

技術資料

## 熱間ストリップ圧延機の進歩\*

里 見 繁\*\*・小 池 千 司\*\*

### Development of Hot Strip Mill

Shigeru SATOMI and Senji KOIKE

#### 1. ま え が き

1941年(昭和16年)に現在の新日本製鉄(株)戸畑製鉄所に、わが国最初の本格的な熱間ストリップ圧延機が設置されて以来、現在までに幅915mm(36")以上のいわゆる熱間ストリップ圧延機は19連が国内に設置された。うち11連は過去10年以内に稼働した新鋭設備であつて、年間総生産能力は現在では約4970万tにも達している。

日本鉄鋼連盟の調査によると、1972年(昭和47年)現在、世界には約120連の熱間ストリップ圧延機が稼働しており、その年間総生産能力は約23000万tであり、日本の現有設備の総生産能力は、この内の約21%に相当する。Table 1に示されるとおり、過去5年間における日本の熱間ストリップ圧延機の増設数は群を抜いており、この間に圧延機の生産能力、性能は急速に進歩向上した。熱間ストリップ圧延機の能力・規模は、圧延されるコイルの単重(またコイルの単位幅当りの重量でもあらわす)、最終仕上圧延速度、仕上板厚範囲などにより知ることができるが、最近ではコイル単重45t(35kg/mm)、仕上圧延速度最大1600m/min(将来最大1800m/min)の設備がすでに稼働しており、仕上板厚範囲も最小0.8mmから最大19mmにおよび、性能的にみて世界のトップレベルにある。これらの設備にはいずれも製品品質と、生産性の向上を目指した多くの新しい技術

Table 1. Number of hot strip mill installations in U.S.A., Europe and Japan.

Completion	U.S.A.	Europe	Japan
Installed before 1941	28	4	1
Installed before 1972	41	63	19
Installed since 1968	3	8	6

が導入されている。

#### 2. 熱間ストリップ圧延機の進歩

Table 2に国内における熱間ストリップ圧延機の配置形式別、サイズ(圧延機幅)別の内訳を示した。形式的には全連続配置圧延機が全数の過半数をしめており、圧延機幅では2032mm幅(80in.)サイズのものが全数の約21%で最も多い。

いまこれらにつき、圧延機の能力を仕上圧延速度、圧延可能なコイル単位幅重量に代表させその発展の推移を見るとFig. 1のとおりとなる、新しい設備の能力は1957年(昭和32年)前後に設置された設備にくらべると、圧延速度は約2.5倍、圧延コイルの単位幅重量では約4倍にもなっている。

この熱間ストリップ圧延機の進歩過程をたどると、次の3期に大別することができる。

第1期：1946年(昭和16年)から1960(昭和35年)までの期間

この期間に5連の半連式圧延機と2連の全連続圧延機、計7連の圧延機が設置された。いずれも設備能力としては、単位幅当りコイル重量7~12kg/mm、製品板厚1.2~9.5mm、最終仕上圧延速度600~700m/minで圧延材材質は主として普通炭素鋼を対象とし、年間生産能力はいずれも200万トン以下の規模である。この間仕上圧延速度は仕上圧延機を出たストリップ先端をスムーズに巻取機にまで、通板するための困難さから1935年以降ほとんど変化なく止まつた。

第2期：1961年(昭和36年)から1966年(昭和41年)の期間

この間に、1連の半連続式圧延機、1連の3/4連続式圧延機と4連の全連続式圧延機の計6連の熱間ストリ

\* 昭和48年6月6日受付(依頼技術資料)

\*\* 石川島播磨重工業(株)鍛圧機械技術部

Table 2. Type and size of hot strip mills in Japan (Total 19 Train).

Size	Type	Semi-cont.	Three-quarter	Full-cont.	Total	
					No of train	Percentage
914 mm (36%)	—	—	—	one (1)	one (1)	5.26
1 092 mm (43%)	—	—	—	one (1)	one (1)	5.26
1 422 mm (56%)	—	two (2)	—	one (1)	three (3)	15.86
1 524 mm (60%)	—	—	one (1)	—	one (1)	5.26
1 727 mm (68%)	—	one (1)	—	one (1)	two (2)	10.5
1 780 mm (70%)	—	—	—	two (2)	two (2)	10.5
2 032 mm (80%)	—	two (2)	—	two (2)	four (4)	21.1
2 184 mm (86%)	—	two (2)	—	—	two (2)	10.5
2 250 mm (88%)	—	—	one (1)	—	one (1)	5.26
2 300 mm (90%)	—	—	—	two (2)	two (2)	10.5
Total	No of train	seven (7)	two (2)	ten (10)	nineteen (19)	
	Percentage	36.9%	10.5%	52.6%		100%

