

## 共同研究会報告

### 鋼材部会帯鋼分科会報告

## 帯鋼工場におけるモデルプラントの設計\*

### Modern Narrow Strip Mill.

#### I. 総 説

##### 1. 狭巾帯鋼特性

狭巾帯鋼特性を述べる前に狭巾帯鋼素材の鋼塊特性、鋼片特性について述べる。

鋼塊特性としては溶鋼の脱酸度によってキルド鋼、セミキルド鋼、リムド鋼などに分類され、また含有素鋼成分によつて普通鋼、合金鋼に、鋼塊の鑄込方法により上注ぎ鋼塊、下注ぎ鋼塊、真空鑄造鋼塊に、その他鑄型の形状、鑄込温度、鑄込速度などによつて、必要とする特性を備えた鋼塊が得られる。

圧延鋼材断面における含有成分分布の形状は鋼塊における含有成分分布の形状とほとんど同一である。狭巾帯鋼特性を考慮するときには狭巾帯鋼の用途に関連して脱酸度の違いによる鋼塊特性の違いが大きな要因として取り上げられる。

また JIS 規格に規定されているのは熱間圧延薄鋼板、炭素鋼、帯鋼などであるが、通称広巾帯鋼と狭巾帯鋼とに分類される。

以上2つの観点から狭巾帯鋼特性として次の事項が挙げられる。

- (1) 狭巾帯鋼のエッジ部形状は、数多くの縦ロール圧延機を活用して自由に得られる。
- (2) 狭巾帯鋼断面の含有成分分布は鋼塊、鋼片の成分分布とほとんど同一である。
- (3) 狭巾帯鋼の巾寸法は設備上、採算性の面からみて寸法範囲内で自由に圧延できる。

##### 2. 用 途

狭巾帯鋼工場の将来性およびその生産能力とも関連するので狭巾帯鋼に対する需要の動向について考察する。現在コイル状帯鋼を使用している関連二次加工業の要求特性について述べる。

##### i) 鍛接鋼管用帯鋼

現状ではエッジ部にリム層のある狭巾帯鋼が要求されている。帯鋼エッジ部の形状(角度)によつて鍛接鋼管の鍛接性に差が現われるので狭巾帯鋼の具備するエッジ部の特性を必要としている。

将来の需要の見通として、鉄鋼材料の消費量は益々増大する。そして鉄鋼業の先進国アメリカにおける全鋼管に対する鍛接鋼管の生産割合をみると日本の現状と比較してはるかに高い割合を占めているので、日本における

鍛接鋼管の生産量は将来更に増加すると思われる。

##### ii) 電縫鋼管用帯鋼

キルド鋼、セミキルド鋼帯鋼を使用して電縫鋼管を製造できる。スクエアーエッジの帯鋼を使用して電縫鋼管を製造できるので広巾帯鋼をスリットして使用できる。

##### iii) 大径溶接鋼管用帯鋼(スパイラル鋼管)

溶接にはユニオンメルト、イナータガスウエルド方式が採用されているので溶接性からみるとリム層がある帯鋼の方が良好であるがキルド鋼セミキルド鋼帯鋼であつても溶接は可能である。

広巾帯鋼をスリットして使用できる厚肉鋼管を製造するためにはスリッピング設備およびアンコイラーなど設備的に製造が難しい点が見られるのでシートバーが利用される。

##### iv) 冷間成形用帯鋼(軽量形鋼)

冷間成形用帯鋼は用途によつて材質が異なるが、冷間加工を行なうので巾寸法、厚さ寸法の均一性が高度に要求されるためミルエッジのままでは要求を満すことができないので広巾帯鋼をスリットして使用するか、狭巾帯鋼のエッジ部をトリミングして使用している。

##### v) 二次加工用帯鋼

冷間圧延用帯鋼、ミガキ帯鋼用素材に使用される帯鋼は寸法精度の均一性、仕上げ表面の美麗さなどの要求特性からみると広巾帯鋼を使用する方が良いと思われる。

以上の考察の他に工場運用の面からみた経済性によつて狭巾帯鋼を使用するか否かということが決定される。すなわち、

(1) 狭巾帯鋼工場で使用する寸法の鋼片を自社で圧延供給する能力の有無

(2) 広巾帯鋼をスリッピングする能力の有無、スリッピング工場までの運搬費用の大小。

結論としては当“モデルプラント”は“鍛接鋼管用帯鋼 鋼種(リムド鋼)”を製造するプラントを設計する。

余力をもつて他鋼種、他用途狭巾帯鋼を製造する。

##### 3. 圧延可能成品寸法範囲

狭巾帯鋼“モデルプラント”で鍛接鋼管用帯鋼を圧延することになったので現在稼働中の建設途上にある鍛接鋼管工場の鍛接鋼管寸法から狭巾帯鋼寸法について調査した結果を第1表、第2表、第3表、第4表に示す。

\* 昭和38年12月13日受付

第 1 表 新 鋭 鍛 接 管 工 場

工場名 圧延サイズ)	成形・鍛接 スタンド数	ストレッチレジュース スタンド数	パイプ サイズ	スケルプサイズ	摘 要
National tube Lorain works (1/2"~4")	7	18	1/2" 4" 4"	369×4・57mm 445×5.70 445×7・85	ASTM Standard weight " Extra strong
Jones & Laughlin steel Co. (1/2"~1 1/2")	14	0	1/2" 1 1/2"	170×2・65 328×3・68	Standard weight " "
(1/2"~4")	7	7	1/2"	170×3・58	" "

第 2 表 鋼管寸法規格 (ASTM および JIS)

	パイプ サイズ	肉厚 (mm)	摘 要
最大厚さ	8"	8・2	ASTM Standard weight Extra strong Double Extra Strong (Standard) Double Extra Strong (minimum)
	5"	8・3	
	1"	9・1	
	1 1/4"	8・5	
最小厚さ	1/2"	2・0 1・7	JIS ASTM Standard weight

第 3 表 熱間圧延帯鋼の厚さ寸法許容差の規格  
(単位 mm)(JIS)

厚さ	巾		
	b < 200	200 ≤ b < 400	400 ≤ b < 600
0・6 ≤ h < 1・0	±0・10	±0・12	—
1・0 ≤ h < 3・0	±0・15	±0・18	±0・20
3・0 ≤ h	±5%	±6%	±7%

第 4 表 熱間圧延帯鋼の巾寸法許容差の規格  
(単位 mm)(JIS)

巾	厚さ	
	圧延のまま	
b ≤ 100	±1・0	
100 < b	±1%	

以上の数値から、圧延可能製品寸法を決定する。

i) 最大巾の決定

配管用鋼管としての鍛接鋼管は約 4" 径まで採用されているが、鍛接鋼管 4" 用の帯鋼巾は 445mm で十分である。しかるに第 3 表の規格値から考えると狭巾帯鋼最大巾は 600mm となるが実際の作業上から考えると広巾帯鋼工場では最小巾についてある程度自由に圧延することができる。

以上の 2 点からモデルプラントの製造帯鋼最大巾 = 500mm とした。

ii) 最小巾の決定

鍛接鋼管工場での造管最小径 1/2" 鋼管に使用される帯鋼巾は 170mm である。(第 3 表) また鋼管径 1/2" 以下の鋼管は鍛接後ホットレデュースを通すか、冷率し

て需要を満たすことにする。

また生産能率面からみると生産能率は帯鋼巾に大略比例しているので巾の狭い帯鋼を圧延するのを避けたいと思ひ、帯鋼巾 100mm 前後以下の帯鋼はベリングフープ圧延機によつて圧延するのが適していると考えられる。

以上の 2 点からモデルプラントの製造帯鋼最小巾 = 150mm とした。

iii) 最大厚さの決定

4" 径の鍛接管の帯鋼寸法から厚さ = 7・85mm が考えられる。また捲取機の捲取能力は最大板厚 = 8・0mm といわれている。他方厚さ = 8・0mm 以上の帯鋼は圧延後の伸長さからみてもシートバーとして取扱うことができ捲取つてコイル状帯鋼とする必要性がない。

以上の 3 点からモデルプラントの製造最大厚さ = 8・0mm とした。

iv) 最小厚さの決定

1/8" 径の鍛接鋼管の帯鋼寸法から厚さ = 2・0mm が考えられる。JIS-G. 3307 帯鋼規格から最小厚さ = 0・6mm (於最小帯鋼巾) が求められる。一方現有広巾帯鋼の最小帯鋼厚さ = 1・5~2・0mm (於最小帯鋼巾で = 600mm) である。

帯鋼がランアウトテーブルの上を浮上ることなしに捲取機まで到達するのに必要な単位巾当り重量は板厚を規定することにより与えられる。一般に厚さ = 1・0mm を必要とする。

製品寸法精度を維持して圧延を継続するためにはロール組替えによつてロール摩耗を補うのであるが厚さの小さい帯鋼を圧延するときにはロール組替え頻度が高くなり圧延機の操業率が低下するので最小厚さ = 1・2~1・5mm と考えている。

以上の 3 点からモデルプラントの製造帯鋼最小厚さ

0・9mm: (於最小帯鋼巾 = 150mm)

2・0mm: (於最大帯鋼巾 = 500mm) とする。

以上の結論を第 1 図に示す。

4. 鋼片寸法

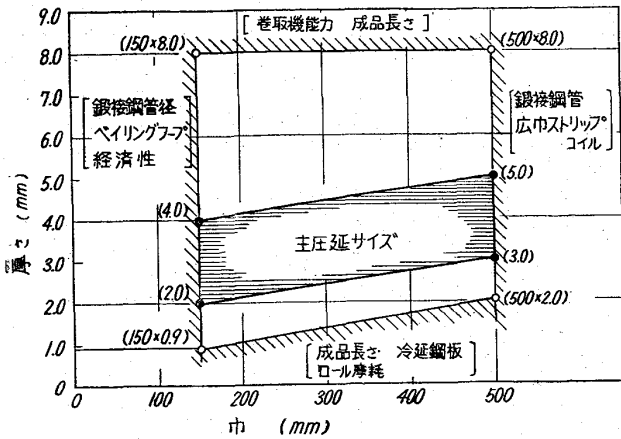
圧延可能製品寸法範囲が決定したので、次に鋼片寸法を決定する。

i) 鋼片巾

一般に狭巾帯鋼を圧延するさい鋼片巾は

製品巾 + 10~20mm が望ましい。

実際の運用上からは製品巾 - 10~+20mm までの鋼片



第1図 圧延可能製品寸法範囲 ( )内は制約条件

使用が許容される。

最小鋼片巾: 160mm, 最大鋼片巾: 520mm

ii) 鋼片厚さ

鋼片厚さは鋼片巾より一般には小さく実際に採用している鋼片厚さは

最小厚さ: 75mm~最大厚さ: 125mm

である。加熱炉効率, 圧下量, 圧延馬力との関連を考え

最小鋼片厚さ: 110mm, 最大鋼片厚さ: 130mm

iii) 鋼片長さ

鍛接鋼管用帯鋼は長い程, 帯鋼接続の作業が省けるとともに鍛接鋼管の圧延歩留の向上が得られ望ましいが, 主圧延サイズ帯鋼長さを 500m 以上にすることは製品寸法精度および圧延機出力からみて望ましくない。

加熱炉操業上の問題から最大炉内巾は 7.0m 前後である。

以上の3点から鋼片長さ: 7.0m とする。

iv) 鋼片重量

以上の諸元から鋼片重量( $W_{min}$ ,  $W_{max}$  kg)を求める。

$$W_{min} = 0.160 \times 0.110 \times 7.0 \times 7.85 \times 10^8 = 962 \text{ kg}$$

$$W_{max} = 0.520 \times 0.130 \times 7.0 \times 7.85 \times 10^8 = 3700 \text{ kg}$$

となり, 分塊切断本数の面から見て運用上正常な鋼片重量である。

5. 圧延捲取設備の基礎諸元

上述の諸元の狭巾帯鋼を圧延する狭巾帯鋼モデルプラントの圧延, 捲取設備の基礎諸元として次のごとく仮設定する。

i) 圧延設備

- 粗 縦 ロール機 (375kW×1 基  
225kW×1 基)
- 粗 水平 ロール機 1100kW×4 基
- 仕上 縦 ロール機 75kW×3 基
- 仕上 水平 ロール機 1100kW×6 基
- 仕上最終スタンドロール周速 6.0~15.0m/sec

ii) 捲取設備

ダウンコイラー 2基 速度範囲 6.0~18.0m/sec

II. 加熱設備

規模が当モデルプラントに類似する加熱炉の設計仕様について例挙し, その設備仕様を参考として加熱炉の設計計算を行なう。

1. 炉型の決定

1) 炉 型

例: C2帯・二带式連続加熱炉

以上のデータからも判明するように連続圧延設備の前には, 連続加熱炉が採用されているが, その長所と短所をバッチ式と比較し第6表, 第7表に示す。

以上の検討結果から連続式加熱炉を採用する。

ii) 帯 数

更に当“帯鋼モデルプラント”に設置要請される連続加熱炉の特性として圧延材料の加熱, 均熱に対する安定性および高度の均熱性が要求される。そのためには現在のところ三带式以上の連続式加熱炉が必要である。しかし開発途上にある四带式, 五带式連続加熱炉については使用実績が余りないので各社が現在採用して特性が広く

第5表 連続圧延工場における鋼片再熱炉の詳細

(1)	工場番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(2)	基 数	2	1	2	3	4	3	3	3	3	2
(3)	型 式	C2帯	C3帯	C3帯	C3帯	C4帯	C3帯	C3帯	C3帯	C3帯	C3帯
(4)	公称能力 t/hr	40	35	60	100	70	90	80	67	67	67
(5)	有効炉長 m	14.000	16.000	21.335	29.090	24.380	21.570	29.500	26.200	26.200	26.700
(6)	均熱帯炉長 m	3.000	5.750	5.500	6.555	6.000	6.300	5.900	5.540	5.770	5.900
(7)	炉内巾 m	5.600	5.000	5.500	6.700	6.100	6.700	7.540	6.560	6.560	5.900
(8)	有効炉床負荷 kg/hr·m <sup>2</sup>	510	438	511	514	471	506	359	390	390	425
(9)	燃 料	重油	重油	重油	混合ガス	混合ガス	Bガス	Cガス	発生炉	Cガス	混合ガス
(10)	バーナーの型式	空気噴霧	蒸気噴霧	蒸気噴霧	ガスバーナー	ガスバーナー	蒸気噴霧	蒸気噴霧	蒸気噴霧	蒸気噴霧	蒸気噴霧
(11)	バーナーの本数 (上部)	6	6	6	8	8	6	8	6	6	6
(12)	“ ” (下部)	5	5	8	6	6	7	6	6	5	6
(13)	“ ” (均熱)	—	6	8	8	8	6	8	8	6	6
(14)	予熱器の型式	メタリック	メタリック	メタリック	メタリック	タイル	タイル	メタリック	メタリック	タイル	メタリック

第 6 表 長 所

連 続 式 炉		バ ッ チ 式 炉	
1	炉材の装入抽出が容易。	1	材料により個々に適した加熱ができる。
2	加熱 t 当りの修理費が安い。	2	材料形状が不同であっても加熱ができる。
3	炉床負荷が大きい。	3	途中での加熱が自由にできる。
4	加熱材の温度差が少ない。	4	材料を相当高温まで加熱できる。
5	材料長さが大きくでき圧延歩留が多い。	5	材料をよく均熱できる。
6	炉を冷却することなく冷材から徐々に加熱できる。	6	修理時の休止時間が短かくてもよい。
		7	受熱面積が大きく、加熱時間が短かくて済む。
		8	鋼種の混入が生じない。

第 7 表 短 所

連 続 式 炉		バ ッ チ 式 炉	
1	厚さの異なるものの加熱は難しい。	1	炉床利用率が小さい。
2	鋼種形状が均一するときのみ効率が高い。	2	加熱材の取扱いが面倒である。
3	炉内積み重なりを防止するため正方形、矩形、断面でなければならない。	3	排ガス温度が高いから、必ず廃熱回収をしなければならない。
4	燃焼調節の操作が難しい。	4	加熱材の長さに限界がある。
5	ノロが堆積したとき掃除のための休止時間が長くなる。	5	高炭素鋼、合金鋼のときには、除熱が難しく、炉を冷却しなければならないので熱原単位が高くなる。
6	厚さ 200mm 以上のブルームは加熱時間が長くなる。	6	加熱 t 当りの作業員が多くいる。

第 8 表 生 産 能 率 (計算上)

(1)	製 品	ス ラ ブ	スラブ重量	ミルスPEED		生産能率
	厚さ mm × 巾 mm × 長さ mm	厚さ mm × 巾 mm × 長さ mm	kg	パスタイム sec	m/sec	
(2)	8・0 × 500 × 100・1 m 118・0 m	110 × 520 × 7000 130 × 520 × 7000	3120 3700	160 197	6・0	448・5
(3)	2・0 × 500 × 400・4 m 474・0 m	110 × 520 × 7000 130 × 520 × 7000	3120 3700	267 316	15・0	320・0
(4)	8・0 × 300 × 100・1 m 118・0 m	110 × 320 × 7000 130 × 320 × 7000	1874 2220	168 197	6・0	269・0
(5)	1・4 × 300 × 551・2 m 652・0 m	110 × 320 × 7000 130 × 320 × 7000	1874 2220	367 434	15・0	149・5
(6)	8・0 × 150 × 102・8 m 121・5 m	110 × 160 × 7000 130 × 166 × 7000	962 1130	174 202	6・0	134・6
(7)	0・9 × 150 × 856・2 m 1011・2 m	110 × 160 × 7000 130 × 160 × 7000	962 1130	571 674	15・0	52・5

$$* \text{生産能率 kg/hr} = \text{スラブ重量 (kg)} \times \frac{3600(\text{sec/hr})}{\text{パスタイム} + 10(\text{sec})}$$

識られている三带式連続加熱炉を採用する。

### iii) 能 力

加熱炉の能力を決定するためには I-3, I-4 から狭巾帯鋼モデルプラントにおける生産能力について調査する。

更に以下の要因が考えられる。

(a) 成品寸法構成割合による圧延機能力の違いに順応できること。

(b) 単位設備費当りの生産量を大きくすること。

(c) 加熱炉の故障による生産への影響を小さくすること。

(d) 労務費および維持、補修、償却費を安くすること。

わが国独自の特性としての多品種、小量生産方式では (a) 項を重要視しなければならない。

第 8 表 (3) (4) の平均値 209・3 t/hr を圧延能力とし、また第 5 表から基数を 3 基として考える。

故に加熱炉 1 基の能力を  
209・3 ÷ 3 = 70 t/hr

とする。

第5表(4)から考えても適当な数値である。

iv) 炉床負荷

炉床負荷については第5表のように359~514kg/m<sup>2</sup>·hr が一般的であるが最近では1000kg/m<sup>2</sup>·hr におよぶ高炉床負荷の加熱炉が出現した。この特性としては、建設費が安価なこと、設置面積が小さいことなどの利点が多いが、急速加熱を行なうすなわち単位時間に多量の熱量を供給するため、表面熱負荷を増大するので全体の炉温を高くさせることになり、炉尻温度も高くなるため廃ガス熱損失が増大し熱原単位の低下は避け得ない。一般に炉床負荷 560~600kg/m<sup>2</sup>·hr 以上を急速加熱という。国内の加熱炉の炉床負荷としては高い値であるが500kg/m<sup>2</sup>·hr を採用する。

2. 炉長, 炉幅の決定

i) 均熱帯長の計算

A. SHACK, E. HELWEG, TRINKS, F. N. HAYS, J. W. PEREY 諸氏の計算式をもつて計算し、操業上の問題点なども加味して決定した。

E. HELEWEG の式から

$$t \geq 0.3x^2/a \quad \begin{matrix} t: \text{均熱時間} & \text{hr} \\ x: \text{鋼片厚さ} & \text{m} \\ a: \text{鋼片の温度伝播率} & \text{m}^2/\text{hr} \end{matrix}$$

$$x = 0.130 \quad \therefore t \geq 0.298\text{hr} = 17.9\text{min}$$

$$x = 0.110 \quad \therefore t \geq 0.213\text{hr} = 12.8\text{min}$$

ゆえに均熱時間を 12.8~17.9min とする。

均熱帯長さは、加熱炉能力、炉内速度から次のごとく決定した。

$$70 \text{ t/hr} \div (3.7 \sim 0.926 \text{ t/本}) = 18.9 \sim 72.6 \text{ 本/hr}$$

$$\therefore L_{S1} = 19 \text{ 本/hr} \times 0.52 \text{ m/本} \times 0.298 \text{ hr} = 2.96 \text{ m}$$

$$\therefore L_{S2} = 72.6 \text{ 本/hr} \times 0.16 \text{ m/本} \times 0.213 \text{ hr} = 2.47 \text{ m}$$

ゆえに均熱帯炉長  $L_S = 3.0 \text{ m}$  とする。

ii) 加熱帯長さの計算

鋼片を 15°C から 1250°C に加熱するに要する熱量は

$$70 \text{ t/hr} \times 1000 \text{ kg/t} \times (1250 \times 0.163 - 15 \times 0.11) = 14,200,000 \text{ Kcal/hr}$$

ただし比熱 0.163 Kcal/kg °C at 1250°C

0.110 " at 15°C

材料に必要な伝熱面積は

$$14,200,000 \div 72,000 = 200 \text{ m}^2$$

ただし表面熱伝達率  $72 \times 10^3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$

(材料厚さ: 0.130m)

しかるに均熱帯の材料の伝熱面積は  $3 \times 7 = 21 \text{ m}^2$

ゆえに加熱帯における必要伝熱面積は  $200 - 21 = 179 \text{ m}^2$

今材料の上面, 下面, 側面の熱伝導割合を (1:0.8:0.8) とし、加熱帯長さを  $L_H$  とすると

上面面積:  $7.0 \times L_H = 7.0L_H$

両側 " :  $2 \times (0.13 \times L_H \times 0.8) = 0.208L_H$

下面 " :  $0.8(7.0 \times L_H - \text{スキッド妨害面積})^*$

$$= 0.8\{7.0L_H - (0.76L_H + 10.3)\}$$

$$= 4.98L_H - 8.2$$

\* スキッド妨害面積: スキッドパイプ径を90mmとし約50mmの断熱材を巻くものとする。縦4列, 横6列とすると, スキッド面積は

$$(0.09 + 2 \times 0.05) \times L_H \times 4 \text{ 本}$$

$$+ (0.09 + 2 \times 0.05) \times 7.0 \times 6 \text{ 本}$$

$$= 0.76L_H + 10.3 \text{ m}^2$$

ゆえに鋼片の有効受熱面積

$$7.0L_H + 0.208L_H + 4.98L_H - 8.2 = 12.2L_H - 8.2 \text{ m}^2$$

ゆえに加熱帯の長さ  $L_H$  は

$$12.2L_H - 8.2 = 179 \text{ m}^2$$

$$\therefore L_H = (179 + 8.2) / 12.2 = 15.35 \text{ m}$$

有効炉長:  $L_H$  は

$$L_E = L_S + L_H = 3.0 + 15.35 = 18.35 \text{ m}$$

スキッドによって生ずる低温部の均熱は均熱帯に見込まれているが、炉長全体に10%の余裕を見込むと

$$L_E = 18.35 \times 1.1 = 20.0 \text{ m}$$

iii) 炉幅の計算

第5表を参考として、鋼片と炉壁との間隔は300mmとすると 炉幅 =  $7 + 0.3 \times 2 = 7.6 \text{ m}$

3. 炉効率の推定

以下に記する各項について試算を進めて行く。

i) 廃ガス熱損失

鋼材抽出温度 : 1250°C

鋼材装入温度 : 15°C

鋼材平均温度 : 632.5°C

所要平均熱負荷: Hays Trinks の図によると

$$72 \times 10^3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \text{ (厚: 130mm)}$$

$$76 \times 10^3 \text{ " (": 110mm)}$$

鋼材温度 633°C で上記それぞれの伝熱量を得るための平均仮想ガス温度は

$$72.0 \times 10^3 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \text{ に対して } 1400^\circ\text{C}$$

$$76.0 \times 10^3 \text{ " " } 1440^\circ\text{C}$$

今、重油 1kg を 10% の過剰空気率で燃焼させると燃焼ガスは、理論火焰温度 1900°C となる。

従つて炉尻廃ガス温度は

$$1400 \times 2 - 1900 = 900^\circ\text{C}$$

また  $1440 \times 2 - 1900 = 980^\circ\text{C}$

廃ガス成分を求めると

$$\text{CO}_2 : 1.57 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad 12.2\%$$

$$\text{H}_2\text{O} : 1.62 \text{ " } \quad 12.6\%$$

$$\text{N}_2 : 9.45 \text{ " } \quad 74.4\%$$

$$\text{O}_2 : 0.23 \text{ " } \quad 1.8\%$$

廃ガスの平均比熱は (at 940°C)

$$\text{CO}_2 : 0.122 \times 0.530 = 0.0646 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot \text{C}$$

$$\text{H}_2\text{O} : 0.126 \times 0.405 = 0.0510 \text{ "}$$

$$\text{N}_2 : 0.746 \times 0.334 = 0.248 \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot \text{C}$$

$$\text{O}_2 : 0.018 \times 0.353 = 0.0635 \text{ "}$$

$$\frac{1.00}{0.4271} \text{ Kcal/Nm}^3 \cdot \text{C}$$

∴ 廃ガス平均比熱は 0.4271 Kcal/Nm<sup>3</sup>·C

$$\text{廃ガス量 } CW = 12.88 \text{ Nm}^3/\text{kg}^*$$

$$\text{炉尻温度} = \frac{900 + 980}{2} = 940^\circ\text{C}$$

$$\text{ゆえに廃ガス損失率} = \frac{940 \times 12.88 \times 0.4271}{10000}$$

$$\times 100 = 51.5\%$$

\* 湿り燃焼ガス量  
重油の成分と真発熱量

成分	C	H	O	N	S	H <sub>2</sub> O	灰分	真発熱量
%	84.0	12.7	1.2	1.7	0.4	—	—	10000 Kcal/kg

理論空気量: A<sub>0</sub>

$$A_0 = 8.890 + 26.7 + 26.7(H - O/8) + 3.33S \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$= 10.83 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

空気率: m = 1.1

故, 湿り燃焼ガス量: GW

$$GW = \{(m - 0.21) + 1.62m f\} A_0$$

$$+ 1.87C + 11.2H + 0.7S + 0.8N$$

$$= 12.88 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

ii) 炉壁からの放散熱の損失率

炉長を 2m ごとに分割して 10 区分にして計算する.

