

日立ミニホットストリップミル

Hitachi Mini Hotstrip Mills

ミニホットストリップミルと呼称される普通鋼用の小規模熱間薄板製造設備の建設に対する要望が高まっている。この設備を実現する手段として、主に欧州を中心に、厚み50~80 mmの薄スラブ連続铸造機の開発が進められた。そして、これに小スタンド数のタンデム仕上圧延機を組み合わせたミニホットストリップミルが実機化されている。しかし、薄スラブ連続铸造機の操業は、狭い開孔の鑄型への注湯が困難なため、不安定になりがちである。

以上の面から、鑄片板厚120~230 mmの通常のスラブ連続铸造機を利用する新しいミニホットストリップミルの実現を図った。このミニホットストリップミルは、上記のスラブ連続铸造機に1, 2台の可逆圧延機、および2台程度のタンデム仕上圧延機を組み合わせる配置に構成され、年間最大 1.2×10^9 kg (120万t)程度までの生産が可能である。

木村智明* *Tomoaki Kimura*

関谷輝男* *Teruo Sekiya*

西村貞夫** *Sadao Nishimura*

1 緒言

普通鋼の熱間薄板製品は、従来一貫製鉄所の大規模設備によって製造されており、その生産量は年間 3×10^9 kg (300万t)を超え、最大なものは 6×10^9 kg (600万t)に達する。これは、熱間薄板圧延の作業が製品の機械的特性を確保するために、1,073 K以上の高温のオーステナイト領域で行われることによる。すなわち、厚み220 mm前後の素材スラブから2 mm程度の製品厚みまでの圧延を、温度低下を少なく上記のような高温状態で行う必要がある。このため、熱間薄板圧延設備は多数の圧延機を直列に配置し、かつ高速度で圧延がなされるように構成されるので、自然に大規模な生産量の設備に建設せざるを得なかった。

しかし、近年製品の多様化あるいは地域性を考慮したスクラップのリサイクル利用などのため、小回りの効く小規模熱間薄板圧延設備(ミニホットストリップミル)に対する要望が高まってきている。

この新しい動向に対し、主に欧州では素材スラブ厚みを従来の $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ に薄くする、厚み50~80 mmの薄スラブ連続铸造機を開発して、ミニホットストリップミルを実現することが試みられている。これは素材の厚みを薄くすることにより、製品までの圧延パス数の減少、すなわち温度低下を少なくして、高温での薄板圧延を実現するものである。しかし、薄スラブ連続铸造機の鑄型開孔は狭くなるので、注湯が難しく、かつ生産量を確保するために、鑄造速度を従来の2倍または

3倍に高める必要がある。このため、ノズル交換頻度が多くなったり、ブレイクアウトと呼ばれる凝固殻破断事故が発生しやすく、不安定な操業となりがちである。

そこで、本稿では従来の安定操業可能な連続铸造機を用い、かつ日立製作所においてステンレス鋼用に多数の実績を持つステッセルミルの技術を応用する日立ミニホットストリップミル(以下、HMHと略す。)を提案するものである。すなわち、鑄片厚みは大であるが、圧延材の保温巻取り式可逆圧延などの温度低下防止策を盛り込み、圧延設備の小スタンド数化を図った新しいHMHの検討結果について述べる。

2 HMHの設備構成および作業概要

HMHは図1に示すように四つの設備で構成される。通常、溶鋼の製造は電気炉によって行われ、その主原料は製品の寸法仕様および要求される品質等級に応じ、スクラップ、還元鉄、銑鉄などが使用される。鑄片スラブは、溶鋼を連続铸造機で連続的に鑄造することによって製造される。この鑄片スラブは均熱された後、小スタンド数のホットストリップミルで圧延され、最終の製品である熱間薄板が製造される。この設備での年間生産量は、大きいものでも 1.2×10^9 kg (120万t)程度で一貫製鉄所での生産量の約 $\frac{1}{3}$ である。通常、製品の寸法は板厚1.6~12.5 mm、板幅600~1,600 mm以内で、土木、建築、水およびガス用管、輸送コンテナ用などに使用される。