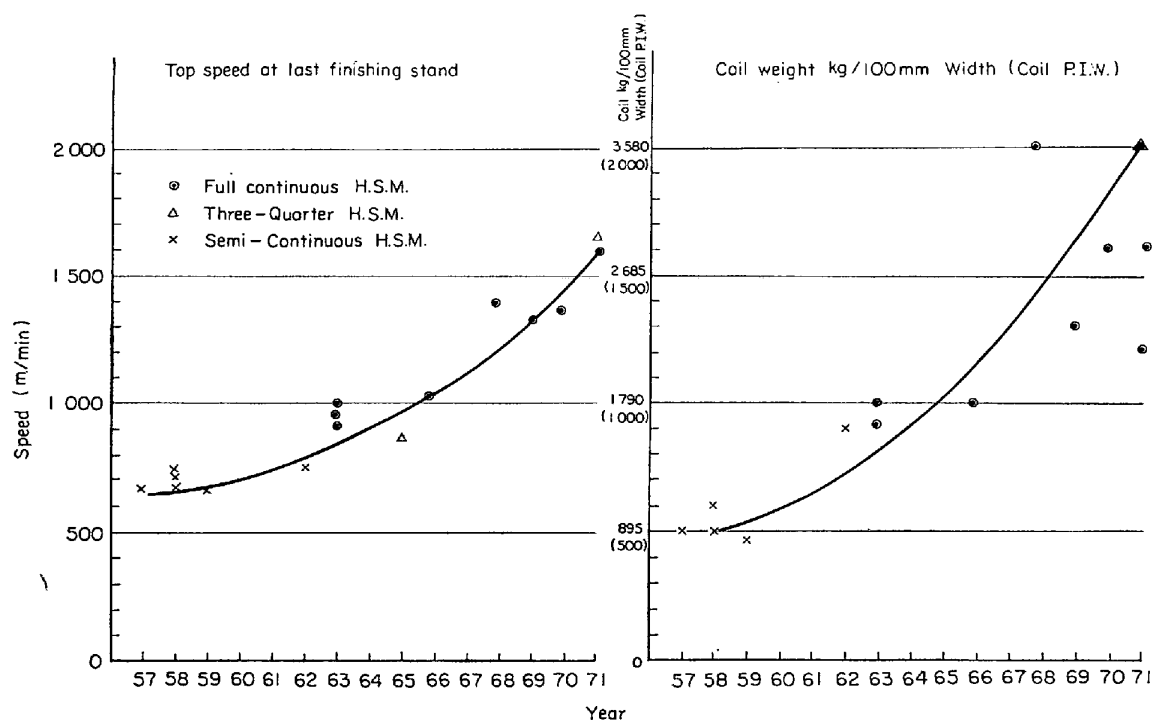


Fig. 1. Change of rolling speed and coil size.

ップ圧延機が設置された。設備能力としては単位幅当り  
 コイル重量 16~18 kg/mm, 製品板厚 1.2~12.7 mm,  
 最終仕上 圧延速度 750~1000m/min 年間生産能力も  
 200~250万 t 程度に向上した。圧延材材質には普通炭素  
 鋼のほか、ステンレス鋼が取入れられた。

この期間に、ストリップを従来の圧延速度で巻取機ま  
 で通板後ライン速度を加速する加速圧延法が開発され、  
 これによりそれまで約 30 年の間ほとんど変わらなかつ  
 た 700m/min 台の仕上圧延速度を突破することができ  
 た。

Table 3. Comparison of typical hot strip mill installations installed in period 1, 2 and 3.

Period	1	2	3
Company & location	Nippon Steel Muroran Works	Nippon Steel Sakai Works	Kawasaki Steel Mizushima Works
Mill size & type	1 422 mm (56%) semi-cont.	1 422 mm (56%) full-cont.	2 300 mm (90%) full-cont.
Completion	1957	1963	1970
Material to be rolled	mild steel	mild steel & stainless steel	mild steel & low alloy steel
Slab size	100~190 mm t 535~1 270 mm w 2 400~6 100 mm l	230 mm t max. 510~1 270 mm w 9 150 mm l max.	127~305 mm t 600~2 200 mm w 4 600~12 200 mm l
Finished size	1.25~6.0 mm t 535~1 270 mm w	1.2~12.7 mm t 510~1 270 mm w	1.2~13 mm t 600~2 200 mm w
Coil weight	7 700 kg 8.95 kg/mm (500 R.I.W.)	20 400 kg 16.1 kg/mm (900 P.I.W.)	45 000 kg 28.6 kg/mm (1 600 P.I.W.)
Mill size			
Roughing mill	R 1: 914 $\phi$ $\times$ 1 422 l 2 Hi. mill R 2: 914/1 245 $\times$ 1 422 2 Hi. rev. mill	R 1, R 2: 1 120 $\phi$ $\times$ 1 422 l 2 Hi. mill R 3 to R 6 915/1 370 $\times$ 1 422 l 4 Hi. fin. mill	R 1, R 2: 1 320 $\phi$ $\times$ 2 300 l 2 Hi. mill R 3, R 5 1 120/1 630 $\times$ 2 300 l 4 Hi. mill R 4: Future
Finishing mill	F 1 to F 6: 635/1 245 $\times$ 1 422 4 Hi. fin. mill	F 1 to F 6 699/1 370 $\times$ 1 422 l 4 Hi. fin. mill	F 1 to F 3 815/1 630 $\times$ 2 300 l 4 Hi. fin. mill F 4 to F 7 765/1 630 $\times$ 2 300 l 1 345 m/min @F 7
Max. finishing mill speed	680 m/min @F 6	944 m/min @F 6	1 345 m/min @F 7
Main motor (Total power)	22 325 kW	56 700 kW	100 200 kW
Production capacity	1 400 000 t/year	2 500 000 t/year	4 500 000 t/year

