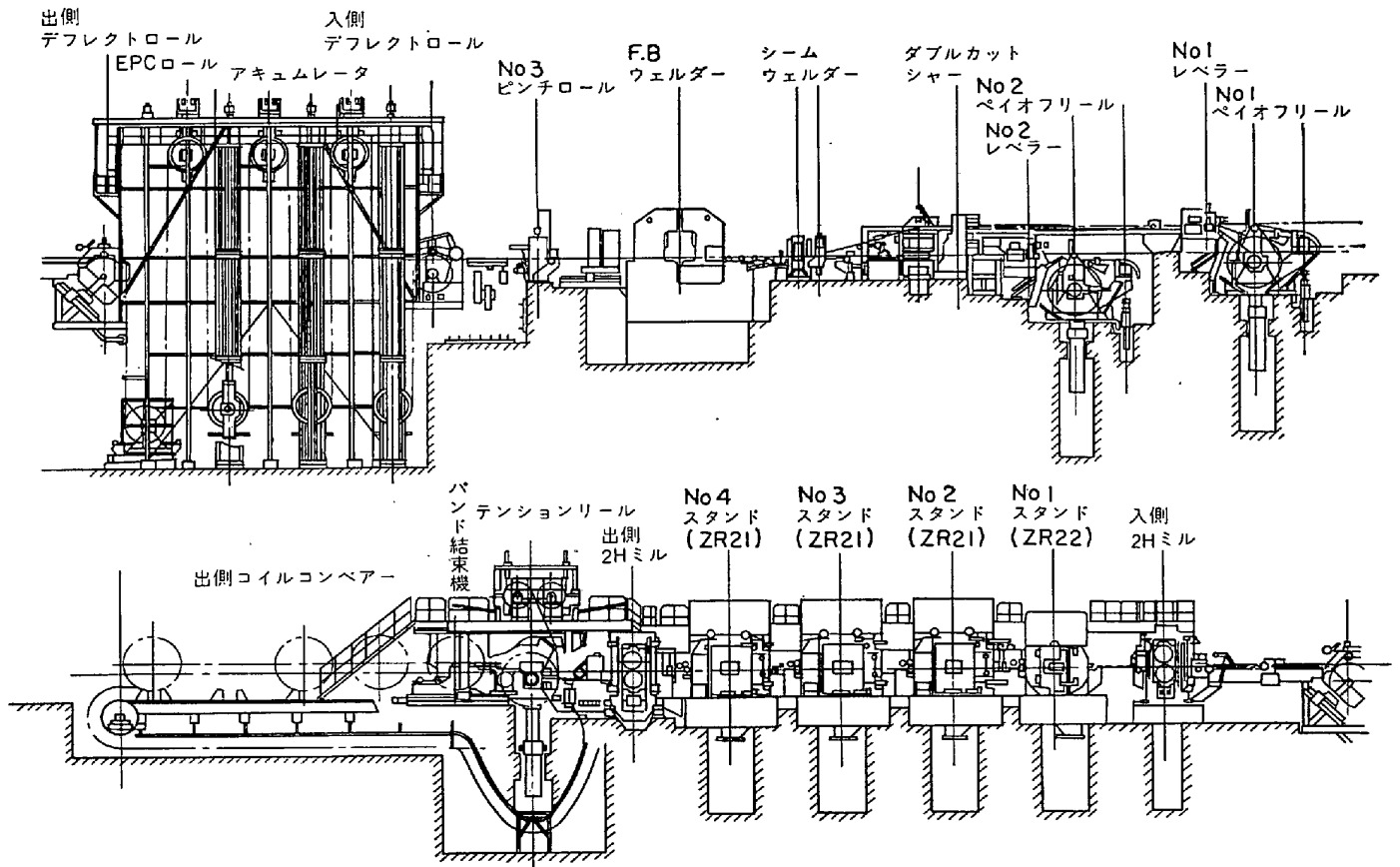


図16 センジミアコールドタンデム圧延機全体配置図

一方、ステンレス鋼を普通鋼なみの生産方式によつて大量生産し、コスト低減を図ろうという目的でセンジミア圧延機のタンデム化が図られ、昭和44年より稼働している。

この全体配置図を図16に示す。

センジミア圧延機のタンデム化は、一般の4段圧延機のタンデム圧延機と異なる問題がある。

すなわち、小径ロールゆえにストリップのロールへのかみ込みが困難であり、あらかじめロールギャップを正確に設定して通板することも難しく、またバックアップ駆動のタンデム圧延機も例が少ないので、ロールスリップも懸念された。

このコイル先端のかみ込み性の問題に対処するために、入側に溶接機を設置し、先行コイルの後端と後行コイルの先端を溶接し、連続して通板する方法がとられている。溶接の際、もし圧延が停止すると、各スタンドで板にロールストップマークが発生するが、これを防止するため溶接機と圧延スタンド間にループタワーを設けている。

したがって、センジミア圧延機のタンデム圧延機化においては、溶接技術が非常に重要となり、溶接技術の向

上が図られた。その結果溶接部の強度はオーステナイト系は勿論のこと、フェライト系ステンレス鋼でも、満足できる結果が得られている。このフェライト系ステンレス鋼に対する溶接技術の進歩が、タンデム化を可能にしたものといえる。なお、溶接部圧延時、溶接部の破断を防ぐ装置として、下部圧下機構中に、従来の定位ロック機構のほかに、定圧圧下機構、定量閉開機構が付け加えられている。