* 日立製作所 日立工場 ** 日立製作所 機電事業本部

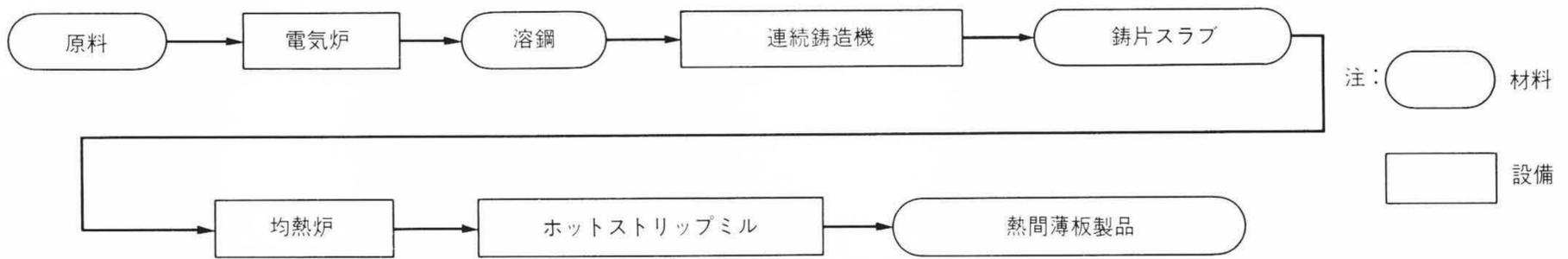


図1 HMHの製造工程 HMH(日立ミニホットストリップミル)は四つの設備で構成され、原料から熱間薄板製品が製造される。

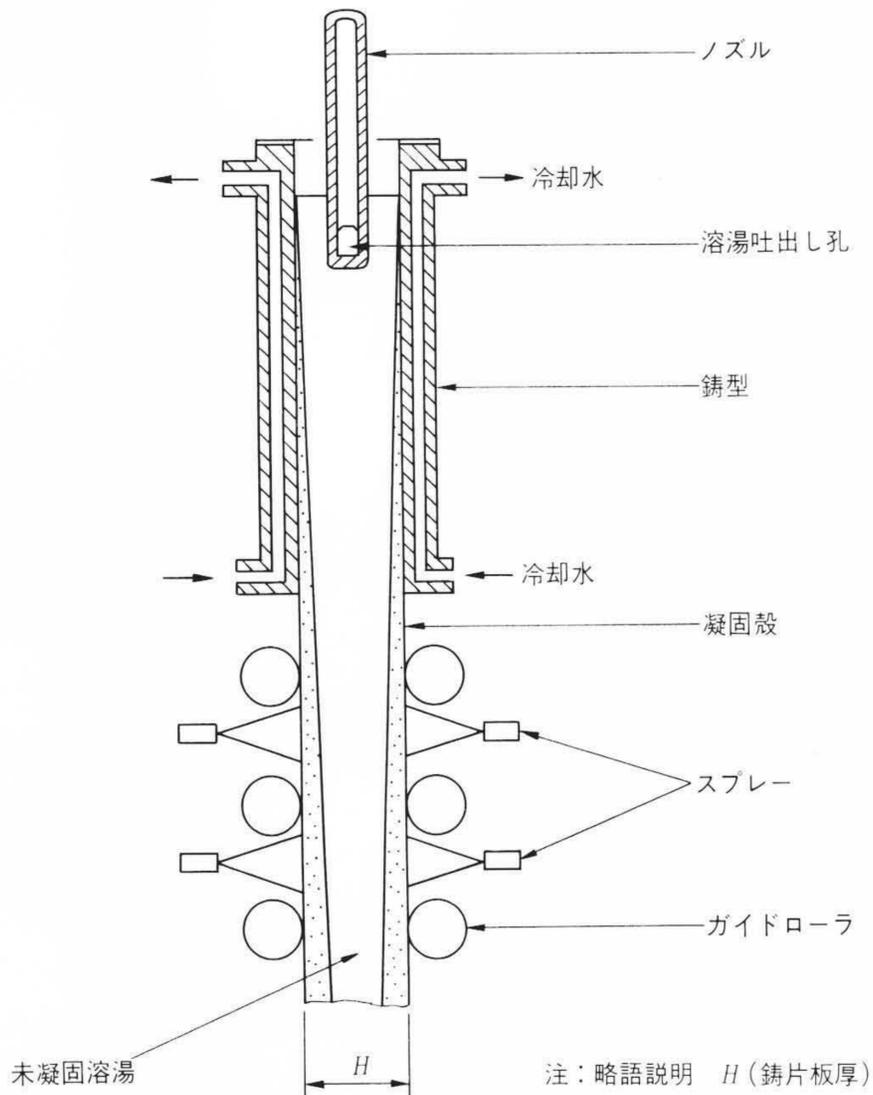


図2 铸型での凝固殻発生状況 凝固殻は铸型内および出口で破断しないように、十分な強度を持っていることが必要である。

3 HMHに望まれる連続铸造機の適正铸片板厚

連続铸造機は図2に示すように、ノズルから連続的に注湯される溶湯を、内部水冷の铸型で造形して凝固殻を造り、かつこれを铸型下方に引き出し、内部まで凝固させて铸片スラブを製造するものである。以上のように、連続铸造機は高温の溶湯の相変化を扱う設備であり、特に高い信頼性が必要とされる。