れとあいまつて、長尺コイルの圧延、すなわち大型スラブの使用を可能とするための粗圧延機の大形化、仕上圧延機数の増設が考慮され、圧延可能なコイル長さはほぼ第1期に比し2倍近くになった。

この間稼働率向上のための迅速ロール組替装置が世界に先駆けて採用され、大きな効果を示した。仕上スタンド間ルーパに定テンションルーパが採用され、仕上スタンド群に自動厚み制御 (A·G·C) が採用され始めた。なお管材用ストリップ巻取りのための厚物用巻取機もこの間に開発され、12.7 mm (1/2 in.) までのコイルの巻取りが可能となった。

第3期：1968年(昭和43年)以降現在に到る期間

この期間に新設された圧延機の能力は、単位幅当りのコイル重量 20~35 kg/mm, 製品板厚 0.8~19.0 mm, 最終仕上圧延速度 1 300~1 600 m/min に達した。圧延材材質には、普通炭素鋼・ステンレス鋼はもとより、低合金鋼ならびにパイプ材などに使用される高張力鋼などが加えられている。設備の年間生産能力は 360~600 万 t にも達し、第2期の設備の能力を大幅に上廻っている。第3期に設置された圧延機は現在までに4連の全連続式圧延機、1連の半連続式圧延機(将来全連続式に移行)および1連の3/4連続式圧延機の計6連である。

第3期においては、コイル重量の増大・圧延速度の向上に対応して、全般的に設備の強大化が計られているがとくに、

(1) ウォーキングビーム加熱炉・エキストラクターの全面的採用。

(2) 粗延材の長大化に対応するための粗圧延機配列に対する新しい考え方・3/4連続式の採用・粗圧延機最終2スタンドの連続化。

(3) 仕上スタンド数の増設。仕上7スタンドが標準となり、8スタンドの将来増設を盛込んだものもある。

(4) 薄物コイル専用巻取機の設置、薄物コイル専用コイラーを仕上圧延機に近接して設置することにより、通板時間の短縮による生産能力向上が計られた。

(5) A·G·Cの全面的採用

(6) ストリップ形状制御のためのロールベンディング装置の採用。

(7) ストリップ温度制御のためのズーム圧延法が本格的に採用された。

(8) 冷却効率のよい層流冷却法の採用、巻取温度の自動制御の採用

(9) 計算機制御の全面的採用

などが第3期設備の特長となつている。これらの新技術

Table 4. Comparison of recent hot strip mills in the world

Customer	Sumitomo metal Kashima	Kawasaki-Steel Mizushima	Nippon steel Oita	Youngstown S & T Co. East Chicago	Solmer (France)
Completion	1969	1970	1971	1970	1973
Mill size	1 780 mm (70%)	2 300 mm (90%)	2 250 mm (88%)	2 130 mm (84%)	2 286 mm (90%)
Type of mill	full cont.	full cont.	three quarter	full cont.	full cont.
Slab size & weight	100~300 mm t 610~1 673 mm W 4 000~ 10 000 mm l 32.0 t max.	127~305 mm t 600~2 200 mm W 4 600~ 12 200 mm l 45.0 t max.	150~300 mm t 600~2 200 mm W 4 000~ 14 000 mm l 45.0 t max.	152~305 mm t 610~1 980 mm W 4 165~ 10 973 mm l 27.3 t max.	175~240 mm t 711~2 205 mm W 39.5 t max.
Products	1.0~18.0 mm t 610~1 673 mm W	1.2~18.0 mm t 600~2 200 mm W	1.2~16.0 mm t 600~2 100 mm W	1.2~12.7 mm t 610~1 930 mm W	0.8~16 mm t 600~2 135 mm W
Material to be rolled	mild steel stainless steel	mild steel high carbon steel low alloy steel	mild & high carbon	mild steel	mild steel high carbon steel stainless steel
No. of down coilers	5 $\left( \begin{array}{c} 2\text{-closed} \\ \text{coupled} \\ 3\text{-standard} \end{array} \right)$	5 $\left( \begin{array}{c} 2\text{-closed} \\ \text{coupled} \\ 3\text{-standard} \end{array} \right)$	2	3	4 $\left( \begin{array}{c} 2\text{-closed} \\ \text{coupled} \\ 3\text{-standard} \end{array} \right)$
No. of roughing stands	6(R1-R6)	4(R1-R5 R4: future)	4(R1-R4)	6(R1-R6)	3(R1-R6 R4-future)
No of finishing stands	7(F1-F7)	7(F1-F7 F8: future)	7(F1-F7 F8: future)	7(F1-F7)	7(F1-F7)
Finishing mill speed (m/min)	1 325	1 345 @ F7	1 630 @ F7	1 250 @ F7	1 850 @ F7
Coil weight kg/lmm width	23.3	28.6	35.8	22.4	26.8
Total power of main motors (kW)	93 275	100 200	112 750	103 500	68 200 for finisher only
Production t/year	4 000 000	4 500 000	6 000 000	3 840 000	
A.G.C.	F1-F7	F1-F7	F1-F7	F1-F7	F1-F7 (hydraulic AGC F4-F7 in future)
Roll bending	work roll bending F4-F7	work roll bending F1-F7	work roll bending F4-F7	work roll bending F5-F7	back up roll bend- ing F6-F7