入、出両側には大径の2段圧延機を設置して、大きな張力を負荷して、スリップ防止、形状確保、圧下率増大、運転の安定化をはかっている。出側の2段圧延機の設置は同時に、テンションリールの負荷を軽減させている。

圧延速度は最大600m/minで、このため、圧延油としては水溶性油を使用し、バックギベアリングへの潤滑は、別系統のオイルミスト装置により行なわれている。

#### 4.2 圧延機周辺技術の進歩

##### (1) ワークロール

ワークロールは、従来高炭素高クロム鋼ロールが使用されていたが、需要家よりの表面光沢およびバフ性の要求が厳しくなるにしたがい、耐摩耗性、圧縮強度にす

くれた、表面硬度の高いタングステンカーバイド焼結ロールも使用されるようになった。

しかし、タングステンカーバイド焼結ロールは韌性に欠け、ピンホール状の欠陥が出やすく、高価で、さらに研削性が劣り、比重が高いために取り扱いにくいということで、ごく一部しか使われていない。

しかし最近の圧延機の大型化、高度化によるロール使用条件の苛酷さと表面品質に対する厳しい要求からワークロールの品質改善がさしせまつたものとなつている。

このためロールメーカーは、原料粉末の品質やプレス技術ならびに真空焼結技術などの向上より、タングステンカーバイドロールの改善に努力する一方、タングステンカーバイドロールに代わるものとして高炭素高バナジウム高速度鋼ロールの開発を行なつている。高炭素高バナジウム高速度鋼ロールは、高炭素高クロム鋼ロールと比較して、ロールの表面仕上度、耐摩耗性、耐事故性のすぐれたものとして認められ、とくに良好な成品表面品質が得られるロールとして、最近使用される割合が高い。しかしながら、研削性は工具鋼と比較すると劣り、研削時に炭化物が脱落してロール表面にピット状の欠陥が出る懸念があり、さらにロールメーカーでの改良が必要とされている。

各種ロールの一般的な成分と硬度を表7に示す。

(2) 圧延油

圧延油は、ストレートミネラルオイルが大部分を占めており、従来ナフテン系の粘度、SSU 100 (100° F) 程度の油が主体であつたが、最近では、粘度指数が高く、高圧粘度がナフテン系より小さく、高圧下での潤滑性が良好であるパラフィン系の SSU 80 程度の油が多く使用されるようになった。さらに SSU 60 程度の低粘度油も使われており、このことが表面光輝度の向上に大いに寄与している。

現在、ストレートミネラルオイルが使われる範囲は、圧延速度がほぼ 400m/min 以下の圧延機であり、それ以上の圧延速度ではソリブルオイルが使われている。ソリブルオイルは、潤滑性能は、ストレートミネラルオイルより若干劣るが、冷却性能は、約2倍の効果が期待できる。ちなみにミルモーター出力に対する圧延油量は、標準的にストレートミネラルオイル約 3.2 l/min/kW、ソリブルオイルでは約 1.6 l/min/kW といわれている。

圧延油の汙過方法は、ストレートミネラルオイルについては、当初バグフィルター、カートリッジフィルターなどが使われており、汙過精度の向上のため汙材の改良が進められていた。その後、汙過性能にすぐれ、また全自動化された汙過方法として、珪藻土使用のプレコートフィルターが考案され、さらに最近では、安定して高汙過精度を期待できるリング状のグラスウール成形品によるスパミックフィルターが開発されるにいたつて、圧延油の清浄度はますます向上してきた。しかしスパミックフィルターは、設置のために相当広いスペースを必要とする欠点がある。したがつて最近の汙材の改良と相まつて、カートリッジ方式もまだまだ捨てがたい面もある。またスパミックフィルターは、現在圧延油添加物の捕捉の点で調査が進められている。

ソリブルオイルについては、フラットベッドタイプのハイドロメーションフィルターが使用されている。

(3) 厚み制御

近年厚み精度の要求も一段と厳しくなり、種々の電気制御のもとに AGC が設置され始めた。従来の圧下制御はフォローバルブ・システムによつて行なわれており、応答速度がが遅く、AGC の効果を十分に生かしえなかつたが、最近になつて米国で応答速度の速いエレクトロハイドロリックサーボバルブシステムが開発され、コンピュータとの組合わせでフィードフォワードコントロー

表7 各種ワークロールの成分と硬度

項目 ロール 材質	成 分											硬 度 (シ ョ フ)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	W	V	Co	
高炭素 高クロム鋼	1.30 ~ 1.70	0.15 ~ 0.50	0.15 ~ 0.50	<0.030	<0.020	<0.20	10.15 ~ 13.5	0.60 ~ 1.20		0.20 ~ 0.90		83~88
高炭素高バナジウム 高速度鋼	1.55						4.75	3.00	6.50	5.00	5.00	90 以上
	1.48						5.41	4.40	5.05	4.74	4.86	
*タングステン カーバイド	4 ~ 6								83 ~ 87		8 ~ 11	ロックウエ ル A 90