鋼片の炉内速度は

$$\text{最大の鋼片} \frac{70000 \text{ kg/hr}}{3700 \text{ kg/本}} \times 0.52 (\text{巾}) m = 9.9 \text{ m/hr}$$

$$\text{最小の鋼片} \frac{70000 \text{ kg/hr}}{962 \text{ kg/本}} \times 0.160 (\text{巾}) m = 11.6 \text{ m/hr}$$

上記のよう 10 に区分にして炉内温度を想定し, 実際の火焰温度から各断面の火焰温度を想定した各断面の熱負荷と鋼材の顕熱を求めて鋼材の平均温度を求める. (参照第 3 図)

ただし加熱帯は 1~8.5 区間としてその計算結果を第 9 表に示す.

炉壁温 TW は (燃料および燃焼より山口氏)

$$TW = \sqrt[4]{E_g T_g^4 + (1 - E_g) T_c^4 \frac{A_c}{A_R}}$$

$$E_g = 1/2 \{ (E_{CO_2} \cdot t_g + E_{H_2O} \cdot t_g) + (E_{CO_2} \cdot t_c + E_{H_2O} \cdot t_c) \}$$

T<sub>w</sub>: 炉壁温度 °C

E<sub>g</sub>: ガス黒度

T<sub>g</sub>: (t<sub>g</sub> + 273) °K

t<sub>g</sub>: 炉内ガス温度

T<sub>c</sub>: (t<sub>c</sub> + 273) °K

t<sub>c</sub>: 鋼片表面温度

第 9 表 炉 内 鋼 片 温 度 上 昇

区 分	ガス温度 °C	鋼片表面温度 °C	熱負荷 Kcal/m <sup>2</sup> hr	1 断面の熱時間 hr	1 断面の熱負荷 Kcal/m <sup>2</sup>	鋼片顕熱 Kcal/kg	鋼片比熱 Kcal/kg °C	断面終り鋼片平均温度 °C
1	1030	120	71 × 10 <sup>3</sup>	0.202	14.35 × 10 <sup>3</sup>	1.72 + 14.35 = 16.07	0.113	140
2	1220	250	110 × 10 <sup>3</sup>	//	22.2 × 10 <sup>3</sup>	38.27	0.1175	322
3	1430	450	174 × 10 <sup>3</sup>	//	33.1 × 10 <sup>3</sup>	71.37	0.126	556
4	1430	700	160 × 10 <sup>3</sup>	//	32.3 × 10 <sup>3</sup>	102.67	0.145	705
5	1430	820	150 × 10 <sup>3</sup>	//	30.3 × 10 <sup>3</sup>	133.97	0.167	787
6	1430	880	143 × 10 <sup>3</sup>	//	28.9 × 10 <sup>3</sup>	162.87	0.165	975
7	1430	1100	107 × 10 <sup>3</sup>	//	21.6 × 10 <sup>3</sup>	184.47	0.164	1110
8	1430	1200	80 × 10 <sup>3</sup>	//	16.2 × 10 <sup>3</sup>	200.67	0.163	1210
9	1430	1270	61 × 10 <sup>3</sup>	//	12.3/2 = 6.1 × 10 <sup>3</sup>	206.67	0.163	1250

第 10 表 輻射熱損失計算表 (於各区間)

区間		1	2	3	4	5	6	7	8	8.5	摘要
炉 高	上部加熱帯	1.4	1.4	1.4	1.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	m
	下部加熱帯	1.4	1.4	1.4	1.4	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	m
ガ ス 黒 度	t <sub>g</sub>	1030	1220	1430	1430	1430	1430	1430	1430	1430	°C
	L	1.47	1.47	1.47	1.47	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62	m
	E <sub>CO<sub>2</sub></sub> · t <sub>g</sub>	0.128	0.110	0.095	0.095	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
	E <sub>H<sub>2</sub>O</sub> · t <sub>g</sub>	0.145	0.125	0.108	0.108	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	
	t <sub>c</sub>	75	220	440	630	800	940	1050	1160	1230	°C
	E <sub>CO<sub>2</sub></sub> · t <sub>c</sub>	0.130	0.117	0.121	0.130	0.160	0.157	0.150	0.141	0.133	
E <sub>H<sub>2</sub>O</sub> · t <sub>c</sub>	0.265	0.240	0.220	0.190	0.230	0.215	0.200	0.188	0.180		
E <sub>g</sub>	0.334	0.346	0.273	0.263	0.330	0.323	0.312	0.302	0.294		

区 分		1	2	3	4	5	6	7	8	8.5	9	10	
輻 射 損 失	上部加熱帯	壁温度	795	1050	1156	1180	1180	1200	1245	1290	1321	1350	1350
		天井	1320	1760	1930	1960	1960	2000	2090	2110	2220	2290	2290
		壁床	516	232	252	260	462	476	497	504	512	323	323
	下部加熱帯	壁温度	795	1050	1156	1180	1234	1234	1272	1307	1332	—	—
		天井	516	232	252	240	382	382	399	407	416	—	—
		壁床	582	769	868	890	912	912	934	978	989	—	—
	計	1836	1992	2182	2320	2422	2476	2587	2614	2732	3174	3174	
	計	1098	1001	1120	1130	1294	1294	1333	1385	1405	—	—	

第 11 表

区分	1	2	3	4	5	6	7	8	8.5
有効黒度	0.74	0.75	0.69	0.68	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66
ガス速度	8.5	7.5	6.5	5.5	4.5	3.5	2.5	2.4	2.4
水温	35	35	40	40	45	45	50	50	50
損失熱量	49800	59800	118000	118000	180000	180000	182000	182000	69000

$A_c$ : 受熱面積  $m^2$

$A_R$ : 輻射伝熱面積 (炉内壁面積)  $m^2$

$\frac{A_c}{A_R}$ : 0.25~0.5 (連続加熱炉のとき)

$E$ : それぞれのガスの輻射能

ガス有効厚さ  $L$  は

$$L = 1.05 \times (\text{炉高}) m$$

炉壁温度は普通炉内ガス温度より  $20^\circ \sim 200^\circ C$  低いものとされている。炉高は第10表のように仮定して計算した。

輻射炉壁熱損失

鋼材  $1m^2$  当りの平均炉壁損失量

$$\frac{38.569 \times 1.5}{11} = 5260 \text{ Kcal}/m^2 \cdot hr$$

$38.569 \text{ Kcal}/m^2 \cdot hr$ : 各区分からの放熱量

$1.5$  .....: TRINKS による実際熱損失と計算値との補正係数

$11$  .....: 区分

今鋼材の熱吸収率を  $40\%$  とすると、炉壁熱損失率は  $130mm \times 520mm \times 7000mm$  鋼片の場合

$$2.02 (hr) \times 5260 (Kcal/m^2 \cdot hr)$$

$$\frac{0.13 (m) \times 1 (m^2) \times 7.800 (kg/m^3) \times 204 (Kcal/kg)}{\times 40\%} = 2.06\%$$

$110mm \times 160mm \times 7000mm$  鋼片の場合

$$1.72 (hr) \times 5260 (kcal/m^2 \cdot hr)$$

$$\frac{0.11 (m) \times 1 (m^2) \times 7800 (kg/m^3) \times 204 (Kcal/kg)}{\times 40\%} = 2.07\%$$

この両者から炉壁輻射伝導損失を  $2.1\%$  とする。

iii) スキッドパイプおよびサポートからの熱損失率  
ガスから冷却水への熱量流率

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Kcal}/m^2 \cdot hr^\circ C$$

$\alpha_1$ : (ガスからの輻射伝達率) + (壁からの輻射伝達率)  $Kcal/m^2 \cdot hr^\circ C$

$\alpha_2$ : 対流による伝達率

$\lambda_1$ :  $\delta_1$  の厚さをもつ断熱材の熱伝導率

$\lambda_2$ :  $\delta_2$  の厚さをもつ鋼管の熱伝導率

冷却水の持ち去る熱量

$$Q = K(t_1 - t_4) \text{ Kcal}/m^2 \cdot hr$$

$t_1$ : ガス温度  $^\circ C$

$t_4$ : 受熱面温度  $^\circ C$

水の水速度  $1m/sec$  とし冷却水出口温度は最高  $50^\circ C$  に保つ。

また鋼管の外径  $90mm$ , 肉厚  $20mm$ , 断熱材厚さ

$50mm$  とし各区分における冷却水による熱損失を計算すると第 11 表のようになる。

ただし、鋼管熱伝導率  $35 \text{ Kcal}/m \cdot hr^\circ C$   
断熱材伝導率  $1.0$

損失熱量合計 =  $1138600 \text{ Kcal}/hr$

次に抽出口、傾斜スキッドおよび前壁受金物の冷却水の損失熱量を見込んで

$$1138600 \times 1.3 = 1480600 \text{ Kcal}/hr$$

ゆえに冷却水熱損失率

$$\frac{1480600 (Kcal/hr)}{70000 (kg/hr) \times 204 (Kcal/kg)} \times 40\% = 4.2\%$$

iv) 鋼材の酸化熱

焼減り  $1.2\%$  とする。

発生熱量: 焼減り  $1kg$  に対して  $1334 \text{ Kcal}$

酸化熱量:  $1334 \text{ Kcal}/kg \times 0.012 = 16.0 \text{ Kcal}/kg$

鋼片  $1kg$  を  $15^\circ C$  から  $1250^\circ C$  まで加熱するに要する熱量  $204 \text{ Kcal}/kg$

ゆえに酸化熱の入熱の割合

$$\frac{16.0}{204} \times [x] = 0.0785 [x]\%$$

ただし  $[x]$ : 鋼片熱吸収率

v) 鋼片スケールの顕熱損失

$$\text{スケール量} = 1.2\% \div 0.75 = 1.6\%$$

$$0.75: \text{スケール中の Fe 分 (75\%)}$$

$$\text{合熱量} = \text{スケール量} \times \text{平均比熱} \times \text{鋼片抽出温度} \\ = 0.016 \times 0.21 \times 1250 = 4.2 \text{ Kcal}/kg$$

スケール顕熱損失

$$= \frac{4.2}{204} \times [x] = 0.02 [x]\%$$

その他の損失:  $4.5\%$

すなわちノロ取口小窓、材料装入口、抽出口などの間隙損失、ここで鋼片熱吸収率  $[x]$  を計算すると

$$[x] - 0.0785 [x] + 0.02 [x] \\ = 100 - (51.5 + 2.1 + 4.2 + 4.5)$$

$$\therefore [x] = 40\%$$

vi) 空気予熱器による熱量節約

一次空気と二次空気の使用割合を  $10:90$  とするとそれぞれの温度は  $15^\circ C$ ,  $500^\circ C$  でまたそれぞれの比熱は  $0.31, 0.32$  であるから予熱空気の熱量  $Q$  は

$$Q = \Sigma (\text{空気量} \times \text{温度} \times \text{比熱}) \\ = 11.9 \times 0.1 \times 15 + 0.31 + 11.9 \times 0.9 \times 500 \times 0.32 \\ = 1720.54 \text{ kcal}/kg$$

燃料に対して

$$\frac{1720}{10000} \times 100 = 17.2\%$$

予熱器の効率を  $90\%$  と考えて  $15.5\%$  の節約となる。

以上をまとめると第 12 表のようになる。

第12表 熱 勘 定 表

1. 廃ガス損失	51.5%
2. 炉壁からの輻射損失	2.1
3. スキッドパイプ熱損失	4.2
4. 鋼材の酸化熱量	-3.1
5. スケールの顕熱量	0.8
6. 鋼材の吸収熱量	40.0
7. その他	4.5
小 計	100%
8. 予熱空気顕熱量	15.5%

4. 燃料消費量

i) 総燃料消費量は

鋼片加熱に要する熱量

$$= \frac{70000(\text{kg/hr}) \times 204(\text{Kcal/kg})}{40(\%)}$$

$$= 35700000 \text{ Kcal/hr}$$

ゆえに重油消費量 =  $\frac{35.7 \times 10^6(\text{Kcal/hr})}{10000(\text{Kcal/kg})}$

$$= 3570 \text{ kg/hr}$$

ii) 上部および下部加熱帯の各燃料消費量を受熱面積比で割ると

上部表面積 : 108 m<sup>2</sup>

下部 " : 68 m<sup>2</sup>

スキッドパイプの持去る熱量は下部加熱が与えるものとして上部加熱帯の供給燃料量は

$$\left\{ 3570(\text{kg/hr}) - \frac{1.48 \times 10^6(\text{Kcal/hr})}{10000(\text{Kcal/kg})} \right\}$$

$$\times \frac{108}{108+68} = 2100 \text{ kg/hr}$$

下部加熱帯の供給燃料量は

$$3570 - 2100 = 1470 \text{ kg/hr}$$

実際の材料の均熱および加熱容量の増加を考えて

上部加熱帯 : 1700 kg/hr

下部加熱帯 : 1600 kg/hr

均熱帯 : 800 "

とする.

上記重油量から鋼片熱吸収率は

$$\frac{70000 \times 204}{41000000} = 35\%$$

5. 炉線の決定

ガス生成量

上部ガス生成量 :

$$1700(\text{kg/hr}) \times 12.88(\text{Nm}^3/\text{kg})$$

$$\times \frac{1}{3600(\text{sec})} = 6.1 \text{ Nm}^3/\text{sec}$$

下部ガス生成量

$$1600(\text{kg/hr}) \times 12.88(\text{Nm}^3/\text{kg})$$

$$\times \frac{1}{3600(\text{sec})} = 5.7 \text{ Nm}^3/\text{sec}$$

各区分について炉高を求め第 13 表に示す.

炉線決定における炉高は最初

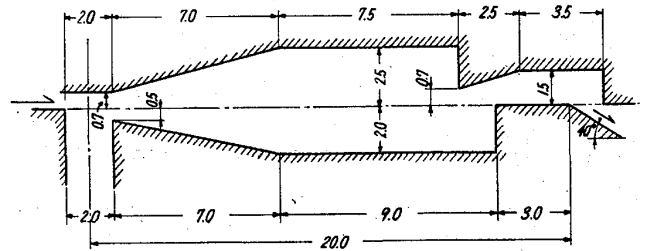
上部 1~4 区間 : 1.4m

5~8.5 " : 2.5m

下部 1~4 " : 1.4m

5~8.5 " : 2.0m

と想定し, これを文献で類似した加熱能力をもつ炉の炉線を参考として上記表の如く決定した.(炉線第2図参照)



第 2 図 炉 線 図

第 13 表

区 間	ガス温度 °C	容積係数	ガ ス 速 度		ガス速度 m/sec	計算炉高 m	備 考
			Nm <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec			
上 部 加 熱 帯	1	1030	4.80	6.1	29.3	5.30~4.00	} 1.40mと仮 定した.
	2	1220	5.45	"	33.1	4.55~2.85	
	3	1430	6.25	"	38.1	3.25~2.37	
	4	1430	6.25	"	"	2.37~1.88	
	5	1430	6.25	"	"	"	
	6	1430	6.25	"	"	"	
	7	1430	6.25	"	"	"	
	8	1430	6.25	"	"	"	
下 部 加 熱 帯	1	1030	4.80	5.7	27.3	6.32~4.52	} 1.40mと仮 定した.
	2	1220	5.45	"	31.0	5.15~3.00	
	3	1430	6.25	"	35.6	3.45~2.75	
	4	1430	6.25	"	"	2.75~2.06	
	5	1430	6.25	"	"	"	
	6	1430	6.25	"	"	"	
	7	1430	6.25	"	"	"	
	8	1430	6.25	"	"	"	

