

.....
技術資料

UDC 621.771.251 : 621.771.252

棒鋼・線材圧延技術の進歩*

富岡 美都夫**

The Development of Rolling Technique on Bar and Rod

Mituo TOMIOKA

1. 概 説

ここでは棒鋼製品（一般的には丸鋼，角鋼，六角鋼，平鋼，異形棒鋼など）および熱間圧延鋼材の中で最小断面をもつ線材製品を製造するための圧延技術の進歩を振り返り，併せて今後の展望について述べる。

現在では棒鋼・線材という呼び方に加えてバーインコイル¹⁾という名称で呼ばれる製品があるがこの三者を明確に定義づけることはできない。言葉の意味について考えてみると，もともとは熱間圧延後，所定の長さで切断された棒鋼と，コイル状に巻かれ伸線によつて線にする線材，とに分かれていたと考えられる。その後棒鋼の加工技術の進歩によつて，能率，生産性の面から棒鋼をコイル状にして，連続的に加工するようになり，このコイルにバーインコイルなる名称がつけられたと思われる。

事実棒鋼の二次加工に多く用いられる普通鋼（SS材）では，規格として，棒鋼にバーインコイルを含ませ，線材はその用途が線用のものに限定されている。

一方特殊鋼ではバーインコイルの名称はなく線材に含まれている。しかしながら，近年鋼材の用途が複雑化し，棒鋼・線材の用途が交錯してきており，このような分類は現実的でなくなりつつある。

このように棒鋼と線材はその用途が類似しているのと同様，製造工程，製造設備，製造技術もよく似ておりほぼ平行して発展してきたと考えてよい。

このような考えから本章においては棒鋼と線材の圧延技術の進歩の状況を共通事項として述べることをおこたわりしておきたい。

棒鋼・線材ともに昭和30年以降にめざましい技術進歩をとげているので最近20年間の状況を中心に（初期の圧延技術にも触れながら）まとめてみる。

まず，この20年間に棒鋼・線材製品とその製造技術設備が進んできた方向は，

- 製品品質については

- (1) 寸法精度の向上（棒鋼・線材）
- (2) 表面きずの減少（棒鋼・線材）
- (3) コイル単重の増大（線材）
- (4) 製品寸法の拡大（線材）
- (5) スケールの減少と伸線性の向上（線材）

- 製造技術，設備については

生産性の向上と製品品質の向上とをはかるために

- (1) 高速化（棒鋼・線材）
- (2) 自動化（棒鋼・線材）
- (3) 省力化（棒鋼・線材）
- (4) 新技術・新設備の開発（棒鋼・線材）

ということが出来る。

製造技術，設備については以下の各項で詳細に述べるとして，製品品質の向上について，その概況を述べるとつぎのようになる。

- (1) 寸法精度の向上（棒鋼・線材）

寸法精度は圧延設備，圧延方式によつて大きく影響され，数年前までは生産する品種により量産工場と高級品製造工場とを使い分ける方法もとられていたが，近年は設備技術の開発により“高級品”を“量産”できる工場がつぎつぎに建設されており，設備投資の面でも効率的である。

棒鋼・線材ともに用途が拡大され，かつ二次加工においてコスト低減を行なうため，できるだけ as roll 材の寸法精度を向上させる必要にせまられ，この方面での技術進歩は著しい。

棒鋼では精密圧延設備，技術の開発により 18 mm φ以下の丸鋼製品で許容差 ±0.10 mm，偏径差 0.10 mm 以下を満足する製品が造られている。（現在の JIS では同じ 18 mm φ以下の丸鋼の寸法許容差は ±0.4 mm，偏径は 0.56 mm 差以下，となつており，これが標準工程能力

* 昭和48年4月9日受付（依頼技術資料）

** (株)神戸製鋼所 鉄鋼事業部 神戸製鉄所

表1 寸法規格比較表 (SC鋼)

棒				線材			
標準径	J I S	AISI (Bar tole)	精密圧延材	標準径	J I S	AISI (Rod tole)	AISI (Bar tole)
7.9 mm φ 未満	±1.5% ^(min) (0.4 mm)	±0.13 mm	±0.10 mm	7.9 mm φ 未満	±0.4 mm	±0.40 mm	±0.13 mm
7.9~11.1 "	"	±0.15 mm	"	7.9~11.1 "	"	"	±0.15 mm
11.1~15.9 "	"	±0.18 mm	"	11.1~15.9 "	"	"	±0.18 mm
15.9~22.2 "	"	±0.20 mm	18φ ≥ "	15.9~22.2 "	±0.5 mm	±0.50 mm	±0.20 mm
22.2~25.4 "	"	±0.23 mm	±0.15 mm	22.2~25.4 "	"	"	±0.23 mm
25.4~28.6 "	"	±0.25 mm	"	25.4~28.6 "	"	"	±0.25 mm
28.6~31.8 "	"	±0.28 mm	30φ ≥ "	28.6~31.8 "	"	"	±0.28 mm

表2 端末サンプル酸洗検査による表面きず判定基準の一例 (線材)

グループ別	品 種	寸 法 区 分			
		5.5 mm φ ~ 9.5 mm φ	9.5 mm φ をこえ 15 mm φ 以下	15 mm φ をこえ 25 mm φ 以下	25 mm φ をこえ 32 mm φ 以下
A	ピアノ線材	0.10 mm 以下	0.10 mm 以下	—	—
B	コールドヘッダー用線材	0.15 mm 以下	0.15 mm 以下	0.20 mm 以下	0.25 mm 以下
C	ステンレス鋼線材 耐熱鋼 ばね鋼 高炭素クロム軸受鋼	0.15 mm 以下	0.20 mm 以下	0.25 mm 以下	0.30 mm 以下
D	機械構造用炭素鋼鋼材 構造用合金鋼鋼材	0.25 mm 以下	0.25 mm 以下	0.35 mm 以下	0.35 mm 以下
E	硬鋼線材 高速工具鋼鋼材 快削鋼	0.25 mm 以下	0.30 mm 以下	0.35 mm 以下	0.40 mm 以下
E	一般構造用圧延鋼材 リベット用圧延鋼材 チェーン用丸鋼 鉄筋コンクリート用棒鋼	0.25 mm 以下	0.30 mm 以下	0.35 mm 以下	0.40 mm 以下
F	軟鋼線材 溶接棒心線用線材	原則として酸洗検査は行なわない。			

であることを考えれば精密圧延材の公差がいかにかびしいものであるかがよくわかる)

線材においても単重が増大し、コイル全長にわたって均一な寸法を得ることが困難な情勢であるにもかかわらず、圧延設備、圧延方式の改良によりこれが可能になってきた。とくに冷間圧造用の線材の需要が昭和30年頃より増大してきたが、これは軟鋼線材や硬鋼線材に比べ、はるかに厳しい寸法精度が要求された。これに対して昭和31年頃から寸法公差 ±0.2 mm が保証可能な圧延設備 (Sweden の Morgårdshammar 社製連続圧延機) が導入され、いわゆる Bar Tolerance (AISI) に近い

線材の圧延が可能となった。

(2) 表面きずの減少 (棒鋼・線材)

品質上もつとも問題になるのが寸法精度と並んできずである。きずは表面きずと内部きず (内部品質、機械的性質、物理的性質など) とに分けられるが圧延で問題となるのは主として表面きずである。

棒鋼・線材圧延ともにきずの減少について長い闘いを続けてきており、過去および現在においてもメーカーが受けるクレームでもつとも多いのが表面きずである。

このことは棒鋼・線材の表面きずの水準が変っていないのではなく、きずの水準はよくなっているが加工技

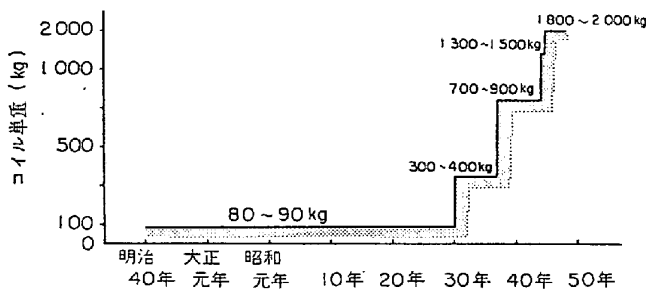


図1 コイル単重の増大傾向

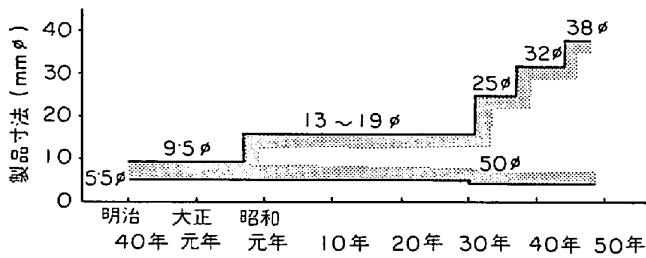


図2 製品寸法の拡大化

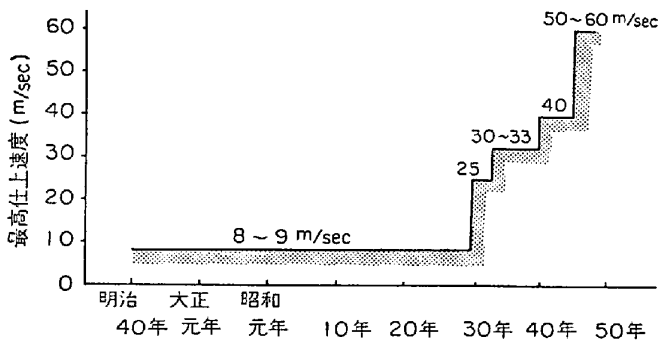


図3 線材仕上圧延速度の推移

術の変化、たとえば切削工程から冷間鍛造工程への変更などによつてユーザからの品質要求が年々きびきびになっているためである。

表面きずの減少対策としては、圧延の分野では、まず使用する鋼片のきずを除去することであり、これについては多くの改善がなされている。

圧延においては加熱作業から精整、出荷作業にいたる各工程できずを発生させないような設備改善、チェック体制の確立がはかられており、前述した寸法精度の向上と相まって、冷間圧造用線材とか高級ばね用線材、きず取り許容深さの少ない棒鋼、きずがあれば使用できない精密圧延材など、厳しく表面きずを嫌う品種のものも製造できるようになつてきた。

製造設備以外では熱間圧延中にきずを検出し、きずの発生を最少限におさえる熱間きず検出装置、発生したきずを冷間で効率よく検出する装置など新技術の開発が進

められている。(これらについては5で説明する)

(3) コイル単重の増大(線材)

メーカー側、ユーザ側ともに生産性の向上、歩留りの向上をはかるためにはコイル単重の増大化が望ましく、過去において80~90 kgであつたコイル単重が今日では1500~2000 kgのコイルが生産できるまでになつた。とくに昭和30年以降設備技術の進歩につれてコイル単重も著しく大きくなってきている。

(4) 製品寸法の拡大(線材)

線材製品の用途の拡大と加工技術の進歩にともなつて太番線材を圧延する必要性が生じ、圧延技術および設備の開発が行なわれ、現在では38 mm φの線材も生産されるようになってきている。

(5) スケールの減少と伸線性の向上(線材)

これについては5新技術の開発、の項で述べる。

(参考) 仕上圧延速度の推移(線材)

参考として国内設備について線材の仕上圧延速度の推移状況を図3に示す。

どの分野にも共通のことであるが、近年のように設備が高速化、自動化してくるにつれて圧延技術も従来のような作業員の勘、名人芸、職人芸といった個人の経験による技術から、設備の優劣、個々の設備の特徴をいかにかうまく見分け、組み合わせ、それを使いこなしていくかという“設備技術”のウェイトが大きくなってきている。

したがつて、棒鋼・線材の圧延技術の進歩についても設備配置(レイアウト)の変遷、圧延設備の進歩、新技術の開発、を中心に述べることにする。

2. 棒鋼圧延工場の変遷

2.1 発展経過

最初の棒鋼圧延機は18世紀の後半にヘンリー・コート²⁾(Henry Cort)によつて設計された2重式圧延機である。動力は当初水車を用い、後に蒸気エンジンを用いるようになった。

当時の圧延はすべて人力により行なわれ、圧延中の熱鋼は孔型(カリバー)の中で箸取者(熱鋼を掴む鉄製の火箸を持った作業員)によつて倒れないように支えられ、一定のパスから出てきた圧延材は、つぎのパスに入れるために、上ロールの上から戻され、これを断面が目標値に仕上がるまで何回も繰返した。この方法は圧延できる製品長さが5~7mに限られるうえ、重筋作業であつた。この種の圧延機を“ハンドバーミル”(Hand bar mill)と呼んでいた。

その後圧延中の熱鋼を支えるための“入口ガイド”(entry guide)が考察され、これを備えた圧延機を“ガ

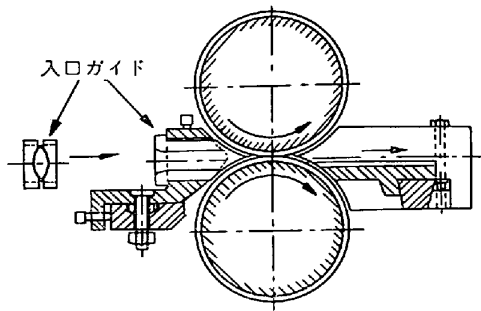


図4 丸鋼圧延のガイド

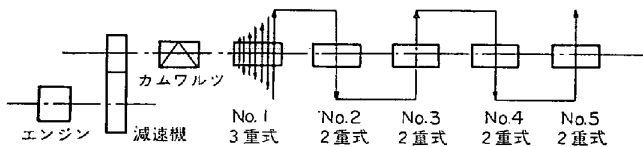


図5 一軸式圧延機

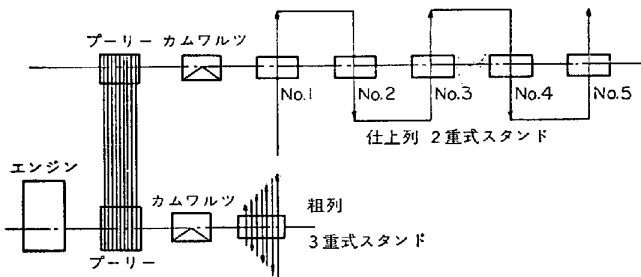


図6 ベルギー式圧延機

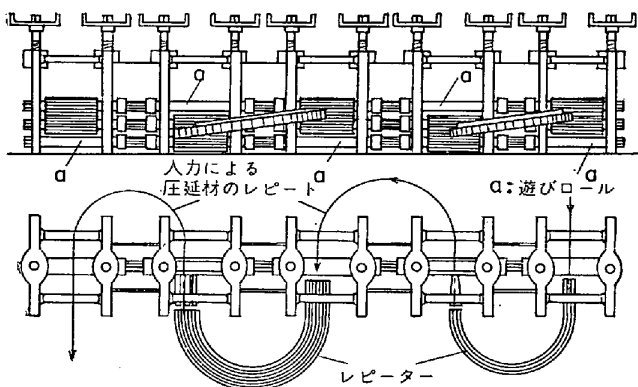


図7 仕上圧延機列におけるレピーター

イドミル” (Guide mill) と呼ぶようになった。

当初1台だけであつたスタンドはだんだん増えて、4～5台のスタンドが横一列に並び、一つのエンジンで駆動されるいわゆる一軸式圧延機の形態を整えるようになった。

この形態においては粗スタンドが3重式、それ以降が2重式圧延機を用いるのが普通で、粗スタンドで数回～10数回のパスをした後2台目以降のスタンドへ送られた。この形式の圧延機の欠点は圧延速度に制限があることであつた。すなわち、粗スタンドにおいて箸取者がパスごとに熱鋼を箸でつかみ、つぎの孔型へ入れるわけであるが、箸でつかめる熱鋼速度には限度があり、圧延機の回転数はこれで制限された。

1838年に粗スタンドのみを分離した配置が考えられ、これが一般化された。この種の圧延機配置は今日でも使用されておりベルギー式圧延機と呼ばれる。

この設計では3重粗スタンドは、粗スタンドの作業に最良の速度で独立して運転ができ、仕上スタンドはずつと高速で動かすことができるようになり、生産量が増大した。

つぎの改良として仕上列において圧延材(熱鋼)を廻す方法が考察された(従来は1パスごとに長く伸ばしていた)。この作業では仕上列において圧延材の形状が小さくなつてきたとき、箸取者が前のパスから出てきた圧延材の先端を箸でつかみ、半円を描いてぐるりと廻し、つぎのパスに入れる。この方法によりさらに生産量が増大した。

熱鋼(圧延材)を人力で廻すことができるようになる、できるだけ人力で廻すことをやめる方法が研究され、ついにレピーター(Repeater)が考察された。レピーターは多くは角パスからオーバル(楕円)パスへ熱鋼を導き、オーバルから角パスへは人力で廻していた(これは後で述べる線材の箸取作業でも同じである)。レピーターの完成により生産量の増大と要員の削減がはかられた。

その後オーバルから角パスへのレピーター使用をはじめ

表3 棒鋼製品の分類(単位: mm)

形状	丸鋼	角鋼	六角鋼	平鋼	八角鋼	半円鋼
名称						
大形棒鋼	$a > 100$	$a > 100$	$a > 100$	$a > 100$	$a > 100$	$a > 100$
中形棒鋼	$100 \geq a \geq 50$	$100 \geq a \geq 50$	$100 \geq a \geq 50$	$130 \geq a \geq 65$	$100 \geq a \geq 50$	$130 \geq a \geq 65$
小形棒鋼	$a < 50$	$a < 50$	$a < 50$	$a \leq 65$	$a < 50$	$a \leq 65$

表 4 主 要 棒 鋼 壓 延 工 場 (国 内)
(中 小 形 分 科 会 加 入 会 社 , た だ し 形 鋼 製 品 を 主 体 と す る 工 場 は 除 く)

会 社 名	所 在 地 (工 場)	設 立 年	区 分	形 式	圧 延 機 器	公 称 能 力 (t / 月)	製 品 品 種	製 品 寸 法	鋼 種	
									普	特
愛 知 製 鋼	知 多	昭 和 38 年	棒 鋼 ・ 線 材	半 連 続 式	メ イ ラ ー & ノ イ マ ン	25 000	丸 , 角 , 平 , コ イ ル	10 ~ 75 φ 丸 8 ~ 26 φ コ イ ル		○
	知 多	昭 和 18 年	小 形	多 軸 式	大 谷 重 工 東	10 000	平 鋼	44 ~ 100 mm 幅 4.5 ~ 20 mm 厚	○	
	刈 谷	昭 和 14 年	中 小 形	多 軸 式	塚 本 製 鉄 自 社	4 000	丸 , 角 , シ ー ト バ ー , リ ム , 平 , 山 形		○	◎
	刈 谷	昭 和 14 年	小 形	多 軸 式	大 谷 重 工 自 社	2 500	シ ー ト バ ー , 山 形 , 平			○
吾 婦 製 鋼	千 葉	昭 和 44 年	棒 鋼 ・ 線 材	連 続 式	三 菱 重 工	40 000	丸 , 異 形 , コ イ ル	13 ~ 42 φ 丸 13 ~ 38 φ コ イ ル	◎	○
大 阪 製 鋼	西 島	昭 和 38 年	棒 鋼 ・ 線 材	連 続 式	自 社	18 000	丸 , 異 形 , コ イ ル	9 ~ 38 φ , 丸 , 異 形 9 ~ 13 φ コ イ ル	○	
	東 京	昭 和 35 年	小 形	半 連 続 式	自 社	20 000	丸 , 異 形	19 ~ 22 φ 丸 D 16 ~ D 32	○	
大 谷 重 工	尼 崎	昭 和 17 年	小 形	多 軸 式	自 社	10 000	丸 , 異 形	13 ~ 28 φ 丸 D 13 ~ D 29	○	
	水 島	昭 和 47 年	中 小 形	連 続 式	日 立 製 鉄 自 社	30 000	丸 , 異 形	16 ~ 70 φ 丸 D 16 ~ D 38	○	◎
関 西 製 鋼	本 社	昭 和 37 年	中 小 形	連 続 式	自 三 菱 重 工 自 社	20 000	平 , 角 , B P 半 丸 , 電 極		◎	○
	神 戸	昭 和 37 年	中 小 形	連 続 式	自 B L 自 社	50 000	丸 , 異 形 , 平	12.7 ~ 55 φ 丸	◎	○
神 戸 製 鋼 所	神 戸	昭 和 34 年	大 中 形	一 軸 式	モ ル ガ マ ン 自 社	15 000	丸 , 角	36 ~ 105 φ 丸 40 ~ 100 □ 角	○	◎
	尼 崎	昭 和 35 年	小 形	連 続 式	日 立 自 社	35 000	異 形	13 ~ 41 φ デ ー コ ン	◎	○