この連続铸造機の铸片板厚 H は、生産量および生産される熱間薄板製品の Coil 質量などの条件を満たし、できるだけ安定な操業が行えるように定められるべきである。生産量をパラメータにする铸片板厚と铸造速度の関係を図3に、またスラブ長をパラメータにする铸片板厚と Coil 質量の関係を図4に示す。図3で、所定の生産量を確保するには、铸片板

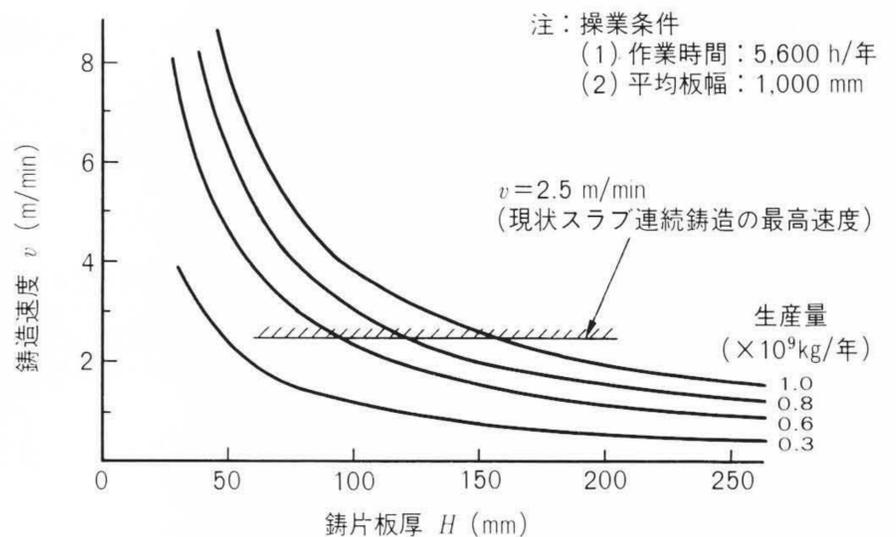


図3 铸片板厚と必要铸造速度 铸片板厚を薄くすると、所定の生産量を確保するための铸造速度を極端に増加させる必要がある。

厚の減少に伴い当然のことながら铸造速度を速めなければならないことがわかる。しかし、铸造速度を速くすると铸型内での凝固殻が薄くなる。一方、铸型内面と凝固殻表面間に作用する溶鋼静圧による摩擦力は、铸片板厚の大小にかかわらず一定である。したがって、铸型内の凝固殻は、高速化によって薄くなると上記摩擦力によって破断される確率が増加してくる²⁾。