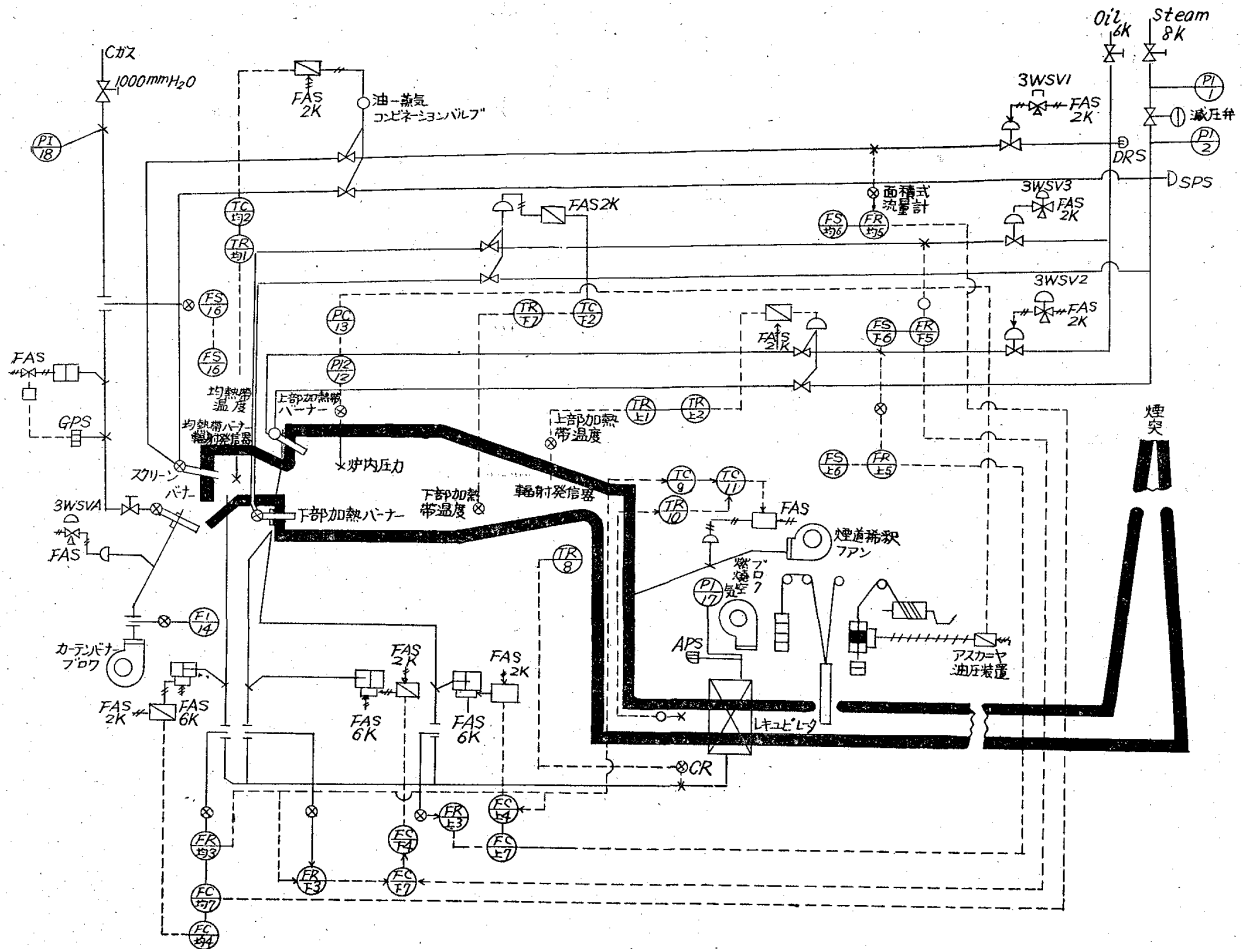




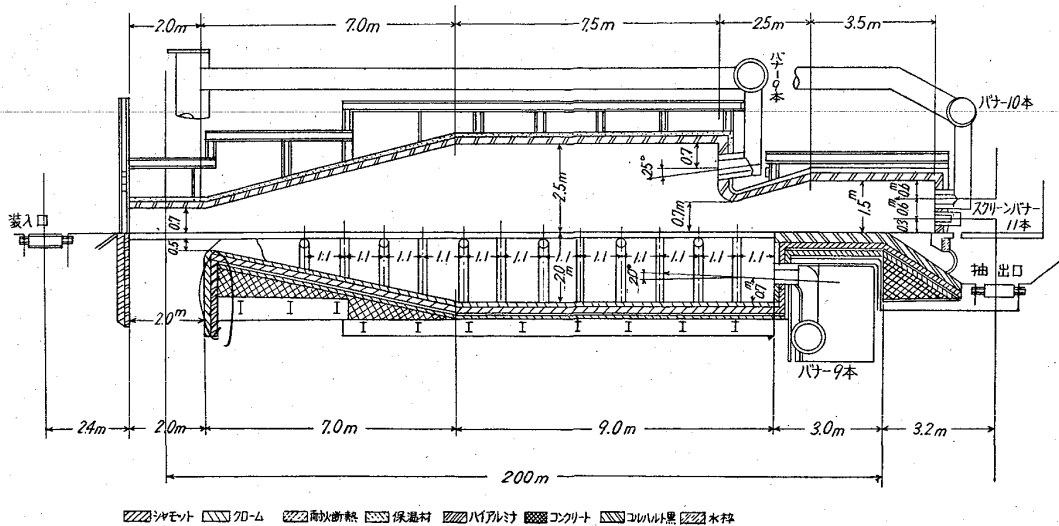


第14表 ホットストリップミルの設計仕様

1	工場番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	備考
2	第1粗庄延機	2Hi 410	2Hi 900	2Hi 930	3Hi 1490	2Hi 1870	2Hi 2610	2Hi 1340	2Hi 900	2Hi 930	2Hi 750	↓ * 同一電動機にて駆動
3	第2粗庄延機	2Hi 410	2Hi 900	2Hi 930	3Hi ↓ *	2Hi 1870	2Hi 2610	2Hi 1340	2Hi 1190	2Hi 1120	2Hi 1490	
4	第3粗庄延機	2Hi 410	2Hi 900	2Hi 930	—	2Hi 2240	2Hi 2610	2Hi 1340	2Hi 1640	2Hi 1490	2Hi 1870	
5	第4粗庄延機	2Hi 410	2Hi 900	2Hi 930	—	2Hi 2240	2Hi 2610	2Hi 1340	2Hi 2240	—	2Hi 2240	
6	作動ロール径	520	580	714・3	600	890	636	660	610	737	710	φ mm
7	長さ	1000	600	914・4	1600	1091	1066	1066	965	1041	915	
8	縦ロール機台数	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	kW
9	型式	独	独	立	独	水平ロール機	独	立	立	立	立	
10	出力 kW	220	370	185	185	220	220	150	185	185	260	
11	出力 (mm)	(500)	600	571・5	520	686φ × 1091	75	110	110	110	110	
12	ロール径 (mm)	600	600	571・5	520	686φ × 1091	75	110	110	110	110	φ mm
13	ホールの長さ (m)	34・0	34・0	35・0	22・85	47・0	42・3	18・3	8・5	5・2	48・7	
14	第1仕上庄延機	2Hi 560	4Hi 900	4Hi 1870	2Hi 1010	4Hi 2610	4Hi 3730	4Hi 1870	4Hi 1490	4Hi 1490	4Hi 1490	↓ * 同一電動機にて駆動
15	第2仕上庄延機	2Hi 560	4Hi 900	4Hi 120×2	2Hi ↓ *	4Hi 2830	4Hi ↓ *	4Hi 1870	4Hi 1490	4Hi 1490	4Hi 1490	
16	第3仕上庄延機	2Hi 560	4Hi 900	4Hi 120×2	2Hi 1010	4Hi 2830	4Hi ↓ *	4Hi 1870	4Hi 1490	4Hi 1490	4Hi 1870	
17	第4仕上庄延機	2Hi 560	4Hi 900	4Hi 120×2	2Hi ↓ *	4Hi 2610	4Hi ↓ *	4Hi 1870	4Hi 1490	4Hi 1490	4Hi 1870	
18	第5仕上庄延機	2Hi 560	4Hi 900	4Hi 1120	4Hi 710	4Hi 2240	4Hi 1490	4Hi 1870	4Hi 1490	—	4Hi 1490	
19	第6仕上庄延機	2Hi 560	4Hi 900	4Hi 1120	4Hi 710	4Hi 2240	4Hi 1490	4Hi 1870	4Hi 1490	—	4Hi 1490	
20	第7仕上庄延機	2Hi 560	4Hi 900	4Hi 1120	4Hi 710	—	—	—	—	—	—	
21	作動ロール径 (mm)	410	340	510(2)	500	534・0	419・5	419・5	457・5	470・0	457・5	φ mm
22	長さ (mm)	500	600	410(5)	650	1091・0	1066	1006	965	915	965	
23	補強ロール径 (mm)	—	600	925	650	1444・0	813	838	940	940	1082	φ mm
24	縦ロール機台数	1	2	なし	1	—	—	—	—	—	—	
25	型式	立	独	なし	立	—	—	—	—	—	—	kW
26	出力 kW	80	550(2)	—	75	—	—	—	—	—	—	
27	ロール径 (mm)	550	480(1)	—	440	—	—	—	—	—	—	t/hr
28	ファーフクター台数	—	6	6	4	—	6	5	—	4	5	
29	型式	—	トルクモーター	空気圧力	トルクモーター	—	空気圧力	空気圧力	—	トルクモーター	トルクモーター	t/hr
30	最高生産能力	900	55・0	154・0	95・0	—	95・0	—	—	95・0	—	



第4図 モデルプラント連続鋼片加熱炉計装図 (JIS. Z. 8204)



第5図 モデルプラント連続鋼片加熱炉組立図 (70 t/hr)

径を決定した。

B 粗圧延機 No.1 および No.2 の最大圧下量はロールと鋼材間との摩擦係数に基づく噛込み角度によつて決定される。

第6図から、点A~点B、点B~点C間で材料に作用する水平方向の力は互に同値で方向反対といえる。

$$\int_{\phi}^{\alpha} K \cos(90^{\circ} - f + \alpha) d\alpha$$

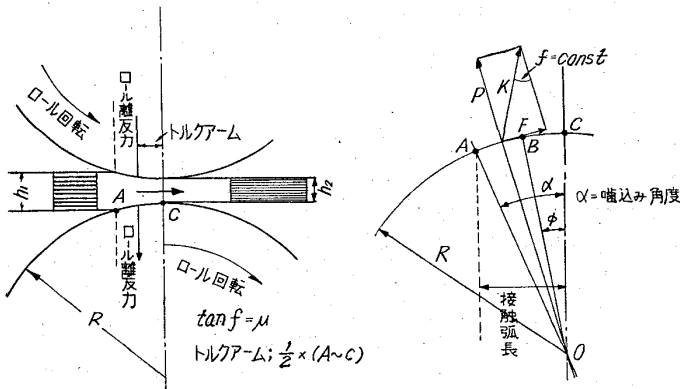
$$= \int_0^{\phi} K \cos(90^{\circ} - f - \alpha) d\alpha$$

$$\therefore \phi = \frac{\alpha}{Z} - \frac{1}{f} \left( \frac{\alpha}{Z} \right)^2$$

第15表 “広幅帯鋼と狭幅帯鋼” 連続圧延設備の比較

設備名	広幅帯鋼連続 圧延設備		狭幅帯鋼連続 圧延設備	
	特徴	基数	特徴	基数
粗スケールブレイカー	水平ロール機型	1	堅ロール機型	(2)
粗圧延機	四重水平ロール機	4	二重水平ロール機	4
仕上スケールブレイカー	水平ロール機型	1	堅ロール機型	(3)
堅ロール機	粗圧延機列	4	粗圧延機列	2
	仕上圧延機列	0	仕上圧延機列	3
仕上圧延機	四重水平ロール機	6	四重水平ロール機	6

( )内数字は堅ロール機台数と重複して記載されている。



第 6 図

$\phi$  の最大値は  $\alpha = f$  のときに与えられる。図中に示されているが

$$\tan f = \mu$$

上式の関係から

$$\mu = \tan \alpha$$

が求められる。この時の  $\alpha^\circ$  を最大噛込み角度といい最大圧下量は

$$2R(1 - \cos \alpha^\circ)$$

によつて求められる。

R 3~F 6 圧延機における圧下量は冶金学的に材料温度の質量効果、塑性変形速度などから、圧延前厚さの 45% を最大とする。

C B の数値を採用した場合の圧下スケジュール

D 最小圧下率、作業面からみると更に軽下のスキップのような圧延も可能であるが、ここで示す最小圧下率 (20%) とは、労務費原価償却費など販売原価および利益を確保し得る経済性を保証した圧下率を意味する。

E 表 1 から圧延可能最大厚さ  $h_{max.} = 8.0\text{mm}$  圧延可能最小厚さ  $h_{min.} = 0.9\text{mm}$  を最初に決め、それに基くそれぞれの圧下率から圧延スケジュールを求めた。

$$\text{圧下率} = \frac{b_2 h_2}{b_1 h_1} \times 100$$

F 6 圧延機における、材料の断面形状、ロール周速からのおおのの圧延機のロール周速  $V_i$  を求めた。

$$V_i = V_6 \times \frac{b_6 h_6}{b_i h_i} \quad (\text{m/sec}) \quad \begin{matrix} b : \text{巾寸法 mm} \\ h : \text{厚さ寸法 mm} \end{matrix}$$

H 粗圧延機列におけるロール周速は、材料の進行速

度、塑性変形速度および経験から決定した。R 4 圧延機のロール周速と、FE 1 圧延機のロール周速とを近似することが製品寸法を均一にするためには必要である。

仕上圧延機列における、ロール周速は FG 欄および減速比 (1:2.5) を参考として

$$V_i = V_1 \times \frac{b_1 \times h_1}{b_i \times h_i} \quad (\text{m/sec})$$

の式から求めている。

圧延機速度線図は、第 10 図に示してあります。

J 圧延機は、串型配置が多く採用されている。各串型配置中の圧延機数は粗圧延機で 2~3 スタンド、仕上圧延機で 9 スタンドである。

電動機出力は ECKELUND の式からロール離反力 (P) を求め圧延電動機出力を求めた。

$$\text{電動機出力} = \frac{2}{n} \times \frac{P}{75} \times \frac{a}{R} \times \frac{N}{60} \times 0.7355 = IV \quad (\text{kW})$$

P : ロール離反力 : kg

a : トルクアーム : m

n : 効率

R : ロール半径 : m

(含む 機械効率)

N : ロール回転数 : r.p.m

電動機効率

I : 電 流 : kA

V : 電 圧 : V

L 電動機回転数: ロール周速範囲を粗圧延機 (1:2.0) 仕上圧延機 (1:2.5) と決めたので、ロール径、圧下スケジュールを考えながら、最高圧延速度、最低圧延速度をそれぞれ FG 欄に示し、また圧延技術の向上により圧延機の特性を正しく把握すし、電気機器の製作、修理技術の向上、設備に対する予防保全が徹底して来た、などの理由により修理に長期間を要する故障が発生しなくなった。また電動機の回転速度範囲に互換性をもたせることは電動機効率を低下させることになるので避けた。以上の理由により電動機は互換性を重視せず回転数を最適に選んだ。

M 減速比、電気機器、製作の技術も進歩したことにもよるが設備費用の面からも考え、圧延機と電動機とを直結する形式を多く採用した。

## 2. 圧延機出力

第 17 表から圧延機速度線図、第 10 図を求め、圧下スケジュールを決めて ECKELUND の式から、ロール離反力を求めた。

$$P =$$

$$bm\sqrt{R(h_1-h_2)} \left[ 1 + \frac{1.6\mu\sqrt{R(h_1-h_2)} - 1.2(h_1-h_2)}{h_1+h_2} \right] \times \left( \sigma + K \frac{2V\epsilon\sqrt{\frac{h_1-h_2}{R}}}{h_1+h_2} \right)$$

P : ロール離反力 (kg)  $\begin{cases} bm : \text{平均材料巾 mm} \\ R : \text{ロール半径 mm} \\ h_1 : \text{パス前材料厚さ mm} \\ h_2 : \text{パス後材料厚さ mm} \end{cases}$

$\mu$  : 摩擦係数

0.8(1.05-0.0005 t) : 軟鋼とチルドロール

0.8(1.31-0.0005 t) : 軟鋼と鋳鋼ロール

$\sigma$  : 変形抵抗 kg/mm<sup>2</sup>

(14-0.01 t)(1.4+C+Mn+0.3Cr)

ただし、C, Mn, Cr は % 値

V : ロール周速 m/sec

第16表 圧延機，電動，機減速機諸元表

ス タ ン ド 別	諸元算出のための参考値						主電動機減速機諸元						摘 要	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		M
	ローレル径 mm	最大 率 mm	大 率 mm	最 下 率 mm	小 率 mm	Dによる 圧延スケケル mm	Cの時の 圧延速度 m/sec	Eの時の 圧延速度 m/sec	平均ローレル径 の時の速度範囲 最小 最大 m/sec	電動機 電源	電動機 出力 kW	ローレル回転数 r.p.m		電動機 回転数 r.p.m
鋼片 RE 1	600~650		135.0 135.8		74.0 74.4			1.45	AC	370	44.30	500	*10.850	*4%のスリッ プを見込んでい る。
R 1	630~650	$\alpha = 24^\circ$ 52.0mm	83.8	20	59.5			0.600~1.200	DC	1100	18.32~36.64	200~400	10.910	
R 2	630~650	$\alpha = 20^\circ$ 36.0mm	47.8	20	47.6			1.200	AC	1100	36.64	500	*13.120	
RE 2	600~650		47.8		47.6			0.625~1.250	DC	220	19.10~38.20	200~400	10.460	
R 3	580~630		26.3	20	38.1			1.250	AC	1100	39.46	500	*12.670	
R 4	580~630		14.5	20	30.4			1.250~2.500	DC	1100	39.46~78.92	200~400	5.070	
FE 1	500~550		145.0		30.40	0.932	1.575	0.716	DC	75	17.37~69.45	160~400	9.215	
F 1	325~350	45	8.00	20	24.40	1.689	1.965	1.065	DC	1100	60.3~150.8	200~500	3.318	
F 2	325~350	45	4.40	20	19.50	3.070	2.460	1.650	DC	1100	91.5~228.5	200~500	2.186	
FE 2	500~550		4.40		19.50	3.070	2.460	1.650	DC	75	57.45~143.61	160~400	2.786	
F 3	325~350	40	2.64	20	15.60	5.110	3.045	2.390	DC	1100	135.5~338.9	200~500	1.476	
F 4	325~350	35	1.72	20	12.50	7.850	3.840	3.415	DC	1100	193.3~483.0	200~500	1.000	減・印
FE 3	500~550		1.72		12.50	7.850	3.840	3.415	DC	75	121.50~307.5	160~400	1.317	速比 1:1
F 5	325~350	35	1.12	20	10.00	12.030	4.800	4.920	DC	1100	278.5~696.3	280~700	1.000	モーターと直結
F 6	325~350	20	0.90	20	8.00	15.000	6.000	6.000	DC	1100	347.2~868.0	350~875	1.000	

圧下電動機 (セルシンモーター 2組併用する)

仕上圧延機 (6基) 粗圧延機 (4基)

台数: 2台×6基=12台 2台×4基=8台

出力: 6~7.5 kW 7.5 kW

電源: DC AC

速度範囲: (0~500) r.p.m (500~1000) 2段 1000 r.p.m

フープリフター (6基 各仕上水平スタンド前)

押し上げ力: 50~700kg (0.1~0.3kg/mm<sup>2</sup>)

アームの長さ: 0.4m

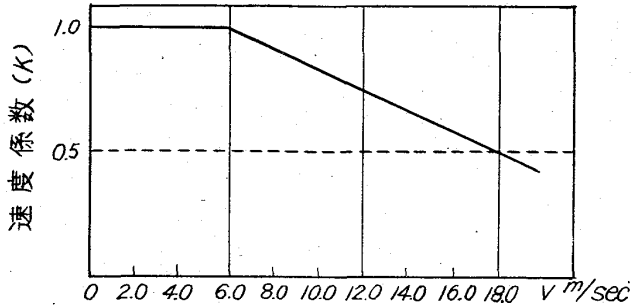
応答速度: 1.0sec

動力: 空気圧力

補

機

$\epsilon$  : 粘性係数  $\text{kg} \cdot \text{sec}/\text{mm}^2$  (軟鋼)  
 $0.01(14-0.01 t)$   
 $t$  : 材料温度  $^{\circ}\text{C}$   
 $K$  : 速度係数 第7図参照.



第7図 速度係数

上記の諸元を用いて、ロール離反力を求め、圧延機出力を求める。

$$\text{圧延機出力} = 2 \times P \times \frac{a}{R} \times \frac{N}{60} \times \frac{1}{75} \times 0.746 \text{ kW}$$

(参照: 第9図, 第19表)

### 3. 圧延機パスタイム

各圧延機、パスタイムの計算には、鋼片の噛込み角度、圧下率、巾広がり量などを考慮して、各圧延機における断面縮少率、材料長さを求めた。その材料長さを各圧延機のロール周速で割って機別パスタイムを求めた。

抽出ピッチの決定手順は第11図、第12図に示されているが、仕上げ圧延機で材料を圧延していない。圧延余裕時間を10秒間与えるとして決められている。

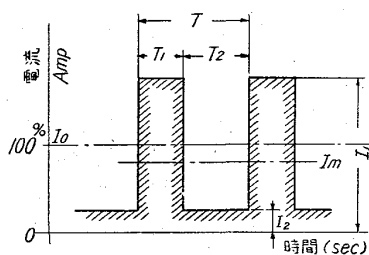
この図を利用して圧延機間の最適テーブル長さを決定することが出来ると共にパスタイムの制約による圧延機圧延能力を求めることが出来る。(参照: 第20表)

### 4. 電動機熱容量 (特に過負荷容量) による制限

仕様書に示されている主電動機の過負荷容量は 300% 瞬時負荷および 200% 負荷1分間、と示されている。

電動機が回転している時には一般に機械損失によつて発生する熱と電機子の内部抵抗に負荷時の大電流が流れて発生する熱とがあり、両者を加えた熱量が設計値を越えてはいけなないので 100% 負荷時の定格電流が決められている。

この過負荷容量計算方法の一例として Root mean square 出力を求める方法を挙げ第19表に示されている。100% 負荷を超過する圧延負荷に対しては、その過剰電流による発熱量を吸収し得る 100% 以下の負荷の圧延時間 (無負荷、圧延機余裕) が必要である。



第8図

$T$  : 圧延ピッチ 単位 sec  
 $T_1$  : 圧延パスタイム // sec  
 $T_2$  : 圧延余裕時間 // sec  
 $I_1$  : 圧延電流 // A  
 $I_2$  : 空転時電流 // A  
 $I_m$  : Root mean square 電流 // A  
 $I_0$  : 定格電流 // A

第8図から Root mean square 出力を求めると

$$I_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

主電動機の電源は直流を採用する。

ここで  $I_m = I_0$  となる時の  $T_2$  を求める計算を進める。

$$I_1 = I_0 \times \alpha$$

$$I_2 = 0$$

ただし  $\alpha$  : 過剰電流係数

と仮定する

$$I_m = I_0 = \sqrt{\frac{(I_0 \alpha)^2 T_1 + I_2^2 \cdot T_2}{T_1 + T_2}}$$

$$\therefore T_2 = (\alpha^2 - 1) T_1$$

次に圧延ピッチを  $T$  求めると

$$T = T_1 + T_2 = T_1 + (\alpha^2 - 1) T_1 = \alpha^2 T_1$$

上述の過剰電流により制約を受ける。主電動機圧延能力は

$$\text{主電動機圧延能力} = \frac{3600(\text{sec})}{T(\text{sec})} \times \text{鋼片重量 t/hr}$$

スラブ重量の同一なる場合はこの圧延ピッチ  $T_s$  の小さい方が圧延能力が大きいことになる。

第13図のグラフから同一圧下スケジュールの時の圧延速度 a b c d における圧延馬力の変化の状態を把握し第14図から圧延速度 a b c d における  $\alpha^2$  をそれぞれについて求め第17表に示す。

第17表

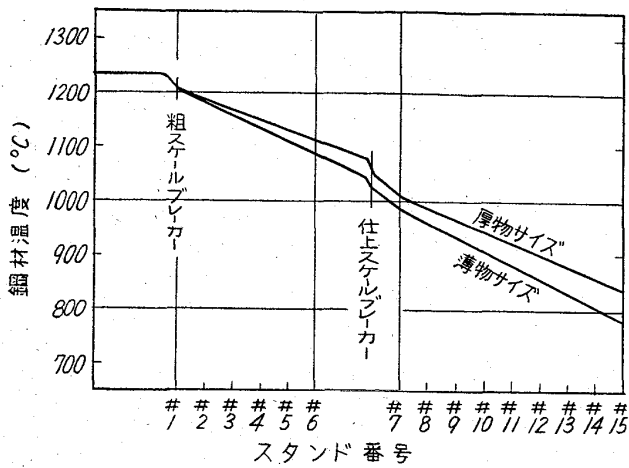
速度 m/sec	過剰電流係数		パ ス タ イ ム $T_1$ sec	ピ ッ チ タ イ ム $T$ sec	圧延能力 t/hr
	$\alpha$	$\alpha^2$			
a = 6.50	1.33	1.60	18.0	28.8	452.0
b = 6.88	1.40	1.96	17.0	33.4	391.0
c = 7.24	1.48	2.20	16.0	35.2	370.0
d = 7.76	1.58	2.50	15.0	37.5	347.0

第15図から、圧延速度 a b c d におけるパスタイムを求めて  $\alpha^2$  との積から圧延ピッチ、 $T$  秒を求めると、第15図のグラフのごとくなる。

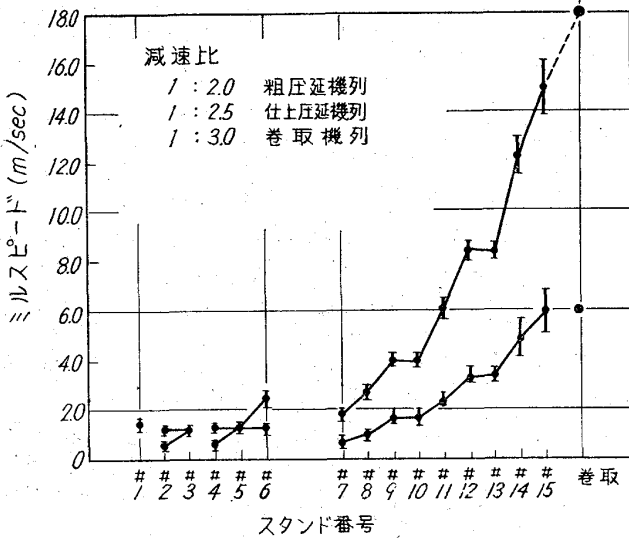
ゆえに、圧延速度 6.5m/sec のとき圧延ピッチ、 $T = 28.8$  秒となり最大の主電動機圧延能力を得ることが出来る。また圧延機出力が電動機の 100% 負荷を越える場合電動機負荷を軽減するために、圧延機のロール周速を下げる方法が挙げられる。加えるにロール周速を下げる結果として圧延ピッチ  $T$  秒が小さくなり主電動機圧延能力を大きく出来る。