国光製鋼	本社	昭和24年	小	小	ク カ ソ ト リ 式	自 社	12 000	異 形	D 22~D 41	◎	○
	本社	昭和36年	小	小	半 連 統 式	塚 本 総 業	14 200	異 形	D 13~D 25	◎	○
山陽特殊製鋼	本社	昭和37年	棒鋼・線材	棒鋼・線材	半 連 統 & ク ロ ス カ ソ ト リ 式	芝 宇 部 興 産	16 500	丸, コイル	9~55φ丸 5.5~25φコイル	○	○
	室蘭	昭和42年	中	中小	ク カ ソ ト リ 式	日 立	21 000	丸, 山形	22~87φ丸 L.50~L.100	○	○
住友金属	製鋼所	昭和35年	中	中小	多 軸 式	石 川 島 播 磨	22 000	丸, 平	40~100φ丸 50~240幅平	○	◎
	小倉	昭和16年	中	中小	一 軸 式	日 立	12 000	丸, チャンネル リムバー	48~80φ丸 100×5~150×65リムバー	◎	○
	小倉	大正7年	小	小	多 軸 式	日 立	3 600	丸, 角, 異形, リングバー	13~22φ丸 D 13~D 22	○	○
三菱製鋼	東京	昭和30年	大	中	多 軸 式	芝 共	20 000	角, 丸, 平, 溝平鋼	65~200φ丸 60~140□角	○	◎
	東京	昭和43年	中	中小	多 軸 式	日 本 鋼 管	9 000	丸, 角, 平	19~65φ丸, 45~60□ 角, 5~30×45~160平	○	○
大同製鋼	知多	昭和38年	中	中小	連 統 式	神 戸 製 鋼 メ ー ラ ・ ノ イ マ ン	21 000	丸, 平	21~65φ丸 6~14×60~100平	○	○
	星崎	昭和8年	中	中小	一 軸 式	芝 自 共 社	4 800	丸, 角, 平	30~80φ丸, 35~ 100□角, 50~150幅平	○	○
	星崎	昭和12年	小	小	多 軸 式	自 社	1 800	丸, 平, 中空鋼	16~30φ丸, 20~ 70幅平, 19~38中空	○	○
	渋川	昭和14年	中	中小	一 軸 式	東 京 ロ ー ル 社 自	5 000	丸, シートバー	38~100φ丸, 6~13×250シートバー	○	○
	渋川	昭和43年	小	小	多 軸 式	芝 共, 日 立 デ マ ー グ	6 000	丸	13~36φ丸	○	○
	平井	昭和14年	中	中小	多 軸 式	日 青 木 ロ ー ル	12 000	丸, 角	28~95φ丸 34~80□角	○	○
中国製鋼	呉	昭和37年	小	小	多 軸 式	神 戸 製 鋼	15 000	丸, 異形	9~25φ丸, D 10~25, 10.13 テーゴン	○	○

東海鋼業	若松	昭和35年	棒鋼・線材	半連続式	日本ロール 宇部興産	30000	丸, 異形	13~25φ丸 D13~D35	○
特殊製鋼	川崎	昭和35年	大形	多軸式	芝	7000	角	130~180□角	○
	川崎	昭和37年	棒鋼・線材	多軸 & 半連続式	神戸製鋼	6000	丸, コイル	13~60φ丸 5.5~12.5φコイル	○
中山鋼業	大阪	昭和9年	小形	多軸式	自 社	20000	異形	D13~D32	○
中山製鋼所	本社	昭和33年	大形	連続 & クロ スカントロー	自 社	23500	丸, 平, ほか	50~100φ丸, 9~25×150~250平	○
	本社	昭和9年	小形	多軸式	自 社	10000	丸, 異形, コイル	12~32φ丸, コイル D13~D32	○
西製鋼	本社	昭和34年	小形	連続式	日本ロール	10000	丸, 異形	16~25φ丸 D16~D25	○
日本鋼管	京浜	大正5年	中小形	多軸式	自 社	14000	丸	44~100φ	◎
日本砂鉄鋼業	師磨	昭和12年	大形	多軸式	塚本 自 社	12500	丸, 山形	44~150φ丸	◎
	師磨	昭和43年	小形	多軸式	デマ 鈴 東	12500	丸, 異形	16~42φ丸 D16~D38	◎
日本特殊鋼	大森	昭和29年	大形	多軸式	デマ 石川島播磨	4000	丸, 角, 異形	32~100φ丸 45~115□角	○
	大森	昭和13年	中小形	多軸式	デマ グ	2000	丸, 平, 異形	20~85φ丸	○

注1 設備能力は昭和48年2月現在のものであり、建設当初の能力とは異なるものもある。
 注2 形鋼製品を主体とする工場は除いてある。
 注3 “区分”は製品寸法およびコイル圧延の有無による分類であり、通常各社が呼んでいる“条鋼工場”“○○圧延”などという呼称ではない。
 注4 表4は『中小形工場設備レイアウト一覧』(昭和48年2月1日付改訂版)を元資料とした。

表5 圧延機配列による特徴

配列	生産能力	設備費	ルール組替え	要員
並列式	低い	安い	組替方式限定され、所要時間は1~4hrを要する	多い
クロスアントリ式	高い	安い	組替方式限定され、所要時間は0.5~2hrで可能	少ない
半連続式	高い	高い	組替方式限定され、所要時間は0.5~2hrで可能	少ない
連続式	高い	高い	組替方式限定され、所要時間は0.5~2hrで可能	少ない

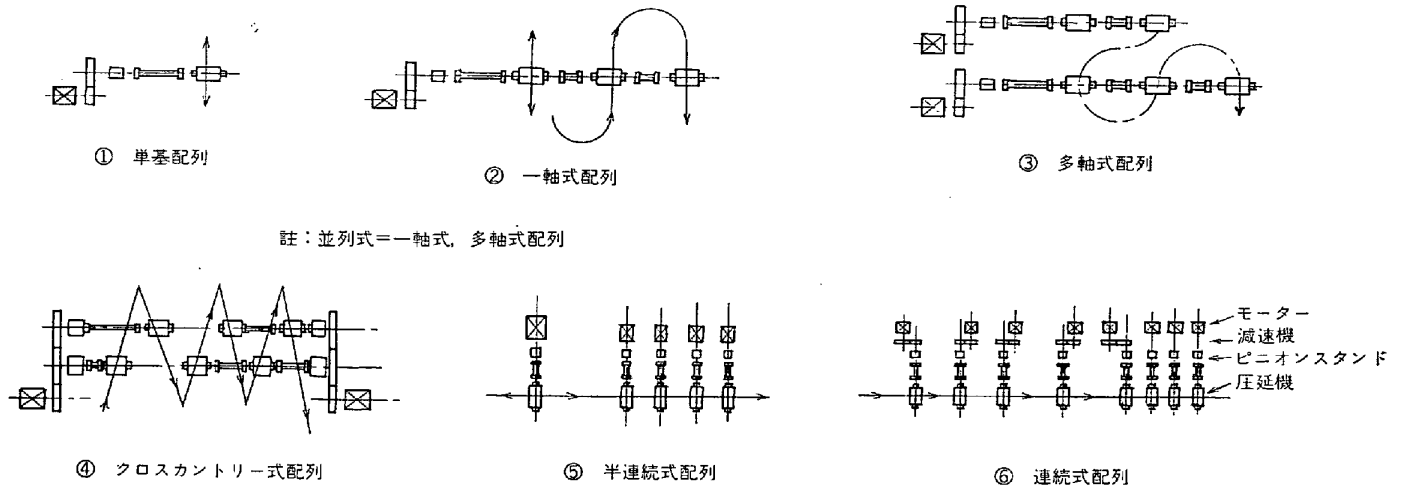
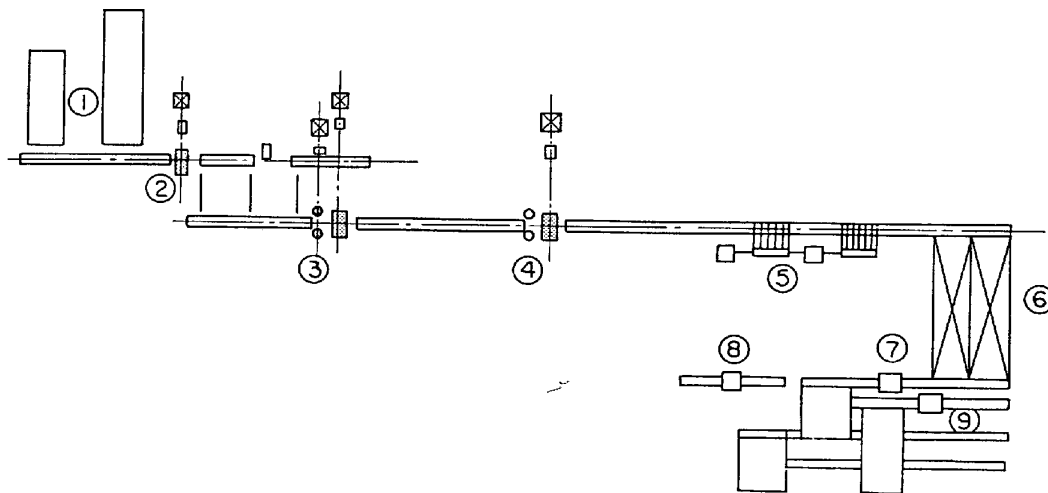


図8 代表的な圧延機の配置例



①加熱炉，②ブレークダウン圧延機，③粗ユニバーサル圧延機，④仕上ユニバーサル圧延機
⑤ホットソー，⑥冷却床，⑦矯正機，⑧800t プレス，⑨400t プレス

図9 大形棒鋼工場の配置例

め、圧延機配置の工夫、垂直圧延機の開発、電気設備の進歩、付属設備の改良、などを経て今日の圧延技術にまで到達した。この経過については以下で述べる。

2.2 棒鋼製品の分類

棒鋼は断面寸法の大きさにより、一航に大形、中形、小形棒鋼と呼ばれ、棒鋼工場もこの製品分類に準じて大形工場、中形工場、小形工場などと呼ばれている。

棒鋼の長さは、用途、製造および加工設備の処理可能長さおよび運搬の都合などによりきまるが、JIS では、

0.5m 間隔で3.5~10m の範囲が標準長さとして定められている。通常 4~6m の長さの需要が多い。

2.3 国内における主要棒鋼圧延工場（中小形分科会 会員会社）

2.4 棒鋼圧延設備配置の分類と変遷

棒鋼圧延工場は生産する製品の寸法により

- (1) 大形棒鋼工場
 - (2) 中形棒鋼工場
 - (3) 小形棒鋼工場
- 製品寸法の分類は表3を参照。

に分けられるが、このほかに巻線機を設置して棒鋼と線材とを製造できる“棒鋼・線材工場”がある。

棒鋼工場の分類においては一応中形棒鋼工場と小形棒鋼工場とに分けているが、工場配置の種類においては中小形棒鋼工場が最も多く、稼働している工場も多い。中小形棒鋼工場の圧延機配列による特徴と配列例を表 5⁴⁾ および図 8⁴⁾ に示す。

従来棒鋼は需要量が少なく、形鋼工場と兼用した比較的小規模の、古い形式の工場が多く、現在でもなおこれらの設備が数多く稼働している。

しかしながら、近年棒鋼需要量の増大化に伴って、従来平電炉メーカーが主体であった棒鋼分野へも大手高炉メーカーが進出し、大規模な量産棒鋼工場が建設されるようになってきている。

(1) 大形棒鋼工場

大形棒鋼は需要量が少ないので大形棒鋼専用の工場は少なく、ほとんどが分塊工場または大形形鋼工場と兼用している。

(2) 中形棒鋼工場

中形棒鋼の需要も比較的少なく、小規模の工場が多い。圧延機の配列は3重式圧延機を横一列に配置した一軸式配列がほとんどである。

大形、中形棒鋼は断面が大きいので連続(タンデム)圧延の場合にはスタンド間の張力調整がむずかしく、また建設費増大の問題もあつて、連続式圧延機の実現が遅れていたが最近ようやくこれらの問題が解決の方向に向かい、国内でも連続式中形圧延設備が建設されるようになった。

(3) 中小形棒鋼工場および小形棒鋼工場

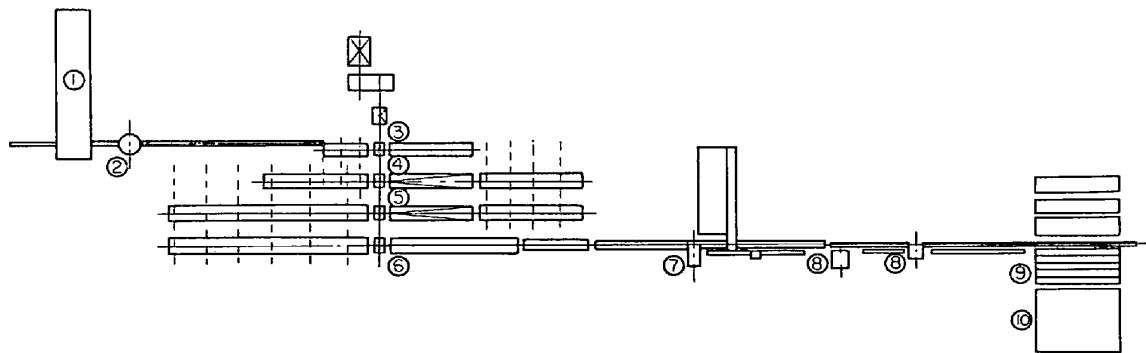
小形棒鋼は棒鋼の中で最も用途が多く、したがって生産量も多い。工場の数も多く、設備費の小さな小規模の工場から連続式の量産工場まで幅広く存在する。

最近建設される工場は、生産能力の大きい棒鋼専用圧延工場になる傾向があり、その製造範囲も小形、中形の範囲、さらには小形から大形の範囲にまで及ぶものもある。

(i) 並列式圧延設備(レピータにより鋼材の誘導を行なう方式)

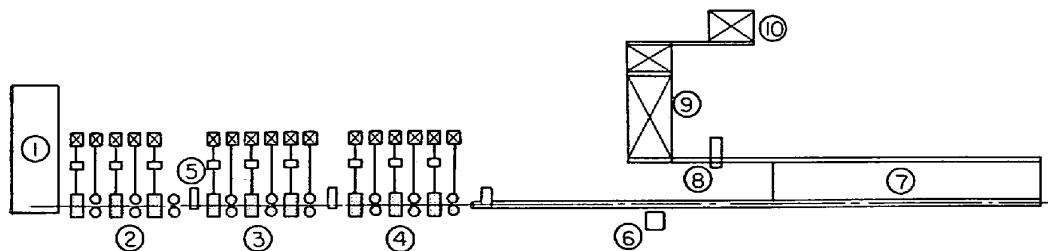
この方式は多軸式ともいい、圧延機列が並列に2列以上あるものをいう。通常粗列に3重圧延機を配置し、仕上列の各スタンド間の圧延材の誘導はレピータで行なうものであり、比較的細物製品を生産する工場に多い。

レピータ圧延であるため圧延材の温度降下は仕上列に関しては少ない。



① 加熱炉 ② ターンテーブル ③ 粗圧延機 ④ 第1中間圧延機 ⑤ 第2中間圧延機
⑥ 仕上圧延機 ⑦ ホットシヤア ⑧ ホットソー ⑨ 冷却床 ⑩ 冷却ピット

図10 中形棒鋼工場の配置例



① 加熱炉 ② 粗圧延機列(H-V) ③ 中間圧延機列(H-V) ④ 仕上圧延機列(H-V) ⑤ ロータリシヤア ⑥ クーリングベッドシヤア ⑦ クーリングベッド(冷却床) ⑧ コールドシヤア ⑨ 検査, 計数テーブル ⑩ クレードル

図11 連続式中形圧延設備の配置例

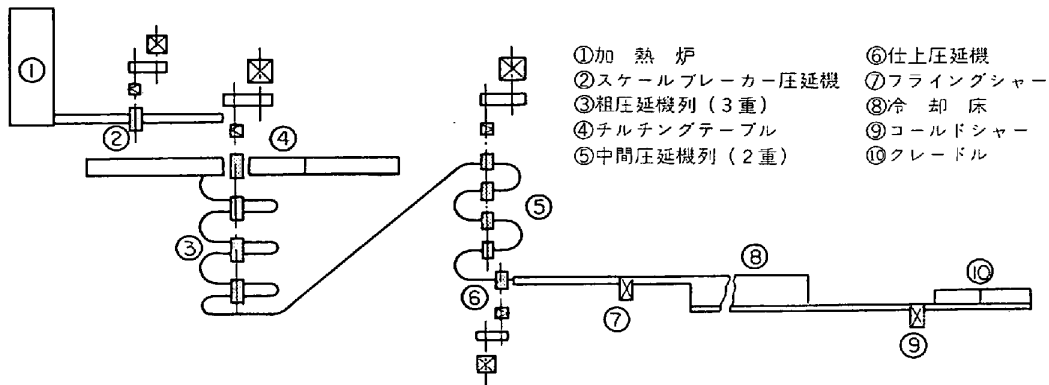
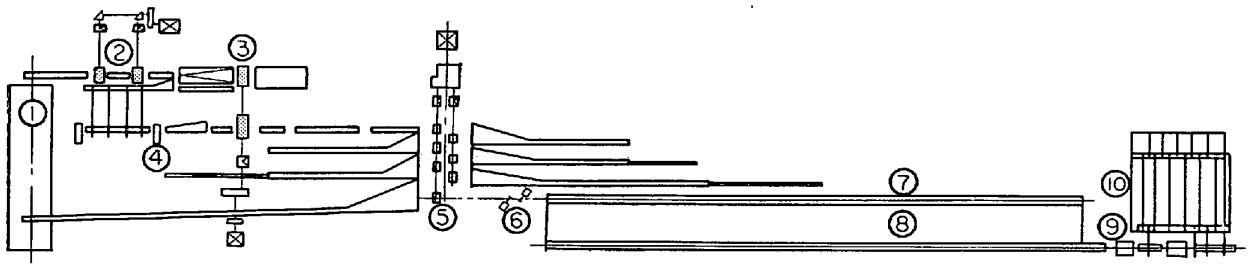
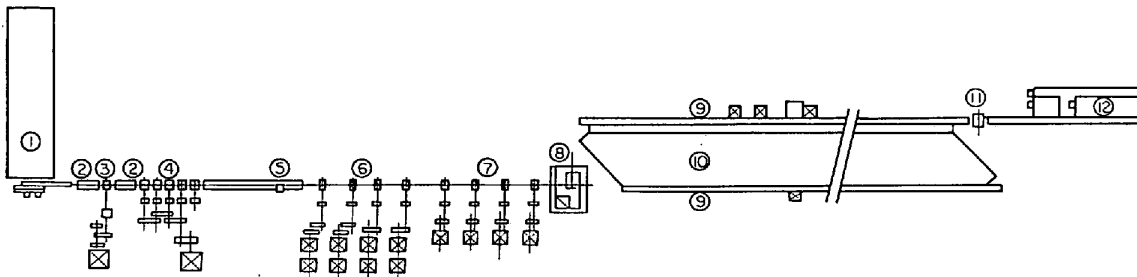


図12 並列式圧延設備(レピータ方式)の配置例



① 加熱炉 ② 鋼片圧延機 ③ 粗圧延機 ④ クロップシャー ⑤ 仕上圧延機列
⑥ ロータリィシャー ⑦ ランインテーブル ⑧ 冷却床 ⑨ コールドシャー ⑩ 製品移送コンベヤ

図13 並列式圧延設備(クロスカントリー方式)の配置例



① 加熱炉 ② チルチングテーブル ③ 第1粗圧延機 ④ 第2粗圧延機 ⑤ ホットシャー ⑥ 中間圧延機列 ⑦ 仕上圧延機列 ⑧ フライングシャー ⑨ ローラーテーブル ⑩ 冷却床 ⑪ コールドシャー ⑫ 製品移送テーブル

図14 半連続式圧延設備の配置例

(ii) 並列式圧延設備(クロスカントリー式)

この方式は仕上圧延機列スタンド間の圧延材の移動にレピータを用いず、1スタンド1パスを行なつた後圧延材は各パスごとにフリーの状態になる。

各スタンド間の圧延材の誘導は、スタンド前後面の搬送テーブルにより行なうジグザグ式と、スタンド前後面のシュレップルまたはトランスファーにより行なうトランスファー式とがある。この設備の特徴は、

- ① 1パスごとに圧延材がフリーになるためレピータ式に比べて圧延材の温度低下は大きい。
- ② したがって、比較的太物製品の圧延に用いられる。
- ③ 1パスごとにフリーになるため鋼材全長の寸法精

度は良い。(レピータで太物を廻すと、ループ発端部前後の寸法精度が他の部分に比べて悪くなることもある)

(iii) 半連続式圧延設備

代表的な半連続式の配置は粗列に3重圧延機、中間および仕上列に連続圧延機を配置したもので普通鋼の量産工場に多い。

(iv) 組合わせ式圧延設備

並列式と半連続式とを組合わせた配置で多品種の量産工場に多い。組合わせの方式には製品品種および生産能力などにより種々の方式がある。

(v) 連続式圧延設備

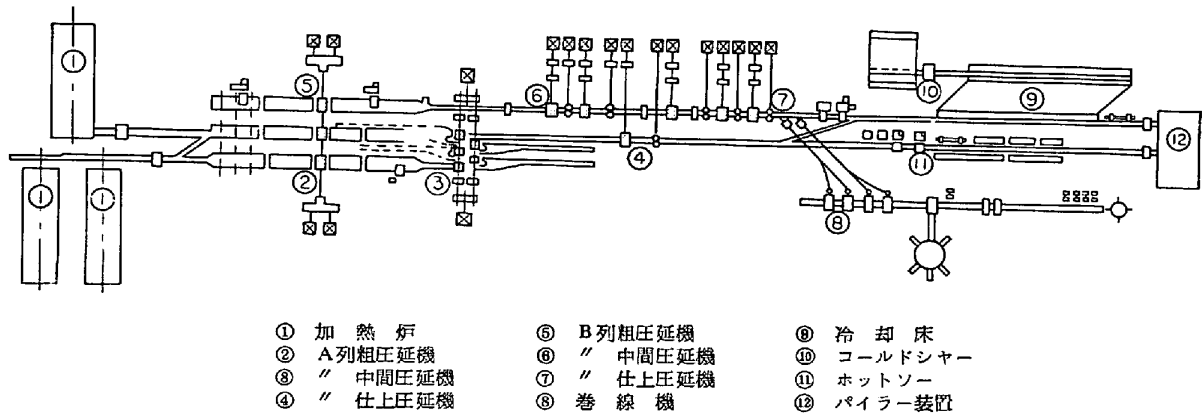


図15 組合せ式圧延設備の配置例

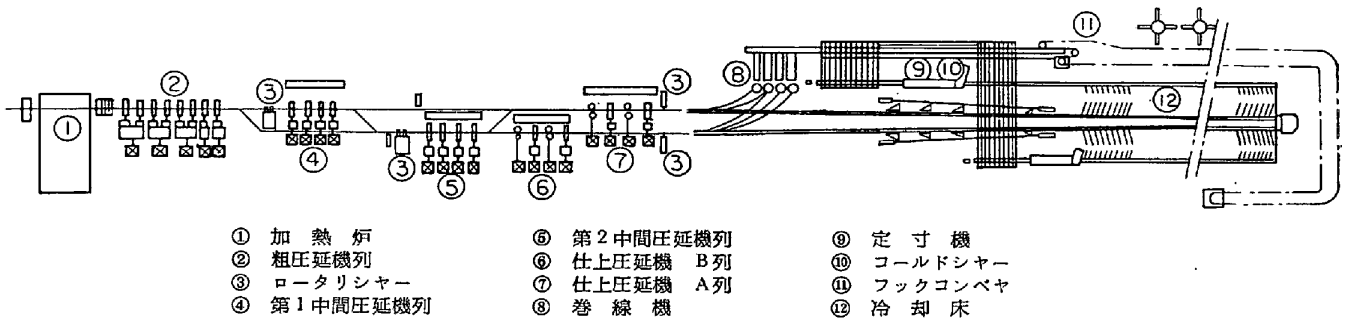


図16 連続式圧延設備の配置例

近代的な小形棒鋼の大量生産工場はほとんどが連続式配置である。仕上列には垂直一水平圧延機の交互配列を採用し、高級品質の製品が圧延できるよう配置したものが多く、また稼働率を向上させるためロール迅速組替装置および圧延機列のオフセット配列などが採用されるようになった。