このため、現状の最も高速なスラブ連続铸造機でも、铸造速度は2.5 m/min程度に制限されている³⁾。図3による生産量確保の面からの铸片板厚選定も、上記の铸造速度以内で行うことが望まれる。

また、铸片板厚は図4に示す Coil 質量の確保も考慮して選定されなければならない。すなわち、HMHでの通常の Coil 質量は10~18 kg/mm程度であるが、铸片スラブ長はこれを均熱・加熱する炉幅の面から最大14 m程度以下に制限されるためである。

以上のように、連続铸造機の铸片板厚は安定操業の铸造速度条件を考慮しながら、所定の生産量および Coil 質量を確保する条件で、できるだけ薄い铸片板厚となるように選定することが望ましい。しかし、図2に示すように铸型への注湯は、ノズルを溶湯に浸漬して行う必要がある。このため、铸片板厚をあまり薄くすると注湯ノズルの設計および注湯作業が難しくなるので、その最小値は120 mm程度に制限すべきであると考えられる。

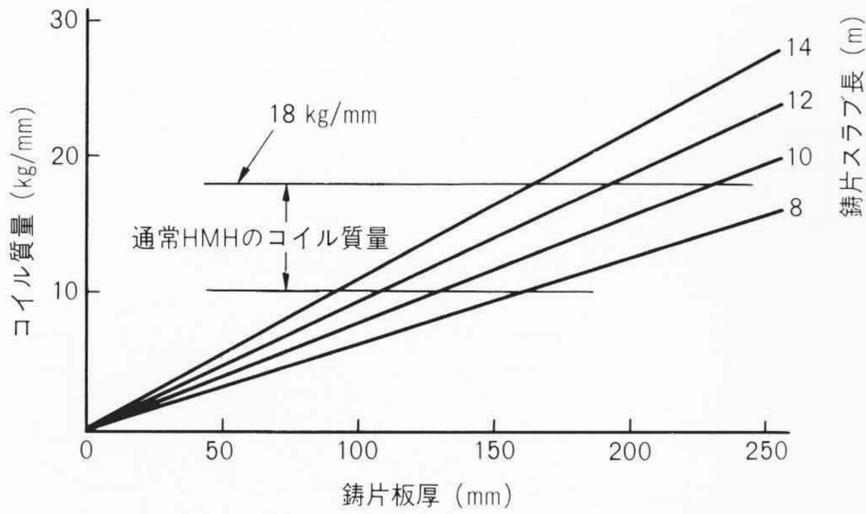


図4 鋳片板厚とコイル質量 ミニホットストリップミルでのコイル質量は通常10~18 kg/mm内で選定される。

4 HMHの配置および操業法

4.1 圧延設備の配置

HMHでは前述したように、安定操業を図るため通常形式の連続鋳造機が使用される。したがって、素材鋳片の板厚は従来のホットストリップミルの場合と同様に厚い。このような厚い鋳片から小スタンド数の圧延設備で、どのようにして圧延材の温度を高温に保ち、2 mm前後の薄板まで圧延するかがHMHの大きな課題である。