### 5. 圧延能力の算定

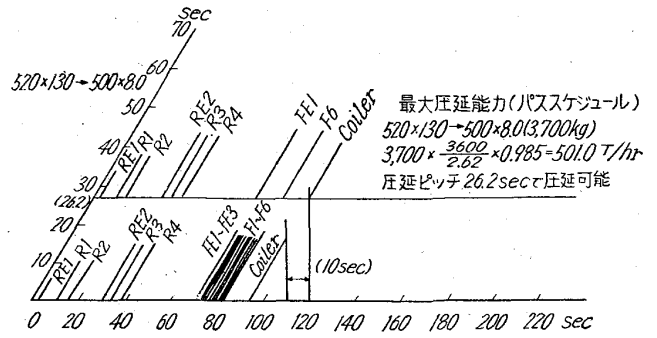
前述のごとく、加熱能力、圧延機出力、主電動機能力な



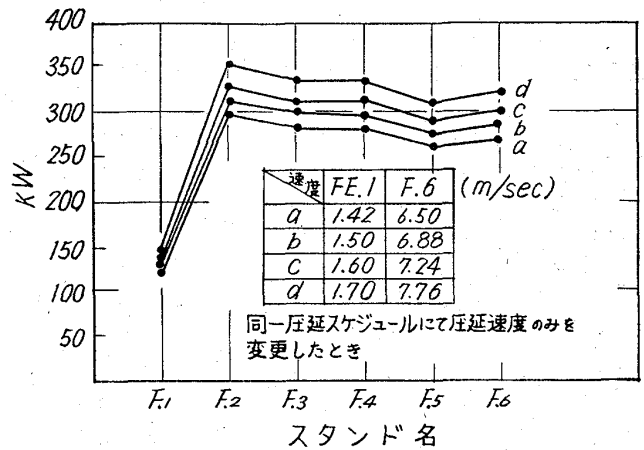
第9図 圧延過程における温度変化



第10図 スピード・コーン



第12図



第13図 圧延動力-圧延速度

どについて試算が行なわれたので、狭幅帯鋼モデルプラントの生産能力について総合的検討を加える。

i) 加熱能力による制限

加熱設備の能力は  $70 \text{ t/hr} \times 3 \text{ 基} = 210 \text{ t/hr}$  であり、一般に 20% の過負荷を許容すると  $210 \text{ t/hr} \times 1.20 = 252 \text{ t/hr}$

ゆえに最大 252 t/hr まで加熱する能力がある。

ii) 圧延機パスタイムによる制限

機別パスタイムの資料に捲取機入口における材料後端と材料先端との間隔を10秒とする時の生産能力が示されている。

最大  $442 \cdot 0 \text{ t/hr}$  (hr=8.0mm) ~ 最小  $51 \cdot 7 \text{ t/hr}$  (hr=0.9mm)

iii) 主電動機熱容量による制限

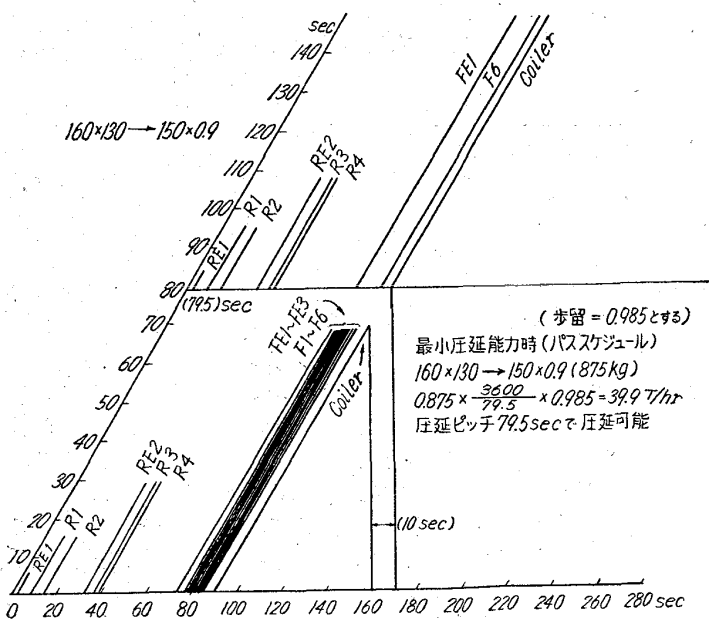
第18表からも判るように、ほとんどすべての圧延スケジュールで定格電流を超過させたものもある。

第16図からも判るごとく、過負荷容量に注意を払う必要もなく、i) ii) の圧延能力は出すことができる。

iv) 捲取機能力

圧延機パスタイムによる制限で捲取機に関する制限も考慮されている。また捲取速度は仕上最終スタンドのロール周速よりも速いので、圧延機と同程度の余裕はある。

以上、4つの制限の他に狭幅帯鋼成品寸法の均一性を保証するためには成品長さ、500mm



第11図

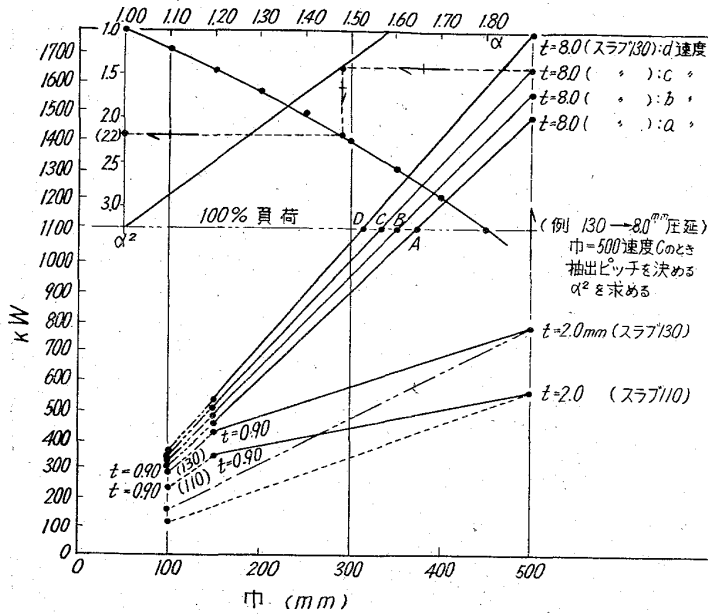


第18表 単位製品巾における圧下スケジュール及び圧延馬力 (巾=100mm)

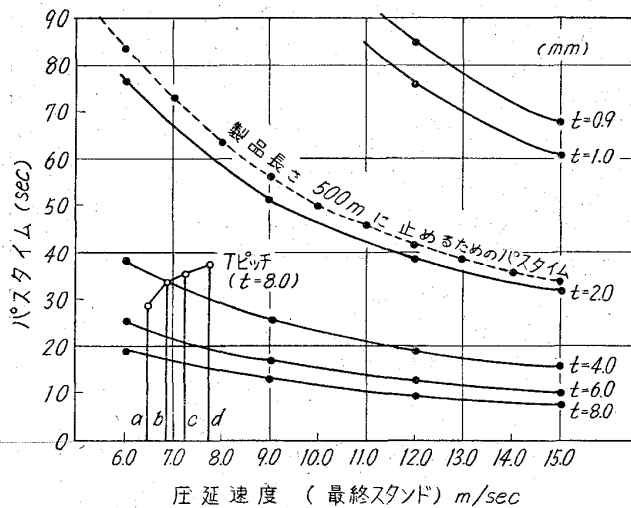
Thickness Stand	(1) 130 → 0.9 mm						(2) 110 → 0.9 mm						(3) 130 → 2.0mm						
	Temp.	Thick	Speed	Contact Pressure	HP	Temp.	Thick	Speed	Contact Pressure	HP	Temp.	Thick	Speed	Contact Pressure	HP	Temp.	Thick	Speed	
	°C	mm	m/sec	mm	ton	°C	mm	m/sec	mm	ton	°C	mm	m/sec	mm	ton	°C	mm	m/sec	
Slab	1230	130				1230	110				1230	130				1230	130		
RE 1	1210	132	1.450			1210	111	1.450			1210	132	1.450			1210	132	1.450	
RE 1	1180	81	0.670	128	236.5	1180	60	0.654	124	209.0	1180	81	0.670	58.0	209.0	1180	81	0.670	
RE 2	1155	43	1.200	107	390.0	1155	29	1.200	93.7	299.0	1155	43	1.200	59.8	299.0	1155	43	1.200	
RE 2	1130	44	0.580			1130	30	0.626			1130	44	0.584			1130	44	0.584	
RE 3	1110	20.4	1.250	84	410.0	1110	15.0	1.250	67.4	248.2	1110	20.4	1.250	66.2	248.2	1110	20.4	1.250	
RE 4	1085	10.9	2.330	53	410.0	1085	8.9	2.110	42.8	233.0	1085	10.9	2.330	58.0	233.0	1085	10.9	2.330	
FE 1	985	11.0	1.00			985	9.0	1.00			985	11.0	1.00			990	11.0	1.50	
FE 1	960	5.70	1.93	30.00	256.4	960	4.70	1.92	26.9	196.4	960	5.70	1.93	48.5	196.4	965	7.40	2.23	
FE 2	935	3.10	3.54	21.00	385.2	935	2.60	3.46	18.8	306.1	935	3.10	3.54	60.0	306.1	940	5.15	3.21	
FE 2	910	3.10	3.54			910	2.60	3.46			915	3.21	3.21			915	5.15	3.21	
FE 3	880	1.97	5.54	13.85	415.0	880	1.70	5.29	12.4	304.2	880	1.97	5.54	59.0	304.2	890	3.85	4.29	
FE 4	860	1.42	7.74	9.66	370.0	860	1.22	7.37	9.03	302.5	860	1.42	7.74	58.0	302.5	865	2.90	5.69	
FE 3	830	1.42	7.74			830	1.22	7.37			840	1.42	7.74			840	2.90	5.69	
FE 5	805	1.11	9.93	7.14	328.0	805	1.02	8.86	5.83	156.0	805	1.11	9.93	38.5	156.0	820	2.39	6.90	
FE 6	780	0.91	12.08	5.90	221.0	780	0.91	9.89	4.32	90.6	780	0.91	12.08	27.0	90.6	800	2.02	8.18	

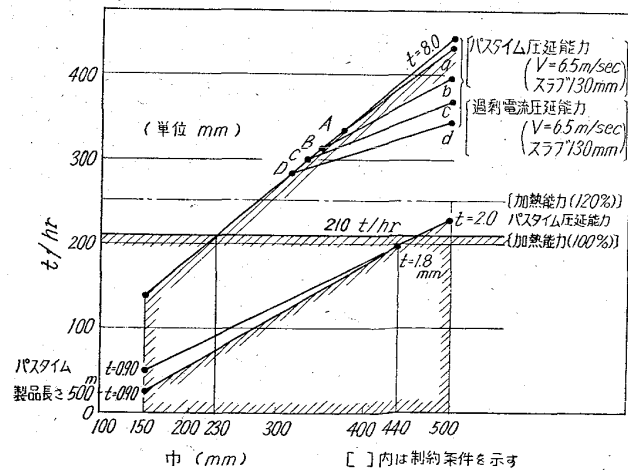
Thickness Stand	(3) 130 → 2.0mm						(4) 110 → 2.0 mm						(5) 130 → 8.0 mm						
	Contact Pressure	HP	Temp.	Thick	Speed	Contact Pressure	HP	Temp.	Thick	Speed	Contact Pressure	HP	Temp.	Thick	Speed	Contact Pressure	HP		
	mm	ton	°C	mm	m/sec	mm	ton	°C	mm	m/sec	mm	ton	°C	mm	m/sec	mm	ton		
Slab																			
RE 1	128	62.0	236.5	110	1.450	1230	110	1.450			1230	130	1.450			1230	130	1.450	
RE 2	107	68.2	390.0	111	0.654	1210	111	0.654	124	209.0	1185	99.0	0.818	45.0	162.5	1170	97.3	0.818	302.0
RE 3	84	87.0	410.0	29	1.200	1155	29	1.200	93.7	299.0	1150	68.4	0.870	58.0	290.0	1130	47.0	0.870	179.0
RE 4	53	74.0	410.0	30	0.626	1130	30	0.626	67.4	248.2	1110	36.8	1.595	45.5	179.0	1110	36.8	1.595	
FE 1	24.75	40.0	173.4	9.0	1.50	990	9.0	1.50	20.9	121.2	1005	37.00	1.42	34.0	161.5	1005	37.00	1.42	
FE 1	19.53	41.2	202.4	6.40	2.11	965	6.40	2.11	17.5	153.4	985	30.00	1.75	52.4	402.0	985	30.00	1.75	
FE 2	14.85	41.0	205.0	4.60	2.94	940	4.60	2.94	13.7	148.0	965	21.00	2.50	46.0	382.0	945	21.00	2.50	
FE 3	12.70	46.0	205.2	3.45	3.86	890	3.45	3.86	11.3	148.0	920	15.00	3.37	45.0	380.0	900	12.00	4.35	
FE 3	9.30	38.0	191.4	2.75	4.91	865	2.75	4.91	8.84	141.0	880	12.00	5.42	42.0	352.0	880	12.00	5.42	
FE 5	7.94	36.5	486.0	2.29	5.90	820	2.29	5.90	7.02	96.2	860	9.70	6.50	43.0	364.0	840	8.08	6.50	



第14図 圧延スケジュール $\alpha^2$



第15図 圧延速度-パスタイム



第16図 製品巾一生産能力

以下でなければならない。

第15図圧延速度パスタイムのグラフ内に成品長さ500m以下という条件を満足する圧延機ロール周速, パスタイムのグラフを示しているが, 成品厚さ $h=1.8\text{mm}$ 以下の狭幅帯鋼を圧延する時には鋼片厚さ, 鋼片長さを切り下げて成品長さが500m以下になるように調整する。

以上の関係を第16図成品巾一生産能力に示す。生産能力は陰影に囲まれている範囲にあることを示している。

$h=0.9\text{mm} \rightarrow h=2.0\text{mm}$ 間に引かれている線は, 圧延可能最小厚さの成品巾に対する生産能力の上限界を示す線である。

第17図に各個水銀整流器を使用した静止レオナード制御方式の圧延電気設備系統図を示す。

第18図に当狭幅帯鋼モデルプラントで採用されると同型式の粗二重圧延機, 仕上四重圧延機の諸元を示す。

6. 附属機器

i) ロールハウジングに働く応力

ロールハウジングは鋳鋼製とする。

鋳鋼の機械的性質は, 圧縮強度が引張強度よりも大きいのでポストの中立軸はロール側に寄つたところで設計されて, 曲げモーメントによつて発生する引張応力は小さくなるように製作されている。

ハウジング全体としての変形はラーメンとして考えられ, 変形後の中立軸は第19図の点線の如く考えられている。

鋳鋼材の最大応力は各断面の形状効果を加味して

$$\text{梁: } 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{柱: } 1500 \text{ kg/cm}^2$$

設計時の許容応力としては, 上記の値の1/5~1/6の値を採用する。第19図の記号を用いると, モーメントおよび応力は

$$M_s = \frac{(Q \cdot B/4) \times B/2}{(H \cdot J_q/J_s) + B} \quad \sigma_s = \frac{M_s}{W_s} \pm \frac{Q}{F_s}$$

$$M_q = \frac{QB}{4} - M_s \quad \sigma_q = \frac{M_q}{W_q} \quad \text{と示される。}$$

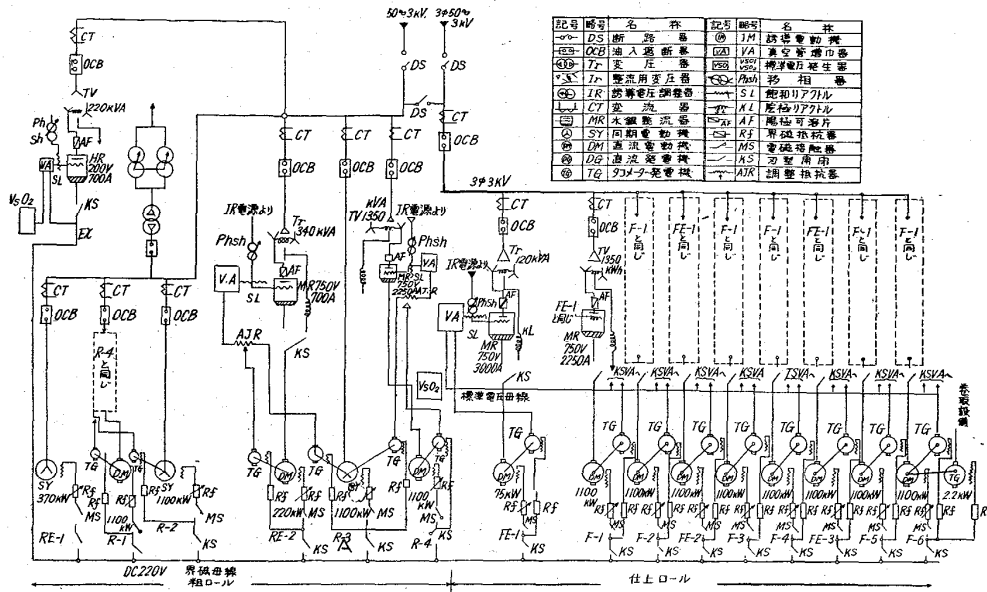
例えば, 日本鋼管(株)川崎製鉄所帯鋼工場仕上四重圧延機に当モデルプラントにおける設計時の圧延荷重450tが働く場合の応力計算を示す。第19図と同一記号を用いると

$$\begin{cases} B = 132\text{cm} \\ H = 313 \cdot 5\text{cm} \\ g = 59\text{cm} \\ C = 48 \cdot 5\text{cm} \\ t = 30\text{cm} \\ F_s = 1 \cdot 455 \times 10^8 \text{cm}^2 \end{cases}$$

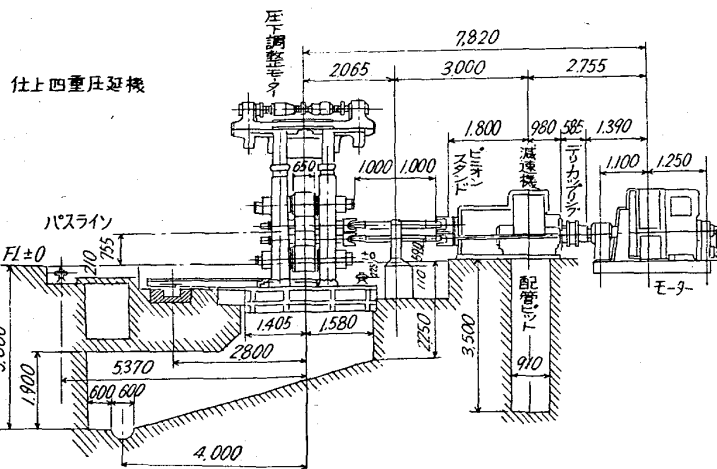
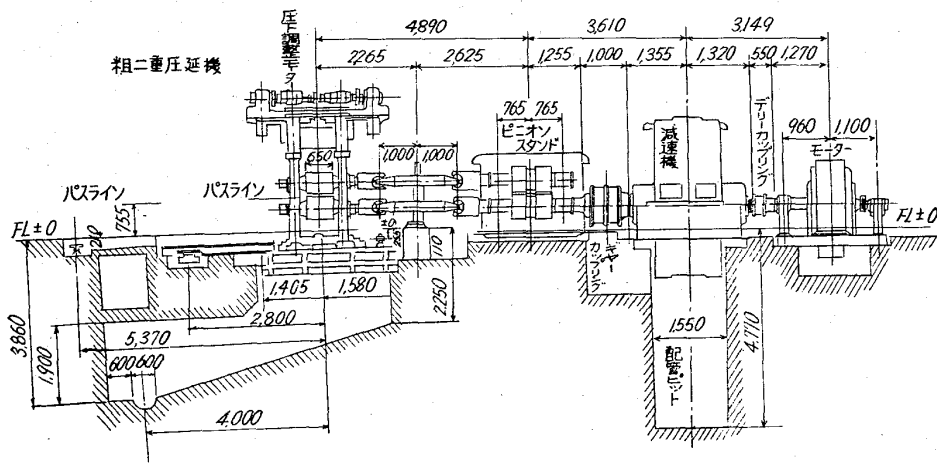
$$Q = \frac{450 \times 10^2}{4} = 225 \times 10^3 \text{kg}$$

$$J_s = \frac{1}{12} \times 30 \times 48 \cdot 5^3 = 2 \cdot 85 \times 10^5 \text{cm}^4$$

$$J_q = \frac{1}{12} \times 30 \times 59 \cdot 0^3 = 5 \cdot 13 \times 10^5 \text{cm}^4$$



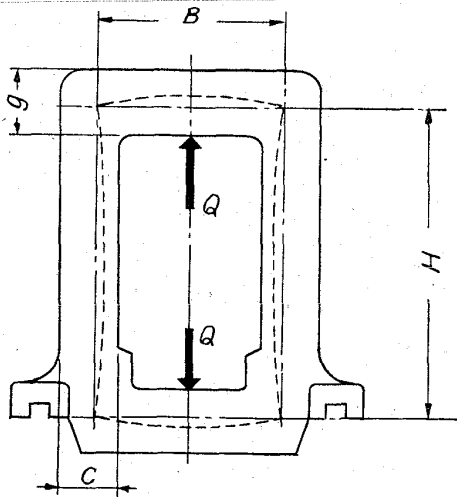
第17図 圧延電気設備系統図



第 18 図

第19表 圧下スケジュールによる累計パスタイムから圧延機能力を算出する

160×130→ 150×0.9	巾 mm	厚み mm	機 パスタイム sec	別 累計 パスタイム sec	520×130→ 500×8.0	巾 mm	厚み mm	機 パスタイム sec	別 累計 パスタイム sec
RE 1	150.0	132.0	2.50 (5.07)		RE 1	500.0	132.0	2.50 (5.07)	
R 1	165.3	81.0	2.37		R 1	509.0	99.0	2.37	
R 2	176.0	43.0	5.64 (15.30)		R 2	518.4	67.4	4.82 (11.00)	
RE 2	151.0	44.0	2.30		RE 2	505.0	68.4	5.03	
R 3	156.8	20.4	5.55		R 3	510.5	47.2	4.60	
R 4	159.6	10.9	3.20 (29.30)		R 4	513.3	36.80	3.20 (15.40)	
シャー			2.81		シャー			16.90 (17.45)	
FE 1	151.5	11.00	2.74		FE 1	505.0	37.00	2.74	
F 1	152.8	5.70	4.04		F 1	506.5	30.00	2.20	
F 2	153.4	3.10	2.30		F 2	507.9	21.00	1.61	
FE 2	151.5	3.10	1.27		FE 2	505.0	21.10	1.61	
F 3	151.8	1.97	1.25		F 3	505.8	15.60	1.20	
F 4	151.9	1.42	0.78		F 4	506.3	12.00	0.92	
FE 3	151.5	1.42	0.51 0		FE 3	504.5	12.00	0.91	
F 5	151.5	1.11	0.51		F 5	504.8	9.70	0.71	
F 6	151.5	0.91	0.33 (69.40)	(85.03) 154.43	F 6	504.8	8.08	0.615 (17.50)	83.57 100.29
コイラー			4.73 (66.70)	159.09 (89.76)	コイラー		113.0(m)	10.20 6.60	110.48 93.77
		(1.008.0m)	(3.88)	163.34				9.00	109.37