\* 国産品

ルすることにより、良好な厚み精度を得られる AGC システムが開発され、国内にも導入されている。

これは、入側の厚み計によつて、所定板厚に対する偏差を測定し、一定間隔でコンピューターのメモリーに記憶させ、一方パルスカウンターにより材料の走つた長さを測定し、入側厚み計で測定された位置が、ロールバイトに差しかかる位置を検出し、メモリーより厚さの偏差をひきだし、出側所定板厚に対して演算し出側材料の長さを求め、この長さに圧延するように、圧下制御系に1秒間に数10回の指示を与えるものである。

したがつて制御精度に影響を与えるものは

- (a) 板厚測定精度
- (b) 単位長さ当りのゲージ補正頻度
- (c) 演算の精度
- (d) 圧下系の精度

などであり、とくに圧下系の精度は、従来のフォローバルブでは、約600m/secの応答時間といわれているのでこれは600m/minで走つているときには、6mの長さに相当する。エレクトロハイドロリックサーボバルブでは、応答時間約30m/secといわれており、AGCシステムの効率化に結び付き、仕上り板厚精度で $12.5\mu$ 以内を容易に得るといわれている。

#### 4.3 今後の問題点

圧延機としてはセンジミア圧延機が定着し、大型化もかなり進んでいるといえる。

今後はむしろ品質面に重点が移行し、次のような周辺技術の改良が行なわれて行くであろう。

- (a) 高精度 AGC システムの利用による厚み精度の向上
- (b) ロール材質、研削方法の改善および低粘度で、極圧に耐える圧延油の開発による成品表面光沢の向上
- (c) 表面疵検出機の有効利用による能率歩留の向上
- (d) 省力化

#### 4.4 焼 鈍

冷間圧延機の進歩とともに、生産規模の大型化が進み、焼鈍工程においても高能率が要請され、それに対処するため焼鈍方式における設備および技術面の研究開発が行なわれてきた。以下に最近開発実用化されたものを含めて代表例を紹介する。

##### (1) 連続焼鈍設備の進歩

ステンレス鋼帯の焼鈍設備は加熱方式で分類すると、開放雰囲気中を行なう直火式加熱焼鈍炉と、無酸化性雰囲気中で加熱を行なう光輝焼鈍炉とに大別される。さらに炉体構造上から直火式焼鈍炉はカタナリー炉と豎形炉に分類できる。

直火式焼鈍炉はほとんどカタナリー炉方式で占められており、最近になつて豎形炉方式が開発されたがまだその稼働実施例は少ない。したがつて直火式焼鈍炉の開発進歩はカタナリー炉とともに進められたが、その達成のためにはつぎにあげる関連技術の進歩が大きく寄与している。

- (a) 計測制御
- (b) 加熱バーナー
- (c) 耐火断熱材
- (d) ライン通板速度制御

従来のカタナリー炉においては焼鈍目標温度に炉温を設定し、材料がその目標温度に昇温するために必要な時間が有効在炉時間となるようにラインスピードを設定した通常加熱法がとられていた。近年は焼鈍目標温度に対して炉温を $50^{\circ}\text{C}$ ~ $200^{\circ}\text{C}$ 高く設定し、材料が目標温度に到達後、直ちに抽出し、冷却されるようにラインスピードを設定した急速加熱法が行なわれている。

通常加熱法では、炉壁の輻射および燃焼ガスの対流熱伝達が主要加熱源となつているが、急速加熱の進んだ段階では燃焼高温ガスを直接材料に噴射する衝撃加熱などの高速加熱法も採用されている。カタナリー炉で高い通板能力を得るには、有効炉長を長くする必要がある。しかし、高温に加熱された状態の材料ではカタナリー垂下量および、炉内張力の設計に限界があり、それを補うためには支持ロールが増え、炉の多分割が余儀なくされる。炉が分割される支持ロール部では材料の加熱が停止されるだけでなく、侵入空気による冷却によつて加熱効率の低下を引き起こすことになる。侵入空気による冷却防止の対策として、炉外板を一体炉構造として炉分割部を外気から隔離し、支持ロールはサイドからの差し込み方式とする構造によつて熱効率の向上をはかつたカタナリー焼鈍炉も稼働している。

また、燃焼ガスの対流伝達による加熱は、燃焼ガスの流れを材料の通板方向に対して逆方向にとつた方が効率が高く、従来排気煙道を炉の入口出口双方に設置していたものを、入口側だけとした炉構造も実用化されている(図17参照)。

カタナリー炉において、熱効率の向上および急速加熱を進めてゆく場合、支持ロールがより高温にさらされるため、一層優れた耐高温性支持ロールが必要となり、押し込み疵など表面疵の発生トラブルが、大きな問題となるカタナリー炉で課題となつた炉の一体化、熱効率の向上、支持ロールによるトラブルの防止などの対策として豎形焼鈍炉が1968年に開発された。豎形炉の実用化に当つては、カタナリー炉での進歩に加えていくつかの新