は第1期、第2期設備に対しても、改造工事の形で導入されつつある。

Table 3 および Fig. 2 に各期に設置された代表設備の要目比較表およびレイアウト比較図を示した。図よりもこの間における設備の大形化が明白に示される。Table 4 には、ほとんど同時期に設置された欧米の設備との比較を示す。

### 3. 最近の圧延設備

前述のように、熱間ストリップ圧延機は、最近に到つて生産性の向上を中心として、長尺コイルの圧延、製品厚み範囲の拡大、製品品質・形状の向上の面で長足の進歩を遂げた。

#### 3.1 生産性の向上

##### 3.1.1 圧延速度の高速化

熱間ストリップ圧延機が生産能力は一般に仕上圧延機の能力により制約される。したがって、仕上圧延速度の高速化が最も直接的に生産能力の向上に結びつく (Fig. 3)。圧延速度の推移、これにともなう圧延機電動機容量の変化は Fig. 1 および Table 3 に示したが、高速圧延においてもストリップ先端を巻取機に送り込む通板速度は一定速度 (約 650~700m/min) 以上に上げることには困難であるから、通板後急速に所定の圧延速度まで加速し、さらにはストリップの温度制御のため、緩やかな加速をするいわゆるズーム圧延法が行なわれる (Fig. 4)。

高速圧延は単位時間内における圧延仕事量を高め、スト

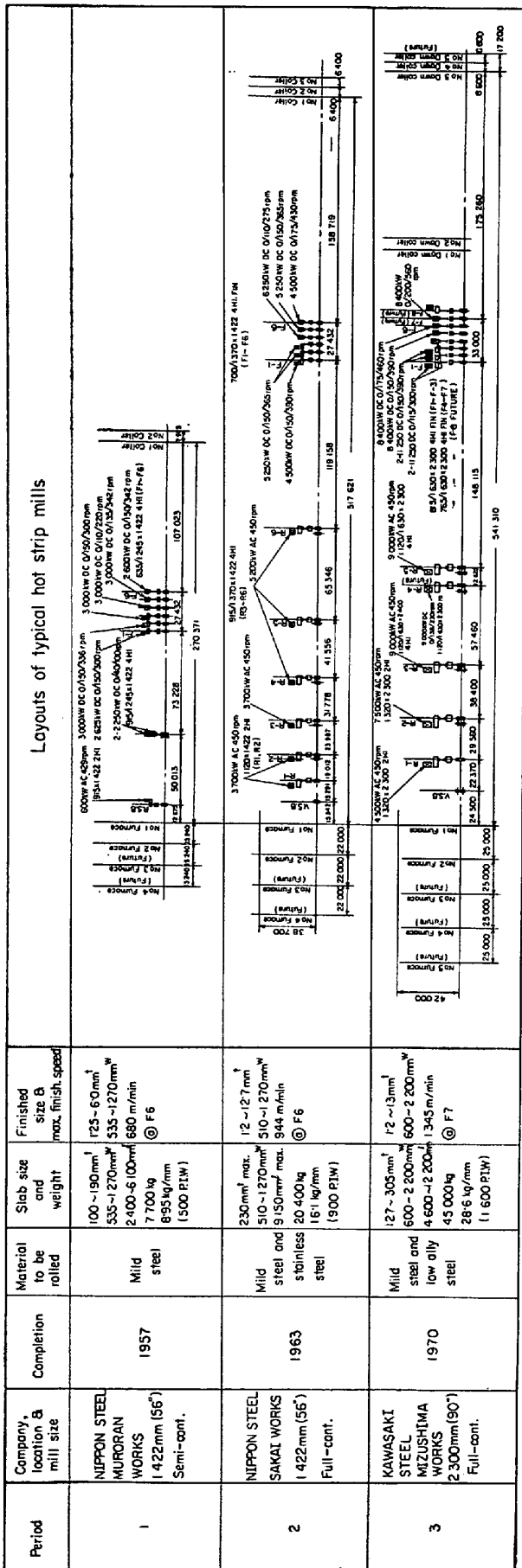


Fig. 2. Layouts of typical hot strip mill installed in period 1, 2 and 3.

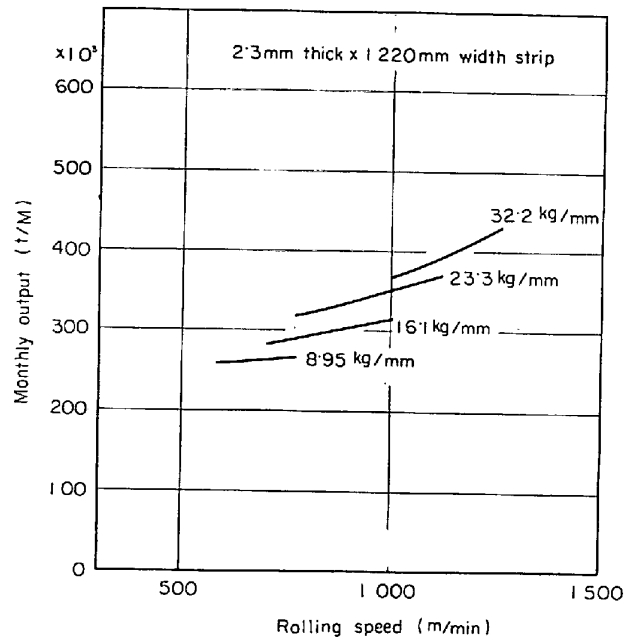


Fig. 3. Relation between rolling speed and finishing mill production capacity.