ポスト厚み = t

- Q: 片側ハウジングにかかる圧延圧力 kg
- B: ラーメン平均幅 cm
- H: ラーメン平均高さ cm
- F<sub>s</sub>: ポスト断面積 cm<sup>2</sup>
- F<sub>q</sub>: 梁断面積 cm<sup>2</sup>

- M<sub>s</sub>: ポストの曲げモーメント kg-cm
- M<sub>q</sub>: 梁の曲げモーメント kg-cm
- J<sub>s</sub> J<sub>q</sub>: それぞれの断面の慣性モーメント cm<sup>4</sup>
- W<sub>s</sub> W<sub>q</sub>: それぞれの断面の断面係数 cm<sup>3</sup>
- σ<sub>s</sub> σ<sub>q</sub>: それぞれの断面の応力 kg-cm<sup>2</sup>

第19図 ロールハウジング

$$W_s = \frac{1}{6} \times 30 \times 48 \cdot 5^2 = 1.175 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$W_q = \frac{1}{6} \times 30 \times 59 \cdot 0^2 = 1740 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$M_s = \frac{(2 \cdot 25 \times 10^5 \times 1 \cdot 32 \times 10^2 / 4) (1 \cdot 32 \times 10^2 / 2)}{3 \cdot 135 \times 10^2 \times 5 \cdot 13 / 2 \cdot 85 + 132}$$

$$= 0.704 \times 10^6 \text{ kg-cm}$$

$$M_q = \frac{2 \cdot 25 \times 10 \cdot 5 \times 1 \cdot 32 \times 10^2}{4}$$

$$-M_s = 7.43 \times 10^6 - 0.704 \times 10^6 = 6.726 \times 10^7 \text{ kg-cm}$$

$$\sigma_s = \frac{70.4 \times 10^4}{1.175 \times 10^4} + \frac{225 \times 10^3}{1.455 \times 10^3}$$

$$= 59.9 + 154.5 = 214.4 \text{ kg-cm}^2$$

$$\sigma_q = \frac{672 \cdot 6 \times 10^4}{1 \cdot 740 \times 10^4} = 386 \cdot 5 \text{ kg/cm}^2$$

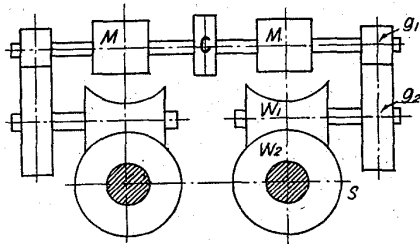
最初に仮定した使用応力の範囲内に入るのので、日本鋼管(株)のロールハウジングと大体等しい寸法のロールハウジングが採用できる。

ii) 圧下電動機の試算

最近では圧延ロール昇降速度の高速化が望まれて、昇降開始時は低速度で回転し、次に高速度回転に変速する。2段速度変換装置付電動機を設置する。

圧下電動機の圧下力は材料通過中の圧下調整を必要とすることもあるので、圧延荷重(ロール離反力)の10倍くらいの圧下力を必要とするが、微調整であると思われるので、昇降開始時の10~20 r.p.mの回転数のときとなるから比較的容易に大圧下力を出し得る。

第20図に圧下装置の機構図を示す。



- C: 電機クラッチ
- M: 電動機 7.5kW
- g1: ピニオン
- g2: ギヤ
- W1: ウォーム
- W2: ウォームホイール
- S: 圧下スクリュー 10~20mm/min(圧下速度)

第20図

$$\text{電動機出力} = 2 \times \frac{7.5}{0.7355} \times 75 = 1532 \text{ kg-m/sec}$$

スクリュー圧下力をF(kg)とすると、圧下スクリューからの出力は

$$\frac{1}{60} \times \frac{(10+20)}{2} \times F \times 10^{-3} \text{ (kg-m/sec)}$$

$$\therefore F = \frac{1532 \times 120}{30 \times 10^{-3}} = 6128 \times 10^3 \text{ kg} = 6128 \text{ t}$$

ただし、減速歯車伝達効率を65%とすると

$$\text{圧下力} = 0.65 \times 6128 = 4000 \text{ t}$$

となり、7.5kW×2台の圧下電動機が必要となる。

第20表に圧下装置諸元を示す。

第20表

	仕上水平圧延機	粗水平圧延機
電源	D. C	A. C
変速範囲	0~500r.p.m 500~1000r.p.m	750r.p.m
出力	7.5kW×2台/ 1スタンド	7.5kW×2台/ 1スタンド
圧下速度	10~20mm/min	10~20mm/min
圧下力	大約 4000 t (2台)	大約 40000 t (2台)

駆動側、自由側の圧下量調整のため、この圧下装置にセルシモーターを設備する。

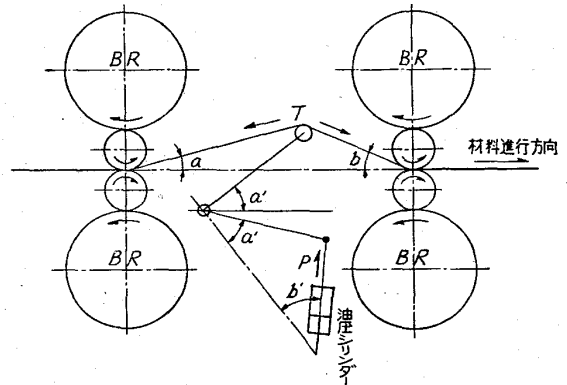
iii) ルーパー

ルーパーは仕上圧延機列各スタンドの前に取付けたい

(6基)ルーパーは材料噛込み時の突進電流による電動機回転数の低下によつて発生する。このルーパーが折れ込みになるのを防止するためにルーパーを作動させる。

ルーパーによつて材料に加わる張力は寸法変動の原因となるので小さくしたい。駆動装置には圧延材料断面の大小によつて押し上げ力の調節できる空気圧力シリンダーを使用する。

またルーパーの押し上げ角度の違いによつて、張力が変化しないための考案がなされていて、例として、UNITED社の油圧ルーパーを第21図に示す。



第21図

第21図の中で材料に働く張力、Tとシリンダーから外部へ働く力Pとの間に

$$\frac{T}{P} = \frac{R_2/R_1 \sin(\alpha' + \beta')}{2 \cos(\alpha' - \alpha - \beta/2) \sin(\alpha + \beta/2)} = \text{一定}$$

の関係が求められている。

第21表にルーパー諸元を示す。

第21表

	諸元	備考
応答速度	1秒間後	7 kg/cm <sup>2</sup> 空気圧力 130mmφ エヤーシリンダー
アームの長さ	0.4~0.45 m	
材料にかかる張力	0.1~0.3 kg/mm <sup>2</sup>	P = 50~700 kg

iv) スピンドルおよびスピンドルサポート

応力計算によつて許容応力の範囲内に入る。スピンドル径を求める。

$$\tau = \frac{16 \times (1/2 \times \alpha \times T)}{\pi a^3}$$

$$\therefore d = \frac{16 \times 1/2 \times 3 \times 1.79 \times 10^6}{\pi \times 400}$$

$$= 28.8 \approx 29.0 \text{ cm } \phi$$

$$\tau = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$T = 716 \cdot 2 \times \frac{I}{N} = 716 \cdot 2 \times \frac{1500}{60}$$

$$= 1.79 \times 10^4 \text{ kg-m}$$

$$\alpha: \text{過負荷係数 } 300\% \text{ 許容}$$

スピンドル長さは短い方が望ましいので、ピン中心間隔 2000mm とする。第22表にスピンドル諸元を示す。

第 22 表

	諸 元
スピンドル長さ×径 スピンドル重量	2400mm×290mm φ 1246 kg

スピンドルの許容傾斜角はユニバーサルカップリングの許容傾斜角によつて決められる。

- 一般に 許容下向傾斜角……5°
- 許容上向傾斜角……10°

といわれる。

最大圧下量を 50~45mm として、ロールの使用有効径およびロール間隔などを考慮して、上下傾斜角 4° で圧延作業は可能である。

スピンドルサポードのサポード部軸受は油膜軸受としてスピンドル重量は油圧シリンダーによつて支える。第 23 表にスピンドルサポード諸元を示す。

第 23 表

	諸 元	備 考
シリンダー径 油 圧	160mm φ 10 kg/cm <sup>2</sup>	2000 kg の押し 上げ力発生

潤滑方法は作業開始前にスピンドルサポード、カップリングのピン、スリッパにグリースガンで給油する。

v) ユニバーサル カップリング

電動機から、圧延ロールへ動力を伝える。動力伝達機構(減速、ピニオンスタンド、ユニバーサルスピンドルなど)の連結部(カップリング)は強大な圧延トルクを伝達できる強度と短時間、軽労働によつて取付け取外しできることが望ましい。

現在使用されている圧延機用カップリングには、ロールウォブラー(通称:花型カップリング)およびフォースフィット(圧入)によるものがあり、ロール組替時には両者ともに同程度の工数を要する。また軸受の分解、洗滌、組立作業のときに駆動側はユニバーサルカップリングを外さなければ軸受の分解ができないがそのカップリング着脱の作業は前者はほとんど工数を要せず、後者は多大の労力、時間、工具を使用している。

現在使用中のロールウォブラーに 4 枚フランジ、2 枚フランジのウォブラーが使用されているが応力計算を進める。

(i) 4 枚フランジ ロールウォブラー

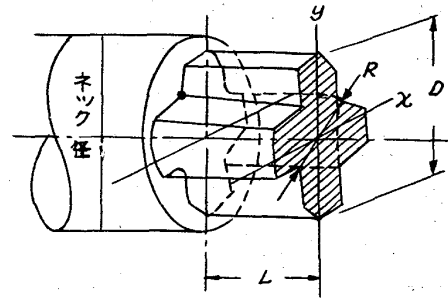
第 22 図に 4 枚フランジロールウォブラーを示してあるが、ロールウォブラー付根に生じる最大ねじり応力  $\tau_{max}$  は以下に示す日立、近藤の式によつて近似計算することができる。

- 印部分に発生する剪断応力

$$\tau_{max} = \frac{40I_p(D-R)}{f^4} BM$$

(ただし、曲げ応力は働かないものとする)

- $I_p$ : 断面の極慣性モーメント
- $f$ : 断面積
- $D$ : 外接円径
- $R$ : 切欠半径
- $d$ : 内接円径



標準諸元:  $L=0.8D$ ,  $D=2R+d$   
 $R=0.3d$

(カップリング傾斜角として 4° を採用できる)

第 22 図

$B$ : 切欠係数  $M$ : 負荷トルク

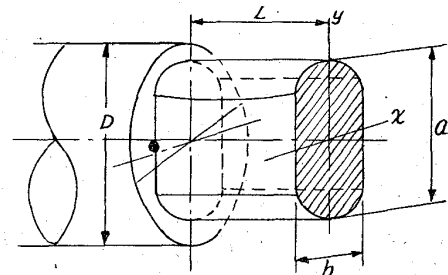
参 照

○ Elasticity and strength of materials by Tod hnmter and pearson

○ 日立評論 昭和34年—12月

(ロ) 2 枚フランジロールウォブラー

第 23 図に 2 枚フランジロールウォブラーを示す。



• 印部に最大剪断応力が発生する

第 23 図

第 23 図に示されている諸元をもつ、矩形断面軸に働く最大剪断応力の Saint Venant の式は

$$\tau_{max} = \frac{M}{\alpha ab^2} = \frac{M}{ab^2} (3.0 + 1.8 a/b)$$

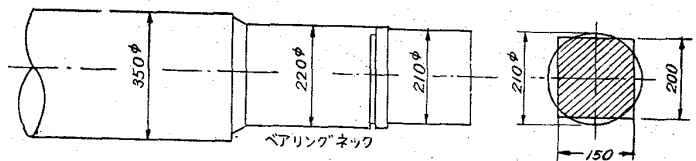
また、機械工学便覧 4~96 頁には矩形断面軸に働く最大剪断応力として

$$\tau_{max} = \frac{1}{k} \frac{M}{ab^2}$$

(ただし  $k, \frac{a}{b}$  便覧中の図 146 参照)

以上の剪断応力計算式を参考として、狭幅帯鋼モデルプラントのロールウォブラーを試算してみる。

形状および諸元は第 24 図に示す。



第 24 図

電動機出力: 1100 kW

ウォブラー部径：210mm φ

最低回転数：1 rps

負荷率：200%

$$M = \frac{1100}{0.476} \times 75 \times \frac{1}{n\pi} = 3.58 \times 10^4 \text{ kg-m}$$

$$\tau = \frac{16M}{\pi d^3} = \frac{16 \times 3.58 \times 10^6}{\pi \times 21^3} = 1970 \text{ kg-cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{M}{\alpha ab^2} = \frac{3.58 \times 10^6}{0.23 \times 20 \times 15} = 3460 \text{ kg-cm}^2$$

(ただし、機械工学便覧、図 146 から)  
 $(a/b = 21/15 = 1.4 \therefore k_1 = 0.23)$

計算された剪断応力は大きい数値のように考えられるが、負荷率が、200% である。また同業他社のロールウォブラーに働く、剪断応力を計算したところ大体同一の数値を示していましたので、当狭幅帯鋼モデルプラントにも、2枚フランジのロールウォブラーを採用して、カップリングの着脱を容易にする。

#### IV. 捲取設備

捲取設備は圧延機によつて所定の寸法に圧延した帯鋼を、帯鋼の用途、貯蔵法、運搬法および取扱い方法に最も適した荷姿にする。また需要家の要求する帯鋼の品質を保証するための品質調整を一部行なう。

捲取設備にはコイル状帯鋼製造のため捲取機帯鋼切板を製造するためフライングシャー、帯鋼板を作るため定尺剪断機が設備されている。コイル状帯鋼は集積されて冷却床へ、切板はパイラーに順次積み重ねられて冷却床へ運搬される。

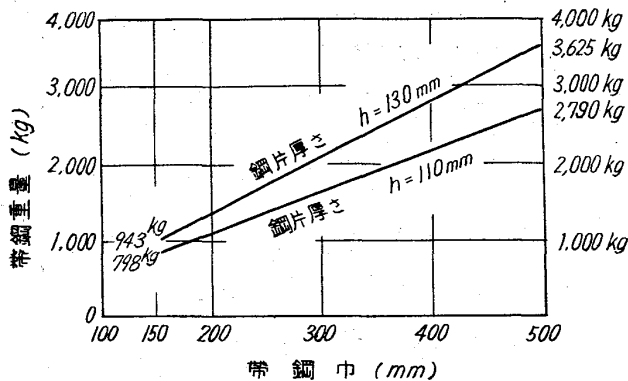
それぞれの設備を連絡し、合理的な運搬を行なうためローラーテーブルが設備されている。また帯鋼品質(引張強度、伸び率、スケールの酸洗特性および金属結晶の均一化)を保証するために水スプレーによつて冷却を行なうランアウトテーブルが設備されている。

各設備(仕上最終スタンド、フライングシャー、ランアウトテーブル、ピンチロール捲取機、クロップシャーミルテーブルなど)は等張力捲取が要求されているのでコイルの捲取りなどを考慮して高度の速度調整性能が要求されている。

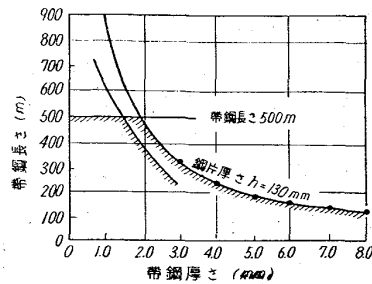
##### 1. 狭幅帯鋼諸元

狭幅帯鋼諸元は理論歩留を用いて計算して第 25 図、第 26 図に示す。

##### i) 帯鋼重量



第 25 図



第 26 図

帯鋼重量 = 0.985 × 鋼片重量

$$= 0.985 \times 7.85 \times \text{長さ} \times \text{巾} \times \text{厚さ} \times 10^3 \text{ (kg)}$$

ただし、0.985：帯鋼圧延歩留

長さ、巾、厚さ：単位 cm

##### ii) 帯鋼長さ

$$\text{帯鋼長さ} = \frac{0.985 \times \text{鋼片重量 (kg)}}{\text{帯鋼単位重量 (kg/m)}}$$

##### iii) 帯鋼巻数およびコイル外径

$$\text{巻数 } n = \frac{1}{2} \left( \frac{d}{h+g} - 1 \right)$$

$$+ \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{d}{h+g} - 1 \right) \right\}^2 + \frac{L}{h+g\pi}}$$

$$\text{外径 } D = d + 2(h+g)n$$

d：マンドレル径 mm

h：帯鋼厚さ mm

g：隙間 mm

L：帯鋼長さ mm

n：帯鋼巻数

D：コイル外径 mm

##### 2. ランアウトテーブルの設計

ランアウトテーブルには一般に 50~150 m の長さのテーブルが設置されているが、次の 2 つの機能を果している。

(i) 帯鋼品質の調整のため必要なランアウトテーブル長さ

(ii) 事故発生時の対策を行なうために必要なランアウトテーブル長さ

##### i) 帯鋼品質の調整

最近の熱延帯鋼は一帯鋼内および注文単位毎に結晶粒度の大小を調整し、炭化物の分布を均一にして硬度、引張強度、伸び率を均一にするため、圧延最終温度、捲取温度、帯鋼冷却速度の管理が強化されている。更に酸洗の際には剝離性のよいウスタイト系スケール (FeO) を生成させる。または薄いスケールを生成させるためにも温度管理が目目されている。

帯鋼品質の調整に最も大きな影響を与えているのはランアウトテーブル上に帯鋼のあるときの冷却効果である。この冷却能力は水圧、水量および水と材料との接触時間によつて大きく影響されている。

水圧は材料表面に形成される水の蒸気層を破壊して水が材料に接触するために 5~7 kg/cm<sup>2</sup> が必要である。

水量は水滴分散型ノズル (出口径 40 mm) を使用して走行している狭幅帯鋼上に径 300 mm の円型冷却帯を形成するために 8 l/min のノズルが必要である。この水

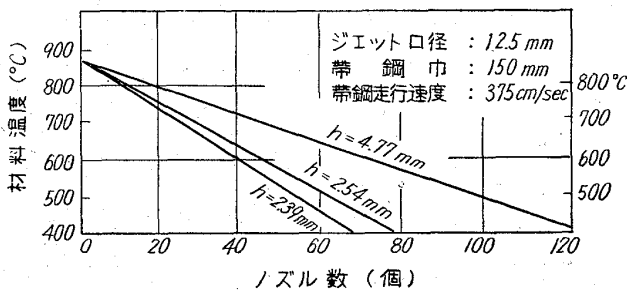
量は帯鋼の各熱間圧延工場で採用されている単位水量である。

更に細目について検討を加えるとノズルからの冷却効果に変動を与える要因として次の項目があげられる。

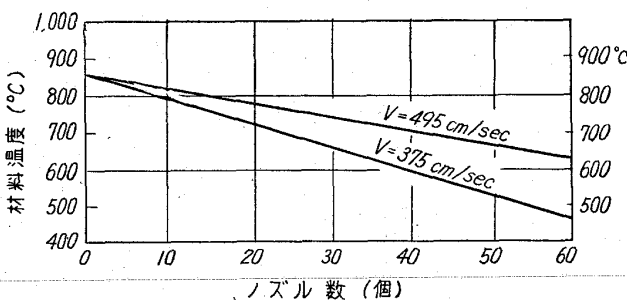
- $b$  : 1 ノズルによつて冷却される帯鋼幅 cm
- $h$  : 帯鋼厚さ cm
- $D$  : 帯鋼表面上における水ジェット径 cm
- $T_1$  : 冷却前帯鋼温度 °k
- $T_2$  : 冷却後帯鋼温度 °k
- $V$  : 帯鋼の走行速度 cm/sec
- $K$  : 金属の熱拡散率(鉄鋼材平均=0.075) cm<sup>2</sup>/sec

$n$  : ノズル個数

各要因の冷却効果におよぼす定性的な傾向を第27図、第28図に示す。



第27図 温度降下と材料厚さ



第28図 温度降下と材料走行速度

総合的には次のようなノズル数決定のための実験式が与えられている。

$$\text{実験式 } n = \frac{4 b h}{D_2} \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} \right) \sqrt{\frac{V D}{\pi K}}$$

式中、 $b$  と  $D$  とはその性質上等しいと考えられるので上式は

$$n = \frac{4 h}{\sqrt{D}} \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} \right) \sqrt{\frac{V}{\pi K}}$$

ある特定の成品について考え、初期条件を与える。

$$V = V_0$$

$$h = h_0$$

実験式は次のごとく変形され、設備諸元( $n$ ,  $D$ )が決定できる。

$$n \sqrt{D} = \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} \right) \sqrt{\frac{V_0}{\pi K}} \cdot 4 h_0 = \text{一定}$$

設備諸元 ( $n$ ,  $D$ ) について考察を加える。

$n$  を大きくする方が  $D$  を大きくするよりも冷却効果は大きい。

(イ) 同一水量の場合、冷却効果を小さなノズルを多数取付ける方が大きなノズルを少数取付けるよりも大きい。

(ロ) 同一冷却効果の場合、小さなノズルを多数取付ける方が大きなノズルを少数取付けるよりも大きい。

(ハ) 設備費用は大部分ノズル個数に比例するので小さいノズルを取付ける方が費用が高くなる。

いま、数値例として最大厚さの帯鋼圧延時を考えると

$$b = 50 \quad \text{cm}$$

$$h = 0.8 \quad \text{cm}$$

$$D = 30 \quad \text{cm}$$

$$T = 1050 \quad \text{°k}$$

$$T_2 = 800 \quad \text{°k}$$

$$V = 600 \quad \text{cm/sec} \quad \text{とすると}$$

$$n = \frac{4 \times 50 \times 0.8}{30^2} \left( \frac{1050 - 800}{1050 + 800} \right) \sqrt{\frac{600 \times 30}{3 \cdot 14 \times 0.075}} = 140 \text{個}$$

ノズル、ピッチ： $D \approx (0.4 \sim 0.5) m$  を考えると水冷に必要なテーブル長さは約 60 m となる。

ランアウトテーブルの下面から水冷する場合には必要ノズル数を削減してテーブル長さを短くすることが考えられるが、実際に下面から水冷している工場の意見として下面からの水冷は必要上部ノズル数を削減できるほどの効果はないと云われているので、下面からも冷却するが、テーブル長さを 60 m とする。

この程度のテーブル長さは事故発生時対策として必要であり十分である。

ii) テーブルローラー

帯鋼がランアウトテーブルの上を送られていくとき、帯鋼とテーブルローラーとの間のスリップによつて発生する疵、帯鋼がテーブルローラー間との敷板と接触して発生するスリ疵の防止を目的として水の有する潤滑作用を有効に利用するため、また走行中の帯鋼の重量を軽減させる意味からも下面からの水冷ジェットの設置する。全テーブルローラーを所定の速度で確実に回転させること、帯鋼が敷板と接触しないよう適当な間隔にローラーを設置し材料を支える。

テーブルローラー巾は帯鋼がテーブルローラーから脱落しないローラー胴長が必要である。

多くの工場で採用されているテーブルローラー諸元から当狭幅帯鋼工場のテーブルローラーを次のごとく決める。

ローラー径：300 mm  $\phi$

ローラー間隔：500 mm

ローラー胴長：650 mm

(イ) 電動機定格出力の算定

$$I \frac{dw}{dt} = \frac{N \times GD^2}{375 \times t} = T \text{ kg-m}$$

$$N_{\max} = \frac{V_{\max} \times 60}{\pi d} = \frac{18 \times 60}{\pi \times 0.3} = 1142 \text{ r.p.m}$$