以上(1)から(3)まで棒鋼圧延工場の設置配置による最近の方向を述べたが、棒鋼圧延設備に比べて工場ごとの特色が強くでた配置になっており、各分類の中でも細分類ができるほど種類が多い。

3. 線材圧延工場の変遷

3.1 発展経過

線材圧延の歴史⁵⁾は 1817 年ベルジャン・トレイン (Belgian Train) が、いわゆるベルジャン式圧延機を製作したのに始まる。それ以来 150 有余年の間にベッカー式、ベッドスン式、モルガン式、ガレット式、半連続式、連続式などの種々の形式を経て、現在では箸取作業を全く要しない全連続式圧延機の大盛時代を迎えるにいたっている。

わが国では明治 40 年に官営八幡製鉄所がガレット式圧延機で稼働したのを皮切りに、大正 7 年に小倉製鋼

(現住友金属工業)、大正 15 年に神戸製鋼所がそれぞれガレット式圧延機を用いて操業に入っている。昭和 8 年になって神戸製鋼所(第 2)、中山製鋼所の各工場が稼働するにいたり、大正末期にはわが国の線材需要年間約 10 万トンの 30% 程度を自給するにすぎなかったものが当時では 95% に飛躍した。その後昭和 20 年までは高炭素鋼線材の圧延、溶接棒用芯線、ピアノ線の国内生産の成功など技術的な進歩はあつたが生産量は昭和 11 年を最高として減少の一途をたどつた。

線材圧延機は昭和 30 年頃を境にして変貌した。すな



写真1 線材圧延における箸取作業

表 6 主要線材圧延工場 (国内)
(線材分科会加入会社および住友電工)

設立年	会社名 (工場名)	圧延機	圧延機形式	公称能力 (t/月)	製品単位 (kg)	製品寸法 (mmφ)	最高速度 (m/sec)	備 考
明治 40年	八幡製鉄 (八幡)	モルガン	ガレット式	9000	80	5.5 ~9.5	9.0	昭和31年休止
大正 7年	住友金属 (小倉)	モルガン	ガレット式	6500	90	5.5 ~(19)	9.2	昭和40年休止
大正 15年	神戸製鋼 (神戸1線)	神戸製鋼	ガレット式	7500	80	5.5 ~13	8.4	昭和35年休止
昭和 8年	神戸製鋼 (神戸2線)	クルップ	半連続式	15000	90	5.5 ~6.5	9.5	昭和39年休止
	中山製鋼 (船町)	住友金属	半連続式	12000	85	5.5 ~12	8.0	
昭和 13年	大同製鋼 (星崎)	日東ロー立	半連続式	7000	80	5.5 ~13	8.0	
昭和 17年	富士製鉄 (室蘭)	クルップ	半連続式	15000	80	5.5 ~9	9.0	昭和35年に大改造
昭和 18年	住友電工 (伊丹1線)	住友機械	ガレット	6000	80	5.5 ~	8.3	コントロールド クーリング設備
昭和 30年	八幡製鉄 (光1線)	ジマーグ	全連続式	32000	418	5.0 ~8	24	昭和37年加熱炉増強 単重: 320→418
昭和 31年	神戸製鋼 (神戸3線)	モルガジャーマ	連続式	17000	393	5.5 ~25	21	昭和35年2系列に
昭和 32年	大阪製鋼 (京橋)	自 社	全連続式	25000	300	5.0 ~9	26	昭36年西島へ移設し、 京橋休止
昭和 33年	住友金属 (小倉1線)	ブローノックス立 日	連続式	35000	320	5.0 ~25	34	
	富士製鉄 (室蘭)	デマープ共 芝浦同	全連続式	22500	410	5.0 ~9	28.3	
昭和 34年	中山製鋼 (名古屋)	自 社	全連続式	13700	150	5.5 ~9	14	
昭和 35年	神戸製鋼 (神戸4線)	シュレーマン 自 社	全連続式	48000	390	5.5 ~7	33	コントロールド クーリング設備
	吾嬬製鋼 (吾嬬)	ブローノックス立 日	連続式	26000	600	5.5 ~11	31	昭40年 炉幅拡大 (4.0→4.2 mm)
昭和 36年	神戸製鋼 (神戸5線)	自 社	連続式	25000	400	5.0 ~11	21	昭44年加熱炉改造 加熱能力: 25→42 t/hr
	富士製鉄 (釜石)	シュレーマン	全連続式	35000	400	5.5 ~25	28.1	昭43年加熱炉改造 炉幅: 10.4→12.7m
	住友電工 (伊丹2線)	モルガジャーマ	連続式	10000	380	5.5 ~15	22	コントロールド クーリング設備
昭和 37年	八幡製鉄 (光2線)	ジマーグ 住友機械	全連続式	40000	885	5.5 ~32	30	コントロールド クーリング設備

昭和 40年	住友金属 (小倉2庄延)	日 立	全連続式	25 000	1 150	8 ~(50)	21	棒鋼を含む
	川崎製鉄 (水島)	モ ル ガ ン ジ マ ー グ	全連続式	30 000	945	5.0 ~9.5	40	コントロールド クーリング設備
	神戸製鋼 (神戸6線)	自 社	連続式	20 000	470	5.5 ~7	33	コントロールド クーリング設備
昭和 44年	大同製鋼 (知多)	メ ー ラ ー & ノ イ マ ン	全連続式	22 000	1 000	7 ~32	32	
	吾婦製鋼 (千葉)	シ ュ レ ー マ ン 三 菱 重 工	全連続式	40 000	1 500	13 ~(38)	18	棒鋼を含む
	富士製鉄 (室蘭2線)	神 戸 製 鋼	全連続式	35 000	1 300	9 ~36	30	
	神戸製鋼 (神戸7線)	自社, シュレー マン(三菱重工)	全連続式	40 000	2 000	7 ~38	50(7φ) 23(12φ)	ブロックミル & コン トロールドクーリング
昭和 45年	住友金属 (小倉2線)	モ ル ガ ン 住 友 重 機	全連続式	33 000	2 000	5.5 ~28	50~60	ブロックミル & コン トロールドクーリング
昭和 46年	新日鉄 (君津)	モ ル ガ ン 住 友 重 機	全連続式	35 000	1 800	5.0 ~13	50~60	ブロックミル & コン トロールドクーリング
昭和 47年	神戸製鋼 (加古川8線)	モ ル ガ ン 住 友 重 機	全連続式	35 000	2 000	5.5 ~9.5	60	ブロックミル & コン トロールドクーリング

注1 設備能力は昭和47年5月現在のものであり、建設当初の能力とは異なるものもある。

注2 “圧延機形式”の分類では粗列に3重式圧延機を配した設備は“連続式”とした。

注3 表6は『線材工場設備レイアウト一覧』および『線材製品協会二十年史』(p.60~p.67)を元資料とした。

わち、それ以前に稼働していたガレット式あるいは半連続式圧延機では、スタンド間の圧延機の誘導を人力を使つて行なう、いわゆる箸取作業(圧延機から放出された熱鋼の先端を火箸でつかみ、つぎの圧延機の入口まで誘導する作業)のため作業速度に自ら限界があり、線材の圧延速度は最高 10m/sec に制限された。したがって、コイル単重が大きくなると圧延材の温度降下がはなはだしく、製品寸法に悪い影響を与えるためコイル単重も細物については 80~90 kg 程度に限定され、そのために歩留りも悪く、生産能率もガレット式で 10~15 t/hr 半連続式で 35 t/hr 程度であった。

しかしながら、昭和 30 年以降の世界的な鋼材の需要伸びに沿うがごとく、ロールネック軸受、潤滑剤、電気設備、自動制御装置など、各理工学分野の技術進歩の粋を集めた結果が全連続式圧延機を生み出し、さらに最近ではロール材質の改善、オイルミスト潤滑、直接熱処理技術、設備の開発などを採り入れてつぎつぎに新しい線材工場が建設されている。

3.2 国内における主要線材圧延工場(線材分科会 員会社)

3.3 線材圧延設備配置の分類と変遷

線材圧延設備は、圧延される製品の断面積が非常に小

さいため、圧延機としては最も小形であるが、鋼片から製品までの減面率が非常に大きくなるので、多数のスタンドを必要とし、また最近では細物圧延用と太物圧延用の工場とは別個に作られる傾向があるためその配列形式の種類は多い。

線材工場の発展経過においては、種々の形式の圧延機配置が存在したが基本的にはつぎの形式に分類することができる。

- (1) ガレット式圧延機 (Garret mill)
- (2) 半連続式圧延機 (Semi-continuous mill)
- (3) 連続式圧延機 (Continuous mill)
- (4) 全連続式圧延機 (Full continuous mill)

これら各種線材圧延設備の代表的な配置例とその特徴をつぎに示す。

(1) ガレット式圧延機

この形式の配置はベルジャン式圧延機(棒鋼圧延機における一軸式圧延機、図5に同じ)の進歩したものである。ベルジャン式圧延機はまたの名をループ式とも称し横一列の一軸駆動であるため仕上に近づくにしたがつてループが長くなり、圧延材の先端と後端での温度差が大きくなるので寸法精度が悪くなる。

ガレット式圧延機ではこの欠点をなくすために全スタ

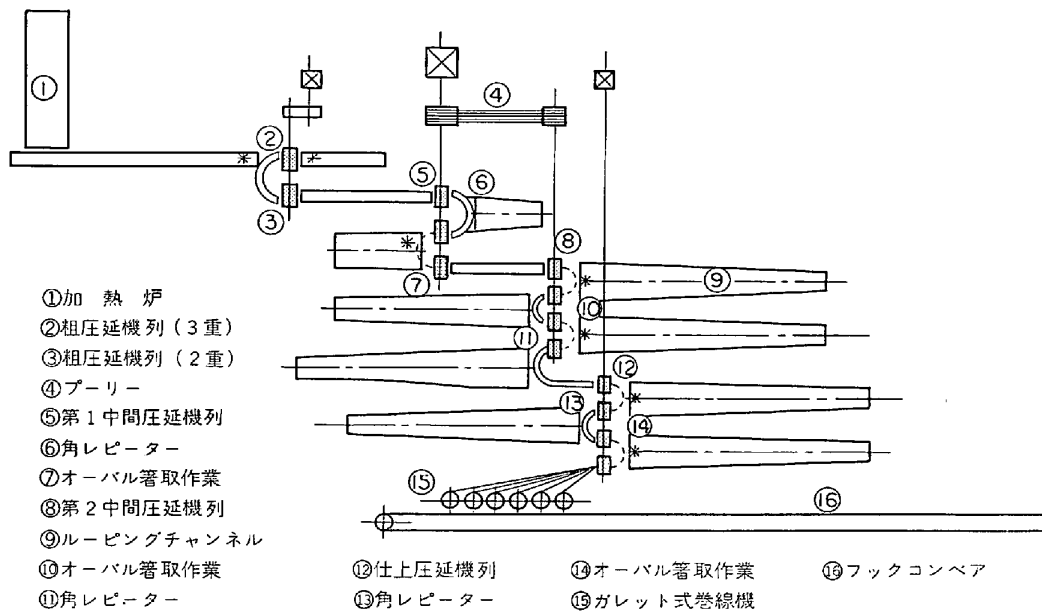


図17 ガレット式圧延機の配置例

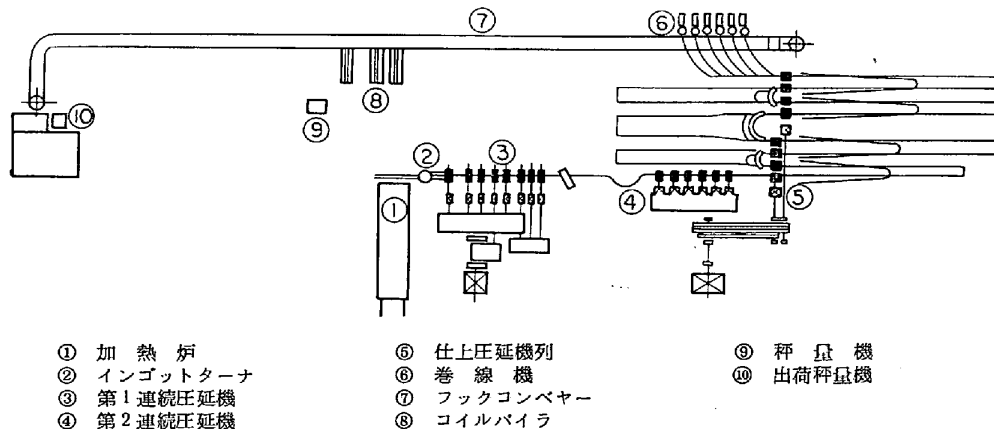


図18 半連続式圧延機の配置例

ンドを2～4台のグループに分け，グループごとに駆動することによりループの伸びを調整し，圧延材の温度降下を防止している．この方式の特徴は

- ① 粗列3重圧延機では加熱された鋼片を人力により往復圧延するため時間がかかり，温度降下も大きくまた高熱重筋作業であつた．
- ② 配置図の*印の個所は圧延材の誘導を人力で行なうため多数の箸取要員を必要とした．（この箸取作業は高熱，重筋の危険な作業であるため1回の交替時間は15～20 min 間であり，1カ所に3～5名の熟練した交替要員を配した）
- ③ ベルジアン式に比べれば温度降下は少ないが，それでも仕上げに近いところでは圧延材の断面が小さいうえにループが長くなるので温度降下は見た目にもはつきりわかるほど大きい．

この欠点を補うために半連続式圧延機が考察されたがこの方式でもガレット式の欠点をすべて是正するまでにはいたらなかつた．

(2) 半連続式圧延機

この形式はガレット式の改良型である．粗圧延機にはモルガン式圧延機（水平圧延機をタンデム配列し，1～2台の電動機によりメインシャフトを介して各スタンドの回転数を増，減速しロール回転数の調整を行なう方式）を配し，中間および仕上げ列にはガレット式またはベルジアン式圧延機を設置する．この形式は

- ① 粗列はタンデム配置のため能率が向上し，温度降下もガレット式に比較して少なくなつた．
- ② しかしながら，並列配置の仕上列ではガレット式と同様に箸取作業が行なわれていた．

このようなガレット式，半連続式圧延機に共通した間

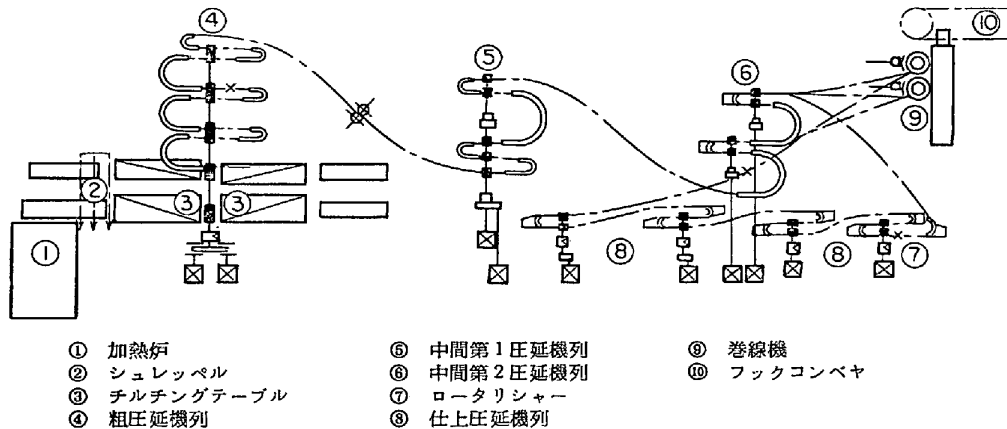


図19 連続式圧延機の配置例

題点として

- ① コイル単重を大きくできない。
圧延中の温度降下が大きいためコイル単重を大きくすることができず 90~100 kg が限度
- ② 線速を上げることができない。
箸取作業があるため圧延速度を上げることができず 9~10m/sec が限度
- ③ 要員が多い。
1カ所の箸取作業に 3~5名の要員が必要。
- ④ 生産性が低い。
①および②の理由により生産は低く、ガレット式で 15 t/hr. 半連続式でも 35 t/hr 位であった。(通常、この種の圧延設備においては生産性をあげるために中間列から仕上列へと進むにつれて、箸取作業のところで通し本数を増やしていた)
- ⑤ 寸法精度が悪い。
圧延材の先端と後端との温度差が大きく、かつ剛性の低い圧延機での多本通しであるため製品の寸法精度は悪く、 ± 0.6 mm が精一杯であった。

このようなガレット式、半連続式圧延機の問題点を解決したのはつぎに現われた連続式圧延機および全連続式圧延機である。

(3) 連続式圧延機

これまでの圧延設備はほとんどが昭和8年以前に建設されたものであるが(2, 3の例外はあるが), 昭和30年代に入るとそれまでの空白を埋めるかのように新しい技術を備えた新鋭工場が相ついで建設された。(これ以後に建設される工場には従来の箸取作業は不要になった。)

その1つが Morgårdshammar 社(スウェーデン)の開発した連続式圧延機である。この圧延機は特殊鋼圧延用に設計されたもので、粗列に3重圧延機を配置し、中間列および仕上列に2重圧延機を多列配置している。この形

式の特徴は

- ① No 1 スタンドを除く全スタンド間は 180° のレピータにより熱鋼の誘導を行なうため、圧延機に引張りを加えることなくかつねじりの影響の少ない圧延ができる。
- ② 直流電動機による2スタンド単位の回転調整であるためループ長さのコントロールが可能であり、ガレット式や半連続式に比べて同じループ圧延でも格段の進歩が見られる。
- ③ 粗列から仕上まで1本通し圧延であり、かつ圧延材に引張りがないため寸法精度のよい、表面きずの少ない製品が圧延できる。
- ④ レピータを多数使用しているため圧延速度は 25m/sec が限度である。
- ⑤ ループ調整は可能であるが、圧延速度があまり高くないため圧延材の温度降下を考慮するとコイル単重は 450 kg が限度である。
- ⑥ 1本通しであるため生産性は比較的 low 25 t/hr (1ストランド当り)が限度である。
- ⑦ 仕上げ列のどのスタンドからも製品が取り出しうるので製品サイズの変更が容易でかつ広範囲の製品が圧延できる。(5.5~25 mm ϕ)

これらの特徴からこの圧延設備は高級線材の多品種少量生産に適している。

(4) 全連続式圧延機

この形式の圧延機が現在の主流となっており、初めて設置されて以来種々の改良が加えられ今日にいたっている。従来この形式の圧延機は細番線材の量産設備として開発されたものであったが、その後太番線材の需要拡大および圧延設備技術の向上、電気設備の開発などにより太番線材用の設備がつくられている。

(i) 細番線材圧延設備(仕上列に水平圧延機を配置

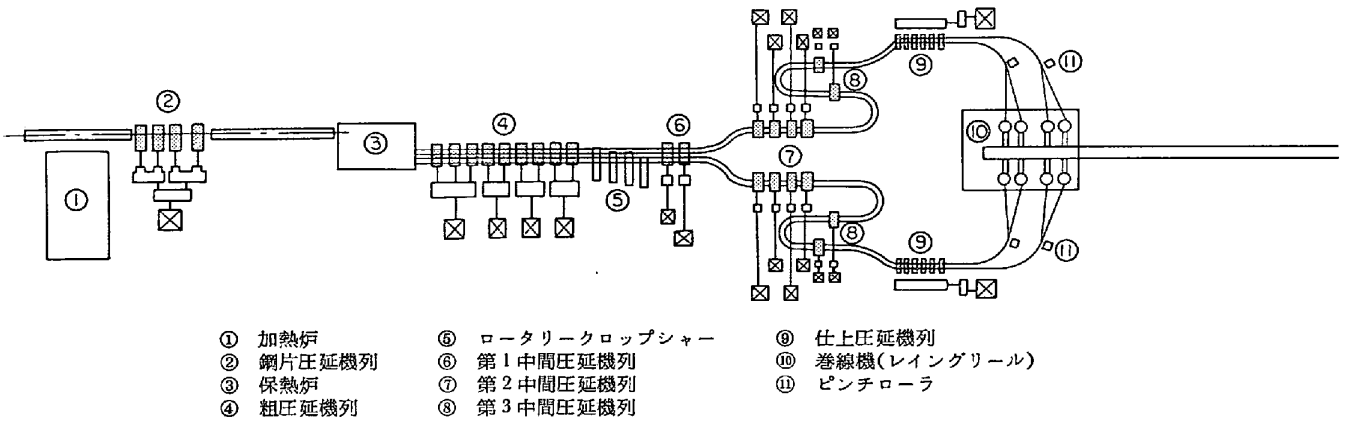


図20 仕上列に水平圧延機を設置した配置例

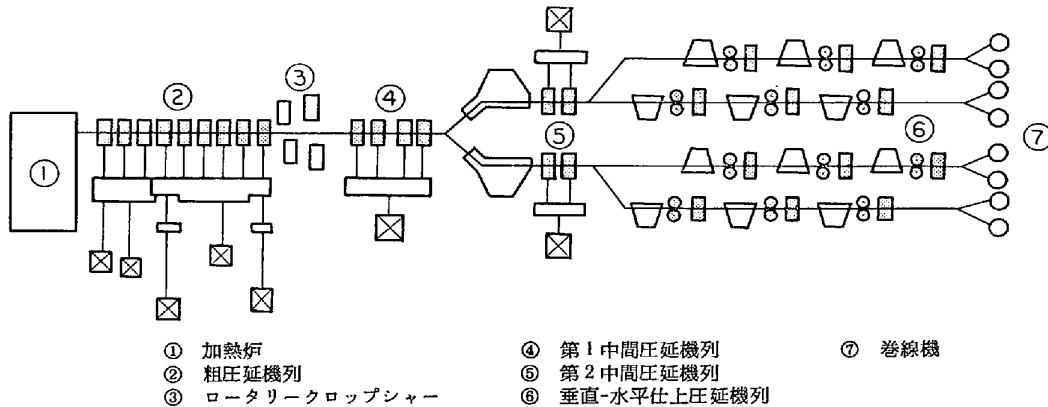


図21 仕上列に垂直-水平圧延機を設置した配置例

したもの)