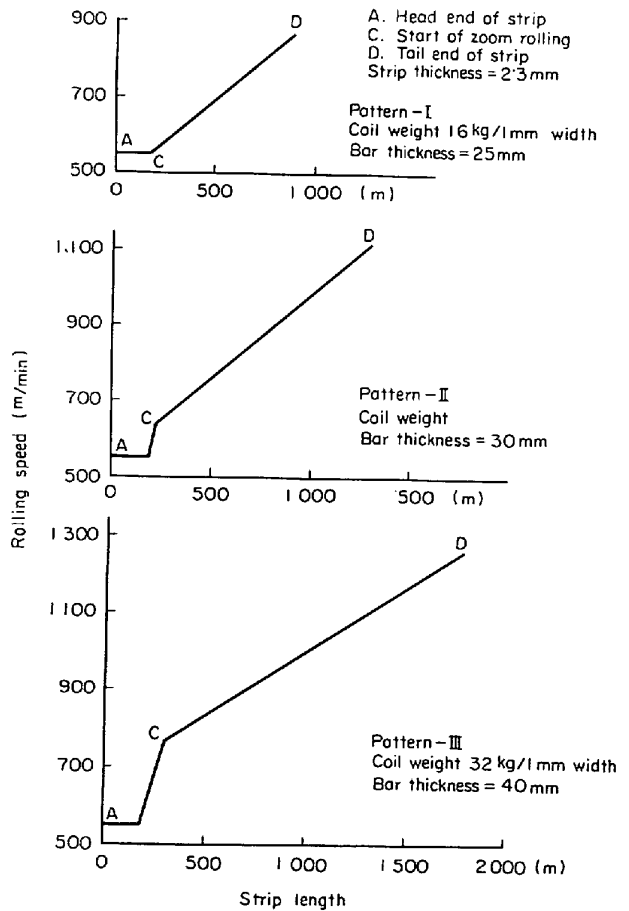


Fig. 4. Pattern of zoom rolling.

リップ圧延機厚みによつては冶金的に望ましい仕上圧延温度範囲を超えることになる (Fig. 5). これを制御す

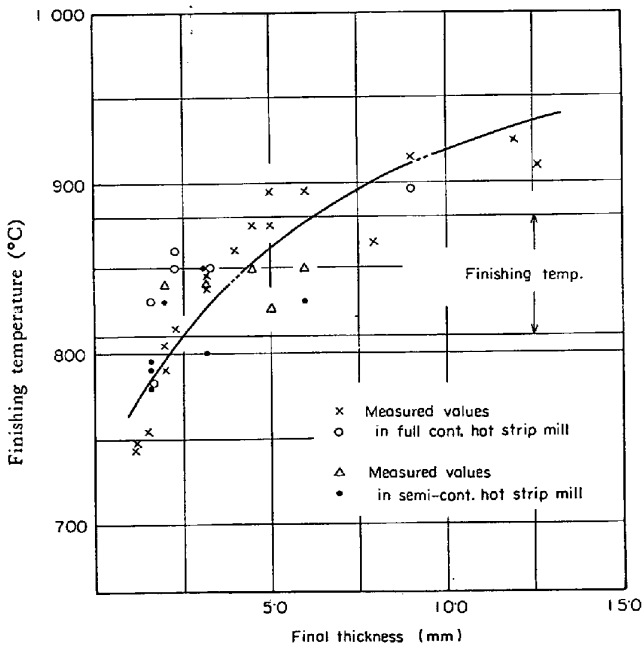


Fig. 5. Relation between strip thickness and finishing temperature.

るための仕上スタンド間でのストリップ冷却装置が開発された。

巻取温度は仕上圧延温度とともに、ストリップの冶金的品質を定める重要因子であるが、圧延速度の高速化により、ストリップの仕上圧延機と巻取機間に設けられた冷却ゾーンの通過時間すなわち冷間時間が短くなり、冷却不足を招く。そこで冷却効率のよい層流冷却法が開発され、従来の噴射冷却に代ったが、なお圧延速度に対しては不十分で、仕上圧延機・巻取機間の距離は増大している (Fig. 2)。このことはとくに薄手ストリップの圧延に当っては、通過時間の増大、通板におけるストリップの過冷を招くことになる。このため薄手ストリップ専用の巻取機を圧延機に近接して設置する構想が採用され、この問題を解決するようになった。

高速化にともなう振動などの機械的問題、速度制御などの電気的問題についても、種々の工夫が盛込まれている。

### 3.1.2 コイル単重の増大

大形スラブを使用して長尺コイルを圧延することは、通板その他による生産能率の低下を避けるだけでなく、以降の工程においてもコイルの溶接箇所を減らし、生産を向上させることになる。