ただし  $\frac{dw}{dt}$  = 角加速度 ラジアン/S<sup>2</sup>

$T$  : トルク kg-m

$N$  : 回転数 r.p.m

$t$  加速時間 sec

$GD^2$  : 慣性モーメント kg-m<sup>2</sup>

上式のそれぞれの値を求めると



$$CD^2 = (\text{電機子+ローラー上の帯鋼}) \text{の } GD^2 \\ = (0.05 + 2.00 + 0.35) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 = 2.40 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

全系統に 10% の摩擦損失があると考える。

$$GD^2 = 24 \cdot 0 \times \frac{110}{100} = 2.64 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

電動機の加速特性から電機子のスリップが大きくなるので加速度  $2.5 \text{ m/sec}^2$  以下に設計しなければならない。そのための加速時間を求めると

$$t = \frac{18 \text{ m/sec}}{2.5 \text{ m/sec}^2} = 7.2 \text{ sec} \approx 8.0 \text{ sec}$$

故に加速時間を  $8.0 \text{ sec}$  とすると加速トルク  $T \text{ kg} \cdot \text{m}$  は次のごとく求められる。

$$T = \frac{N \times GD^2}{375 \times t} = \frac{1145 \times 2.64}{375 \times 8} = 1.00 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

電動機出力を求めると。

$$\text{電動機出力} = \frac{N \times T}{716 \cdot 2} \times 0.7355 \\ = \frac{1145 \times 1.00}{716 \cdot 2} \times 0.7355 = 1.18 \text{ kW}$$

電動機は過負荷率 250% まで許容されるので

$$\text{必要電動機出力} = \frac{1.18}{2.5} = 0.47 \text{ kW} \approx 0.5 \text{ kW}$$

とする。

(ロ) 発電機定格出力

テーブルローラーに定格出力  $0.5 \text{ kW}$  の電動機を使用し、定格電圧  $250 \text{ V}$  の配線に接続すると

$$\text{電動機定格電流} = 0.5 \text{ kW} / 250 \text{ V} = 2 \text{ A}$$

テーブルローラー本数は全体で 200 本であるから、これに要する電動機も 200 台となる。それで電動機定格電流と電動機台数との積は

$$2 \text{ A} \times 200 \text{ 台} = 400 \text{ A}$$

ゆえに電動機の定格電流を発生する発電機出力は

$$400 \text{ A} \times 250 \text{ V} \\ = 100000 \text{ W} \\ = 100 \text{ kW}$$

一方、最大トルク  $T$  より発電機容量を求めると

$$\text{電動機 1 台当り最大トルク} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \\ \text{〃 200 〃 〃} = 200 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$\text{発電機容量} = \frac{N \times T \times 0.7355}{716 \cdot 2}$$

$$= \frac{1145 \times 200 \times 0.7355}{716 \cdot 2} = 238.5 \text{ kW}$$

電動機定格電流から算出した発電機定格出力  $100 \text{ kW}$  と比較すると 238% の過負荷となるが、この種発電機は過負荷率 250% まで許容されるので、先に計算したごとく

$$\text{発電機定格出力} = 100 \text{ kW}$$

とする。(定格電圧 =  $250 \text{ V}$ , 定格電流 =  $400 \text{ A}$ )

3. フライングシャーの設計

フライングシャーは所定の長さ寸法の狭幅帯鋼の切板を作るために仕上圧延機列直後に設備される。

形式には往復動クランク型、回転ドラム型とがあるが設計されている最終仕上圧延機のロール周速  $15 \text{ m/sec}$  を考慮して回転ドラム型を採用する。

フライングシャーの構造は複雑かつ堅牢であるが、そ

第 24 表

	速度範囲
往復動クランク型	2.5~3.5 m/sec
回転ドラム型	10~15 m/sec

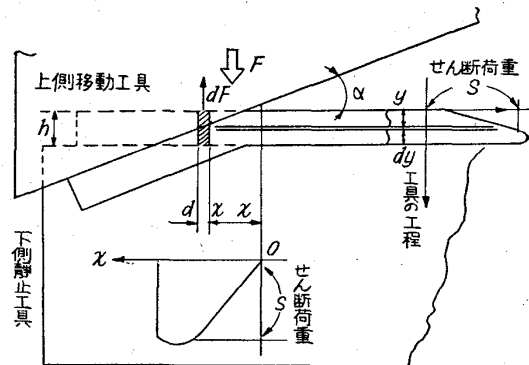
の上遊隙、慣性は小さいことが望まれている。そして帯鋼の走行速度と刃物速度との同調ギャークリアランスを小さくする。

切断時間の短縮、慣性を小さくして切断時の電圧低下を小さくするなど帯鋼切板の長さ寸法精度向上のための努力が払われている。

切板の長さ寸法切断誤差は  $2 \text{ m}$  の切板長さに対して  $1.2 \sim 3.5 \text{ mm}$  の範囲に入っている。

(1) 剪断理論

第 29 図に剪断機構を示す。



- $\alpha$  : 剪断角度
- $h$  : 帯鋼厚さ
- $F$  : 剪断力
- $y$  : 工具の移動距離
- $x$  :  $y$  と垂直方向
- $S$  : 剪断角度  $\alpha$  のないとき工具がただ喰込んだときの剪断荷重
- $k$  : 補正係数
- $W$  : 切口単位面積当りの所要仕事量
- $w$  :  $W \text{ hr}$

第 29 図

第 29 図のごとき剪断作業が行なわれているとき素断面  $h$ ,  $dx$  に働く材料の剪断応力は

$$dF = S \cdot h \cdot dx$$

$$\therefore F = \int dF = h \int S \, dn = \frac{h}{\tan \alpha} \int S \, dy = \frac{hw}{\tan \alpha}$$

工具と材料との間の摩擦、その他の条件を考慮して

$$p = k F = k \frac{h^2 W}{\tan \alpha}$$

FISHER の式によると  $\alpha = 0.225 S_0$  と定義されている。また  $k = 1$  とし、材料巾、 $B$  の帯鋼を剪断するのに必要な工具移動距離は

$$a = B \tan \alpha \text{ となる。}$$

それゆえ 1 回の剪断作業に要する仕事量は

$$E = \frac{0.225 h^2 S_0}{\tan \alpha} \times a = 0.225 h^2 \cdot S_0 B \text{ となる。}$$

(i) Nr.p.m 回, 連続剪断の場合の平均所要動力

$$\text{平均所要動力} = \frac{E \times N}{75 \times 60} \times 0.746$$

いま数値例として

- B: 帯鋼 巾=500mm
- h: 帯鋼厚さ=3mm
- S<sub>0</sub>: 最大剪断応力=10kg/mm<sup>2</sup>
- N: 毎分剪断回数=120 r.p.m とすると

$$\text{平均所要動力} = \frac{0.225 \times 3^2 \times 10 \times 500 \times 120}{75 \times 60 \times 1000} \times 0.746 = 0.20 \text{ kW}$$

(ii) 剪断時の瞬間最大出力

$$\text{瞬間最大出力} = \frac{h \cdot B \cdot S_0 \cdot V}{75} \times 0.746$$

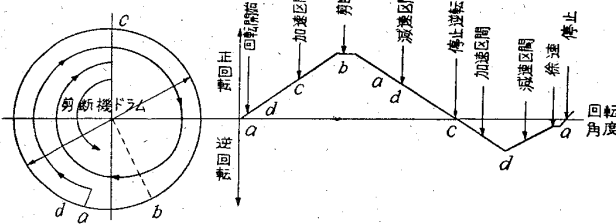
ただし, V: 刃物の剪断速度m/sec

いま(i)項と同一の数値例で V=1m/sec とすれば

$$\text{瞬間最大出力} = \frac{3 \times 500 \times 10 \times 1}{75} \times 0.746 = 149.2 \text{ kW}$$

(iii) 加減速に要する出力

剪断時の刃物回転ドラムの速度線図を第30図に示す。



第 30 図

第 30 図に示す回転ドラムは左側の図に示される速度線図のごとき運転して1回の剪断作業を完了する。このとき速度は7/8周となり, 減速は1/2周となる。

ゆえに, 加速時間: ta 減速時間: td はそれぞれ

$$ta = \frac{\pi \cdot d}{V_f} \times \frac{7}{8} \quad d: \text{ドラム径} \quad V_f: \text{仕上圧延機}$$

$$td = \frac{\pi \cdot d}{V_f} \times \frac{1}{2} \quad \text{ただし, 最終ローラ周速 m/sec}$$

所要ドラム回転数Nは

$$N = \frac{V_f}{\pi d} \times 60 \text{ r.p.m}$$

加速に必要なトルクTは

$$T = \frac{N \times GD^2}{375 \times ta} = \frac{V_f}{\pi d} \times 60 \times GD^2}{375 \times \frac{\pi d}{V_f} \times \frac{7}{8}} = \frac{0.18 \times V_f^2 \times GD^2}{\pi^2 d^2}$$

ただし, GD<sup>2</sup>: ドラム慣性モーメント=200kg-m<sup>2</sup>とする。

いま, 数値例として, 上下回転ドラム径が同一の場合

- d=700mm φ
- V<sub>f</sub>=10 m/sec とすると

$$T = \frac{0.18 \times 10^2 \times 200}{4.85} = 745 \text{ kg-m}$$

更に電動機出力を求めると

$$\text{出力} = \frac{N \times T}{716 \cdot 2} \times 0.7355 = \frac{V_f}{\pi d} \times 60 \times T}{716 \cdot 2} \times 0.7355$$

$$= \frac{10 \times 60 \times 758}{716 \cdot 2 \times 3.14 \times 0.5} \times 0.7355 = 30.20 \text{ kW}$$

V<sub>f</sub>=9m/sec とすれば

$$T = 6.14 \text{ kg-m}$$

$$\text{出力} = \frac{9 \times 60 \times 614}{716 \cdot 2 \times 3.14 \times 0.5} \times 0.7355 = 220.0 \text{ kW}$$

以上の計算は仕上最終圧延機 ロール周速 V<sub>f</sub>=9.0~10.0m/sec時の計算例が載せてありますが, 圧延最高速度 15.0m/sec に同調させてフライングシャーを作動させると非常に大きな動力を必要とする。また, ロール周速 15.0m/sec は帯鋼厚さの小さい帯鋼を圧延する場合に採用されるが, ランアウトテーブル上での突掛り事故などが起り易いので実際にはロール周速 10m/sec 前後が採用される

剪断可能速度を 9.0m/sec におさえて 200kW の電動機を採用する。

ii) 剪断時の速度低下

現在稼働中のフライングシャーの諸元から次に示す数値が与えられる。

- (i) 電動機の GD<sup>2</sup> = [GD<sup>2</sup>]m 設計例 84 kg-m<sup>2</sup>
- (ii) 上下刃物台関係の GD<sup>2</sup> = [GD<sup>2</sup>]t 100×200 kg-m<sup>2</sup>
- (iii) 剪断時の所要エネルギー E<sub>1</sub> = 0.257 · SBh<sup>2</sup> 27.1 kg-m

(iv) 刃物および電動機の回転数

$$n = \frac{\text{材料進行速度}}{\pi D} = \frac{6.0}{\pi \times 0.5} = 3.8 \text{ rps}$$

(v) 空転時回転エネルギー

$$E_0 = \frac{1}{2} \frac{[GD^2] + [GD^2]t}{4g} = 2075 \text{ kg-m}^2$$

(vi) 剪断時の残存エネルギー E<sub>s</sub>

$$E_s = E_0 - E_1 = \text{kg-m とすると} \\ E_s = 2075 - 27.1 = 2047.1 \text{ kg-m}$$

速度低下の百分率は

$$\left(1 - \sqrt{\frac{E_0 - E_1}{E_0}}\right) \times 100 = \left(1 - \sqrt{\frac{E_s}{E_0}}\right) \times 100$$

$$\left(1 - \sqrt{\frac{2047.1}{2075}}\right) \times 100$$

$$= (1 - \sqrt{0.981}) \times 100 = 0.9\%$$

この 0.9% の速度低下が長さ寸法誤差発生の原因となっている。

iii) 定尺装置

定尺装置には次の2つの型式がある。

- (i) 和差動歯車系を利用して剪断機側原動機部分の回転を制御する。(機械的制御法)
- (ii) 回転発電機の電圧を増巾して, 剪断機の電動機用発電機を制御し, 電動機回転数を調整する。(電氣的制御法)

(i)の方法は機械部分の GD<sup>2</sup> が大きくなるが, (ii)の方法は GD<sup>2</sup> が小さく, 電氣的制御であるため保守, 運転が楽であり加減速のための消費電力を小さく出来るので (ii)の定尺装置を採用する。

iv) テーブル長さ

フライングシャー設置のためテーブル長さ 5 m 必要である。仕上スタンドとの接続部，ランアウトテーブルへの接続部は圧延ロール冷却水，ランアウトテーブル上の冷却水の飛沫が掛るのでフライングシャーの電気部品を防水保護するためそれぞれ 5 m のテーブル長さが必要である。

合計 15 m のテーブルが必要である。

4. 捲取機

捲取機の発達には圧延機の性能の向上に伴い圧延工場の要求によつて漸次向上して今日に至っている。

すなわち，パドル型→アップコイラー型→マンドレル型と発達してきている。しかも捲取りの信頼性（捲取の高速度化，捲取ピッチの縮小）捲太りを加味した一定張力制御，帯鋼を緻密に捲取る。仕上表面キズの防止などの高度の性能が要求され最近建設された多くの広幅帯鋼圧延工場ではマンドレル型ダウンコイラーが採用されている。

しかし，マンドレル型ダウンコイラーのマンドレルは捲取張力による締め付け力に耐え，帯鋼重量を片持梁で支えているので強度的に制約を受ける。(8.5 t/m以下)

今回の狭幅帯鋼モデルプラントにはマンドレル型ダウンコイラーを採用する。

捲取機のピンチロールからマンドレルまでの間のガイドはスリ疵発生防止およびミスロール発生防止のため短かく設計されている。

捲取機にはストリッパー，ピンチロール，ラッパーロールなど一連の付属設備が取付けられているが，すべてを同時に円滑に作動させるためエヤーシリンダーを採用する。エヤーシリンダーは捲取開始の衝撃を吸収することが出来ると共に保全が容易である。

その他，冷却水が多量に使用されていること，また捲取られた帯鋼は冷却されていても 500~600°C 前後の温度はあるので摺動部，軸受部の水密性および給油には十分注意しなければならない。

i) マンドレル電動機の選定

マンドレル電動機はマンドレルに帯鋼を捲取つた後にも起動，停止を行なわなければならない。その時には大きな出力を要する。しかし，いま一定速度で捲取するときの電動機出力を求めると

$$\text{電動機出力} = P = 0.7355 \frac{A \cdot V \cdot T}{75} = E I$$

V : 捲取速度	m/sec
A : 帯鋼断面	mm <sup>2</sup>
T : 捲取張力	kg/mm <sup>2</sup>
E : 電動機電圧	V
I : 電流	A
P : 電動機出力	kW

帯鋼最大断面の時の電動機出力を概算する。現状の作業方式の下で捲取張力  $T = 0.45 \text{ kg/mm}^2$  の値が採用されており。

$$P = 0.7355 \times \frac{(500 \times 8) \times 6.0 \times 0.45}{75}$$

$$\approx 106 \text{ kW} \approx 100 \text{ kW}$$

捲取ドラム周速は最終仕上スタンドロール周速の 1.5~

2.0 倍を必要とする。捲取ドラム周速を捲取速度といい最大捲取速度の 1/3 を最小捲取速度とする。(減速比 1 : 3.0)

ゆえにマンドレル回転数は 270~950 r.p.m とする。

ii) マンドレルに働く応力

捲取機マンドレルは 4 つのセグメントから構成されている。捲取る時にはエキスパンドした状態で材料を把え一定の張力をかけながら捲取る捲取終了後，コラップスしてマンドレル表面とコイル内径との間に隙間を与えてコイルの抜き取り扱いを容易にしている。

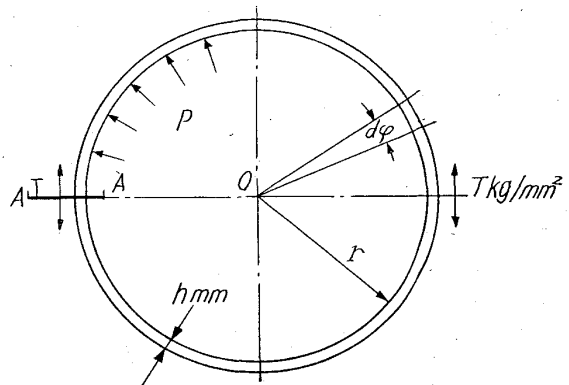
捲取機マンドレルには帯鋼にかけられた張力によつて曲げ応力が働くと共に捲取つたコイルには一定張力が内部応力となつて捲取機マンドレルを締めつけている。その締めつけ力を計算してマンドレルセグメントをエキスパンドしている作動力を求める。

コイルの巻数を求める式は

$$n = -\frac{1}{2} \left( \frac{d}{h+g} - 1 \right) + \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{d}{h+g} - 1 \right) \right\}^2 + \frac{L}{(h+g)\pi}}$$

である。

捲取マンドレルを締めつけている力を求めるのに円筒の中に  $P \text{ kg/mm}^2$  の圧力が働くとき単位巾を考え，その  $d\phi$  度に加わる力は  $r \cdot d\phi \cdot p$  である。



p : 内部に働く応力	kg/mm <sup>2</sup>
h : 円筒肉厚	mm
dφ : 微小角	ラジアン
T : 張力	kg/mm <sup>2</sup>

第 31 図

第 31 図断面 A-A 部に働く力は

$$2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} p \cdot r \cdot d\phi \cdot \sin \phi = 2 pr = p \cdot D$$

断面 A-A 部に発生する内部応力を T とすると

$$2T t = p \cdot D$$

$$\therefore p = \frac{2T t}{D} \text{ で示される。}$$

ただし，直径 D は捲太りによつて徐々に増加して行くので捲取マンドレルに働く締めつけ力は巻数の増大と共に減少して，i 番目においては

$$p_i = \frac{2ht}{D + 2i(h+g)} \text{ となる。}$$

コイル巻数 n までに累積された締めつけ力は

$$p = \sum_{i=0}^{n-1} p_i = \sum_{i=0}^{n-1} \left\{ \frac{2ht}{D+2i(h+g)} \right\} = \bar{p} \times n$$

ここで、 $\bar{p}$  を求める計算を行なう。

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \int_0^{n-1} p_i di = \frac{1}{n} \int_0^{n-1} \frac{1}{\frac{D}{2hT} + \frac{h+g}{ht} i} di$$

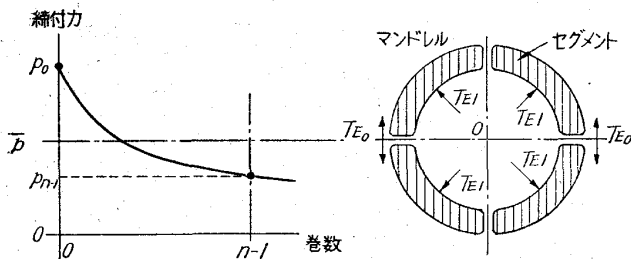
$$= \frac{1}{n} \frac{hT}{h+g} \log e^{10} \left[ \log_{10} \left\{ \frac{D}{2hT} + \frac{(n-1)(h+g)}{hT} \right\} - \log_{10} \frac{D}{2hT} \frac{(h+g)}{h} \right]$$

ゆえに

$$p = \bar{p} \cdot n = \frac{hT}{h+g} \log e^{10} \left[ \log_{10} \left\{ \frac{D}{2hT} + \frac{(n-1)(h+g)}{hT} \right\} - \log_{10} \frac{D}{2hT} \times \frac{(h+g)}{h} \right]$$

$\frac{h}{h+g} = 1$  とすれば

$$p = T \log e^{10} \left[ \log_{10} \left\{ \frac{D}{2hT} + \frac{n-1}{T} \right\} - \log_{10} \frac{D}{2hT} \right] \text{ となる。}$$



第32図 縮付力の変化

第 32 図に示されるエキスパンド力は材料巾  $B$  を加味して考えて

$$2TE_0 = D \cdot P \cdot B$$

$$\therefore TE_0 = \frac{D \cdot P \cdot B}{2}$$

作動の速応性を加味して安全係数 5 を採用する。

$$TE = \frac{5}{2} D \cdot P \cdot B$$

$$TE_1 = \frac{TE}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2} TE$$

捲取機マンドレルをエキスパンド、コラップスさせるために必要な力  $T$  とすると

$$T = 4\mu TE_1 = 4\sqrt{2} \mu TE = 10\sqrt{2} \mu \cdot D \cdot P \cdot B$$

となる。

iii) テーブル長さ

捲取機を 2 基設備するためにはテーブル長さ 10m 必要である。また、水冷ランアウトテーブルの蒸気、水滴の直接的影響を避けるため、パイラーとの接続部分を加味して 5m のテーブルを必要とする。

合計 15m のテーブルを必要とする。

iv) ピンチローラー

ピンチローラーは水平に走行して来る帯鋼をマンドレル型ダウンコイラーに送り込むため下方に向ける機能をもっているため、上ロール径は下ロール径の 2~3 倍のロールを用いる。

下ロールはテーブルローラーと同一径の 300mm  $\phi$  と

すれば上ロール径は 900mm  $\phi$  となる。

上下ロールを個別に電動機で駆動する場合もあるが一個の電動機で一定の速度比を与えて駆動するのが有利である。下ロールの回転数は 650~1900 r.p.m とする。上ロールの回転数は減速比 1:2.8 で駆動される。

電動機の出力はピンチロールと捲取マンドレルとの間で帯鋼に一定の張力を作用させることが必要なので、マンドレル電動機出力の 50~75% の電動機出力、すなわち 60kW (D.C) が必要である。

v) ラッパーローラー

以前には 4 個のラッパーローラーを連動機構によつて作動させる捲取機が採用されていたが、ラッパーローラーと捲取マンドレルとの隙間調整が難しい。保守の経費が多くかかることなどの欠点があるため漸次ラッパーローラー個数を減少させて、現在はラッパーローラーを 2 個設備し、ローラー間の接続はガイドプレートによる型式へと発達している。(第36図参照)

ラッパーローラー作動動力は空気圧力により行ない、緻密な捲取コイルを作るためにラッパーローラーのコイル押えつけ力 10t/m 必要である。今回の狭幅帯鋼モデルプラントのコイル巾 = 500mm の帯鋼には 5t の押えつけ力が必要である。ラッパーローラーを 2 個設備してあるのでラッパーローラー 1 個につき 2.5t の押えつけ力を必要とする。

$$\text{空気圧力シリンダー径} = \sqrt{\frac{4 \times 2500 (\text{kg})}{7 \text{kg/cm}^2 \times \pi}}$$

$$= 21.3 \text{cm} \approx 25.0 \text{cm } \phi$$

(ただし、空気圧力 7kg/cm<sup>2</sup>)