HMHでは上記課題が、図5に示す生産規模 10^9 kg(100万t)/年の例のように、圧延機を配置することによって解決が可

能であるが、その要点は下記のとおりである。

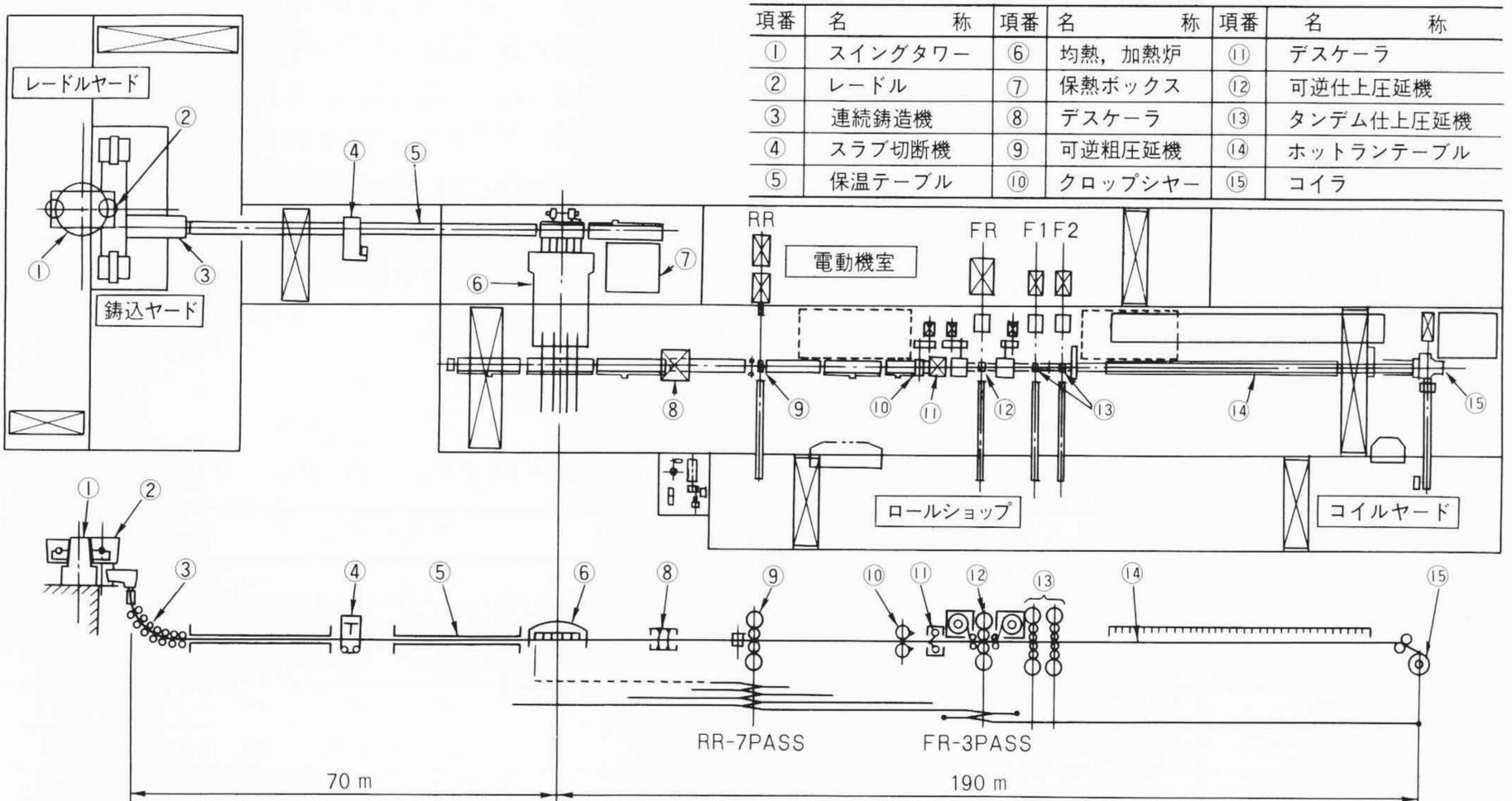
(1) 粗圧延

1台の可逆圧延機によって、200 mm前後の素材厚みから数パスの繰返し圧延により25 mm前後のバー材までの圧延を行う。そして、粗圧延の最終パスは仕上圧延と連動して行うようにし、粗圧延機と仕上圧延機間の距離を粗圧延終了の3パス前の圧延材長を取容できればよい程度に短縮を図った。これにより、設備長短縮とともに、圧延材からの放熱量の減少を可能にした。