ちなみに、製品厚みに対するコイル重量と生産量の関係を Fig. 6 に示した。

かつて 75~100 mm 程度であったスラブの厚みは今日では 300 mm に達し、重量も最大 45 t になった。この

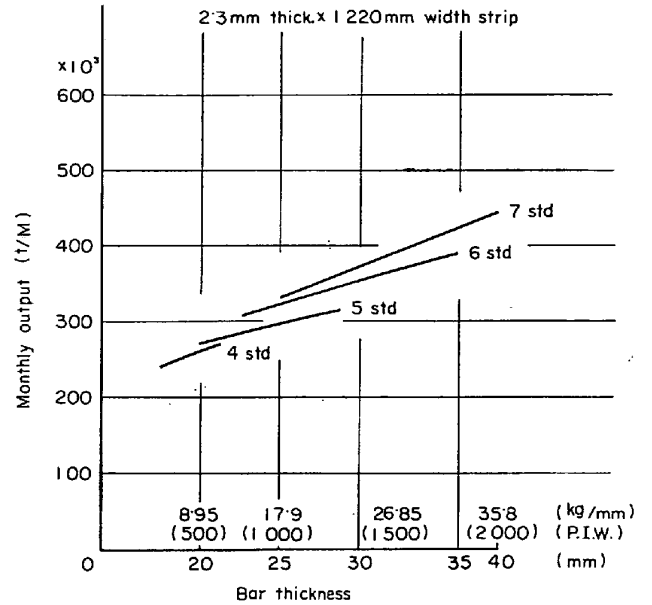


Fig. 6. Relation between coil weight and production.

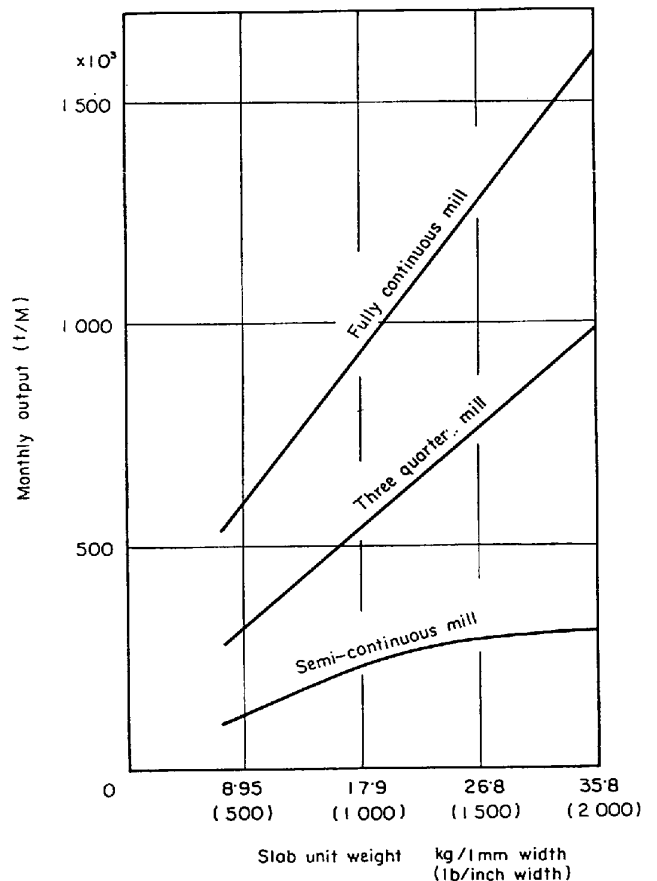


Fig. 7. Relation of roughing mill production capacity to slab unit weight.

スラブを 5~6 回の圧延により、45 mm 以下の粗圧延材として仕上圧延機に送込むためには、粗圧延機における 1 回の圧下量をふやす必要があり、このためロール径・電動機容量が大きく増大した (Table 3)。コイル重量の