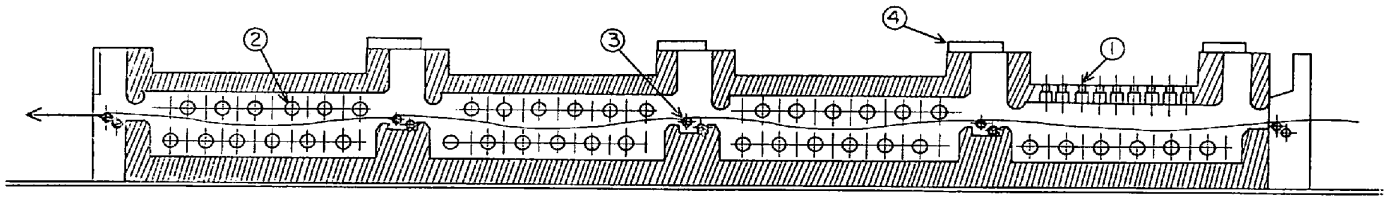


図17 高速加熱併用急速加熱式カタナリー焼鈍炉  
 ①：高速加熱用ジェットガスバーナー ②：燃焼ガスバーナー  
 ③：炉内ストリップ支持ローラー ④：炉内圧調整ダンパー

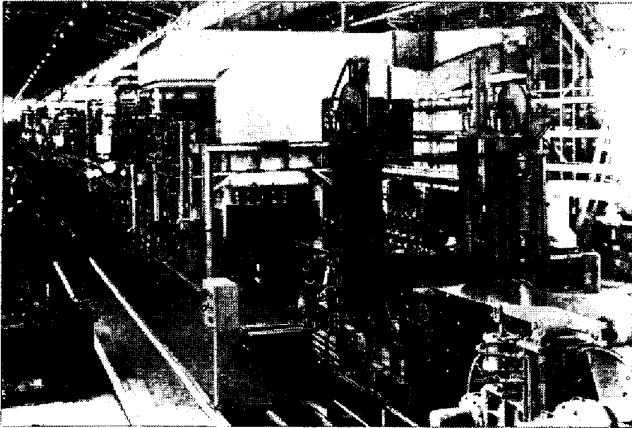


写真3 高速加熱併用急速加熱式カタナリー焼鈍炉

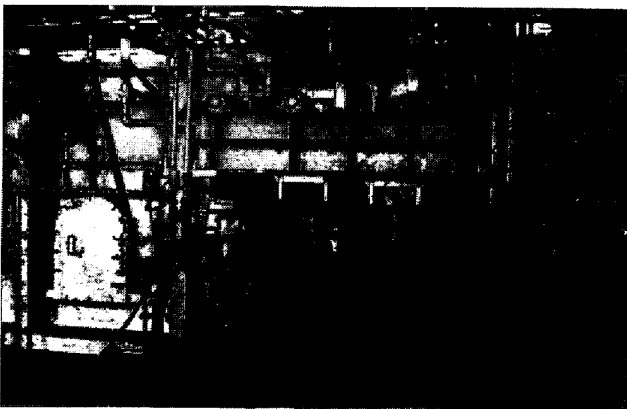
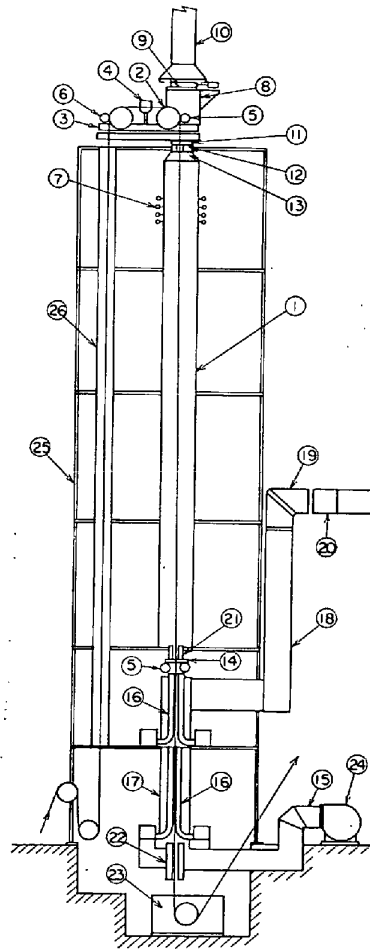


写真4 カテナリー炉炉内支持ロール部



番号	機器の名称
①	加熱帯炉体全高
②	ステアリングロール
③	ステアリングフレーム
④	ストリップクランプ
⑤	ガイドロール
⑥	スナバロール
⑦	バーナー
⑧	煙道
⑨	炉圧調整ダンパ
⑩	排ガスフード
⑪	上部遮断ダンパ
⑫	上部水冷箱
⑬	換気空気をヘッダー
⑭	下部遮断ダンパ
⑮	冷却空ダクト
⑯	プレナムチャンバ
⑰	排ガスコレクター
⑱	排ガスダクト
⑲	換気ファン
⑳	屋外ダクト
㉑	水冷箱
㉒	フォククエントユニット
㉓	ディップタンク
㉔	冷却フロア
㉕	架構本体
㉖	ストリップケージ

図18 堅型焼鈍炉構成図

しい技術的進歩を必要とした。堅形炉では垂直通板に要する上下部支持ロールは、表面疵発生防止のためにゴムライニングロールを使用するため、下りパスで加熱冷却サイクルを完了させる必要がある。炉内張力は、加熱帯における高温状態の材料許容張力に制約され、冷却帯を含めた該当長さの材料自重も考慮して張力制御の設計を行わなければならない。したがって垂直部の高さが制限され、目標処理能力を確保するために安定した急速加熱および急速冷却法が必要であり、炉体の構造、加熱バーナーの選択とその配列、冷却装置などに新しい技術が採用されている。一方、燃焼制御法にも進歩があり、当初カタナリー炉では on-off 制御が行なわれていたが、