(2) 仕上圧延

仕上圧延設備は、その詳細を図6に示すように、ファネスコイラを前後に備える1台の可逆仕上圧延機と、2台のタンデム仕上圧延機で構成する。すなわち、圧延材の板厚が厚く、したがって板長が短い間の圧延は、可逆仕上圧延機によって正、逆および正の順に3パスの圧延が行われる。これらの圧延は、高温に加熱されたファネスコイラに圧延材を巻き取りながら行われ、圧延材の温度低下が防止される。そして、板厚が薄くかつ板長が長くなった後の可逆仕上圧延機での最終パス圧延は、この圧延機に近接して配置された2台の仕上タンデム圧延機と連動で行われ、圧延時間の増大、および圧延材の温度低下防止が図られる。

上記圧延設備により、200 mmの鋳片スラブ厚みから、製品板厚2 mmまでの圧延を行う際の、パススケジュールの例を表1に示す。コイル質量15 kg/mm、コイル長960 mの製品の圧延



注：略語説明 RR(可逆粗圧延機), FR(巻取機付き可逆仕上圧延機), F1, F2 (No. 1, 2仕上圧延機)

図5 HMHの配置 生産量 10^9 kg(100万t)/年クラスのHMH配置であり、この設備では板厚200 mmの鋳片スラブから2 mm前後の製品が製造される。