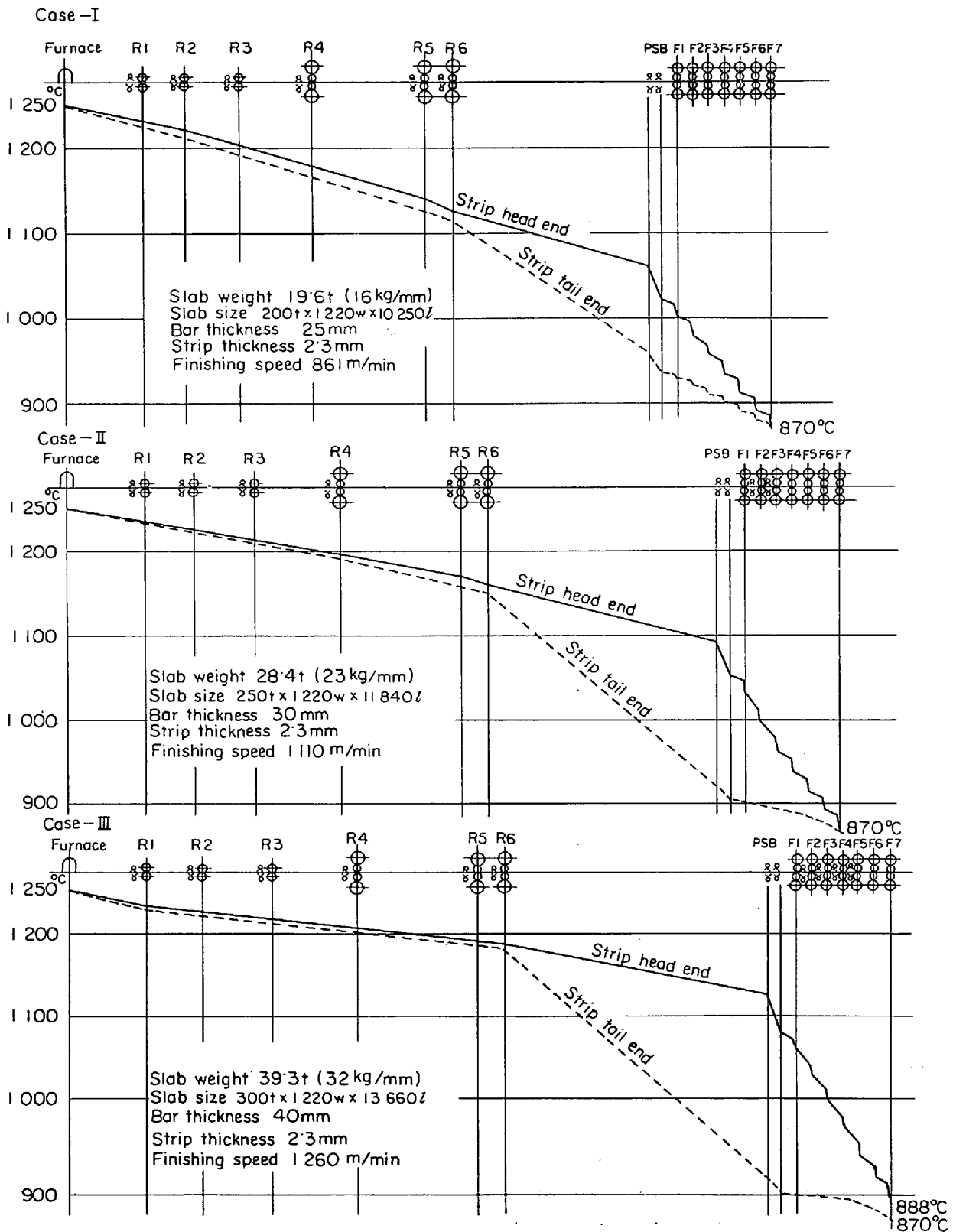


Fig. 8. Example of thermal run down.

増大により、仕上圧延機入側の粗延材の長さは最大約120mに達する。このため粗圧延機の最終スタンドを連続配置にして、温度低下を防ぐとともに工場長さの節約

を計る構想が取入れられた。粗圧延機的能力は一般圧延機的能力に比較して余裕があるので (Fig. 3, Fig. 7 参照), 1部には逆転式圧延機と連続式圧延機とを組合せ

た3/4連続式が実現された。

仕上圧延機の第1スタンドは一般に100~200m/minと比較的低速であり、大形スラブを使用した場合、粗圧延材の厚みを従来の22mm前後にとると、その長さはきわめて長く、圧延材の前後端の温度差は大きくなり実用的でない。したがってこれを35~45mmに増加させ温度差の幅を小さくする。このことは仕上圧延機における全圧下量の増大となり、従来6基が基準であった仕上スタンドは7基が標準となり、場合によっては8基への増設も考慮されている。

噛込み厚みの増加は仕上圧延機ロール寸法・モータートルクの増加につながり、815mm(32in.)、765mm(30in.)の仕上圧延機ロールがわが国で最初に採用された。

仕上りストリップの長さは、コイル単位幅重量23.3kg/mm(1300P·I·W)、厚み2.3mmのとき約1300mにも達するので、以上のような方策のみでもなおかつコイル全長に亘つての厚み・巻取温度を一定に保つことは困難で、仕上圧延機におけるA·G·Cの全面的採用、前述のズーム圧延、ホットランテーブルにおけるストリップ冷却の計算機制御法の開発によつて、初めて今日の長尺コイルの圧延が可能となつた。Fig. 8に圧延中におけるストリップの温度変化の1例を示した(ズーム圧延のパターンはFig. 4参照)。

### 3.1.3 圧延機稼働率の向上

時間当りの生産量の増加は逆に頻繁なロール交換を必要とすることになる。このためとくに交換頻度の高い仕上圧延機には、作業ロールの迅速組替装置が開発採用され、組替のための作業停止時間を短縮し、実稼働時間を3~4%向上させた。新しい圧延機では粗圧延機の作業

ロール・クランプシャーの刃物組替にも同様の組替装置が採用され始めた。

従来その都度手動により行なわれてきた、圧延スケジュールの変更に伴う圧延機全ラインのセットアップも、計算機制御の一環として行なわれ、このための停止時間を短縮している。

補修による圧延機の停止時間の短縮についても種々の考案が取入れられ、とくに補修度の多い巻取機については、全機構をライン外に引出し、作業を迅速容易にするものも実現している。