仕上げ列に通常6～8台の水平圧延機を配置して1台の直流電動機で駆動している。すべて水平圧延機であるため各スタンド間で圧延材を90°(オーバル→角)または45°(角→オーバル)ねじつてつぎのスタンドに咬み込ませ、つねに若干の張力をもたせて圧延する。したがって、この張力が製品の寸法精度に与える悪影響を少なくするためにスタンド間隔が極力小さくなるように設計されている。この形式の特徴は

- ① この圧延機では高級線材の圧延は困難であり、普通鋼線材を大量に生産する工場に向いている。
- ② 同時圧延本数は粗列から仕上列まで同じ本数で、通常3～4本である。
- ③ 仕上圧延速度は30～35m/secの高速度が得られる。

この形式の圧延機は今日ではやや旧式となり、近年建設される新鋭工場はそのほとんどが(iii)に示す仕上ブロック圧延機を採用している。

- (ii) 細番線材圧延設備(仕上列に垂直-水平圧延機を交互に配置したもの)

粗列から中間列までは(i)と大差はないが仕上げ列が違っている。この形式では各ストランドごとに別々の仕上げ圧延機列を有し、それぞれ1本通した圧延を行なう。この形式の特徴は

- ① 仕上げ列の各スタンドはそれぞれ直流電動機により単独駆動されており、各スタンド間にはルーパーを配置し、無張力で、ねじりのない圧延ができるので品質の良い製品ができる。
- ② 仕上げ列にルーパーを使用しており、また駆動機構の問題もあつて仕上線速は35m/secが限度である。

- (iii) 細番線材圧延設備(仕上げ列にブロックミルを配置したもの)

ブロックミルが実用化されたのはここ数年のことであるが、このブロックミルの出現により仕上げ速度は飛躍的に向上し、生産能率が上昇した。

図22は仕上圧延機列にブロックミルを採用した最新鋭工場である。仕上げブロックミルは稼働し始めてからまだ年数が浅く、十分その実績が把握されていないが、つぎのようなすぐれた特徴をもっている。

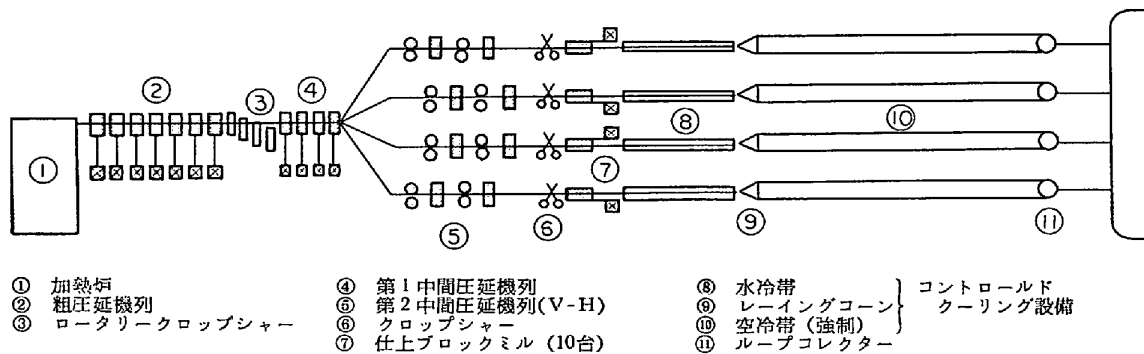


図22 仕上列にブロックミルを設置した配置例

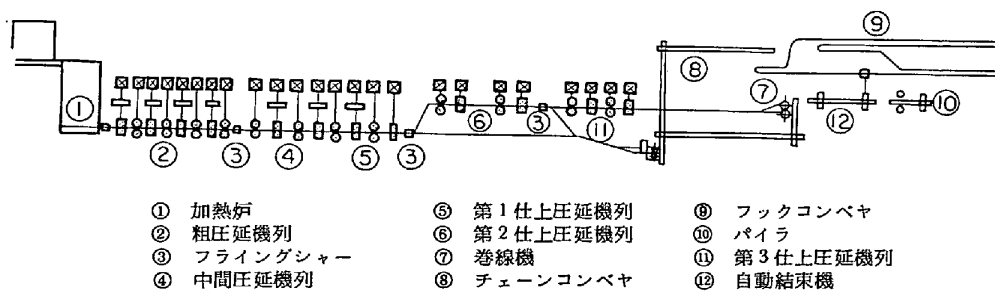


図23 連続式太番線材圧延機の配置例

表 7 圧延設備の比較表

×：最も悪いもの， △：やや悪いもの， ●：普通， ○：かなり良いもの， ◎：最も良いもの

項目	形式	ガレット式	半連続式	連続式	全 連 続 式			
					細 番 線 材 用			太番線材用
					(i)	(ii)	(iii)	
① 線 速		×	×	●	○	○	◎	○
② 温度降下		×	△	●	○	○	◎	◎
③ コイル単重		×	×	●	○	○	◎	◎
④ 生産能率		×	△	△	○	○	◎	○
⑤ 労働生産性		×	△	△	○	○	◎	○
⑥ 寸法精度		×	×	◎	●	○	○	◎
⑦ 表面きず		×	×	◎	●	○	○	◎
⑧ 要 員		×	△	○	○	○	◎	◎

- ① 圧延機の構造が従来のものに比べて単純で、軽い構造であるため高速回転を行なっても振動が少ない。このため仕上げ速度は 50~60m/sec の高速が得られる。
- ② フレーム内には 8~10 台の圧延機がきわめてコンパクトに組込まれているため、据付面積が従来

- の圧延機に比べて大幅に縮小できる。
 - ③ ブロック内のロール配列は圧延材に全くねじりを与えないで圧延できるように配置されており、寸法精度のよい、表面きずの少ない製品が得られる。
- ブロックミルの開発により生産量の増大と製品品質の

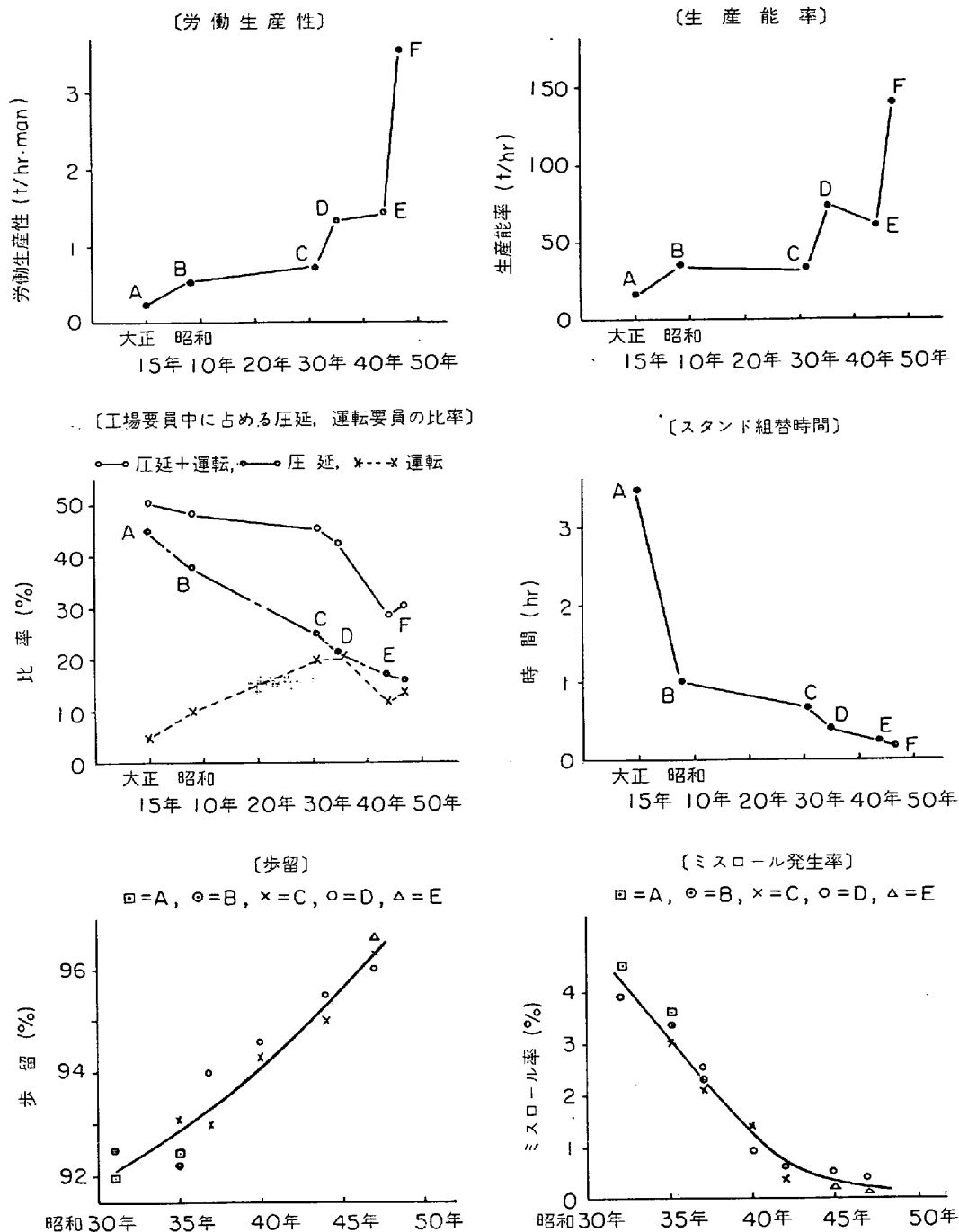


図24 形式別、年代別稼働実績比較 (線材工場)

A: ガレット式, B: 半連続式, C: 連続式, D: 全連続式 (仕上列水平圧延機)
 E: 全連続式 (太番圧延工場), F: 全連続式 (仕上列ブロックミル)

向上がはかられた結果、後で述べる直接熱処理冷却設備との関連も含めて、普通鋼線材を主体とする大量生産工場においてはブロックミルを設置した設備が今後主流になるものと思われる。

(IV) 太番線材圧延設備

線材製品の用途拡大に伴い、近年太番線材の需要が増大し、圧延設備もこれに対応して太番線材を主体に生産する工場が建設されるようになった。

太番線材の圧延設備は、とくに表面きずの発生防止に重点を置いて設計が行なわれる。図 23 は代表的な太番線材圧延工場であるが、この形式の特徴は、

- ① 従来の線材工場が粗列、中間列には水平圧延機を使用していたのに対し、この設備では粗列から仕上列にいたる全圧延工程に垂直一水平圧延機を交互に配置し、1本通し圧延を行なう。このため圧延材には全くねじりを与えることがなく、表面疵

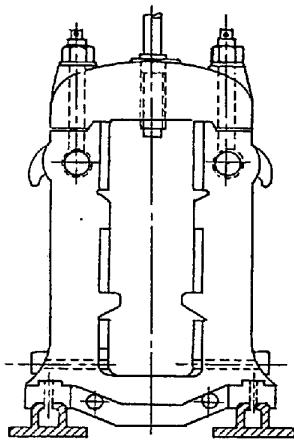


図25 開頭式スタンド

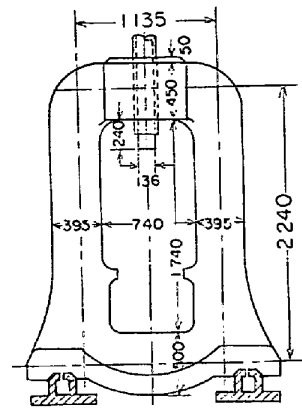


図26 閉頭式スタンド

の少ない、寸法精度の良い製品を得ることができる。

- ② 各スタンドごとに直流電動機を配置し、回転調整を行なうとともに、粗列ではロードリレーまたは負荷電流値によりロール回転数の自動調整を行なう。中間および仕上列ではループ制御を行なっている。
- ③ レピータを使用せずタンデム配列を採用しているためミスロールの発生もきわめて少なくまた圧延材の温度降下が少ないためコイル単重を大きくすることができる。この設備で生産される最大単重は 2 000 kg である。

以上(1)から(4)までの圧延設備のレイアウトの比較を行なうとつぎのようになる。

4. 棒鋼・線材圧延設備の進歩

4.1 圧延機

4.1.1 圧延機本体

(1) 水平圧延機 (Horizontal stand)

(i) 開頭式と閉頭式スタンド

従来線材圧延機の主体をなすものは水平圧延機であったが、現在でも粗列、中間列では中心的存在である。したがって、初期のベルジャン式圧延機以来種々の改善、開発が行なわれてきた。

ガレット式あるいは半連続式圧延機においてはスタンドキャップをはずして、ロールを上部から組入れる開頭式スタンド(図25)とロール組替えをスタンド側面の開口部から行なう閉頭式スタンド(図26)とが併用された。

開頭式スタンドはハウジングとキャップの締付けるクサビを打ち込んで行なうため圧延中の振動により緩みが生じやすいが、スタンドを横一列に並べた並列圧延機の

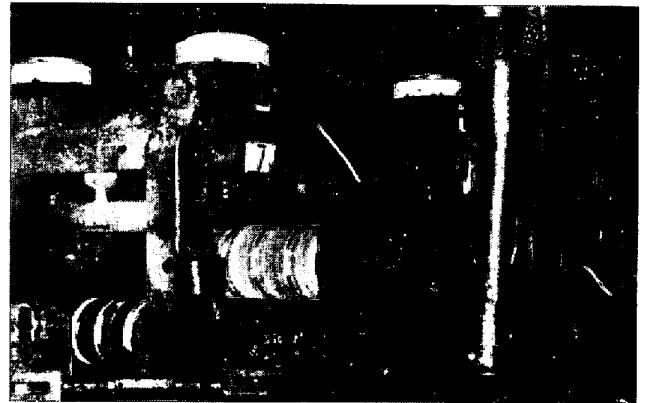


写真2 タンデム配列における閉頭式圧延機の組替作業

場合にはロール組替えが迅速かつ容易に行なえる利点があつた。

閉頭式スタンドはロールの出し入れを側面のスタンド開口部から行なうため並列圧延機の場合には作業が困難であり、主としてタンデム配列のスタンドに用いられた。(写真2)

また図25、図26にも示されるようにこれらのスタンドはボルトまたはコッターでソールプレートに固定されており、大修理または定期修理以外にはスタンドをソールプレートからとりはずすことは行なわれない。

これらのスタンドは現在も各工場で使用されている。

(ii) ユニット式スタンド

昭和30年代に入るとロール組替時にスタンドごと入れ換える方式、すなわち“ユニット方式”(ロールポスト-支柱に上方からロールユニットをはめ込む)のスタンドが登場する。(図27)

ユニット方式の出現によりロール組替時間が短縮され稼働率が向上することになった。

このユニット方式の出現が契機となり、その後建設される工場ではスタンド交換方式を採用するものが増え

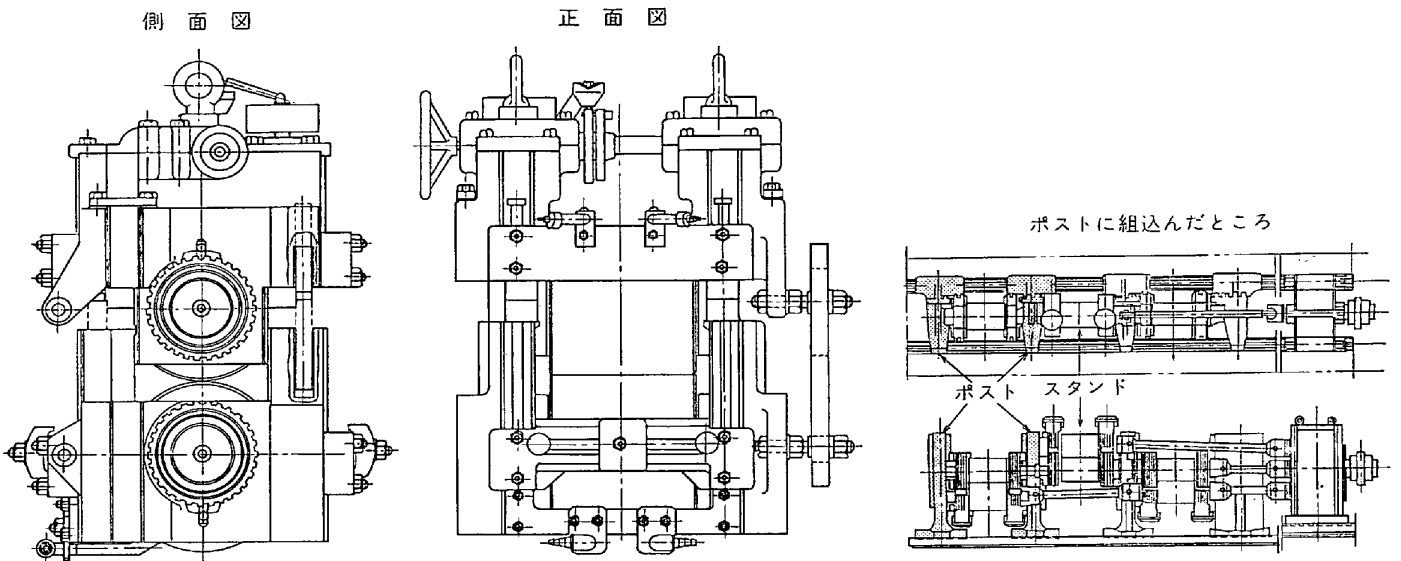


図27 ユニット式スタンド

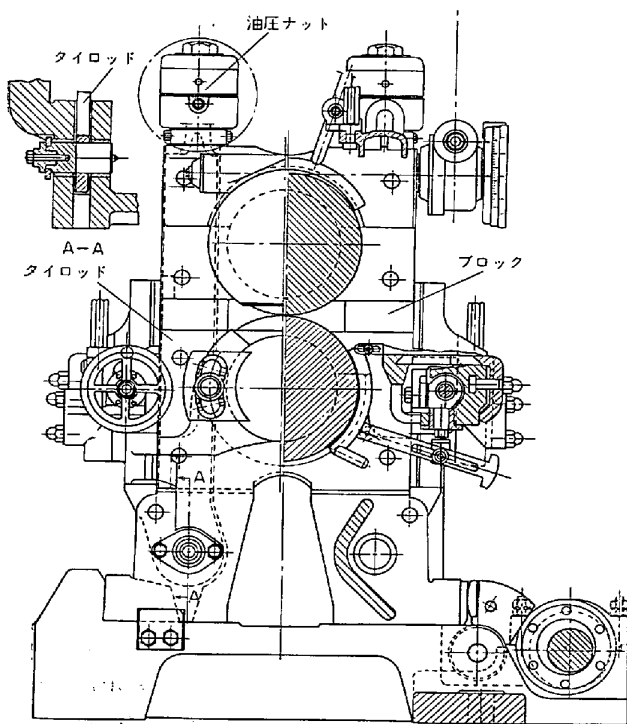


図28 プレストレス式スタンド

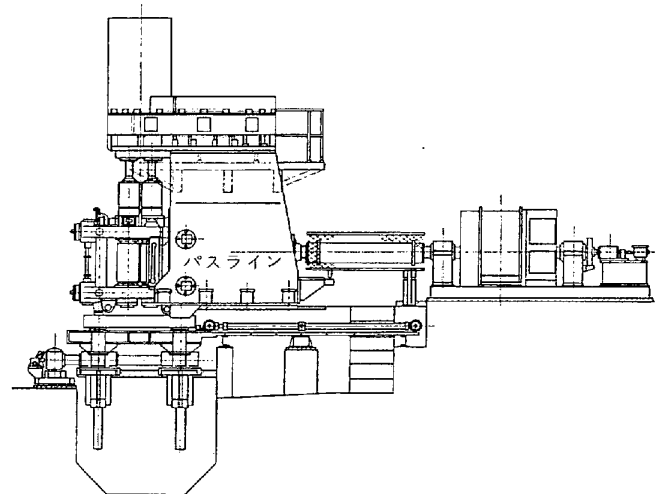


図29 垂直式スタンド

つており、とくに最近の設備では組替設備としてコンベアあるいはレールを利用した迅速組替装置とか、スタンドの締め付け装填に油圧または電動機を用い、わずかの作業者がボタン操作で短時間に組替える方法が採用されている。

(iii) プレ・ストレス・スタンド (Pre-stressed stand)

ロールスタンドに油圧またはリンク構造によるプレ・ストレスをかけたスタンドが開発され、圧延荷重の変動

をロールハウジングに伝えない方法が考案され、寸法精度の向上に大きく貢献した。図28はSKF社のプレ・ストレス式スタンドである。

このスタンドはロール組込後上ロールと下ロールの隙調整を行ない、隙に適したブロックをかませた後スタンド上部の油圧ナットに圧力をかけ、スタンド下部と連結したタイロッドを締め付けてスタンドの伸びを小さく保とうとするものである。

(2) 垂直圧延機 (Vertical stand)

レイアウトの変遷でも述べたように線材製品の品質向上、とくに表面きずの減少をはかるために垂直圧延機が採用されるようになってきた。(図29)