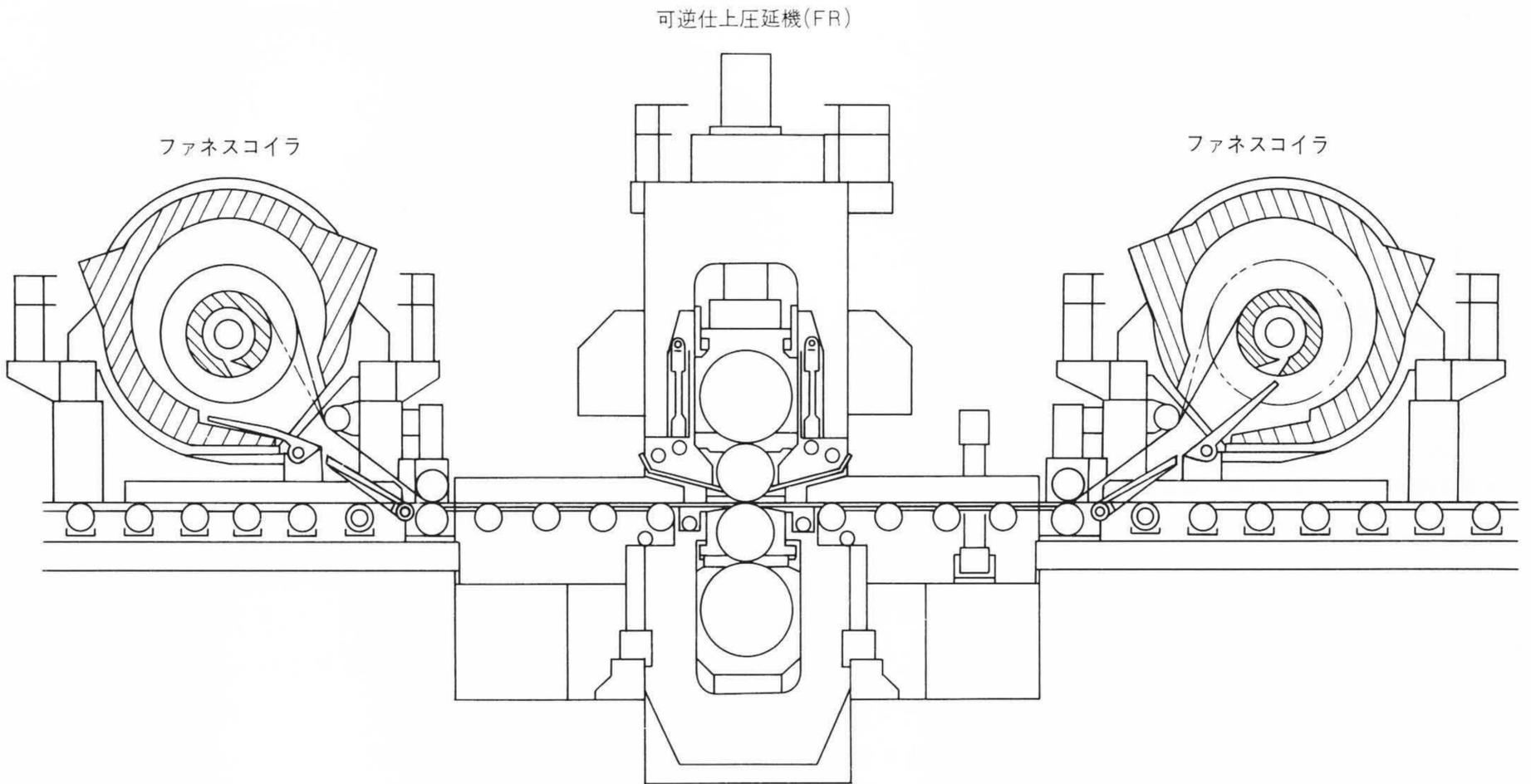


図6 可逆仕上圧延機 可逆仕上圧延機では圧延機の前後にファネスコイラが設けられ、圧延材の温度低下を防止しながら圧延が行われる。

が、粗・仕上げ合計12パスで、かつ最終パス圧延を1,073 K以上の高温で行うことが可能である。このような圧延は、従来1～3台の粗圧延機および6、7台の仕上圧延機群によって構成する全長数百メートルに及ぶ大規模な圧延設備で行われていた。これに対し図5のHMHは、粗圧延機および仕上圧延機の合計が4台と少なく、かつ加熱炉中心から巻取機までの距離も約190 mと短く、従来の $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{2}$ の小規模な設備で構成している。

なお、200 mm厚みの铸片スラブから製品厚みまで圧延していく際の圧延エネルギーカーブを図7に示す。圧延エネルギーは、铸片板厚が厚い間は圧延に伴うエネルギーの増加が少なく、板厚の薄肉化とともに急増する関係になっている。したがって、铸片厚み200 mmを50 mmまで薄くしても、これによる省エネルギー率は6%程度と小さい。すなわち、連続铸

造機の安定操業のため、铸片板厚を200 mm程度に厚くしても、これによって増加する分の圧延エネルギーは少ない。

以上の小スタンド数の圧延設備を配置した図5に示すHMHでの熱間薄板製造作業は、以下のように行われる。溶鋼はレードルから連続铸造機に供給され、铸片スラブが製造され、かつ均熱炉によって均熱される。均熱された铸片スラブは、前述した小スタンド数の圧延設備で圧延され薄板製品が製造される。圧延後の薄板はホットランテーブルで所定の温度に冷却され、コイルに巻き取られる。これらの作業は、従来の熱間薄板製造時と同様の内容で行われるものである。

生産量約 10^9 kg(100万t)/年時のHMHの配置を図5に示したが、生産量が少ない場合には、同図の圧延設備の部分に、さらに小規模生産量に対応するA～Cの圧延設備(図8参照)を配置することが可能である。