### 3.2 コイル厚み範囲の拡大

近年溶接管材としてのコイルの需要の増大とともに、長尺コイルの圧延が可能となつたことから一般の厚手成品もコイルとして処理する方向にある。巻取機の能力もコイルの最大厚みで6mm程度より19mmに逆向上され(Table 5)、とくに管材用高張力鋼をタイトに巻取るための強力な巻取機が開発されつつある。機構的に見て、薄手コイルを高速で巻取ることと、厚手の硬い材質を比較的低速で強力で巻取ることと、同時に満足させるのは困難なので、従来のような薄物・厚物兼用コイラーの考え方から、それぞれの専用コイラーを併設するようになつてきた。これらの中、すでに述べたように、薄物専用コイラーを仕上圧延機に近接して配置した圧延機もすでに3連ある。

### 3.3 製品々質形状の向上

圧延コイルの長さの増大にかかわらず、製品に要求される寸法精度はいよいよ厳しくなつていく。

一般に厚み精度は

ストリップ厚み 目標値

Table 5. Comparison of down coilers.

Company & location	Nippon steel Muroran Works	Nippon steel Sakai Works	Kawasaki Steel Mizushima Works
Mill size	1 422 mm (56%)	1 422 mm (56%)	2 300 mm (90%)
Completion	1957	1963	1973
Mill speed @ last fin. stand	680m/min @ F6	944m/min @ F6	1 345m/min @ F7
Material to be coiled	mild steel	mild steel & stainless steel	mild steel & low alloy steel
Strip thickness (mm)	1.25~6.0	1.2~12.7	1.2~16.0
Strip width (mm)	530~1 270	510~1 270	600~2 200
Max. coil weight (t)	7.7	20.4	45.0
Max. coil unit weight	8.95(500)	16.1(900)	28.6(1 600)
Coil dia. (mm)			
Inside dia.	762	762	762
Outside dia.	1 400	1 788	2 300
Mandrel motor	one(1)-225 kW	one(1)-280 kW	two(2)-750 kW
	D.C 0/375/1 050 rpm	D.C 0/360/1 080 rpm	D.C 0/410/1 250 rpm



Table 6. Comparison of mill modulus

Company & location	Nippon Steel Muroran Works	Nippon Steel Sakai Works	Kawasaki Steel Mizushima Works
Mill size	1 422 mm (56%)	1 422 mm (56%)	2 300 mm (90%)
Completion	1957	1963	1970
Finishing mill Work roll	635 mm dia × 1 422 mm body	699 mm dia × 1 422 mm body	815 mm dia × 2 300 mm body (for F1 to F3 stand) 765 mm dia × 2 300 mm body (for F4 to F7 stand)
Back up roll	1 245 mm dia × 1 422 mm body	1 370 mm dia × 1 422 mm body	1 630 mm dia × 2 300 mm body
B.U.R. neck bearing	Morgoil BRG 42-90	Morgoil BRG 50-72	Morgoil BRG 56-72QC
Housing weight	71 t	95 t	137 t
Post area of housing	4 340 cm <sup>2</sup>	5 800 cm <sup>2</sup>	7 064 cm <sup>2</sup>
Screw of mill screw down	460 mm dia	460 mm dia	483 mm dia
Mill modulus	475 t / mm	515 t / mm	610 t / mm

5 mm 以下 ±25 μ 板の全長99%の範囲

5~12.7 mm ±25 μ "

12.7 mm 以上 ±50 μ "

幅精度は所定幅に対し -0 mm から +10 mm が規準とされている

ストリップ厚みの変動は、加熱炉のスキッドマーク、前述のストリップ全長の温度変化による変形抵抗の変化が大きき要因となるが、このため各スタンドの圧延機剛性の増強が計られる (Table 6) と同時に自動厚み制御装置 (A・G・C) が仕上圧延機全スタンドに採用されている。一部に電動圧下に代つて油圧圧下圧延機も採用され始めた。スタンド間におけるストリップ張力の変動は板幅寸法精度に対する影響度が大きく、このため一定張力ルーパが開発実用化された。ストリップの形状に対しては、ロールベンディング装置が実用化された。主としてワークロールベンディングによるが、控ロールベンディングの設置を考慮した設備もある。ストリップの形状を定量的に検討するシェープメーターも一部で実用化が始まっている。

### 3.4 計算機制御

上記の熱間ストリップ圧延機の進歩は、電気制御技術とくに電算機制御技術の進歩に負うところが大きい。

第3期以降の圧延機では計算機制御が全面的に採用されており、スラブのトラッキング、圧延機ペーシング、圧延機のセットアップ、スケジュール計算、ストリップの温度コントロール、データロッキングなどを行ない、稼働率、成品品質、成品歩留りの向上に寄与している。

### 4. 今後の課題

成品寸法・形状精度向上面から、仕上圧延機に対する油圧圧下圧延機の適用、自動幅制御法の開発、シェープメーターと連動した自動形状制御の開発などが期待され硬質材料圧延のための高負荷容量、高剛性圧延機の開発が課題となる。

今後の熱間ストリップ圧延機は、さらに広幅、極厚コイルの圧延が要求され、部分的に厚板圧延機の機能をカバーする方向に進むものと考えられる。とくに広幅、極厚コイル用の巻取機の開発が待望される。