出力はピンチローラー電動機の 25% が一般的である。それゆえ電動機出力を 18.5kW とする。

回転速度は捲取マンドレル速度の 10% 増しとするが速度範囲は捲取マンドレル速度と同じにすることが必要である。

ラッパーロール径 : 200mm  $\phi$   
 電動機出力 : 18.5kW  
 回転数 : 730~2700 r.p.m  
 空気圧力シリンダー径 : 250mm  $\phi$

### 5. 速度調整範囲

捲取マンドレルの一定張力制御の難かしさについては多くのところで述べているが、仕上最終スタンドから捲取マンドレルにいたる間の各テーブルおよびピンチロール、ラッパーロールなど関連設備の速度にも高精度の速度制御が要求されている。

i) フライングシャーター速度は仕上最終スタンドのロール周速と同一速度または少し速い速度に設定する。

ii) 水冷ランアウトテーブルは仕上最終スタンドのロール周速の 10~20% 過剰速度で制御する。

iii) 捲取機テーブルは水冷ランアウトテーブルと同一速度またはやや遅く設定する。

以上の関係を第 33 図、第 34 図、第 35 図に示す。

第 36 図パイラー設備、機構図を示す。

第 37 図捲取電気設備系統図を示す。

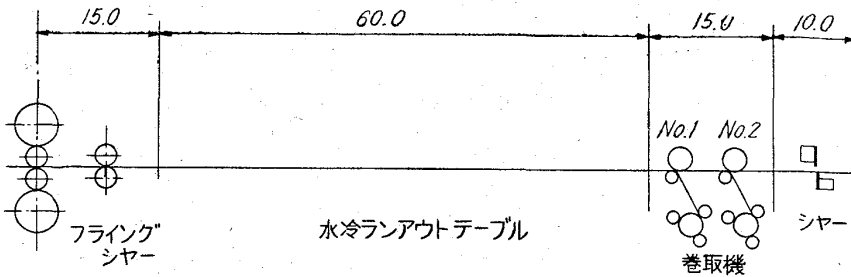
第 25 表捲取設備諸元表を示す。

第 38 図捲取機機構図を示す。

V. 附属設備

作業とは、人、材料、機械の移動によって達成される  
と定義されているが、圧延設備設計の分野における発達は  
めざましいものがあり、色々と改良が加えられ全連続

式の大量生産方式に合致せる高性能、高能率のものが作  
られている。しかし補助系列であるロールショッパ給油  
設備起重機についての改良が未だあまり加えられず旧態  
依然たるものがある。



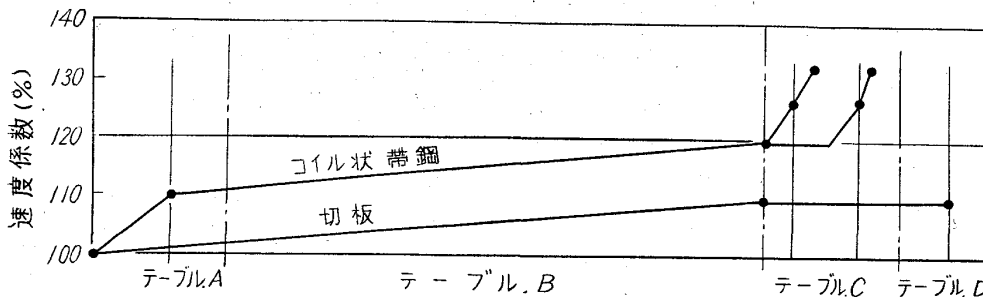
第33図 捲取設備配置図

1. ロールショッパ設備

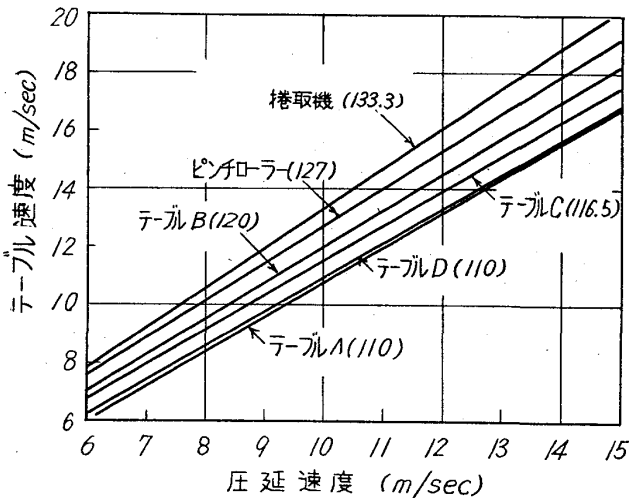
ロールショッパ内ではチョックの  
分解、組立作業が行なわれているの  
で手作業が多くこの作業を最も経済  
的に従業員には安全で労力少ない作  
業たらしめるには、定義にあるごと  
く人、材料、機械の移動に新たな解  
析の目を向けて作業工程の円滑化運  
搬距離の縮小、新運搬機器の採用、床  
面積の経済的利用、将来拡張するさ

いの余裕など考慮の上、  
作業の能率化設備の合理  
化を進める必要がある。

チョックの設計は潤滑  
設備の個所で述べるごと  
く、外部から水、スケール  
の浸入熱を受け、また  
軸受自体は重負荷、高速  
度との影響を受けるので  
構造の堅牢なることが必  
要であるが、チョックの



第34図 各テーブル関連速度線図



第35図 関連テーブル速度

分解組立の簡単であることも是非必要な設計条件である。

- i) 圧延機ロール諸元 (第26表) (1251 ページ)
- ii) 圧延機ロール適正在庫数 (第27表) (1251 ページ)
- iii) テーブルローラ諸元 (第28表) (1251 ページ)
- iv) 研磨、旋削設備 (第29表) (1251 ページ)
- v) ロール組替

高生産性、高寸法精度を要求される最近のストップミ  
ルにおいては作動ロールのロール組替頻度を多く要求さ  
れている。

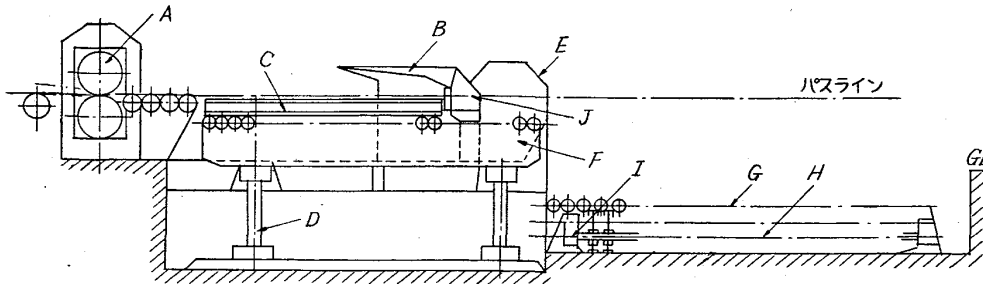
このロール組替時間が圧延工場の稼働率の低下をもた  
らすので、ロール組替時間の短縮が大きな課題としてわ  
れわれに課せられている。

多くどころでは2回/直のロール組替を行ない1.5~  
2.0hr/直のロール組替時間を費している。

当帯鋼モデルプラントのロール組替方式は組替時間短  
縮のため粗水平圧延機ロール組替には上下ロールおよ

びチョックの重量が全体で  
8tでありが1台の起重機  
で垂ることが出来るのでス  
タンドの自由側にロール引  
き出し用レールを取付けて  
そのレールの上に粗水平圧  
延機ロールチョック下部の  
車輪をのせて引き出す。

仕上補強ロール組替は  
上下ロールおよびチョック  
を加えて10tであります。  
上下ロールを重ねたまま組  
替え得るので粗水平ロール



A: ピンチローラ, B: ストッパー, C: フラットバー, D: パイリングテーブル昇降装置, E: パイラー本体  
F: パイリングテーブル, G: 搬出用テーブル, H: チェンコンベヤ, J: ストッパー  
収容可能最大長さ: 25000mm, 巾: 500mm

第36図 帯厚板パイリング設備

と同様のロール組替え方式により組替える。

仕上水平作動ロールは重量が軽く、スリーブによる運搬、取扱いが出来るのでスリーブ方式によるロール組替を行なう。

vi) パスラインの調整

粗、仕上圧延機共に下ロールチョックの下面にライナーを装入して調整する。

vii) ロール表面処理

生産能率を上昇させ、成品寸法の精度維持、成品仕上表面の美しさを保つためロール表面をいかなる状態に維持すべきかについては、当帯鋼分科会にて種々検討が加えられた。

粗縦ロール、粗水平ロールにはロール噛込み角度を大きくし

生産能率向上をはかるためロール旋盤による粗旋削程度に止めることもある。仕上作動ロール、補強ロールには成品仕上表面の美しさを要求を満たすため鏡面仕上程度の研磨を要し、加えるに成品寸法の精度を得、かつ精度を維持するためロール表面にクラウンあるいはキャンバーがつけられる。

加うるに粗第1水平ロール機には Knurling ragging grooving と種々表現されているが、噛込み角度上昇のためのロール表面加工が加えられているが第39図に示す。

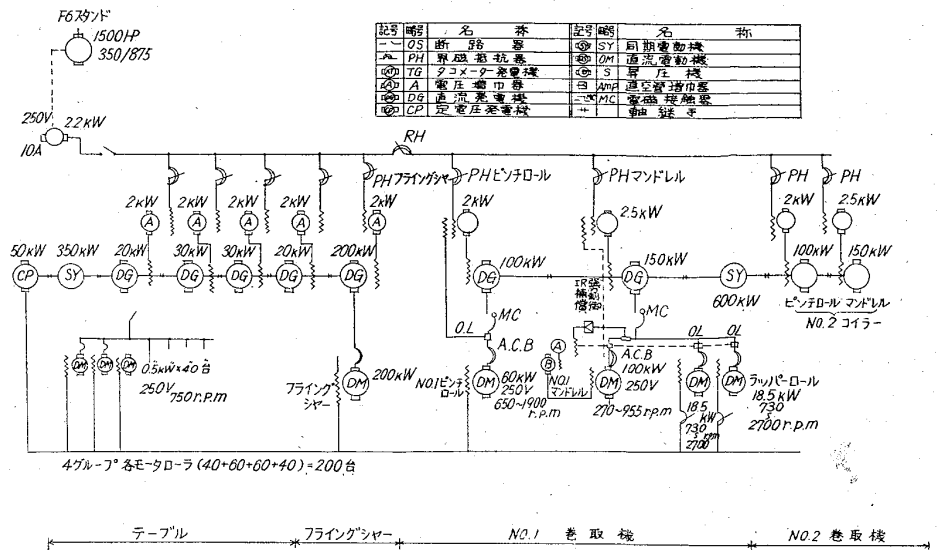
第25表 捲取設備諸元表

ランアウトテーブル

テーブル長さ	100m
ローラー本数	200本
ローラーピッチ	500mm
ローラー径	300mm φ
ローラー胴長	650mm
ローラー断面形状	中空
電動機定格電流	2A
電動機定格電圧	250V
電動機足格電流×台数	400
発電機定格電流	400A
電動機定格馬力	0.5kW
電動機回転数	1750 r.p.m
定格時テーブル速度	18m/sec
電動機台数	200台
圧延機速度	15m/sec~6m/sec
テーブル速度	18m/sec~6m/sec
減速比	3:1

水冷装置

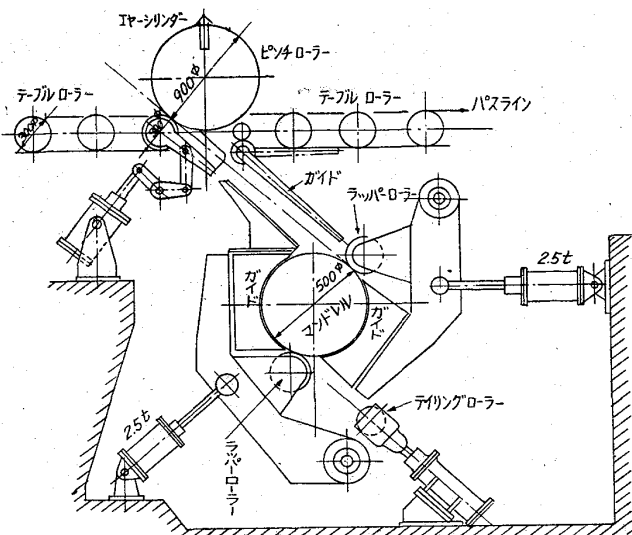
ノズル数 (n)	140 個
ノズル口径	300mm
(材料表面上)ピッチ	400mm
水量 (∴ 1 l = 0.25gal)	8 l/min/n
水圧	7 kg/cm <sup>2</sup>
温度降下	900°C より 650°C



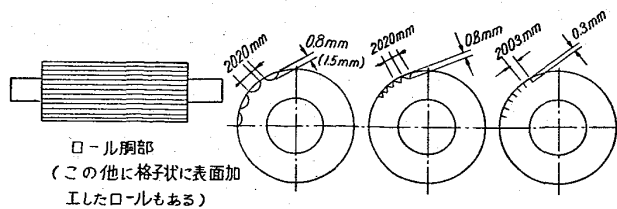
第37図 巻取電気設備系統図

捲取機

型式	ダウンコイラー 2基
コイル内径	500mm φ
コイル最大外径	1300mm φ
捲取可能最大外径	1400mm φ
マンドレル	4セグメントコラプシブル型 D.C 100kW 270~955r.p.m
ラッパーロール	2コ/1基 200φ D.C 18.5 kW 730~2700 r.p.m
ピンチロール	上ロール 900φ 下ロール 300φ D.C 60kW 650~1900 r.p.m 空気圧力作動
ストリッパー	空気圧力作動 7.5 kg/cm <sup>2</sup> 2 cylinder/1基 押出力 3t
アンローダー 製品コンベヤー	2基空気圧作動 2連
クランプシャー	1基 能力15×500mm切断
フライイングシャー	1基 能力: 圧延最高速度 に同調切断可能 (8mm×500mmのものを1m長さ)
パイラー	1基 能力 25m 長さ

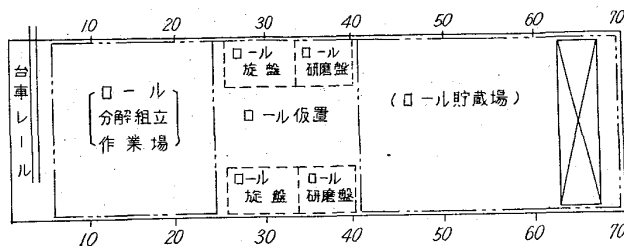


第38図 捲取機機構図



第39図 ローラ表面加工の例

viii) ローラシヨップ内設備配置図 (単位m)



第 40 図

全予備ローラはローラシヨップ内に置く

第 26 表 i) 圧延機ローラ諸元

	圧延機別	ローラ別	ローラ径 mm	胴長 mm	材 質	表面硬度 HS	軸 受 部	
							径(mm)	長(mm)
粗圧延機	縦ローラ機	R1	600~650	300	ダクタイル	50	390φ	410
	水平ローラ機	R2	600~650	650	〃	50		
		R3 B4	580~630	650	〃	50		
仕上圧延機	縦ローラ機	作動ローラ	500~550	200	高合金鑄鉄	75	390φ	410
	水平ローラ機	合金中抜チルド	325~350	650	合金鑄銅	80		
		補強ローラ	600~650	650		60		

第 27 表 ii) 圧延機ローラ適正在庫数

ローラ名	圧延機台数	組入中本数	組立完了ローラ		分解組立 研摩中ローラ	予備ローラ	合 計
			組 替 用	事故時用			
粗縦ローラ機	2	4	4	2	4	2	16
粗水平ローラ機	4	8	6	4	4	2	24
仕上縦ローラ機	3	6	6	6	6	6	30
仕上作動ローラ	6	12	18	6	18	18	72
補強ローラ		12	16	4	4	4	30

第 28 表 iii) テーブルローラー諸元

テーブルNo.	設置場所	ローラ径 mm	胴長 mm	ローラ ピッチ mm	本数 本	ローラー 周 速 m/sec	電動機出力 kW	全出力 本×kW
装入テーブル	炉 装 入 口	380φ	650	1200	40	2.0	1.9	76.0
炉前テーブル	炉 前	〃	〃	〃	40	〃	1.9	76.0
No. 1 テーブル	炉 ~ RE1	350φ	〃	〃	4	〃	1.9	7.6
No. 2	RE1~R1	〃	〃	〃	9	〃	1.9	17.1
No. 3	R2~RE2	〃	〃	〃	19	〃	1.9	36.1
No. 4	R4~仕上圧延別	〃	〃	1000	(35)+40	3.0	2.2	88.0
小 計					(35)+152			300.8
ランアウトテーブル	F6~巻取機	300	650	500	200	6.0~18.0	0.5(kW)	100(kW)

第 29 表 iv) 研磨旋削設備

	台数	備 考
研磨盤	2	同一型式 最大研磨径 1000φ 最大センター間 3000mm
旋 盤	2	同一型式 最大研削径 1000φ 最大センター間 3000mm

2. 潤滑設備

今日鉄鋼業における各種圧延機の進歩はいちじるしくロール周速および各種付属機械の作動速度の向上は電気制御装置の進歩と軸受、潤滑法の発達に負うところが大きい。特に圧延機のロールネック軸受の良否は直ちに生産能力、成品精度に大きな影響を与えている。

i) 潤滑油：潤滑油の選択、使用方法については十分の注意が必要である。

例えば

(i) 水について

ディスクリングの高圧水、ロール冷却水、大気中の水分など侵入する恐れがあり、油と水とが置き代り油膜が切れてベアリングの焼付きを起こすことがある。

(ii) スケールについて

鉄粉、スラブの微粒、酸化物の箔片、ミルスケールな

どが潤滑個所からパイピングに侵入して接触反応を起し潤滑油の劣化、更に直接ベアリングに噛み込んで損傷を与える。

(iii) 熱について

熱鋼塊から伝えられる熱および摩擦熱が加わるので熱に対して安定な油、グリースの使用が大切である。

(iv) 負荷について

鋼材の圧延には非常に大きな力を要する。その装置は強力かつ大重量であるゆえに潤滑特性として始動時、全負荷時、過負荷時においても軸受、歯車面にも強力な油膜を保持しなければならぬ。

(v) 速度について

高生産性を得るために、長時間の連続運転が行なわれかつ昨年の記録値は今年の基準量としている程圧延速度上昇、圧下量の増大、休止時間の縮小など潤滑設備に苛酷な条件が付されている。

ii) 軸 受

各軸受（合成樹脂軸受、ころがり軸受、油膜軸受）の利点欠点を第 30 表に示す。

以上のデータを参考として、各圧延機の軸受を第 31 表のごとく決定する

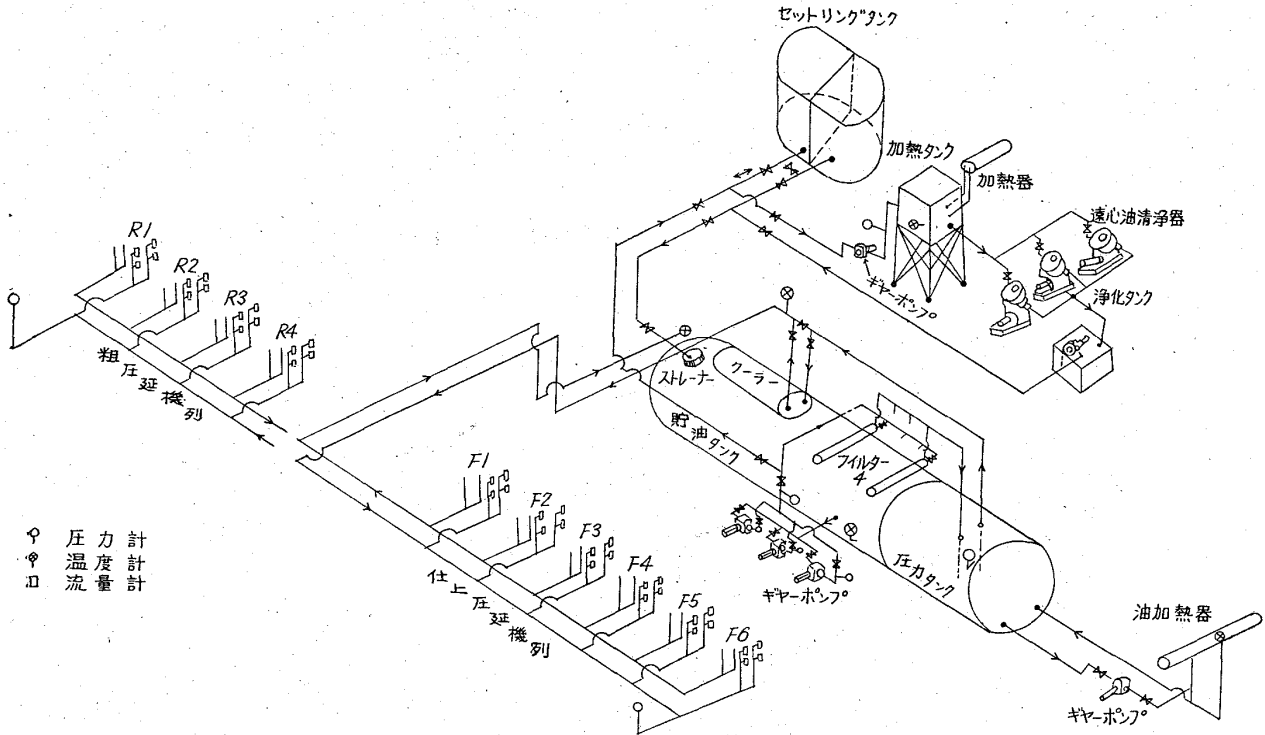
iii) 給油設備

第 31 表に示されている各種軸受への給油設備を第 32

第 30 表

	利 点												
合成樹脂	<p>① 摩擦係数が小さい。(潤滑状態で 0.02~0.05)</p> <p>② 一般に大がかりな給油装置を要しない。潤滑用油脂が殆んど不要である。</p> <p>③ 比較的安価である。</p> <p>軸受メーカーのあげる標準使用条件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>荷 重</th> <th>圧力 kg/cm<sup>2</sup></th> <th>摺動速度 m/sec</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>軽荷重</td> <td>35以下</td> <td>0.5~2.0</td> </tr> <tr> <td>中 〃</td> <td>35~100</td> <td>0.75~1.5</td> </tr> <tr> <td>重 〃</td> <td>100~275</td> <td>1.25~12.5</td> </tr> </tbody> </table>	荷 重	圧力 kg/cm <sup>2</sup>	摺動速度 m/sec	軽荷重	35以下	0.5~2.0	中 〃	35~100	0.75~1.5	重 〃	100~275	1.25~12.5
荷 重	圧力 kg/cm <sup>2</sup>	摺動速度 m/sec											
軽荷重	35以下	0.5~2.0											
中 〃	35~100	0.75~1.5											
重 〃	100~275	1.25~12.5											
転がり軸受	<p>① 摩擦による動力損失が少ない(合成樹脂より 10~15%低い) 摩擦係数 0.002~0.007</p> <p>② ランニングクリアランスが小さく圧延製品の精度が良好。</p> <p>③ 軸受の摩耗を考慮する必要がない。</p> <p>④ 起動時の抵抗も小さい。</p> <p>近頃は分塊圧延機にも使用されるようになってきた。</p> <p>イ. 動力が節的できる。 ロ. 軸受の管理が容易で潤滑も容易、潤滑コストが 50~95%低下。 ハ. 軸受取替や修理のための休止時間が激減し稼働率が著るしく向上。 ニ. 成品寸法精度向上。 ホ. 軸受摩耗が無視できるのでロール調整やレベル調整を必要としない。</p> <p>四重圧延機の作動ロールの転受には殆んどこれが使用されている。(補強ロール軸受には油膜軸受の使用が多い)</p>												
油膜軸受	<p>① 軸受の負荷容量は回転数と共に増加する。</p> <p>② 摩擦係数は非常に小さい。0.002~0.005 (転り軸受と較べ遜色がない)</p> <p>③ 摩耗は殆んどなく半永久的に使用し得る。</p> <p>④ 与えられたロール径に対して充分大きなネック径を取ることができる。</p> <p>⑤ 軸受負荷容量が大きい。 l × Morgoil 60番シリーズ 72" 90" 550 kg/cm<sup>2</sup> 825 kg/cm<sup>2</sup> 1170 kg/cm<sup>2</sup></p> <p>⑥ ランニングクリアランスが小さい。直径の 1/1000</p>												