とくに太番線材の圧延工場では垂直圧延機の効果が大きくあらわれており、V-Hの交互配列によるねじりのない、1本通し圧延が品質向上に大きく寄与している。

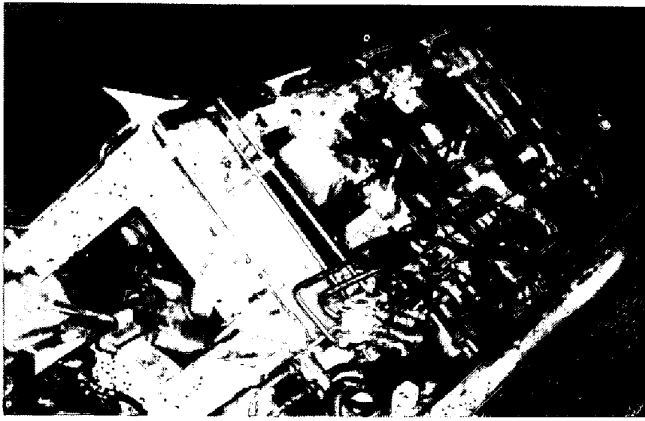
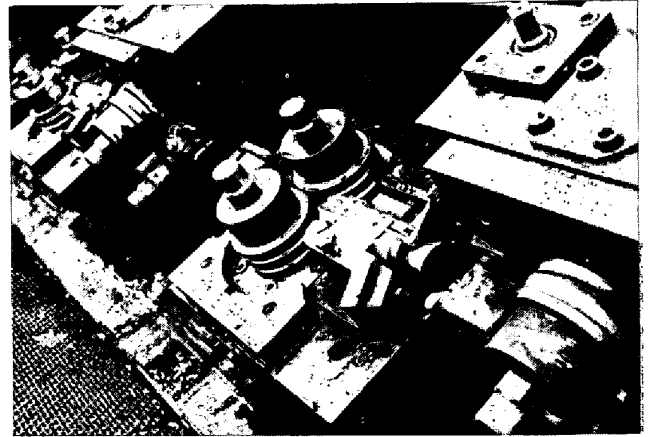


写真3 Schloemann Block



(a) パスラインに組込んだ状態

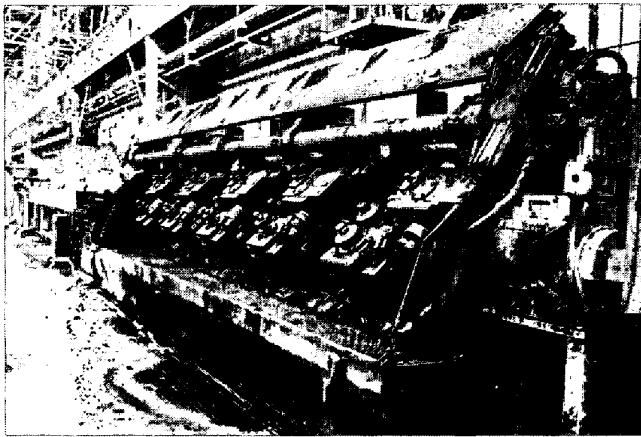
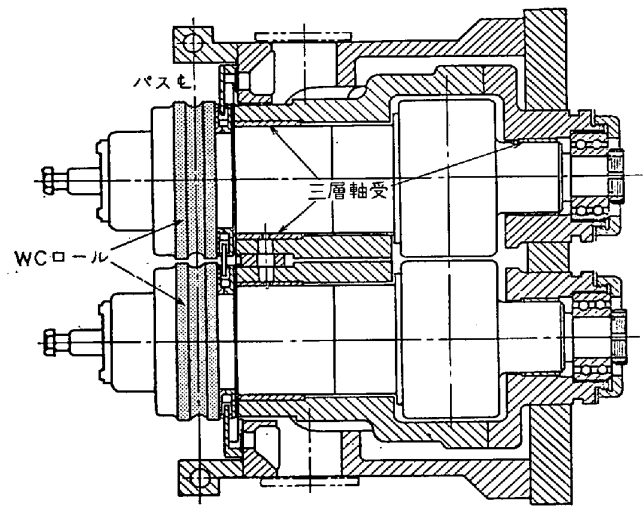


写真4 Morgan Block



(b) 内部構造

写真5 Morgan Block のスタンド構造

垂直圧延機の駆動方法としては、ロールより上部に駆動装置を持つものと、ロールより下部(フローアより下)に駆動装置を持つものとに分けられるが、設備の保守、故障などを考慮すると、上部に駆動装置を持つ形式の方が有利のようである。

(3) ブロックミル (Block mill)-No twist mill-

これまで開発された、水平垂直圧延機の駆動機構および軸受方法、潤滑方法では線速を 35m/sec 以上に上げることができず、この壁を破るためには新しい技術を開発しなければならなかつた。それがブロックミルである。

〔2 ロール・ブロック・ミル〕 (Two roll block mill)

2 ロール・ブロック・ミルとして現在世界中に広く使用されているのは Schloemann Block⁸⁾ (西ドイツ) と Morgan Block⁹⁾ (アメリカ) である。国内においては両方式とも設置されており現在稼働している。

両方式とも 8~10 台の圧延機をコンパクトに集約し、1つのフレーム内に納めた、いわゆるブロックミルで現在のところ仕上圧延機列用に使用されている。

共通事項としては、フレーム内にセットされた各ロー

ルは互に水平面に対して 45° ずつ傾いたタンデム配列 (このため必然的に 1 本通しとなる) で引張り圧延を行ない、圧延材には全くねじりを与えないようになっており 50~60m/sec の高速圧延が可能ということである。

このような高速圧延すなわち高速回転が行なえるようになったのはブロックミル (ノーツイストミル) においては従来の圧延機とは異なつた駆動装置を開発したからである。すなわち、従来の仕上圧延機は、電動機一増、減速機—スピンドル—カップリング—ロール、という組合わせにより駆動していたためスピンドル、カップリングによる振動が高速回転になるほど大きくなるため線速限界が 35m/sec 程度であつたのに対し、モルガンブロックにおいては電動機—スパイラルベベルギヤとヘリカルピニオンの組合せ—ロールという、振動の元凶であるスピンドルとカップリングを必要としない駆動構造であるため従来に比べて格段の高速回転が可能になつたのである (写真 5)。

表 8 Block Mill (No-twist mill) の比較
(国内における稼働設備について)

項目 \ 形式	Morgan Block	Schloemann Block
通し本数	1本	1本
最高仕上速度	50~60 m/sec (5.5 mmφ)	50 m/sec (7.0 mmφ)
スタンド台数	10台 (5.5 mmφ まで)	8台 (7.0 mmφ まで)
駆動用電動機	No 1~No 10 スタンドを共通駆動	No 1~No 6 スタンド用) 2グループ No 7~No 8 スタンド用)
ロール	保持方法: 片持ち 材質: タングステン・カーバイド カリバー数: 1~2 本/ロール ロール径: 6" (152 mm φ) × 70 mm 8" (203 mm φ) × 70 mm	保持方法: 両持ち 材質: 合金チルド カリバー数: 10~20本/ロール ロール径: 244~262 mm φ × 290 mm
ロール調整	隙調整: 可 軸方向: 不可	隙調整: 最終2スタンドのみ可 軸方向: 可
組み替えおよびカリバー替え	組み替え: ロール単体をラインで 入れ替える カリバー替え: ロールを交換	組み替え: ロールユニットまたはチェンジフレームを入れ替える カリバー替え: 同一ロールでカリバーのみ替える
カリバーデザイン	○ → ○ → ○ → ○ 丸 オーバル 丸 オーバル	○ → ○ → ○ → ○ オーバル オーバル オーバル オーバル
ガイド	丸 → オーバル: フリクションガイド オーバル → 丸: ローラーガイド	オーバル → オーバル: ローラーガイド

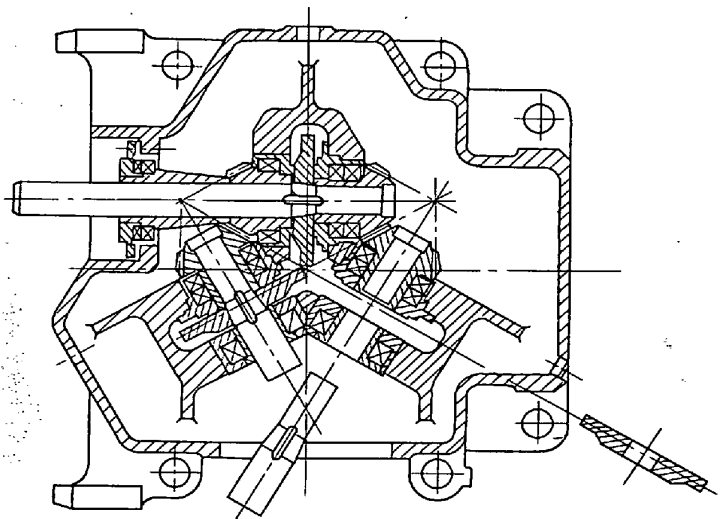
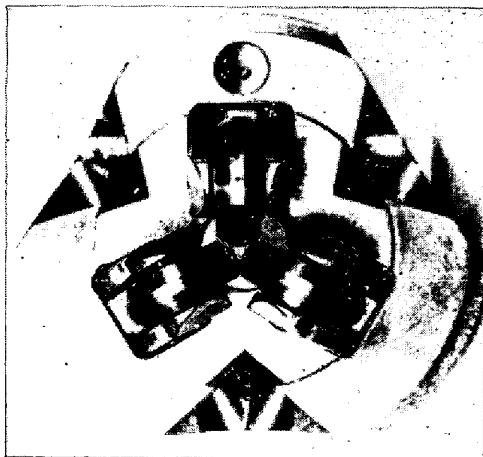


図30 Kocks 式 3 ロール圧延機

現在国内で稼働中の両ブロックミルの比較を表8に示す。

〔3ロール・ブロックミル〕(Three roll block mill)

今まで述べた圧延機がすべて2ロールであつたのに対し、変わった形式の圧延機が開発されている。3ロール・ブロックミルの開発は2ロール・ブロックミルよりも

早く、1954年 Kocks 社(アメリカ)によつて発表され、その後 Kocks 式圧延機¹⁰⁾¹¹⁾として知られるようになった。

Kocks 3ロールミルは3個のディスクロールをスタンドの中に 120° の角度で組込み、(図30)適当な数のスタンドを 180° ずつずらして組合わせたものである。圧延

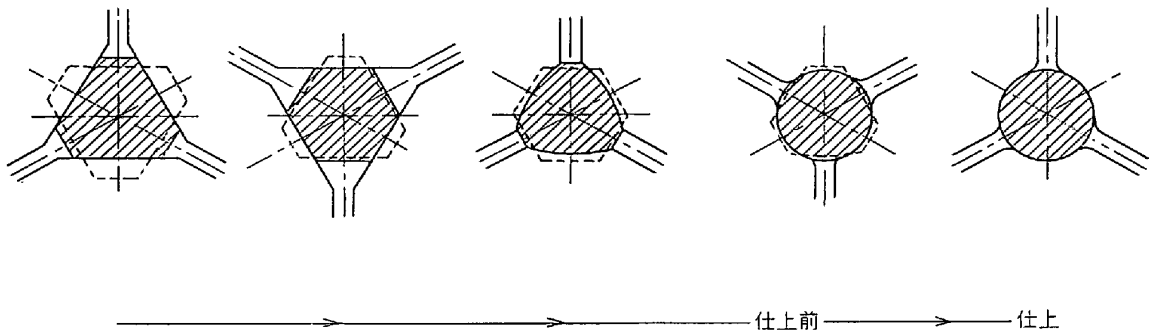


図31 Kocks 式圧延機のパススケジュール

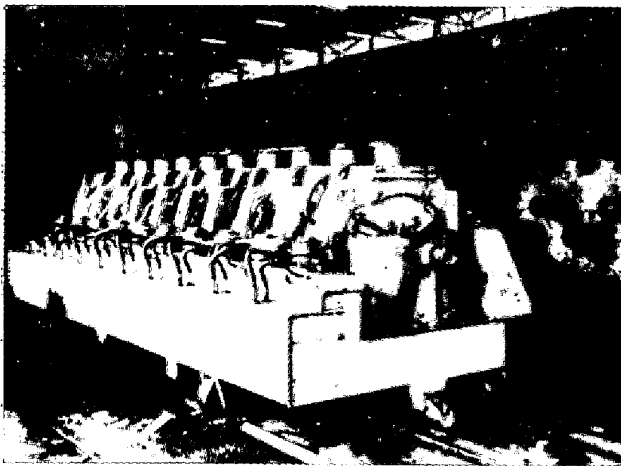


写真6 Kocks 式ブロックミル

可能な製品寸法は 5~80 mm φ, 最高仕上速度は 50m/sec で製品断面は丸はもちろん, 平, 角あるいはフィン付きも可能であり, つぎのような特徴を持っている.

- ① 孔型は図 31 に示すように, 成形スタンドを除けばすべて相似三角形であり, 圧延材はねじられることなく, 不等辺六角形の三つの辺が交互に圧延されることになり, 良好な表面と寸法精度の良い製品が得られる.
- ② 圧下調整装置はなく, 特殊なロール研磨盤によりロールスタンドに組込んだまま孔型を仕上げ, 各スタンドはオフ・ラインで移動式台車上にセットされた後, 台車ごと交換するのでロール交換は容易にかつ短時間でできる.
- ③ 粗, 中間および仕上の各グループは 3~13 のスタンド群から成り, 移動式台車にセットされた後それぞれの固定駆動部にセットされる. 各グループの駆動は普通は共通駆動であるが, 必要に応じていくつかのスタンドを各個駆動することもできる. また写真 6 に示されるように全体はコンパクトにまとめられている.
- ④ 圧下調整装置がなく, 共通駆動のため制御方式が

簡単になり, 運転が容易であるため, 粗, 中間および仕上の全グループの One man control が可能である.

4.1.2 ロールネック用軸受

ロールネック用軸受はガレット式や半連続式(線材), 複二重式圧延機(棒鋼)などの場合には圧搾木材や合成樹脂を使用することが多く, このような場合には軸受とロールネックとの潤滑に水を用いていた.(図32)

木材や合成樹脂の軸受は摩耗速度が早く, 圧延材の咬み込みによるショックなどで変形することも多く, 圧延材の寸法精度を著しく低下させ, また軸受の損耗による設備停止がしばしば発生し, 稼働率の向上をも妨げていた. その後, 寸法精度向上の必要性からしだいにコロガリ軸受が採用され, 連続式, 全連続式圧延機では全面的にコロガリ軸受が使用されるようになった. ロールネック用コロガリ軸受は駆動側と作業側とで異なる場合もあるが, 一例をあげればつぎのような形式のものが用いられる.(図33).

また近年は負荷容量が大きくて, 高速回転に強く, 耐摩耗性の良好な油膜軸受が実用化され, ブロックミルなどの高速回転部に用いられ効果をあげており, 従来のコロガリ軸受におけるベアリング洗浄の解消という利点を持ち, 今後の普及が期待される. 油膜軸受は圧延機のロ

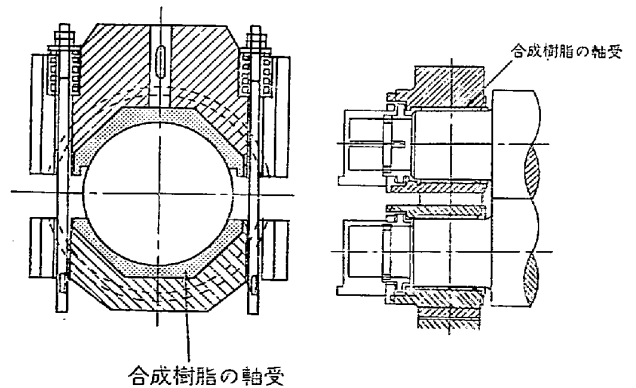


図32 合成樹脂軸受の一例

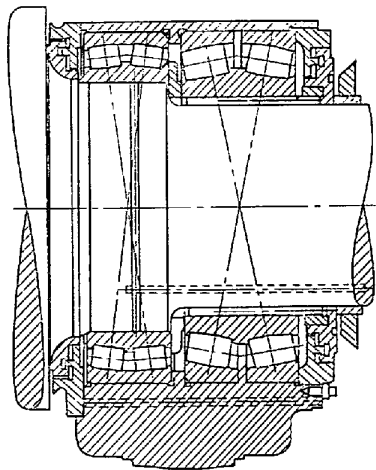


図33 コロガリ軸受の一例

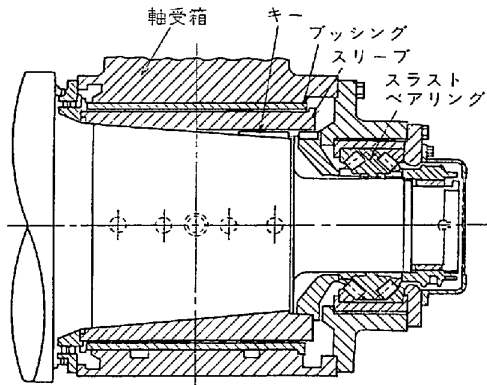


図34 油膜軸受の一例

ールネック軸受用として流体力学的潤滑理論に基づいて設計された軸受であり、モーゴイル軸受、メスタ軸受などが代表的なものである。モーゴイル軸受の構造を図34に示す。

油膜軸受の特徴として

- ① ロールネック径を大きくとることができ、負荷容量が増す。
- ② 軸受損失が少なく耐摩耗性に優れている。
- ③ 摩耗および材料の疲れがないため軸受寿命が長い。
- ④ ロールとの着脱は簡単であるが、組立、分解は精密度を要する。

などがあげられる。プッシング材質は Ni-Cd 合金、Al 合金などが用いられ、またスリーブは Ni-Cr 鋼、または Ni-Mo 鋼が多く用いられ、焼入れ鏡面仕上げをしたものである。メタルクリアランスは一般にスリーブ外径の 1/1 000 が標準である。また軸受の設計圧力は約 210 ~ 280 kg/cm² 程度で、プッシングの形状も油の吸い込みを良くし、油膜の形成を容易にするように工夫がこら

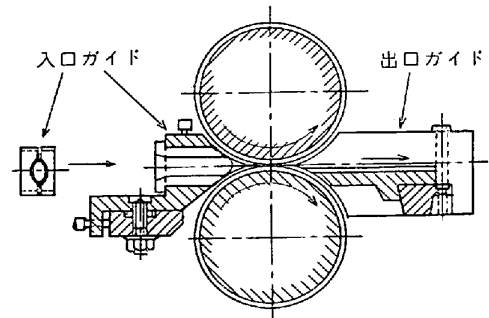


図35 丸鋼圧延用の固定ガイド

されている。

4.1.3 ガイド

圧延機には付属品としてスタンド前後面にガイドをつける。(図35)

これは圧延機をロール孔型に正確に誘導し、かつ鋼材の倒れを防止するために取りつけられるものである。従来は固定したガイド(図35参照)に圧延材を沿わせてロールに導く形のフリクションガイドであつたが、通常ガイドの材質が SC, FC, ダクタイル、リン青銅などであつたため当然のことながら熱間の圧延材摩擦によるすりきずやかききず、ガイドと圧延材との摩擦面に発生する焼付きによるきず、などを発生させやすいものであつた。またガイドと圧延機の間には相当の間隙があるため(隙がないと圧延機が詰りを起こす)、圧延材を正しくロール孔型に導くことがむずかしく、製品寸法精度上にも限界があつた。

昭和 25 年頃よりこのフリクションガイドに代わつてローラガイドが採用されるようになり事態は一変した。ローラガイドは文字どおりローラを用いて、しっかりと圧延材を保持してロール孔型に導くもので、表面きずの発生防止および寸法精度の向上にきわめて有利であり、棒鋼・線材圧延技術上画期的なものといえる。(図36)

しかしローラ自体の肌荒れや焼付きは、そのまま製品の表面品質に影響するので、ローラ材質の品質向上には絶えず努力が重ねられ、最近ではダクタイルから、超硬合金(タングステンカーバイド)など新材料が用いられるようになってきている。

このようにローラの寿命が飛躍的に向上すると、従来はローラの摩耗のためにガイド交換を行なつていたものが、今度はローラの回転を保持しているベアリングの寿命の方が短くなり、ベアリング交換のためにガイドをとり替えねばならなくなつてきている。またブロックミルなど高速回転を要するローラガイド用ベアリングの潤滑には従来のグリース潤滑に代わつてオイルミスト潤滑が採用されているが、ここでもベアリングの摩耗によるガイ

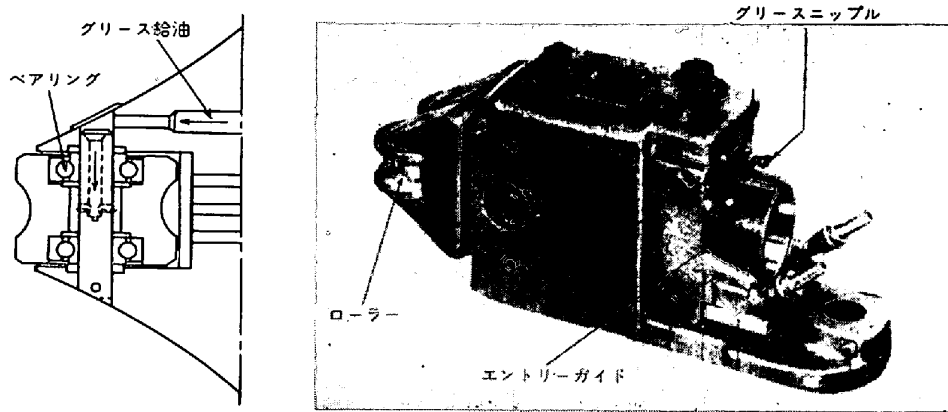


図36 ローラーガイドの一例
(a) Morgordshammar 社製ローラガイド (ベアリングはグリース潤滑)