最近ではリアルタイム式に PID 制御が通常採用されている。焼鈍温度は従来から炉温による間接的制御が行なわれているが、急速加熱化が進むにつれて、究極的には真の材料温度を測定して燃焼コントロールを行なう直接的制御に進むべきであり、今後の課題である。

光輝焼鈍は無酸化焼鈍のため、その製品は冷間圧延により得られる平滑な光沢面を損なうことなく焼鈍が行なわれ、美しい表面品質と、優れた耐食性が得られる。わが国においては昭和 37 年に初めて導入された。その後ストリップの表面保護皮膜の発達や各種プレス技術の進歩などにより、最終需要家まで製造時の表面品質が維持

できること、研磨工程の省略が可能なることから需要が増大し、国内において現在光輝焼鈍炉は8基稼働している。

設備的には、ストリップの炉内センタリング、フラップリング(板の揺動現象)、カヌーイング(板幅方向の湾曲現象)などの防止技術の進歩により炉内発生疵の防止が可能となり、大型化による生産能力の向上がなされている。また付帯主要設備である脱脂装置においてストレートミネラルオイル以外にソリブルオイルの冷間圧延油が採用されるようになったので、有機溶剤脱脂とアルカリ洗浄脱脂の2種類が使用されている。

## (2) 今後の展望

(a) 直火式焼鈍炉については、脱スケール技術の進歩と相俟って生産性向上と、より安定した品質が得られるように、急速または高速加熱方式の開発研究が一層推進されるであろう。

(b) 光輝焼鈍炉は、後処理としての脱スケールを必ずしも必要としない(鋼種による)ので最近の公害問題に対して有利である。廃酸処理設備とそのランニングコスト、また、焼鈍酸洗ロスがないので製造コスト、歩留上からも有望であり、今後直火式焼鈍酸洗ラインに代り採用範囲が拡大されるであろう。

## 4.5 脱スケール

冷間圧延機の進歩にともなつて、ステンレス鋼冷延鋼帯の量産体制が確立され、必然的に焼鈍および脱スケール設備の大型化、高能率化が要請されるようになった。一方、ステンレス鋼冷延鋼帯の表面仕上げは酸洗によつて左右される。最近とはくに多種多様の表面仕上げが要求されるようになりつつある。これらの要請に対処するため、脱スケール方式における多くの設備および技術面の開発が行なわれ、実用化されつつある。以下に酸洗方式の進歩の経緯ならびに最近開発され実用化されている酸洗方式の代表例を紹介する。

ステンレス鋼冷延鋼帯製造の初期においては、焼鈍設備と脱スケール設備とは別個に設置され、それぞれ単独に作業が行なわれていたが、処理能力の増大が要請され始めた昭和30年代初頭より、焼鈍設備と脱スケール設備とを一体化した設備、すなわち連続焼鈍酸洗設備に変遷してきた。

初期の連続焼鈍酸洗設備においては、一般的に無機酸( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ など)単味またはこれらの混酸、さらにこれに電解法を併用した浸漬方式による酸洗が行なわれており、これらのなかで硝酸と弗酸との混酸、硝酸電解および硫酸電解の3者を組み合わせた酸洗方式がもつとも多く用いられていた。

これらの酸洗方式では処理能率が上がらず、処理能率の増大を図るためには、必然的に酸洗槽を長くせざるをえず、また鋼帯が酸液中に長時間浸漬されるため素地金属が侵食され、鋼帯表面の美観を損なうという欠点があった。

これらの欠点を補なうものとして昭和23年頃より米国で実用化されていた溶融アルカリ塩法が、わが国にも導入され、昭和38年頃より本格的に利用されるようになった。

溶融アルカリ塩法は、無機酸酸洗および電解酸洗との組み合わせにより優れた脱スケール性能を発揮し、この方式の採用により、脱スケール能率が大幅に増大されるとともに美しい表面肌が得られるようになったが、表面欠陥が発生しやすく、また原価高などの欠点もある。

溶融アルカリ塩方式の代表的な脱スケール設備の構成略図を図19に示す。

つぎに中性塩電解法が挙げられる。中性塩電解法は、オーストリアのルーツナー社で開発されたもので、中性塩( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )電解と、硝酸または混酸( $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ )との組み合わせによる脱スケール法である。この方式は昭和43年にわが国に導入され広幅ステンレス鋼鋼帯脱スケール設備として、世界で最初に実用化された。中性塩電解法は、原理的には硫酸電解法と近似しているが、電解槽の構造、電極の配列および電解液の循環方式など設備的に大幅な改善が加えられ、脱スケール能率の向上を図つた点が大きな特徴である。

中性塩電解方式の脱スケール設備の構成略図を図20に示す。

溶融アルカリ塩法の優れた脱スケール性に着目し、かつ、その欠点を補つた画期的な脱スケール方式として、昭和46年にわが国で開発され、実用化されたアルカリ塩膜法(SHF法)がある。