第41図 粗水平ロール仕上補強ロール

欠

点

- ① 調心性に関して極めて敏感である。
- ② 衝撃荷重に対して弱い。
- ③ 冷却水が大量に必要である。{冷却水は清浄、中性、40°C以下(粘度と冷却効果から)}  
イ. 熱伝導率が極めて低い (砲金の 1/500)から多水量が必要である。  
ロ. 軸受部にスケールが侵入するのを防ぐため、バルネル側に水をふき出す。
- ④ スラスト軸受の消耗が比較的早い……スラスト受けにころがり軸受を使用するタイプもある。
- ⑤ ランニングクリアランスが比較的大きい。軸径の 3/1000 程度
- ⑥ 一般に寿命が短い。

開放型……………1ヶ月～1年  
密閉型乳化液循環給油方式……4年

- ① 調心性に関して極めて敏感である。
- ② ロール胴径によつてベアリング外径が制限される  
ロールネック径は圧延圧力に対応する充分な寸法を持つこと  
ベアリングは所要の負荷容量を持つこと  
バランスプロポーション軸受によつて  
イ. 負荷容量で 40%増  
ロ. ネック強度で 50～60%増  
} バランスプロポーション軸受の出現によつてある程度解決される。
- ③ 比較的高価である。
- ④ 負荷容量が軸受回転数の立方根に逆比例して低下する……圧延速度が大きいとこれに適するころがり軸受を設計するのが困難となる。

- ① 大掛りな循環給油シスが必要。
- ② 完全なシール装置が必要。

第 31 表

圧延機名	採用軸受種類	潤滑油	摘 要
粗 縦 ロール機 粗 水 平 ロール機 仕 上 堅 直 作 動 機 仕 上 補 強	転 が り 軸 受 油 膜 軸 受 油 膜 軸 受 油 膜 軸 受	極 圧 グ リー ス 抗 乳 化 性 潤 滑 油 極 圧 グ リー ス 抗 乳 化 性 潤 滑 油	フ ァ ー バ ル 給 油 循 環 給 油 フ ァ ー バ ル 給 油 循 環 給 油

第 32 表

	被潤滑設備名	潤滑所	単 位 必 要 量	圧力タンク容量 l	貯油タンク容量 l
No. 1	粗 水 平 ロール軸受	油膜軸受	15 l/min × 4ヶ所 × 4カ = 240 l/min	2000	12000
No. 2	仕 上 補 強 ロール軸受	油膜軸受	25 l/min × 4ヶ所 × 6カ = 600 l/min	5000	3000
No. 3	粗 縦 ロール減速機	ギヤ	120 l/min × 2台 = 240	11000	44000
	粗 水 平 ロール減速機	ギヤ	200 l/min × 4台 = 800		
	粗 水 平 ロール減速機	ギヤ	100 l/min × 4台 = 400		
No. 4	仕 上 堅 直 作 動 機	ギヤ	100 l/min × 3台 = 300	7000	28000
	仕 上 水 平 ロール減速機	ギヤ	100 l/min × 3台 = 300		
	仕 上 補 強 ロール減速機	ギヤ	60 l/min × 6台 = 600		
No. 1 ファーバル	粗 縦 ロール軸受	転がり軸受		容量 90 l 250cc/min 50 kg/cm <sup>2</sup> PF	
No. 2 ファーバル	粗 圧 延 機 関 連 設 備	油膜軸受		容量 90 l 250cc/min 50 kg/cm <sup>2</sup> PF	
No. 3 ファーバル	仕 上 作 動 ロール軸受	転がり軸受		容量 50 l 150cc/min モーター 50 kg/cm <sup>2</sup> PF	
	仕 上 圧 延 機 関 連 設 備	油膜軸受			
	巻 取 機	ギヤ			
	巻 取 関 連 設 備	摺動面			

第 33 表

遠心油清浄器	電動機馬力 2・2kW × 1 回転数 5900r.p.m 能力 2200~3000 l/hr 1・5kW
セットリング タンク	6000r.p.m 2 × (900~1800) l/hr 容量 70000 l × 2 40000 l × 2

表に示す。

iv) 付属設備

潤滑油は V-2-i) に述べているごとく、循環給油中に非常なる汚染、劣化の作用を受けるので、その潤滑油、再生装置として遠心油、清浄器、また給油設備、配管の経年劣化が発生するが修理を行なうための貯油槽としてのセットリングタンクが設置されている。

その設備概要を第 33 表に示す。

v) 循環給油装置系統図

第 41 図に前述の i)~iv) までの潤滑設備全体の配置を示す。

貯油タンク入口（油戻り管出口）には、ストレーナーが設備されており軸受部から伝導された熱および摩擦熱が発生して潤滑油温度が上昇して戻ってくるので、潤滑油適正温度保持のためクーラーが設備されまた各期間の運転のため油加熱器が設置されている。

その他、遠心油清浄器には潤滑油再生効率を上昇させるため油加熱器が設置されている。

3. 計測装置

今まで繰返し述べていることであるが、現下の熱延鋼板には需要家から高品質の保証、すなわち含有素鋼成分の均一性、結晶粒の均一性、機械的強度、寸法精度の均一性などが要求されている。

上記のすべての要求をほぼ完全に満す方法として、巻取設備のところで述べているごとく圧延材料の温度の管理が考えられる。

すなわち、圧延材料に現われる加熱炉の水冷スキッドレールによつて発生する温度差、および圧延過程におけるパスタイムの相違によつて生ずる連続的温度差等をも管理する必要がある。

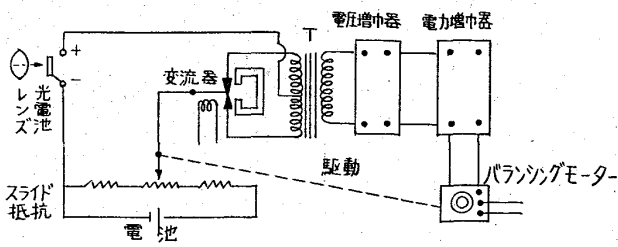
工場内の各設備（加熱炉、圧延機、巻取機、ロールシヨップ、給油設備）にも高生産性、高水準の品質を保証する機器および制御装置がとりつけられているが、それぞれの設備を側面から有機的に連結し、更に効果をあげるための補助的設備として光電子管温度計表 X 線厚み計光電子管巾計を設置する。機器および設置個所について第 34 表に示す

第 34 表

計 測 器 具	器 数	設 置 個 所
光電子管温度計	3	仕上圧延機列入口、出口、 巻取機入口
X 線厚み計	1	仕上圧延機列出口
光電子管巾計	1	〃 〃

それぞれの計測機器の作動概要を簡単に述べる。

(イ) 光電子管温度計

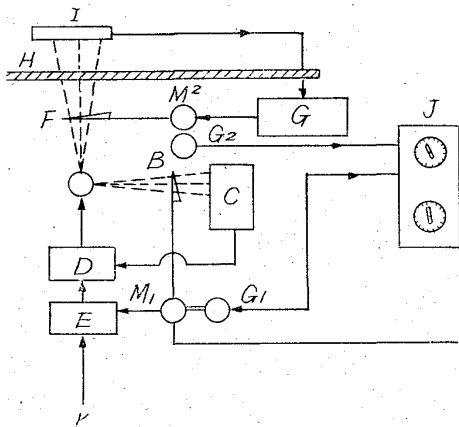


第42図 光電子管温度計図

被測定物からの熱線がレンズによつて集約されながら熱電対に到達する。熱電対には熱起電力が発生して回路に不平衡が生ずる。

電圧、電力増巾器によつて増巾されバラシングモーターを駆動する。そのバラシングモーターの変位がスライド抵抗の変位となつて回路の平衡は回復すると共にその変位量が指示、または記録される。

(ロ) X線厚み計



- A : X線管
- C : I : 検出器
- E : 変圧器
- M<sub>1</sub>M<sub>2</sub> : 楔移動用モーター
- G : 増巾器
- J : 指示器
- B : 標準厚さ設定用の楔
- D : 電圧自動調整器
- F : 測定用楔
- G<sub>1</sub>G<sub>2</sub> : セルシン
- H : ストリップ
- K : 安定した交流電源

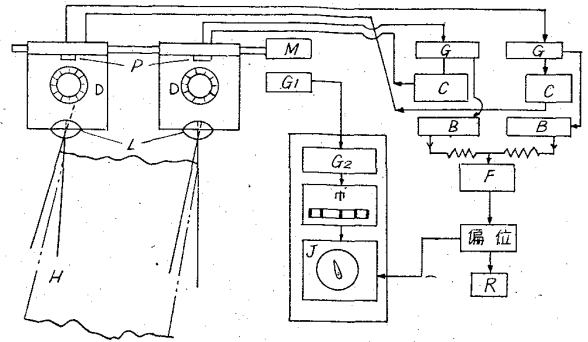
第 43 図 X線厚み計

X線ビームは鉄のごとき吸収性の物質に投射された場合に、吸収性物質の密度に比例して吸収されるので、そのX線の減衰量を知ればその鉄板の厚さを測定し得る。

測定のとときに精度を上げるために計器自体の誤差を消去する方法がとられている。

C<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> との指示値の差が被測定物の厚さ寸法となる。

(イ) 光電管巾計



- H : 熱延帯鋼 L : レンズ D : ディスク
- P : 光電管 M : 調整モーター G : 増巾器
- G<sub>2</sub>・G<sub>1</sub> : セルシン C : 自動調整器 B : 変流器
- F : フィルター K : 記録計 J : 指示計(計扁位)

第44図 光電子管巾計図

熱延帯鋼の熱線を光電管で受け、成品巾を測定する機器である。測定器内のレンズを通してコイル端部像をスリットをもつた円盤の上に描かしめる。その円盤のスリットを通して熱線は光電管に吸収される。増巾され、整流されて、左右の偏位を把える。

また、別にケージ全体を動かすことから、その移動量を回転計に表示することから巾の実際値を計測する。

4. 工場用水

主として工場用水の使用個所および使用水量について記述するが、この場合は加熱炉冷却水、圧延ロール冷却水、ランアウトテーブル上コイル冷却水、ディスクレーン高圧水、給油設備クーラー用冷却水を意味する。

加熱炉冷却水は配管途中にて燃焼ガスによつて直接加熱されるが、その途中にて蒸気層発生を防止するために10kg/cm<sup>2</sup>の圧力水を使用する。

循環水量を少なからしめ、水温を上昇させることにより冷却水によつて持去られる熱量を減少させ、冷却水原単位も低下させ得る。

圧延ロール冷却水、ランアウトテーブル上コイル冷却水はいずれも表面に蒸気層が形成され冷却効果を妨げる。その蒸気層を破壊して冷却水が直接ロール表面、材料表面に到達し良好なる冷却効果を得るため5~7kg/cm<sup>2</sup>の冷却水を使用する。

ディスクレーン高圧水は材料周囲を包んでいる蒸気層を破つて材料に直接水をかけて材料表面に発生せるスケールのみを急冷し表面のスケールのみを収縮を起さしめ、スケールの亀裂を発生せしめる。

亀裂し剝離しやすい状態にあるスケールを高圧水で剝離せしめ、除去するのに大約80~100kg/cm<sup>2</sup>の高圧水が使用される

(イ) 水 量

上述のすべての項目を含めて大略30t/t(鋼材)の冷却水が必要と思われる。

$$(70 \text{ t/hr} \times 3 \text{ 基}) \times 30 \text{ t/t(鋼材)} \\ = 6300 \text{ t/hr} (= 1750 \text{ l/sec})$$

(ロ) ピット容量

上記の莫大なる冷却水量および加熱炉抽出t数の約2%に相当するスケールが発生するが両者は圧延機下の排水溝(2°30'~3°00'の傾斜)を通つてピットに集収さ

れる。

ピットの容量としては戻しポンプの故障のときにも30 min間ほど作業を継続出来ることが望ましい。

$$(70t/hr \times 3基) \times 30t \times 0.5hr = 3150t/0.5hr$$

ゆえにピントとしては 3150 t の水を貯え得る容量があればよいことになる。

ピット深さ: 16.0m 巾: 10m 長さ: 20m

ピット容量 = 15 × 10 × 20 = 3000m<sup>3</sup> となる。

ピット底面深さを 16.0m として底面から 15.0m のところに溢水路を作る。

溢水路径 = 1385mm φ, 流速 1.0m/sec である。(ただし水量 1750 l/sec)

冷却水はピットからポンプによつてプールえ, プールから冷却装置を通つて再び圧延工場, その他へと循環する。

スケールの搬出には, 圧延本作業には影響を与えなくまた, バックなどから水が垂れても周囲の電気部品にかからぬよう配慮する。(工場配置図参照)

(v) 戻しポンプ

戻しポンプの吐出側圧力を  $H=15m$  とすれば

$$\text{必要出力 } L = r \frac{QH}{75} = 350 \cdot 1HP$$

$$\begin{cases} r = 1 \text{ kg/l} \\ Q = 1750 \text{ l/sec} \\ H = 15m \end{cases}$$

ポンプ効率 = 80% とすると

$$Lr = \frac{L}{n} = \frac{350}{0.80} = 438HP \approx 337 \text{ kW}$$

第 35 表に排水ポンプ能力諸元を示す。

第 35 表

	出力	台数	能力	摘要
主排水ポンプ	150kW	3台	H=15m Q=900 l/sec台	予備1台を含む
補助排水ポンプ	15kW	1台	H=15m Q=80 l/sec台	

(二) ロール冷却水の効果

圧延を継続すると次第にロール温度が上昇してきますがロールの温度上昇過程については, ファイヤークラックの特性試験によつて研究が進められ間接的に把握されてきた。また, その温度上昇を防止するための冷却水の効果についてもある程度究明されている。

第 45 図に冷却効果について示す。

5. 鋼片置場の設計

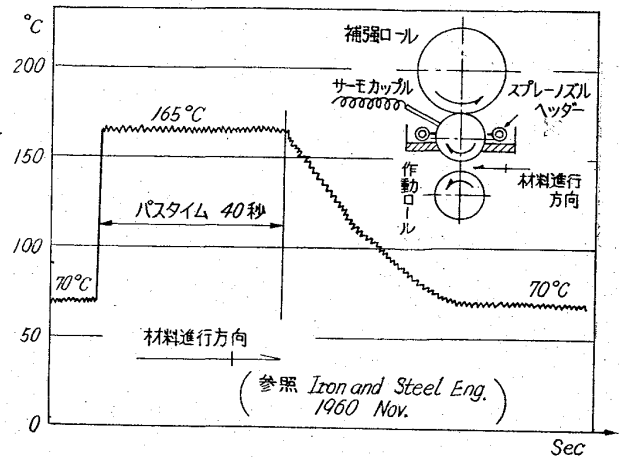
i) 収容率

モダンストリップミルによると, 鋼片収容率は 5.4~7.2 t/m<sup>2</sup> と記されているが, 現状のクレーン作業および仮置材の管理の面から考慮するならば, 鋼片積み高さ 2m を限度とすべきである。

鋼片積み高さ 2m とすると 7.8 t/m<sup>3</sup> × 2m × 0.95 = 14.8 t/m<sup>2</sup> となる。

また, 一般に建屋内の地耐力は 10~20 t/m<sup>2</sup> といわれている。

以上の条件より, その収容率 = 10 t/m<sup>2</sup> とする。



第45図 ロールの冷却効果

ii) 鋼片置場必要面積

ランニングストック量を決定する定説はないが, 在庫管理の経済性を考えると, 出来る限りストック量は少ない方がよい。

従来の種々の例としては 3日~6日分のランニングストックを持つているものが多いので, 次のごとくストック量を決定する。

$$W = \text{月間1日最高装入量} \times 3日$$

$$= 1.2 \times 70 \text{ t/hr} \times 3基 \times 3日 \times 2sec \times 8hr = 12100 \text{ t}$$

ただし, 1.2: 炉の過負荷係数 120% を意味する。

(イ) ライニングストック必要面積: Ar

$$Ar = W \times 1/10 (\text{m}^2/\text{t}) \times 1/0.8 = 1510 \text{ m}^2$$

ただし 0.8: 不利用空間係数

(ロ) キズ取り必要面積

キズ取り場は少なくとも圧延トン数に相当したキズ取り能力が必要である。能力としては 70 t/hr × 3基 × 1.20 = 252 t/hr の処理能力が必要である。

鋼片厚さを最小の 110mm とすると

$$As = 252 \text{ t/hr} \times 1/0.864 (\text{m}^2/\text{t}) \times 1.3 = 380 \text{ m}^2$$

ただし 0.864: 鋼片厚さ 110mm 材の 1m<sup>2</sup> の重量 1.3: 手入台通路, 鋼片搬入通路の面積を考慮せるもの。

$$\text{鋼片ヤード全面積} = Ar + As = 1510 + 3 \cdot 80 = 1900 \text{ m}^2$$

キズ取り設備

酸素, ガスについても発生設備, あるいは連結装置が必要である。(ガスについては最近プロパンガス, Cガスの使用例がある)

キズ取台能力 = 50 t/hr 台とすればキズ取台は 5台必要である。各台共に 2本のトーチを必要とするので, 合計10本のトーチが必要となる。

鋼片形状不良材の更生設備について

形状不良材の発生は分塊技術の向上により非常に少なくなつてはいるが, 歩留の向上を考えると僅かでも更生, 使用することが必要である。設備の使用率と設備据付け場所, 稼働要員の面を考慮するならば専用設備を設けず依頼矯正をした方がよい。

iii) 必要起重機(台数, 能力)

20 t × 3台とする

装入専用 } 各1台  
キズ取用 }  
搬入キズ取用 }

ただし、自重 5t 以内のリフティングマグネットを使用する。

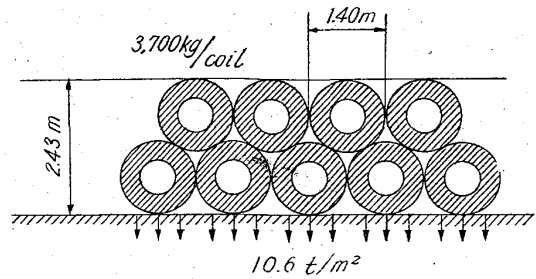
(鋼片揚上重量=15 t)

- 最大鋼片 520mm × 4 本 = 2080mm (14.8 t) @3700 kg/本
- 最小鋼片 160mm × 13本 = 2090mm (12.5 t) @362 kg/本

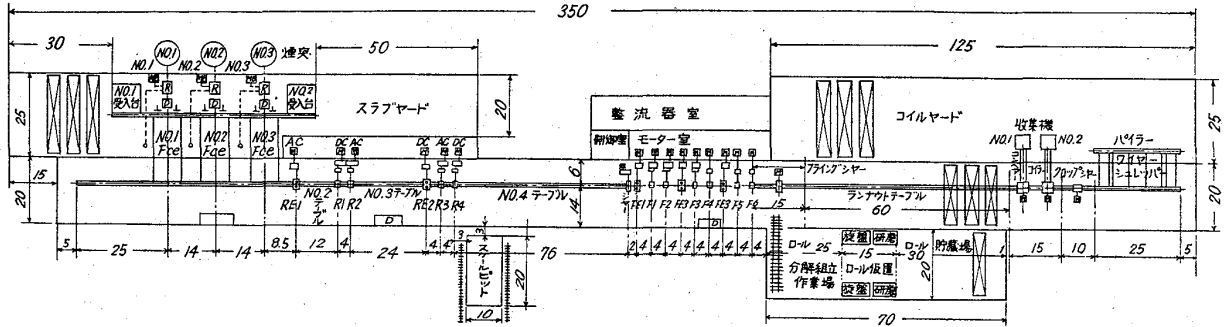
6. 成品置場の設計

i) 収容率

コイル単位重量から、コイル積み1段のときの床面の



第46図 コイル積み状況



第47図 帯鋼工場配置図

受ける荷重 (P) を求めると

コイル外径 = 1367mm ≒ 1400mm

コイル重量 = 3700kg ただし 500mm 巾コイル

ゆえに

$$P = 3700 \times 1 / (0.5 \times 1.4) = 5300 \text{ kg/m}^2$$

ゆえに地耐力として鋼片ヤードと同様 10 t/m<sup>2</sup> とすれば最大段 2 に積むことが可能となる。(10.6 t/m<sup>2</sup>)

(ロ) 成品置場必要面積

ランニングストック量を決定するのにコイル取扱い上から考えると取扱い得る温度にまで材料温度が低下するのに 1.5~2.0 日必要である。

次工程の装入のための余裕を 1 日と考えると、計 3 日間のランニングストックを必要とすると決定する。

コイル巾方向に対する建屋の有効利用率 = 0.85

コイルならび方向に対する建屋の有効利用率 = 0.75 とする。

また、鍛接鋼管用帯鋼以外に電縫管用、大径溶接鋼管用、冷間成形用、二次加工用コイルを圧延する場合には次の工程へ移すためスリッティング、包装などの作業、

工程待ちなどを必要とするのでコイルヤードにコイルの置かれている期間が増加する。

上述の係数 = 1.2 とする

スリッティング設備のごとき後処理設備を設置するときには、その設置面積が必要である。また、帯鋼板を圧延し精整するときには、その設備を必要とする。

$$2 \text{ 箇所} \times 10\text{m} \times 20\text{m} = 400\text{m}^2$$

帯厚板の冷却台として

$$20\text{m} \times 20\text{m} = 400\text{m}^2 \text{ とする。}$$

ゆえに 3 日分のストック 12100 トンを収容する成品ヤード必要面積を次のごとく求む。

$$12100 \times 0.985 \times 1 / 0.75 \times 1 / 0.85 \times 1.2 \times 1 / 10.6 = 2230 \text{ m}^2$$

ただし、0.985: 成品歩留

ゆえに、2230 + 400 + 3030m<sup>2</sup> (≒ 25m × 120m)

(ハ) 起重機

3 台 × 15 t とする。コイルを次工程へ運ぶ機器の荷役能力 (トラックなど) の大小によつて決まってくる。