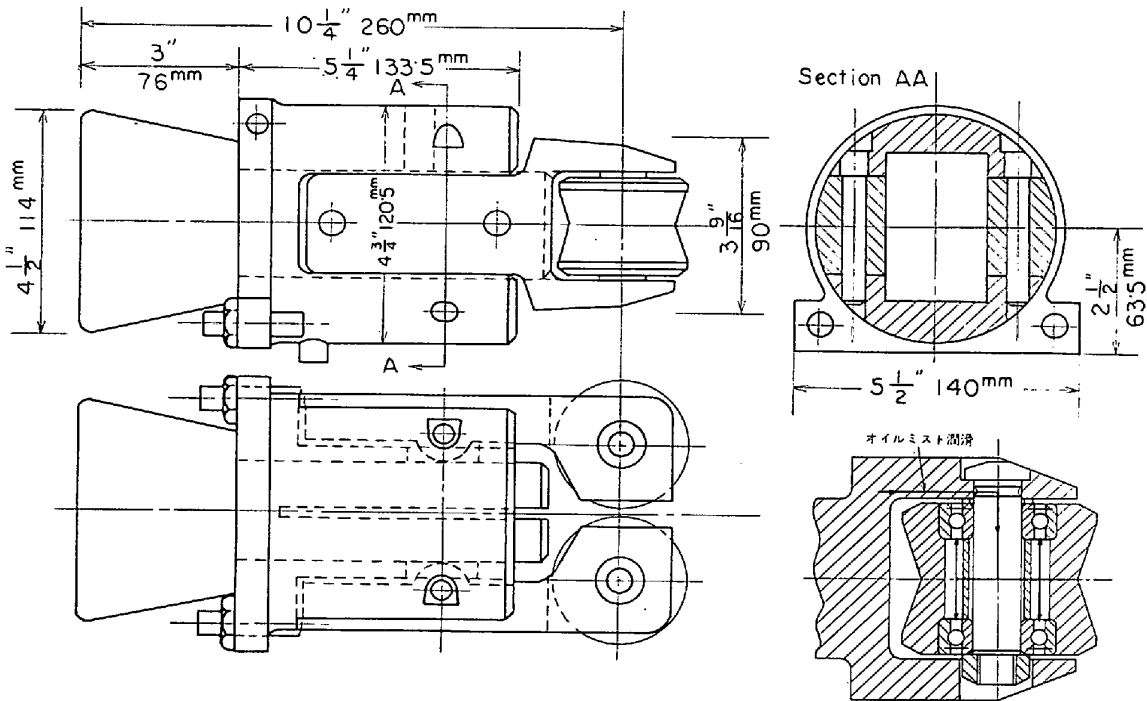


図36 ローラーガイドの一例
(b) Ashlow 社製ローラガイド (ベアリングはオイルミスト給油)

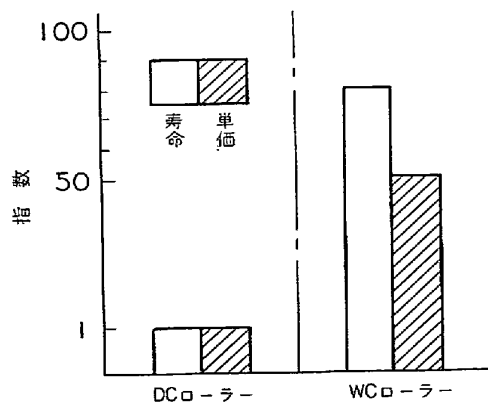


図37 ローラーガイド用ローラー材質の実績比較
 註1 “寿命” は購入～廃却まで (1回当りの耐用度も同程度)
 註2 “単価” は購入単価+再研摩費用

ド交換を行なっており、今後ローラの材質向上に見合ったベアリング寿命の延長対策が望まれている。

4.1.4 ロール材質と加工設備

(1) ロール材質

熱間圧延用ロールはとくにきびしい使用条件に耐えねばならないため一般的には強靱性、耐熱亀裂性、耐摩耗性が要求される。しかしながらロールは使用される場所、粗圧延と仕上圧延とではロールに必要な特性は著しく異なっており、また同種のみルでも圧延鋼種、サイズ、圧下スケジュール、水冷条件などの差によっても異なる。ロール材質はJISなどで法制化されておらず各メーカー独自の規格となつている。これを普遍化すると表9¹²⁾のように大別できる。これら圧延用ロールの表面状況が

表 9 ロールの分類とその特性

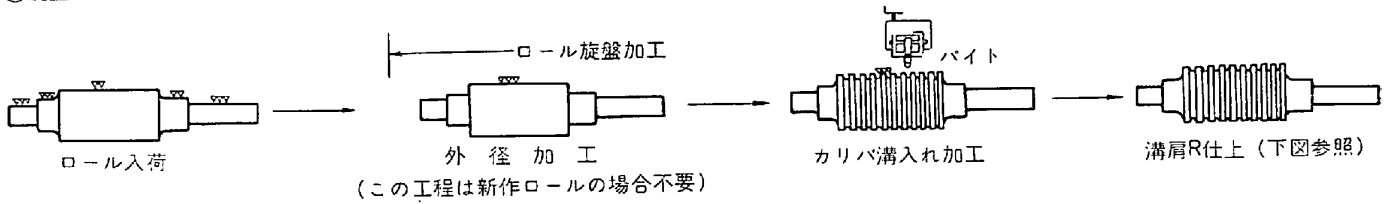
大分類	中分類	小分類	C%	その他の主要元素	胴部硬度 (Hs)	抗張力 (kg/mm ²)	伸び (%)	特徴	
造 鋼	鑄 鋼	普通鑄鋼	0.40 ~0.70		25~35	60~80	10~30	合金元素が入っていないので靱性はやや劣るが価格は低廉	
		低合金鑄鋼	0.40 ~0.80	Ni, Cr	28~38	60~90	2~20	強靱性, 耐衝撃性を有し, 熱処理により耐摩耗性を与えることができる.	
		高炭素鑄鋼	0.50 ~1.70	Cr	30~60	50~120	0~15	炭素量の増加により靱性はやや劣るが, 熱処理により高硬度耐摩耗性の高いものが可能.	
		複合鑄鋼	〃	〃	50~70	60~140	2~20	強烈的な熱処理により表面は高硬度耐摩耗性が高く, 内部は靱性の高いものが可能.	
		黒鉛鑄鋼	1.10 ~2.10	Si, Cr	30~50	50~100	0~15	強靱でかつ耐摩耗, 耐熱衝撃性にすぐれたものが可能	
		アダマイト	1.30 ~2.30	Ni, Cr	30~55	30~100	0~6	靱性は若干低下するが特殊な熱処理により著しい耐摩耗性を付与することが可能.	
	チルド系	複合アダマイト	〃	〃	50~75	40~120	0~15	複合鑄鋼と同じ.	
		低合金チルド	3.00 ~3.60	Ni, Cr	65~75	15~25	0~0.5	白鉄組織を呈しとくにすぐれた耐摩耗性と美しい表肌を有している.	
		中合金チルド	〃	〃	70~80	20~30	〃		
	高合金チルド	〃	〃	75~85	25~35	0~1.0			
	系	グレン系	普通グレン	2.70 ~3.20	Ni, Cr	35~45	20~35	0~0.5	低廉で耐摩耗性が良好である.
			低合金グレン	3.00 ~3.40	〃	55~65	20~30	〃	〃
中合金グレン			〃	〃	65~75	20~35	〃	中抜きをすることにより, 胴部が高硬度で軸部は強靱で, 外層と内層が結合し衝撃と応力に対して強い.	
高合金グレン			〃	〃	70~85	15~30	0~1.0	〃	
ダクタイル			3.00 ~3.60	Si, Ni, Cr, Mg	30~80	30~60	0~2.0	強靱な球状黒鉛鑄鉄で各種ロールに適す.	
造 鍛	鍛鋼系	普通鍛鋼	0.40 ~0.60		28~40	60~80	>15	すぐれた靱性と耐摩耗性を有し, 合金元素の添加により, 所要硬度深度を得ることが可能である.	
		特殊鍛鋼	0.50 ~1.70	Cr	30~55	70~90	>8		
	鍛鋼焼入系	鍛造焼入	0.70 ~1.00	Cr, Mo	90~100	>100	15~30	非常に高硬度でむらがなく, かつ靱性に富み, すぐれた耐摩耗性を有している.	
		ダイス鋼	1.50 ~2.00	〃	80~85	—	—		
		高速度鋼	〃 20	〃	〃	—	—		
	焼合金	タングステンカーバイド	0.40 ~0.60	Mo, Cr, W	95~110	—	—	〃	
系	鍛造鑄鉄系	鍛造アダマイト	1.60 ~2.40	Cr	33~55	60~95	3~13	Kal. 形状の点からとくに耐折損性, 耐摩耗性にすぐれている.	
		鍛造鑄鉄	2.40 ~3.40	Ni, Cr	38~70	55~80	2~6		
		特殊鍛造鑄鉄	2.00 ~3.50	Ni, Cr, V, W	45~90	55~85	1~8	とくに耐摩耗性, および耐肌荒れ性にすぐれている.	

(注) 上表は一般的なものであり, 使用条件, ロール形式などに応じて成分, 硬さなど加減される.

製品の表面品質に与える影響は当然のことながらきわめて大きい. このため, とくに直接影響を与える仕上スタンドおよびその直前の数台のスタンドでは, 圧延による孔型の摩耗変形が少なく, また孔型の肌荒れが少ないものが強く要求され, 一般にはロール表面硬度の高い, ダクタイル鑄鉄, 合金チルドロールが採用されている. 最

近のブロックミルなどでは耐摩耗性, 耐肌荒性を兼ね備えた焼結合金ロール(タングステンカーバイド)(合金チルドロールに比べて約 10 倍のカリバー寿命)が実用化され, 表面品質の向上とともにミルの生産性向上に役立つている.

①旋盤によるカリバ切削工程



②研削盤によるカリバ切削工程

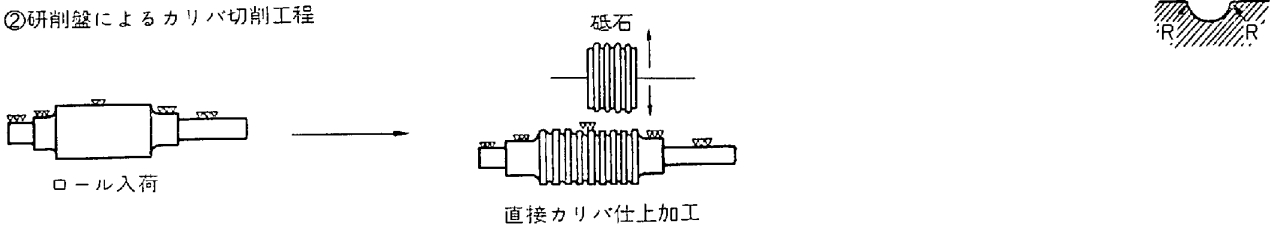


図38 ロールカリパー (孔型) 加工工程の比較

(2) ロール加工設備

棒鋼・線材の圧延ロールは1本のロールに通常十数本から数十本の孔型(カリパー)が切削されており、この孔型の寸法、形状精度が直接製品品質に大きな影響を与える。従来この孔型は旋盤で1本ずつ加工され、しかもゲージによりチェックを行ないながらバイトを手送りして成形加工を行なっていたためロール加工には高度の技術と勤を必要とした。このような加工方法では

- ① 旋盤1台に作業員が1名必要
- ② 作業員の技術の差による孔型精度、寸法、切削スピードのバラツキ
- ③ 同一ロールの孔型でも寸法、精度にバラツキを生ずる。

などの欠点があり、最近ではロール旋盤はほとんどがNC化の方向をとっており、省力化、孔型仕上寸法、精度の均一化をはかるようになってきている。

もう一つの合理化はロール研削盤の普及である。棒鋼・線材の圧延ロールには、1本のロールに数種類の寸法の異なる孔型を切削する場合と仕上げ列、多本通しロールのように1本のロールに同じ孔型を十数本から数十本切削する場合とがある。前者および比較的大きなロールについてはNC旋盤により切削を行なうが、後者についてはロール研削盤を採用することにより、省力化と孔型精度の向上および均一化がはかれる。すなわち図38に示すように砥石を用いたロール研削盤により孔型およびロール外周部を同時に総型押込研削を行なうことにより、従来のバイトにより1本ずつ切削する旋盤に比べて大幅な省力化と4~6倍の能率向上をはかりしかも研削および砥石の成形を自動サイクルで行ない、さらにロー

ル加工精度についても格段の向上が可能となつている。

つぎに、ロール材質の変遷にともなつて近年仕上ブロックミルなどに採用されるようになったタンゲステンカーバイド(WC)ロールの孔型加工については、従来とは全く異なる方法が採られている。

すなわち、WCロールは $H_{R(a)}85$ の硬度を有しているため工具鋼による機械的な加工は不能であり、砥石による研削か電解作用を併用する電解研削あるいは放電加工のような方法を探らざるを得ない。WCのような超硬ロール加工に現在行なわれている方法を整理するとつぎのようになる。

機械切削	{ プランジ { カット { トラバー { スカット	{ 成形したダイヤ砥石を使用 { 成形したグラファイト砥石を使用 { テーププレート式 { 投影式
------	-------------------------------------	--

電解研削	{ 成形したダイヤ砥石 { 成形した砥粒入りグラファイト砥石
------	-----------------------------------

超硬ロールを使用している世界各国の線材工場ではそれぞれの事情により上記の加工方法のいずれかを選択しているが、現在のところこれが最良であるという決定的な方法はない。これは超硬ロールの採用年数が浅いことと加工方法にそれぞれ一長一短があるためである。国内各社はほとんどが電解研削を採用している。

電解研削の原理は図39に示すように電解液中に2つの電極を置き、これに直流電圧を加えると、陽極側は溶出し、陰極側に析出する。

電解研削の加工原理はこの現象を利用したもので金属の電気分解により電気化学的に加工するものである。実際の研削は電解作用と砥石による機械的研削の併用であり、電解作用によるものが80~90%、砥粒による機械的研削作用が10~20%である。

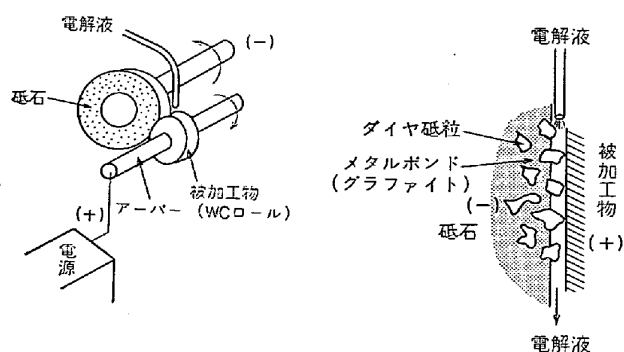


図39 電解研削の原理

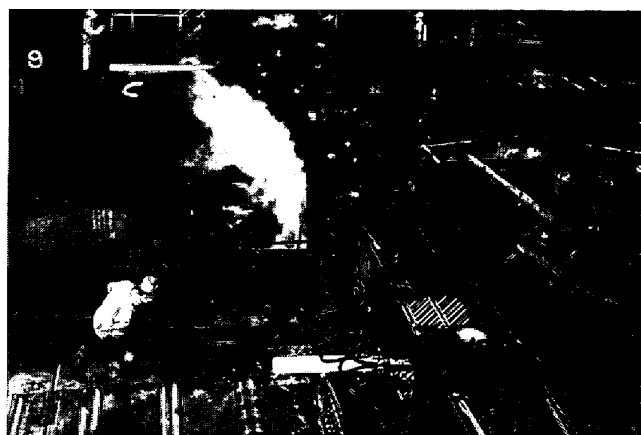


写真7 チルチングテーブル上の箸取作業

4.2 付帯設備

4.2.1 加熱炉

加熱炉の進歩について詳細は第10章で述べられるので、ここでは棒鋼・線材の品質向上に関連した内容について簡単に述べることにする。

加熱炉が製品品質に与える要素としては

- (1) スキッドマークによる寸法不良、表面割れ、
- (2) 炉内の移動においてプッシャーで押されることによる鋼片下面のすりきず
- (3) 燃焼管理不良による脱炭、焼割れ

などがおもなものである。

昭和30年以前の棒鋼・線材用加熱炉は水冷スキッド、プッシャー型、勘にたよる燃焼管理、がほとんどであったため前記(1)、(2)、(3)のすべてにわたって悪条件が重なっていたといえる。

すなわち、水冷スキッドにおいては加熱中の鋼片の下面でスキッドに接触する部分は周囲に比べて温度が低く、炉から抽出された時点で肉眼ではつきりわかるほど黒いマークがついており、これをスキッドマークと呼ぶ。このスキッドマーク部は圧延に際して、よく加熱された他の部分に比べて延性、展性が劣るため寸法不良、表面ひび割れ、を生ずる原因になっていた。この水冷スキッドはThermo式加熱炉(昭和30年)におけるドライスキッド(特殊耐熱煉瓦)の採用によりほぼ解決され、続いて開発された揺動炉床式加熱炉(昭和38年)によってより一層の改善がはかられた。またプッシャー式押し出し方式による加熱材料下面とスキッドとの摩擦によるすりきずの問題も揺動炉床炉により解決された。

加熱炉の燃焼管理不良による脱炭、焼割れの問題は高合金鋼種の増加にともない大きな問題となるが、最近では自動燃焼制御装置の発達と鋼種に応じた加熱技術標準の確立によりこの種のトラブルは激減している。

4.2.2 搬送設備(圧延機前後面)

棒鋼・線材圧延とも粗列に3重圧延機を使用している

工場はスタンドの前後面にチルチングテーブルを設置したが、このテーブル上に箸取作業者を必要とした。(写真7)(チルチングテーブルのない工場では梃子と箸を用いた人力により操業していた)

この箸取作業はガレット式または半連続式圧延機における箸取作業と同様多数の要因を必要としていたが、ここ10年間の油圧技術および自動化技術の進歩、開発により3重圧延機の前後面の箸取作業もなくなり、大きな省力化がはかられた。

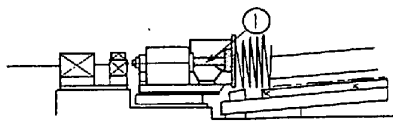
4.2.3 精整設備

棒鋼の精整設備は、切断設備としては定寸機、熱間鋸断機(ホットソー)、冷間切断機(コールドシャー)が主体であり、冷却設備としては冷却床がある。これらの設備についてはとくに著しい技術開発は行なわれていないが、設備全体について自動化、省力化が進められている。棒鋼の精整設備の中では切断後の製品処理設備の開発が顕著であり、自動計数装置、長さの異なる製品の撰別装置、自動結束装置などが開発され実用化されている。また、最近ではホットソー切断後の製品に残るバリ(カエリともいう)を自動的に除去する棒鋼自動面取機などが開発され工数低減に資している。

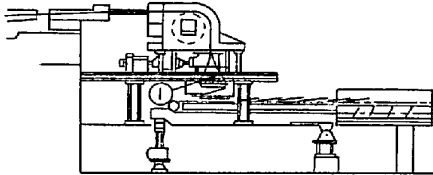
総じて棒鋼の精整設備は省力化、自動化を主体とした設備開発が進められているといえる。

線材の精整設備としては巻線機、搬送設備と結束機がおもなものである。巻線機としては従来から使用されているポーリングリール、レーイングリール、および両者を組合わせたコンバインドリールに加えて、最近では仕上ブロックミルを採用した高速圧延機の場合には速度の問題および冷却処理の関係からループプレイヤーまたはレーイングコーンと呼ばれるループ形成装置を備えるようになってきている。

コイルの搬送設備は、巻線機で巻き終ったコイルを製



(a) シュレーマン式ループレイヤー



(b) ステルモア式レーイングコイル

図40 ループレイヤーとレーイングコイル



写真8 線材の自動結束機

品置場まで運搬する設備であり、チェーンコンベア、ウォーキングビーム・コンベア、フックコンベアなどがある。通常この中ではフックコンベアが最も距離が長く、搬送中にコイルを冷却し、寸法検査と表面きずチェックが行なえるように搬送スピードとレイアウトとが考慮されている。従来は一連のワイヤロープまたはチェーンに一定間隔のフックを取り付け、1フックに1コイルを吊り下げて全体を1台の電動機で駆動、冷却していたが、最近建設される工場では任意の位置で特定コイルだけを停止させることのできるパワーアンドフリー方式またはモノレール式(1フックに1モータ)のフックコンベアを採用し、入念な検査体制と、後工程(結束機など)でのトラブル発生時に圧延を停止することなく、トラブル解決まで特定数のフックを停止させうる体制がとられている。

近年新しく登場したものに結束設備がある。従来の小コイルは、なまし鉄線により人力で結束(3~4カ所/コイル)していたが、最近のようにコイル単重が増大し、製品寸法が大きくなるにしたがい、人力による締め付けでは及ばなくなりコイル結束機、とくに自動結束機(写真8)の普及がはかられており省力化の面でも大きな効果

をあげている。

すなわち、コイル単重が500kg程度を越えるようになると、人力による結束では締付力不足のため運搬の途中で荷くずれが生じやすい。そこで今日の1000kg~2000kgのコイルでは油圧または電動機を用いた自動結束機により、1束ごとに結束し、さらに長距離輸送の場合(とくに輸出材)には数束のコイルをまとめて鋼製のフープでユニタイズバンドルをして出荷している。

またコイル単重の増大とともにコイル自体の重量のため、搬送中にすりきずを発生する可能性が多くなるため、巻き取り後出荷にいたる各搬送設備および輸送途中に発生するきずに対してもそれぞれ対策が講じられている。

4.2.4 電気設備

今まで述べたような高速圧延およびループ自動制御など線材圧延技術の発展は、電動機回転制御をはじめとする電気設備、技術の開発、進歩に負うところが非常に大きい。

まず圧延機関係については、従来の圧延機設備が交流電動機による駆動であつたため製品寸法に対応した速度変換、ループ制御ができずこれが寸法精度およびコイル単重の限界要因として大きな影響を与えていた。