この方式は原理的には溶融アルカリ塩法と同様であり、設備構成も酷似しているが、処理方法がまったく異なっている。すなわち、この方式は溶融アルカリ塩法の

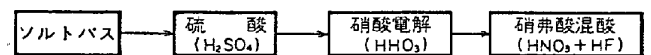


図19 溶融アルカリ塩方式の脱スケール設備構成略図

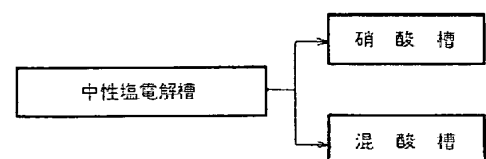


図20 中性塩電解方式の脱スケール設備構成略図



ごとき浸漬方式ではなく、スプレー方式によりアルカリ液を鋼帯表面にスプレーし、鋼帯の保有熱により反応させ、熔融アルカリ塩法と同様の脱スケール効果が期待できるものである。この方法では通板する鋼帯の種類によつては、スプレー条件を瞬時に変更することが可能であり、さらにスプレー方式であるため、緩急自在の操作が可能のため、アルカリ液のムダが少なく効率的である。

アルカリ塩膜方式の脱スケール設備の構成略図を図21に示す。

脱スケール方式の進歩の経緯ならびに現況について述べたが、いずれの方式にも共通していえることは、廃酸、廃ガス処理の問題であがて、現状の中和処理法に変わる回収処理方法の開発が今後の課題であり、この成否によつて、脱スケール方法もかなり変わった方向に進展するものと考えられる。

#### 4.6 連続剪断

ステンレス鋼の剪断は最終工程として、形状矯正、設定寸法（幅・長さ）切断、表面検査、パイリングの自動化などが要求され、これらの要求に応じて、連続剪断設備の機器の構成が種々考えられ、品質、能率の向上に著しい進展がみられる。

##### (1) 連続剪断設備の進歩

最近の連続剪断設備の構成は、能率、品質の向上、省力化に重点がおかれ、設備の構成は、ペイオフリール、溶接装置、サイドトリマー、テンションレベラー、表面検査機、合紙挿入装置、シャー・パイリング装置などからなっている。これらの配置の1例を図22に示す。

この構成設備のうちおもなものについてつぎに述べる。

##### (i) ローラーレベリング設備

従来は切板にてストレッチャー（引張矯正機）で形状矯正していたこともあつたが、最近では剪断ライン中にレ

ベラーを組みこむことにより、コイルフォームで形状矯正を行なう方法をとるようになった。また、ステンレス鋼は比較的、引張り強さ、硬度、ともに高く、レベラーとしてはロール径を小さくする必要が生じ、多段レベラーが適用され、とくに薄板に関してはテンションレベラーが使用されるようになり、一層形状矯正の効果をあげている。

ステンレス鋼は疵防止がとくに重要であるが、押し込み疵に関しては、ウェットレベリングによる方法で、ほぼ完全に防止でき、チャッターマークに関しても、ロールの組み込み方法の改善、およびレベラー制御機器の進歩にともない解決され、問題なく操業できるようになってきた。

##### (ii) 連続シャー設備

要求される長さに、連続的に剪断していく方法として、薄板については、従来のフラットカットシャータイプから、さらに能率と精度を向上させる目的でフライングシャーが適用されるにいたり、ライン速度も100m/minと大幅に向上し、自動表面検査機、自動合紙挿入装置、自動パイリング、などの開発とあいまつて、今後さらにスピードアップしていくものと考えられる。これらの剪断方法は、いずれも、ステンレス鋼の表面を疵つけないように、また、剪断時に折れ疵がでないように工夫されており、剪断方法としては表8のごときタイプとなっている。

##### (iii) パイリング装置

所定の長さに剪断された板を、自動的にパイリングする方法としては、従来の人力によるパイリングの方法から、静電気を利用した自動合紙挿入装置の開発によつて昭和44年頃から、国内においてもエヤークッション、または、バキュームを利用するなどの、機械的パイリング方法に変わり効果的にパイリングを行なうようになってきた。



図21 アルカリ塩膜法式の脱スケール設備構成略図

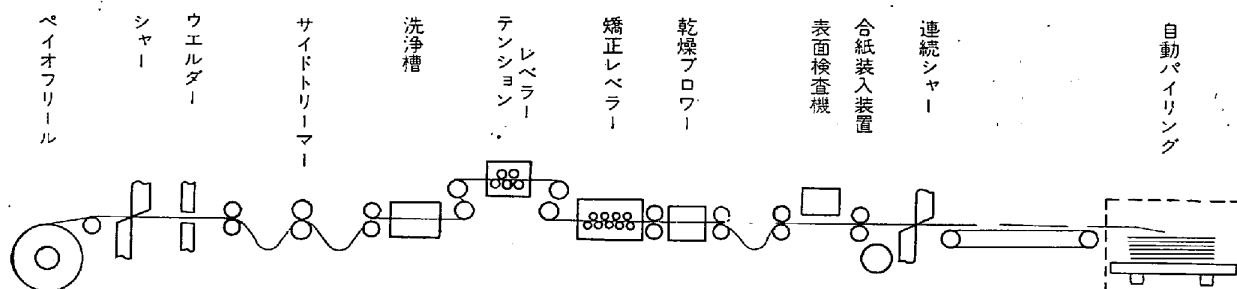


図22 連続剪断設備構成図

表 8 連続シャ-切断方法

ステンレスの板厚	シャ-タイプ	剪 断 方 法
2.0~9.0 mm	ダイシャ-方式	コイルのスピードに合わせて、シャ-刃を平行移動させ、所定の長さに切断する。
0.2~2.0	フライングシャ-	刃物を揺動させて、コイルのスピードに合わせ、所定の長さに切断する。
〃	アップカットシャ-	所定の長さ板を送り、板そのものを停止させて切断する。