制御装置の発展により直流電動機が採用されるようになったため、スタンド間に生ずるわずかなループを敏感に検知し、電動機の回転を迅速かつ微細に調整することによつて、圧延中の熱鋼を引張ることなく圧延することに成功したのをはじめ、近年はループの発生しない太い圧延材をタンデム配列で引張りなしに圧延する方法としてロードリレーまたは熱鋼圧延中に生ずる電動機の負荷電流値によりロール回転数の調整を自動的に行なう方法が採用されている。

直流電動機の世界速度制御を水銀整流器で行なう、いわゆる静止レオナード方式の登場は従来の電動発電機を用いた方法に比べて、共通母線の場合にも、個別運転を行なう場合にも据付面積の減少、保守費の低減などの利点があり、また能率ことに無負荷および軽負荷時の能率が従来の電動発電機に比べてはるかに良いので、圧延機のように断続負荷が繰り返される用途にはとくに適しており広く歓迎された。

さらに仕上げスタンドでは制御の精度および応動速度に対する要求がきわめて苛酷であり、従来の電動発電機ではその要求に応ずることは不可能であつた。

電気設備技術の最近の発展はめざましく、水銀整流器に代つてサイリスタ(SCR=Silicon Controlled Rectifier)を用いたサイリスタレオナード方式が近年急速に伸びて

いる。サイリスタ装置は従来の電動発電機および水銀整流器に比べて種々のすぐれた特徴（たとえばコンパクトで設備費が安く、保全が簡単であり、周囲の温度にも強く水銀整流器のもつバックファイヤという難題を解決したなど）をもっているため昭和 41 年から 43 年の 2 年間に一気に増大し、電動発電機および水銀整流器と完全に交替した。

また線材の巻線機は仕上げ速度と巻き取り速度とを同期させる必要があり、昭和 30 年以前の設備ではこれらの駆動には交流電動機が用いられた関係上、精密な速度制御が不可能で、そのためコイルの径、形状ともある程度以上すぐれたものを得ることは困難であった。しかし昭和 30 年頃を境にして、圧延用電動機と同様直流電動機を導入することにより、高速で圧延される線材をすぐれた形に巻き取ることが可能となった。さらにコイル単重の増大化にもなつて、コイル使用時にもつれが生じないように巻き取り速度を設定スピードに対して一定周期で、連続的にわずかに変化させることにより、線材に波動を与えてコイルの充填率を向上すると同時に、もつれの問題も解消できるようになつている。

5. 新技術の開発

圧延機配置、圧延設備、付帯設備の進歩に劣らず製品の付加価値を高め、品質向上、工程省略に資する各種の新技術が研究、開発され、実用化されるにいたつている。ここではその中のおもなものについて紹介することにする。

5.1 直接熱処理線材冷却技術および設備（線材）

熱間圧延された線材の多くは、次工程で伸線機により伸線されて使用される。この伸線工程に入る前処理として線材の表面に付着しているスケールの除去を行なう必要があり、酸洗またはメカニカルデスクレーンによりスケール除去が行なわれている。

一方コイル単重の増大化と太番線材の増加は、熱間圧延された線材の巻き取り後の温度の降下を鈍化させ表面スケール量を増大させるという問題を生じていた。これに対しては仕上スタンドと巻線機の間には水冷トラフを設置し $5\sim 15\text{ kg/cm}^2$ 程度の水を噴射して冷却を行ない、 $5.5\text{ mm } \phi$ の線材なら 1000°C から $650\sim 700^\circ\text{C}$ まで冷却できる能力を有し、また太番線材など冷却速度の遅い線材には巻き取り後、プレートコンベアなどで移送中に風冷またはミスト冷却を行なうなどの努力が払われてきた。

このようなスケール問題とともに、硬鋼線材などは伸線工程において途中で熱処理することなく、 $5.5\text{ mm } \phi$

の線材から $2.2\sim 1.8\text{ mm } \phi$ 程度の鋼線にまで伸線できること（生引き）が望ましい、という品質要求がある。

これらの条件を満たすものとして直接熱処理線材冷却技術および設備（ダイレクトパテンティング）が開発された。また、スケールの減少と生引き性の改善に加えて、良好な伸線性を有する線材は、全長にわたる機械的性質や金属組織が均一でなければならず、このため伸線前の熱処理として鉛パテンティングまたは空気パテンティング処理を行なうのが通例であつた。

しかし、近年圧延時の余熱（仕上スタンド通過後の線材がもっている 1000°C 程度の熱）を利用して冷却速度を制御し、パテンティング処理を施した線材と同程度の品質の線材を圧延工場で生産する方法が開発され、実用化されるようになり、これを直接熱処理冷却法（コントロールクーリング、ダイレクトパテンティング）と呼んでいる。

具体的なものとしては、国内においても各社が独自の方式で開発を行なつており、新日鉄の DP 線材、神戸製鋼所の KP 線材、住友電工の ED 線材、などそれぞれ独自の技術開発によるものであるが、その技術は今のところ広く普及されてはいない。

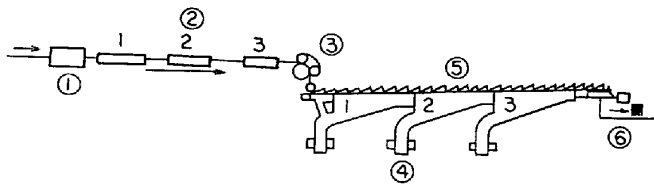
最も広く行なわれている方法は Steel Company of Canada（カナダ）と Morgan Construction Company（アメリカ）との共同開発によるステルモア法¹³⁾（Stelmor process）と Schloemann A. G.（西ドイツ）の開発したシュレーマン法¹⁴⁾である。日本でこのコントロールクーリング設備が本格的に稼働し始めたのは昭和 40 年以降である。

両方式とも圧延直後の線材の温度（約 1000°C ）をコントロールしながら下げることによりパテンティング処理に匹敵する機械的性質と組織を得ようとする点では一致しているが、その方法に若干の相違が見られる。

ステルモア法では図 41 に示すように水冷帯を通過した線材の品質を強制空冷帯の風量調節によりコントロールするのに対し、シュレーマン法では水冷帯において制御冷却し、冷却コンベアでは自然空冷を行なう、という考え方である。すなわち、コントロールの重点がステルモア法では空冷帯、シュレーマン法では水冷帯、ということが出来る。

コントロールクーリングによる線材品質を従来の圧延設備によるもの、空気パテンティング処理をしたものと比較した一例をつぎに示す。

図表 10 にも示されるように空気パテンティング材と比較しても遜色のない品質が得られており、今後の細番線材工場では不可欠の設備であるといつてよい。参考とし



①仕上スタンド ②水冷帯 ③チェンガイドおよびレイ
ングゴーン ④ファン ⑤強制空冷帯 ⑥コイル成形装置

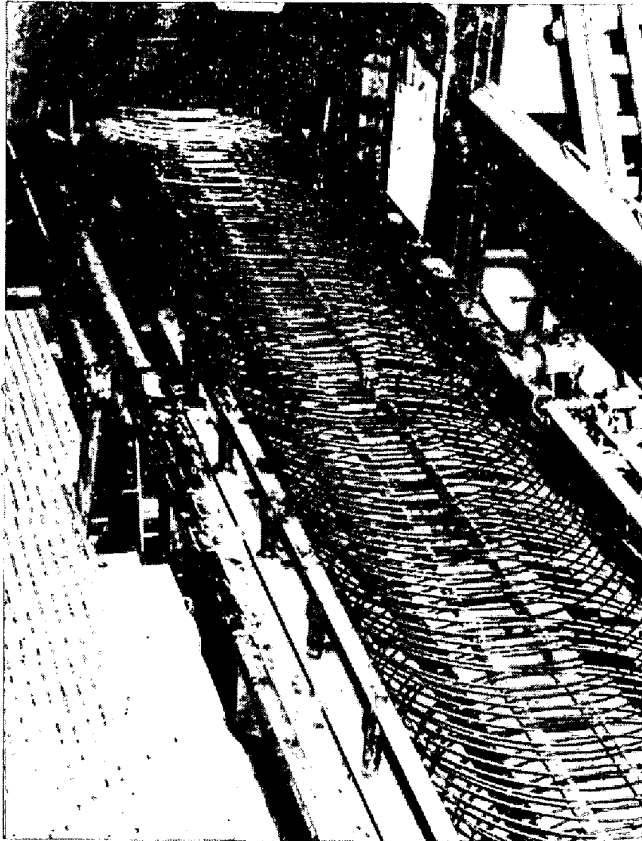


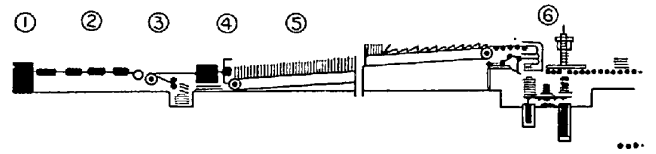
図41 ステルモア式
直接熱処理線材冷却設備

て図 43 にコントロールドクーリング材, エアパテ
ンティング材, 通常材の冷却曲線を TTT 曲線上に示す。

5.2 精密圧延 (棒鋼)

精密圧延材として生産しているのは主としてばね鋼
(丸鋼)であるがばね鋼においてなぜ精密圧延材が必要に
なつたかという点、従来コイルばね、トーションバーな
どは線材から引抜きをして造つていたため価格の面で国
際的に競争力が弱く、どうしても as roll ~ 二次加工の
工程におけるコストダウンの必要性が生まれた。図44に
コイルばね製造工程の比較を示す。

この工程を見てもわかるように精密圧延材を使用する
ことにより、従来の“焼鈍”および“引抜き”工程が省
略されるため(矯正のコストは小さい)大幅なコストダ
ウンが達成できる。



①仕上スタンド ②水冷帯 ③チョッパー付カップシャ
④ループレヤー ⑤冷却コンベヤ ⑥コイル形成・結
束装置

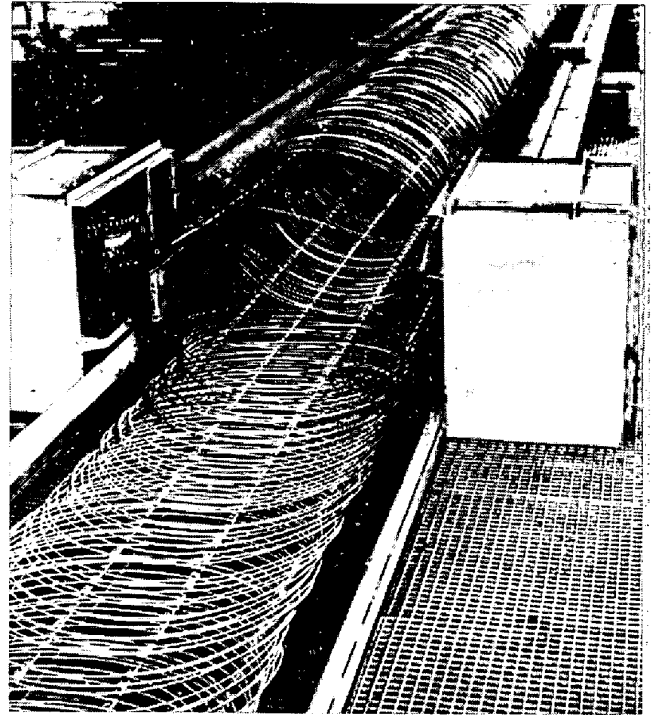


図42 シュレーマン式
直接熱処理線材冷却設備

精密圧延材の製造方法は各社により異なるが Pre-
stressed stand を採用した Moeller & Neumann 社製
の圧延機によるものおよび仕上スタンドの後に特殊型
スタンドを設置したもの、などが知られている。

一般に丸鋼の寸法精度を左右する要因は

- ① スタンド, ロールショックの剛性
- ② 熱鋼のロール孔型への正しい誘導
- ③ 圧延温度の均一性 (圧延材の全長にわたつて)
- ④ 圧延時の通し本数
- ⑤ 各スタンド間の圧延材の張力
- ⑥ ロールバレルの長短
- ⑦ パススケジュールと孔型設計
- ⑧ 孔型形成精度 (ロールへの孔型切削)

などが考えられるが、各社ともこれらの要因をよく検
討し、均一な加熱, 1本通し圧延, パススケジュールお
よび孔型の改善, 孔型加工技術の向上, などに留意した
結果満足できる寸法精度の製品を生産することができる

表 10 直接熱処理線材，通常線材，エアパテンティング線材の機械的性質，金属組織およびスケール量の比較

コイル No	引張強さ [kg/mm ²]	絞り率 [%]	ラメラパー ライトの占 める比率	スケール厚み [mm]				
				FeO	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃	合計	
通常の巻き取りによる冷却	1	92.5	46.3	25	0.0051	0.0051	0.0025	0.0127
	2	95.1	45.8	25	0.0127	0.0051	0.0025	0.0203
	3	90.0	38.2	25	0.0076	0.0025	0.0025	0.0126
	4	93.2	47.4	25	0.0064	0.0051	0.0013	0.0128
	5	91.1	44.2	25	0.0102	0.0051	0.0025	0.0178
	6	92.1	48.7	25	0.0102	0.0025	0.0013	0.0140
制御冷却法による冷却 (ステルモア法)	1	107.9	58.9	10~15	0.0064	0.0028	0.0013	0.0105
	2	106.9	55.4	10~15	0.0064	0.0038	0.0013	0.0115
	3	103.1	55.4	10~15	0.0089	0.0038	0.0013	0.0140
	4	106.9	58.9	10	0.0025	0.0038	0.0013	0.0076
	5	106.6	55.7	10	0.0064	0.0025	0.0013	0.0102
	6	105.6	55.4	10	0.0089	0.0025	0.0013	0.0127
エアパテンティング	1	101.0	55.4	15~20	0.0318	0.0064	0.0025	0.0407
	2	101.5	52.0	10~20	0.0315	0.0064	0.0025	0.0404
	3	100.3	53.0	10~20	0.0330	0.0051	0.0013	0.0394
	4	102.5	51.1	10~20	0.0318	0.0064	0.0013	0.0395
	5	100.3	56.7	10~20	0.0254	0.0064	0.0013	0.0331
	6	99.3	54.7	10~20	0.0318	0.0064	0.0013	0.0395

注：U.S. PATENT より

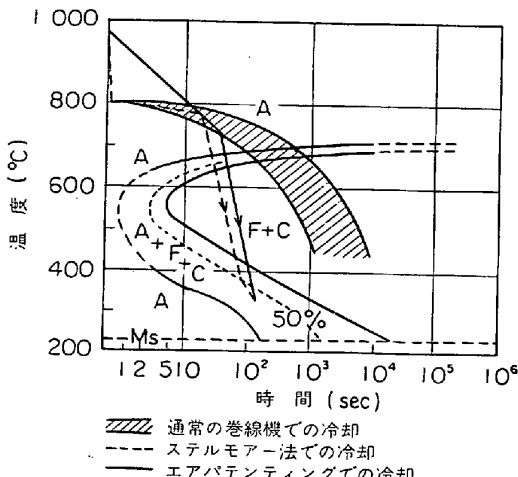


図43 線材の冷却方法の比較
(C : 0.79%, Mn : 0.76%)

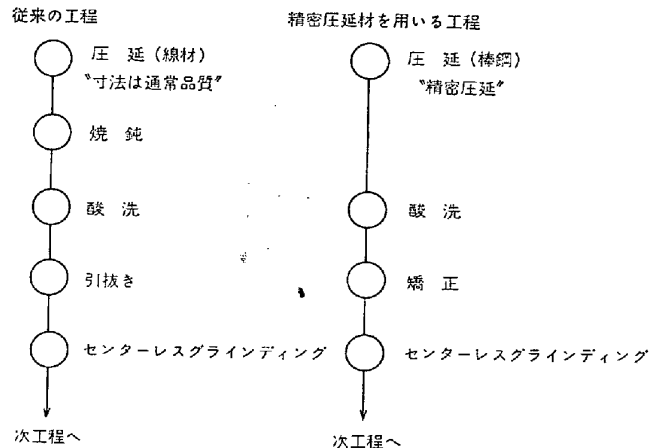


図44 コイルバネ製造工程の比較

ようになり，圧延技術の向上とともに二次加工における大幅なコストダウンを達成することができた。

〔精密圧延材に要求される条件〕

- ① 寸法精度
許容差 ±0.10 mm，偏径差 0.10 mm 以下
- ② 表面きず
ないこと。(寸法許容差が ±0.10 mm であるためきずがあつてもきず取り代がない)
- ③ 曲り
1 mm/m 以下 (センターレスグラインディング 1 回 (削り代 : 0.10~0.20 mm) で製品寸法が (+0.08 mm, -0.00 mm) の公差内に入り，as roll

材の黒皮が残らないこと，を満足するような真直性)

5.3 冷間きず検出装置 (棒鋼)

従来棒鋼製品の表面欠陥の探傷は冷間で行なわれており，黒皮のままの探傷法では目視検査法，蛍光磁粉探傷法が一般的である。

目視検査はその名のとおり人間の目により欠陥の検出，判定を行なうものであり，また蛍光磁粉探傷は目視では検出困難な黒皮表面の割れ欠陥を，欠陥部に付着した磁粉に紫外線を照射したとき磁粉の放つ蛍光によりきず判定を行なうものであるが，本質的には目視検査である。

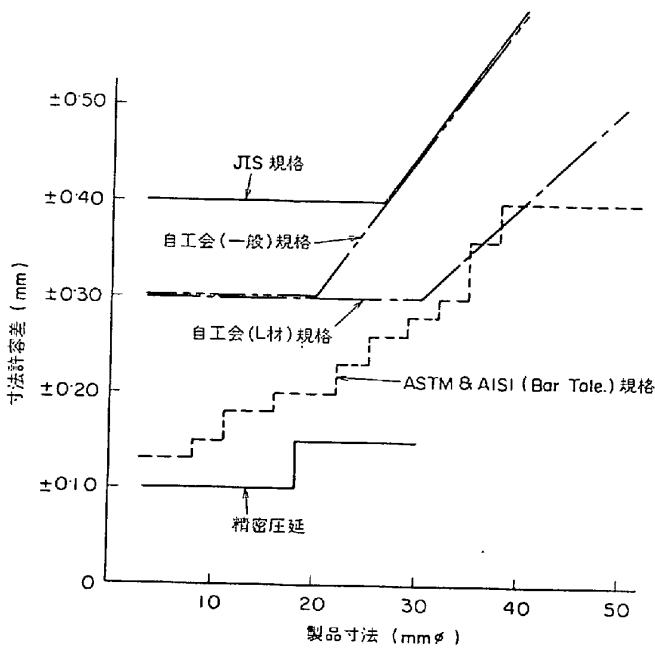


図45 各種規格による寸法許容差の比較

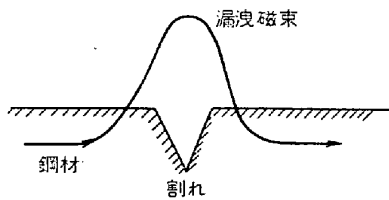


図46 欠陥部の漏洩磁束

これらの検査方法は簡便ではあるが、つぎのような欠点がある。

- ① 判定は作業員の熟練度、技量に依存しており、客観的な検査は不可能である。
- ② きず検出は行なえるがきずの深さを知ることは不可能であり、定量的な判定はできない。
- ③ 検査速度が遅いため圧延速度に応じた検査処理ができない。
- ④ 蛍光磁気探傷は紫外線熱射を行なうため暗室で作業を行なわねばならず作業環境が悪い。

最近これらの欠点を改め、定量判定を行ない、客観的な検査を可能にする連続自動探傷技術が種々開発されてきた。中でも被検材を磁化したとききず部から生ずる欠陥漏洩磁束を半導体磁気検出子を用いて検出する自動磁気探傷法¹⁵⁾がよく知られている。

これは割れなどの欠陥を有する鋼材に割れと直角の方向の磁束が通るように磁化すると図46のように欠陥から磁束が漏洩することを利用して、鋼材表面のきずを検出するものである。

自動磁気探傷の原理は図47に示すようなもので被検

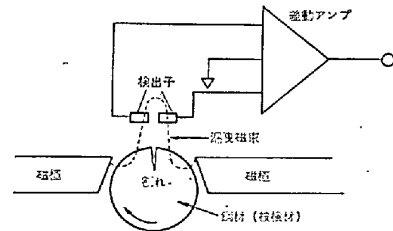


図47 自動磁気探傷の原理

査材に径方向磁化を行ない、軸方向の割れなどから漏洩する磁束を2個の検出子を差動に用いて検出するものである。被検査材は磁化用交流マグネット磁極間で回転させながら移動させ、被検査材表面を検出子がスパイラル走査するようにする。この方法で0.1mm深さ以上の割れきずを $S/N \geq 5$ で検出でき、処理能力も50mmφで25t/hr、100mmφで70t/hrが得られる。軸方向の割れきず、折れ込みきずの検出が黒皮状態のままでも可能であり、またきず部のマーキングもできるため従来の蛍光磁粉探傷に置き換える可能性がある。

5.4 熱間きず検出装置 (棒鋼・線材)

5.3でも述べたように、従来棒鋼・線材製品の表面きずについては熱間サンプルによるきずチェックは別として、ほとんどが冷間でのきず見およびきず取りであった。

最近きず発生を早期に発見し、処置をとるために熱間でのきず探傷装置が開発されている。中でも熱間圧延黒皮棒鋼を圧延工場でのオンラインの検査を行なうことを目的とした貫通型渦流探傷法がよく知られている。

この探傷法の原理は、一般に交流を通じたコイルに発生する交番磁界中に金属を置くと、金属中に磁界を打消す方向に渦電流が生じ、この渦電流の変化をコイルのインピーダンスの変化として取り出すことができる、という原理を応用したもので図48に示すように2個の近接したコイルの2つのポイントに発生する渦電流の差を検出する自己比較法を採用している。すなわち、圧延材が入ったとき、2つのポイントに差がない場合にはバランスして $(+)+(-)=0$ となつていますが、一方のコイルに欠陥が入ってくると、2つのコイル間に差を生じ、非平衡電圧が変化する。これを欠陥シグナルとして検出するのである。