てきた。

## (2) 連続切断設備の今後の動向

ステンレス鋼の連続切断設備の現状として、形状矯正寸法精度については、初期の目的を達成し、今後の動きは、表面検査および梱包を、この連続切断設備に組み込むことにより、省力および工程の単純化を行なおうとしている。したがって、自動表面検査機の開発、形状検出機、自動梱包ラインの組み込みなどが積極的に検討され、すでにその一部はかなり実用化の段階に入っている。

## 4.7 その他

最近注目をあびている表面保護被膜と自動表面検査機について概略ふれることにする。

### (1) ステンレス鋼表面保護被膜

ステンレス鋼の成形加工の進歩につれて、加工工程の合理化のために BA, No 4, HL などのステンレス鋼特有の表面仕上をそのまま生かして成形加工後の研磨工程をできるだけ削減しようとする傾向が強まり、保護被膜を被覆したステンレス鋼板、および鋼帯の要望が強まってきた。従来表面保護被膜としては、クラフト紙や、ビニールの膜に粘着材を塗布したものなどがあつたが、品質面、経済性、生産性などの点からストリッパブルペイント(剝離可能)が注目されてきた。

この製品をビニールコート品、またはストリッパガード品といつている。

#### (i) ビニールコート製品の特長

表面保護被膜の性能を支配するものは、塗料および塗装、焼付けの方法である。表面保護被膜として使用される塗料は短時間で焼き付けが可能であり、加工性にすぐれ、仕上り塗膜は光沢があり美麗でなければならない。これらの要求を満足させる種々の塗料が開発され、それぞれの特長を認められて使用されているが、ほとんどがオルガノゾル系塗料が採用されているようである。この塗料には

(a) 塗膜が強じて十分な伸び率、たわみ性および適当な付着性を持つているので各種の加工に耐え、素材

の傷つきを防止するだけでなく、深絞り性(限界絞り性)を向上させる。

(b) 塗膜が透明であるため塗装後の金属の仕上面の検査が可能である。

(c) プレス加工中に塗膜がはがれたり、切れたりすることがないので連続作業性がよい。

(d) 塗膜の形成温度が約 180°C 前後であるため、ステンレスの性質および形状などをこわさない。

(e) 成形加工後の塗膜の剝離作業は人手により簡単に剝離することが可能である。

(f) 希酸、希アルカリなどの腐食性化学薬品に耐える。

#### (ii) 最近のストリッパガードの動き

上記の塗料は塩化ビニールの樹脂を主体にしているため、直射日光により分解し、塩酸が出て、ステンレスの発錆の原因となる。したがって成形加工後、膜を剝離する必要があるが、この剝離作業を省力するために溶剤可溶型の保護被膜が開発されつつある。現在、一部使用されているものとして、アルカリ可溶型、ガソリン可溶型などのタイプのものが開発されている。このタイプは小物を大量に処理する場合適している。しかしほかの場合にはやはり人手による剝離作業の方が有利のようである。

### (2) 表面検査機

近年のステンレス製造設備は、諸技術の進歩に伴いラインスピードは高速化しつつある。このため高速下における鋼板表面疵の検査方式の確立が強く要望され自動検査機の開発が各方面で推進され、一部ではすでに実用化されつつある現状である。以下その現状についての概要を示す。

#### (i) 検査方式

鉄鋼で用いられている自動表面検査機の方式は、光学的方法の走査飛像方式と走査飛点方式が主体である。

##### (a) 光学的走査飛像方式

この方式は図 23 に示すように被検面より反射した光

文 献

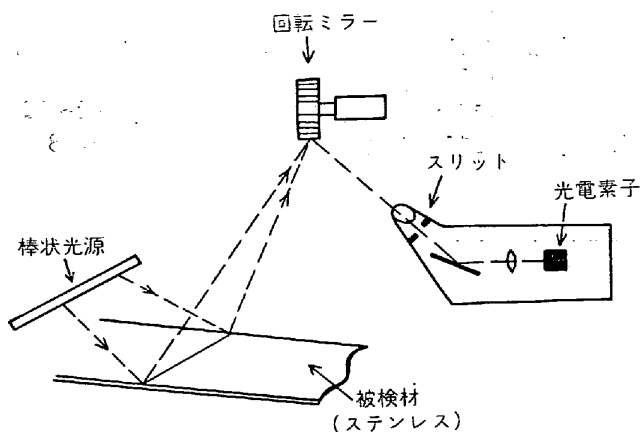


図23 光学的走査飛像方式原理図

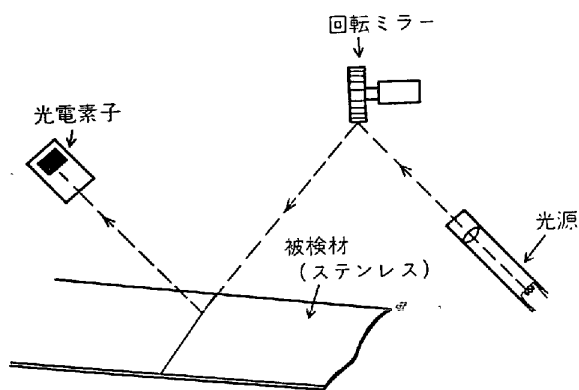


図24 光学的走査飛点方式原理図

を回転ミラーで反射し、スリットを通して光電素子により光電変換する。光電素子には被検面のごく小区域からの光が入射されるだけであるが、回転ミラーの回転により板幅全体に移動し、全面走査される。

(b) 光学的走査飛点方式

この方式は図 24 に示すように、光源と受光部の位置が飛像方式と入れ替った方式である。この方式では、1 ユニットの検査幅は限られてくるため、検査幅に応じて数ユニット設置される。

(ii) 欠陥検出原理

ステンレス表面の正常部と欠陥部の反射光量の差、すなわち、変化分を求めて欠陥を検出するものである。

(iii) 今後の動き

自動表面検査機は目視検査と比較した場合、総合的な判定能力面では欠陥種類の認知ができないなどの大きな問題点を有している。しかし、使用方法によつてはラインスピードに対する良好な追従性、安定した検出能力などにより、実用化の例も増加の傾向にある。今後欠陥種類の認知などの開発が進むことにより、実用化の範囲も拡大されてくるものと考えられる。

分 塊

- 1) F. K. BLOOM and D. L. LOVELES: The Iron Age, June 20, (1957), p. 97
- 2) 長谷川: 鉄と鋼, 51 (1965) 6, p. 1162
- 3) Kichiro SAIGO: Steel Times, March (1968), p. 162
- 4) 日本陶器KK資料: NTG-150H

熱 延

- 1) 日本鉄鋼協会: 圧延理論とその応用, (1971), p. 112~115, p. 267~276
- 2) 日本鉄鋼協会: 鉄鋼製造法, (1972), p. 137~144 p. 587~606
- 3) 長谷川: ステンレス鋼便覧, (1959), p. 522~531
- 4) 原口, 谷口, 馬場: 日立評論, 52 (1970) 5, p. 13~19
- 5) 桂: 圧延技術, (1971), p. 72~73. p. 96~121

冷 延

- 1) 石田, 飯泉: 日新製鋼技報, 21 (1969), p. 70~94
- 2) 西村, ほか: 日新製鋼技報, 25 (1971), p. 1~9
- 3) ステンレス協会: ステンレス, 15 (1971)11, p. 16~20
- 4) 岩尾, ほか: 塑性と加工, 8 (1967) 5, p. 248~255
- 5) 水野: 塑性と加工, 7 (1966) 9, p. 447~454
- 6) 三井, 分田: 川崎製鉄技報, 2 (1970) 3, p. 67~75
- 7) Sheet Metal Ind.: 48 (1971) 5, p. 402
- 8) Sheet Metal Ind.: 46 (1969) 5, p. 407~411
- 9) Draht: 21 (1970) 6, p. 441
- 10) 井口: 金属, (1972) 新春合併号, p. 115
- 11) 浦山, ほか: 川崎製鉄技報, 4 (1972) 1, p. 49~59
- 12) S. FRIEDLANDER: Iron and Steel Eng. 38(1961) 5, p. 85
- 13) 深瀬: 特殊鋼, 21 (1972) 5, p. 35~40
- 14) 志賀, 北島: 日新製鋼技報, 25(1971), p. 10~17
- 15) 三菱重工技報, (1968) 6, p. 132~133
- 16) 長谷川: ステンレス鋼便覧, p. 765~777 (日刊工業新聞社)
- 17) 特許公報: S 38-12162
- 18) パーカー商事KK資料: KOLEN No 1 and Alloy Descaling Process
- 19) 日商岩井KK資料: Rolling Mills ESP Gage Control System
- 20) 柳: 鉄と鋼, 43 (1967), p. 988~989
- 21) 高木: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 637~639
- 22) Thorpea FAIRMANL: Iron Steel Inst., (1965) 203 p. 922~929
- 23) GALVANO: 34 (1965), p. 359~364
- 24) 曾田: 塑性と加工, 10 (1969) 107, p. 853~862
- 25) 日下, 平沢: 塑性と加工, 8 (1967) 78, p. 374~380
- 26) 平松, 山本: 住友機械技報, 18 (1970)49, p. 34

- ~44
- 27) 平松, 山本: 住友機械技報, 18 (1970) 50,  
p. 21~29
- 28) 平松, 山本: 住友機械技報18 (1970) 51,  
p.16~20
- 29) 曾田, 大島: 機械試験所所報, 15 (1961) 4,  
p. 194~229
- 30) 赤松, 森田, ほか: Omron Technic, 5 (1967),  
p. 293~301
- 31) 宮川, ほか: 製鉄研究, 276 (1967), p. 43~52
- 32) 佐藤: 日新製鋼技報, 14 (1966), p. 74~78
-