この方法が他の非破壊検査法に比較してすぐれている点は、すべて電気的な信号のみで処理するため高速探傷、自動探傷の適用が容易であることである。この方法について各種の実験が行なわれ、へげ、カブサリ、虫くい、ロールきず、など一定以上の大きさの、独立したき

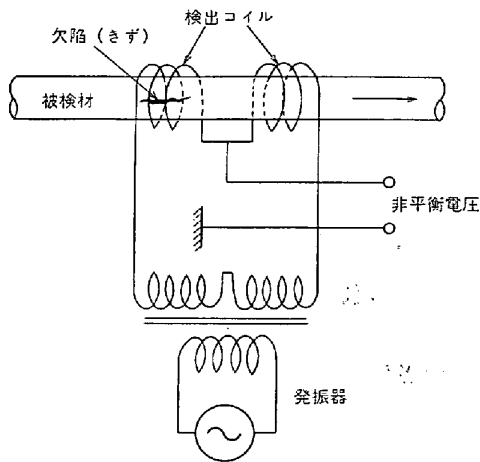


図48 貫通型渦流探傷法の原理
(自己比較法)

ずに対してはこれを検出し、チャートに記録することによりきず発生の有無を知ることができるようになった。ただし、この方法では一定深さの、長い線状きずの検出は困難である。

しかしながら、現状では検出したきずが製品のどの位置にあるかを自動的にマークするまでにはいたっていないため、実際のきず取り作業には直結していない。

したがって、現状ではきずが発生したかどうかを知るための工程管理用に主として使用しており、今後熱間または温間(棒鋼)での正確なきず部マーキング技術の開発が望まれる。

線材については、一般的にはきず取りは行なわれないため工程管理用として使用できれば十分であり、すでに実用化され、きずをランク分けして処置をとるようにしている。

5.5 熱間寸法測定装置(棒鋼・線材)

近年のように寸法精度のきびしい製品を要求され、かつ生産性が向上した圧延工場においては、規格に対して寸法がはずれた場合にはただちに処置をとる体制ができていないと大量の不良を発生させることになる。

棒鋼・線材の寸法は、板のように“厚み”だけでなく360°の円周に対して最大径と最小径をキャッチし士の上下規格に入るよう調整しなければならない(丸鋼の場合)。従来の棒鋼・線材圧延工場においては圧延途中の所定のパスおよび仕上スタンドを通過後の熱鋼製品のサンプルを採り、これを冷却して寸法測定を行ない圧延調整用資料としていた。

この方法はサンプル採取の煩雑さと不良発見までに多少時間を要するため、近年熱間で鋼材の寸法を連続的に測定する技術が開発され、種々テストが行なわれている。

熱間寸法測定の方法としては接触式と非接触式があ

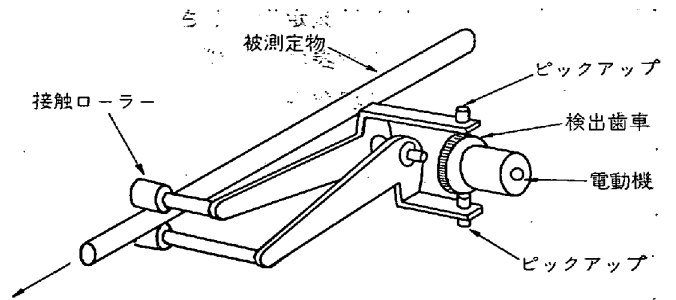


図49 接触式寸法測定装置の原理

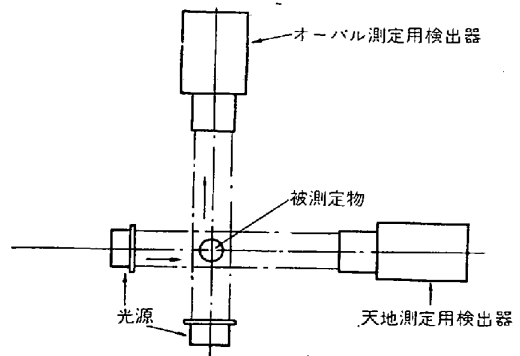


図50 照射式寸法測定装置の原理

る。

接触式は圧延中の熱鋼に両側からローラなどを押しつけてローラ間隔の距離の変動を検出して寸法を測定しようとするものである。

この方法はローラの摩耗、鋼材の振れ、測定器の経時変動誤差など多少問題はあるが、工程管理用として実用化されている。

つぎに非接触式については、レーザー光線を利用するもの、被測定物自身の発光を利用する赤外線方式、被測定物に光を照射し、反対側において被測定物の影を捕えその径を測定する方式などがある。

照射式について概要を述べるとつぎのようになる(図50)。

照射式の特徴は、被測定物の振動、蛇行、温度変化、による影響がなく、精度の良い測定が可能であり図50に示すような方法で、2台の測定器を用いて、水平方向(鋼材の上下)と垂直方向(鋼材の左右)の2方向の寸法を測定することにより形状を知ることができる。国内で開発されたものでは、光源として沃素電球を用いて寿命の長い、明るい光源、を得るように考慮されているため精度および安定性が良くなっている。

図50の原理は、被測定物を明るい光源で照射し、その影を光学レンズ系で捕え、それを回転スリット上に結像させ、スリットにより像を走査し光電管回路に入れると明暗の差によりパルスが発生する。このパルスの幅が

影像の大きさ、すなわち被測定物の太さに比例することになる。測定値はデジタル表示およびチャート記録により認識する。この方式は現在実用化されており、工程管理用として稼働している。

以上 5・1～5・5 まで棒鋼・線材の製造に関して、近年開発された技術の数例を述べたが、これらの技術開発が棒鋼・線材の品質向上、付加価値の増大、コストダウンに大きな貢献をしており、今後も新しい技術が続々開発されるものと思われる。

6. 今後の展望

1 から 5 までの各項において棒鋼・線材圧延が歩んできたレイアウト、設備、品質、生産性、技術開発などについて述べたが今後棒鋼・線材圧延、(とくに先進諸国において)が進むべき方向としては今までと同様に、用途の拡大化にともなう製品品質の向上、コストダウンをはかるための生産性の向上、労働力不足を解消するための無人化・自動化、線材の直接熱処理技術の開発に見られるような付加価値の増大化、などが強力に進められるであろう。

ここではすでに計画が進められている新しい試みと、近い将来に実現されるであろう新しい技術開発のいくつかについて述べてみたい。

6.1 A.G.C. (Automatic Gauge Control) の採用

板の圧延ではすでに採用されている A.G.C. (自動寸法制御) も棒鋼・線材の場合には 360° の円周について二次元的な寸法測定を行ない長径と短径を検出し、これを制御する必要があるため現時点ではまだ採用されていない。棒鋼・線材における A.G.C. の最大のネックは熱間における自動連続寸法測定装置の開発が不十分なことである。

棒鋼・線材製品のほとんどは断面が円形のものであるが、熱間圧延中の鋼材の円周にわたる寸法を自動的に、連続して、精度良く測定する装置が開発されれば、熱間圧延中の鋼材の寸法調整を現在のようにサンプルを切断、冷却し、寸法を測定して圧延機の圧下調整を人力で行なう必要はなくなり、①油圧または電動機による圧延機の連動圧下調整、②各スタンドの回転数調整による張力制御、③圧下調整と張力制御の併用、などの方法で、A.G.C. を行なうことができる。A.G.C. の採用により省力化と不良品発生頻度の減少がはかれるであろう。

6.2 熱間圧延油の適用

従来からコールドストリップミルなどにおいては圧延潤滑油¹⁶⁾が使用され大きな効果をあげていたが、熱間圧延においてはロールが高温にさらされているため困難と

されていた。しかし近年熱間でも潤滑性を有する油が開発され、すでにホットストリップミルなどに適用され効果をあげている。圧延潤滑油を使用する効果としては

- ① ロールカリバー摩耗の減少とロール原単位の向上
カリバー寿命が延長し、カリバー替え、組み替え頻度の減少による生産性の向上
- ② 製品品質の向上
カリバーの肌荒れが少ないため製品表面品質が向上する
- ③ 電力原単位の向上
摩擦係数が減少することにより、同一圧下量に対する動力が減少する。

などの効果があることが実証されているこれらの効果をあげるためには熱間圧延油に対してもまたシビアな要求があり、たとえば

- ① 潤滑性能がすぐれていること
- ② 製品表面仕上りの良好なこと (製品に付着しないこと)
- ③ 給油が容易であること
- ④ 発煙の少ないこと、発煙が人体に害を与えぬこと
- ⑤ 経済的であること
- ⑥ 廃油の処理がしやすいこと (公害対策)

などが要求される。現在すでに棒鋼・線材工場において圧延潤滑油を使用することが検討、計画されており近く実現するものと思われる。

6.3 棒鋼精整作業の無人化

棒鋼工場が線材工場と異なるのは精整作業以降である。線材が1本の材料から1～2コイルの製品になりそのまま結束出荷されるのに対して、棒鋼製品の場合には1本の材料から、多い場合には数十本、また最近のように材料単重の大型化にともないときには何百本という製品に分かれ、さらにこれが幾種類もの手入れ工程を経て完全な製品となる。したがって、棒鋼工場の精整要員を考慮する場合切断、検数後の製品手入れ要員をも含めた省力化を考えなければならない。

このような関係から棒鋼工場における精整～手入工程の合理化は大きな問題であると同時に実施に際してはかなりの投資が必要となる。現在考えられる方法としては、たとえばつぎのようなものがある。

- ① 材料を1本ずつ計量し、これに応じた最適歩留りを得るような自動切断システムの採用 (これは材料単重の増大化にともない製品の分割数量が多くなるとコンピュータを使用した最適分割システムを採用せざるを得ないであろう)
- ② 分割数量の増大化と圧延設備の生産性向上に対応

するためには精整以降の作業（検数、矯正、探傷マーキング、きず取り、結束など）も従来のように off line で一度ストックする方法ではなく、圧延に連結した on line でできるだけ処理を行なう必要がある。このためには精整以降出荷までの作業を圧延工場の材料装入から製品切断にいたる作業と同程度の連続した機械作業にする必要がある。このような試みはすでに国内でも計画されており無人化された精整作業が実現されるであろう。

6.4 加工熱処理 (Thermo-Mechanical-Treatment = T.M.T.) の適用

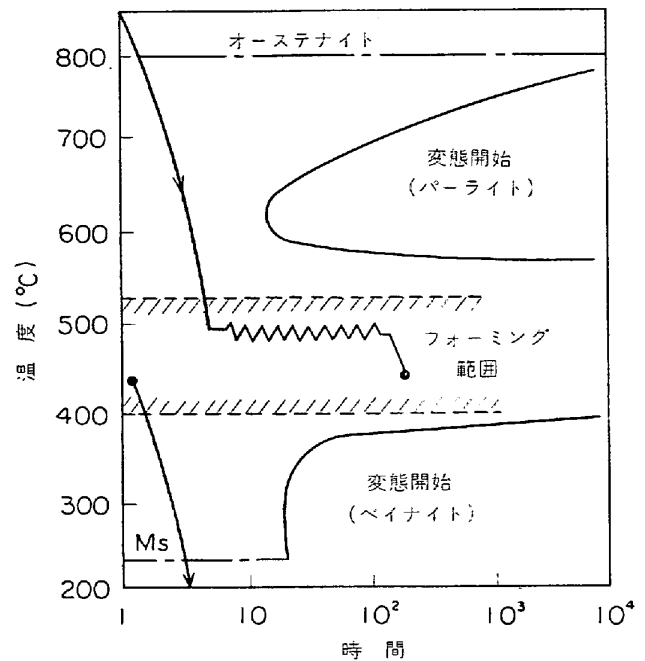
線材においては Stelmor 法, Schloemann 法, その他各種の直接熱処理技術と設備が開発され工業化されることにより製品の付加価値を大いに高め、多くのメリットをあげており、棒鋼製品もこのような付加価値の向上がはかれないであろうか。

T.M.T.¹⁷⁾には過冷オーステナイトを再結晶温度以上で変形処理する高温 T.M.T. (H.T.M.T.) と再結晶温度以下で行なう低温 T.M.T. (L.T.M.T.) の2種類があり、オースフォーム (ausforming), オースロール (aus-rolling), オースフォージ (ausforging) などが代表的なものである。

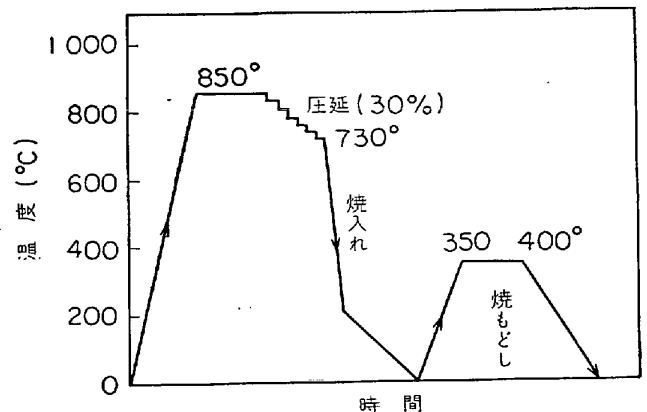
たとえばオースフォームは

- ① オーステナイト化温度（焼き入れ温度）からS曲線の湾まで熱浴焼き入れし、
- ② この温度（530~400°C位）で塑性変形させ
- ③ そのまま常温まで急冷する。方法であるが、この方法は工業的に実施しにくい面があり、最近変則オースフォームという処理が開発されている。すなわち、ばね材を 850°C に加熱し、オーステナイト化した後この温度から 730°C までの間で圧延加工（変形量 30%）（変則オースフォーム：図 51）し、そのまま急冷し、350~400°C に焼もどす、というものでありこの処理により硬度と抗張力が向上し、これをトラック用板ばねとして使用したところ、従来のものに比べて 25% 軽く、40%枚数が少なく、寿命が60%も長いという結果が報告されている。このほかにもある温度範囲で熱間圧延を行ないただちにこれを急冷（焼入れ）することにより耐衝撃性、ノッチタフネスの向上が見られるという報告がある。

鋼材を熱間圧延する際、低温側で強く圧延して強度および靱性を改善する方法は Controlled rolling¹⁸⁾¹⁹⁾ と呼ばれ、多量の合金元素を添加しなくても圧延のまま良好な強度と靱性を保証することができ、この圧延法により造船用鋼板、大径ラインパイプ鋼板などの厚板が多量



オースフォームの操作図解



変則オースフォームの操作図解

図51 加工熱処理の一例

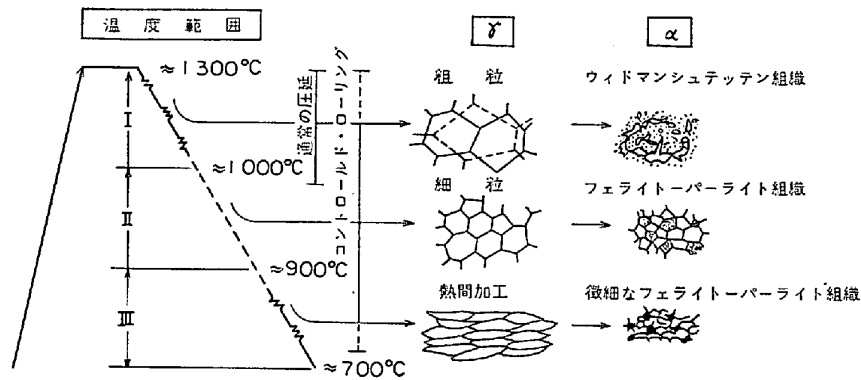
に生産されている。（図52）

Controlled rolling の最も重要な効果は結晶粒の微細化による強度の上昇と破面遷移温度の低下である。

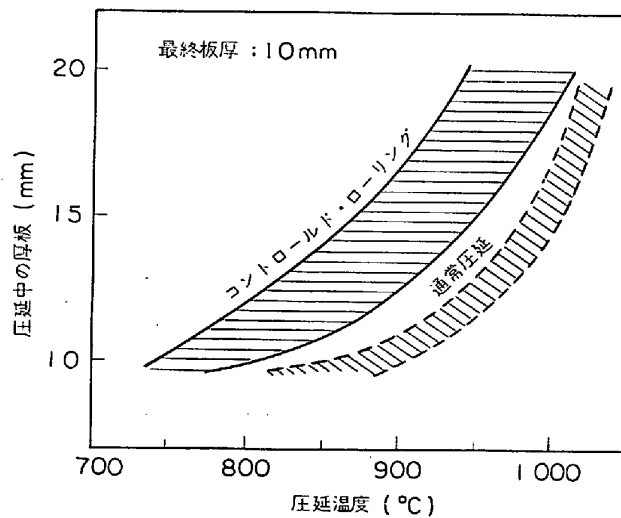
この Controlled rolling 法は、一種の T.M.T. であり、前記 Stelmor 法においても冷却コンベア上で冷却し、引きつづき球状化処理を行なうという特許申請が出されており、これも T.M.T. の一分野と考えることができる。

さらにタイプの異なる T.M.T. 処理を棒鋼圧延工場に採用し、工業生産することができれば線材のダイレクトパテントに相当する大きな付加価値の向上がはかれるであろう。

このほかにも現在実用化されている技術でさらに改善



(a) 圧延温度とオーステナイトおよびフェライト組織の模式的な関係 (Si-Mn系, 板厚 20mm の場合の想定図)



(b) 通常圧延と Controlled Rolling の作業範囲の一例 (板厚 10mm の場合)
図52 厚板における Controlled Rolling の一例

開発が続けられるものの中で、現在のところその製造技術上の問題から小径のディスク型(円盤型)しか作られていない超硬ロール(WCロール)を仕上ブロックミル以外のスタンドにも使用できるようなロールの製造技術、使用方法の開発が望まれている。

また、線材におけるダイレクトパテンティング材も機械的性質、金属組織的には伸線に適した良好な製品ができていますが伸線の前処理としては石灰、ボラックス、ボンダライトなどの潤滑剤を線材の全長にコーティングする必要があり、この処理により線材表面の防錆が行なわれるとともに、伸線の際の潤滑剤になつている。ユーザーとしてはできるだけスケールや錆のない製品が望ましいわけで、コントロールクーリングの一方法として、コーティング剤による冷却～変態の処理方法が開発される可能性もあり、このような処理ができるようになれば、二次加工における大幅な工数低減となりうる。

その他熱間、冷間の自動きず検出装置、寸法測定装置

にもまだまだ改善、開発の余地があり、コンピュータによる on line 管理と結びついたシステム開発が期待されている。

文 献

- 1) 日本鉄鋼協会: 条鋼マニュアル(棒鋼・線材編) p. 1, 24, 129 ほか
- 2) U.S. スチール: 鉄鋼製造法(中) p. 223
- 3) 日本鉄鋼協会: 中小形工場設備レイアウト一覧
- 4) 日本鉄鋼協会: 鉄鋼製造法(加工I) p. 369
- 5) 線材分科会: 鉄と鋼, 47(1961), p. 13
- 6) 線材製品協会: 線材製品協会二十年史
- 7) 日本鉄鋼協会: 線材工場設備レイアウト一覧
- 8) SCHLOEMANN: Stahl u. Eisen (Dezenber, 1963, Heft 26) IW 910
- 9) R. J. HERMES, et al.: Iron Steel Eng., 46(1969) 7, p. 59~72
- 10) R. K. BUNGEROTH: Iron Steel Eng., 49(1972) 11, p. 81~89
- 11) H. JUNGK et al.: Stahl u. Eisen (Oktober, 1962. Heft 22), p. 1512~1520

- 12) 重工業新聞社: 製鉄機械設備総覧(1971), p. 500
- 13) H. L. NEWTON: Wire Journal, 3 (1970) 9, p. 59~62
- 14) B. HOFFMAN: Wire Journal, 3 (1970) 1, p. 66~70
- 15) 白岩, ほか: 鉄と鋼, 57 (1971) 3, p. 601~613
- 16) 蜂谷, ほか: 製鉄研究 (No 276), p. 110~123
- 17) 大和久重雄: 鉄と鋼, 56 (1970) 3, p. 420~428
- 18) 久保田, ほか: 日本鋼管技報 (No 46), p. 53~60
- 19) 松原, ほか: 鉄と鋼, 58 (1972) 13, p. 1848~1860

その他, 棒鋼・線材圧延設備, 技術, 品質に関して参考となる文献のいくつかを挙げると

〔線材製造技術, 設備の進歩全般について〕

- 浅田幸吉: 鉄と鋼, 52 (1966) 6, p. 989~1000
- 浅田, ほか: 第17回西山記念技術講座資料
- 神戸製鋼所: 神戸製鋼技報 (R & D) “線材・棒鋼特集号” 23, No 3

〔設備の紹介, 発展経過など〕

- R. GREEN: JISI, 201 (1963) Part 4, p. 353~364
- H. WARROL, et al.: Steel Times, 200 (1972) 11, p. 795~804
- G. N. VILLEE: Blast Furn. Steel Pl., 58 (1970) 11, p. 820~826

- R. W. SMITH: Blast Furn. Steel Pl., 59 (1971) 2, p. 91~98
- R. N. HILL: Iron Steel Eng., 47 (1970) 3, p. 91~98
- 原田, ほか: 製鉄研究 (1972) No 274, p. 92~98 “君津・線材工場”
- T. MINAKI: Wire Journal, 5 (1972) 9, p. 125~136 “小倉・線材工場”
- 松岡逸雄: 川崎製鉄技報, 5 (1973) 1, p. 142~158 “水島・棒鋼工場”

〔品質〕

- 萩原, ほか: 川崎製鉄技報, 2 (1970) 1, p. 91~98 “ステルモア処理線材”
- 山腰, ほか: 鉄と鋼, 58 (1972) 14, p. 1969~1983 “流動層処理線材”
- 原田, ほか: 鉄と鋼, 55 (1969) 3, p. 294~295 “垂直降下冷却方式による処理線材”
- 武尾, ほか: 鉄と鋼, 58 (1972) 11, p. 240 “稀薄溶液による処理線材”

〔結束機〕

- 松田, ほか: 川崎製鉄技報, 5 (1973) 1, p. 142~158

〔熱間寸法測定〕

- K. GRISTWOOD: Steel Times, 200 (1972) 7, p. 543~545