表1 圧延パススケジュールの例 生産量 10^9 kg(100万t)/年用HMHで、板厚2.0 mmのコイルを生産する場合のパススケジュール例を示す。

項目	スラブ	可逆粗圧延 (RR)							可逆仕上圧延 (FR)			仕上圧延 (F)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
パス No.	—	RR ₁	RR ₂	RR ₃	RR ₄	RR ₅	RR ₆	RR ₇	FR ₁	FR ₂	FR ₃	F ₁	F ₂
板厚 (mm)	200	173	146	119	92	65	43	25	13.5	7.3	4.08	2.65	2.0
压下率 (%)	—	13.5	15.6	18.5	22.7	29.3	33.8	41.9	46	46	44	35	24.5
圧延速度 (m/min)	—	70	75	90	115	140	165	97	180	220	264	407	540
圧延荷重 (MN)	—	8.9	9.4	10.3	11.3	14.7	16.3	22.2	23.7	25.1	28.3	20.3	14.7
板長 (m)	9.6	11.1	13.2	16.1	20.9	29.6	44.7	76.8	142.2	263	470	724	960

注：材質〔普通鋼(C=0.1%)〕, 板幅(1,330 mm)

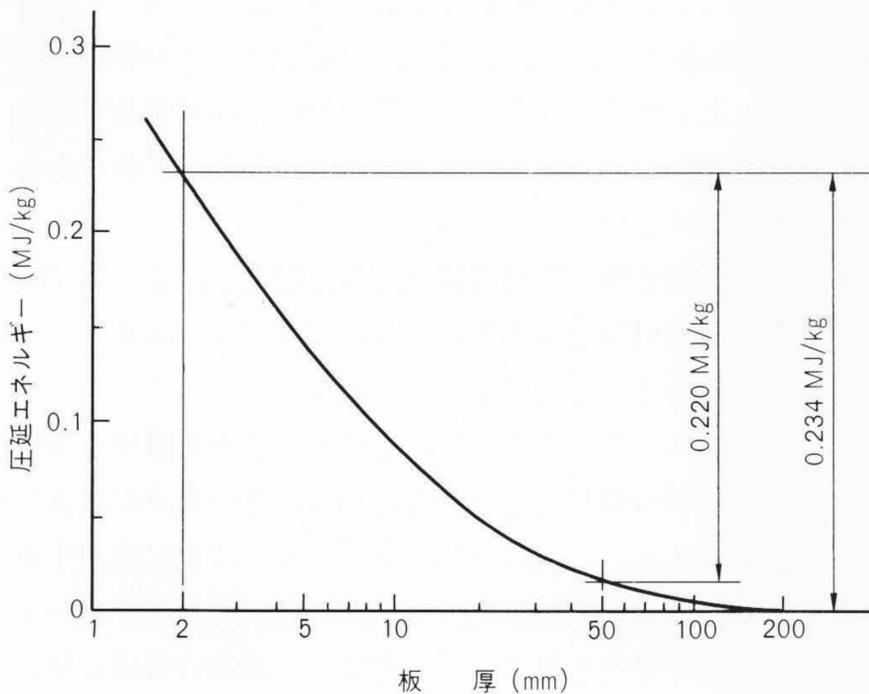


図7 鋳片厚と圧延エネルギー 板厚2.0 mmの製品を製造する場合、素材鋳片厚200 mmと50 mmでの圧延エネルギー差は約6%と小さい。

図8の配置Dは図5に示した圧延設備と同じで、生産量規模は $0.9 \sim 1.2 \times 10^9$ kg (90~120万t)/年であり、比較的中級から上級品質の製品の製造が可能である。これに対し、配置Aは1台の圧延機で粗圧延から製品までの仕上圧延を可逆的に行うもので、生産規模も 0.3×10^9 kg (30万t)/年と最も小さい。配置Bは配置Aに可逆式粗圧延機を追加し、配置Cはさらに可逆式仕上圧延機を2台に増加して、おのおの生産量の拡大を図っている。しかし、圧延機台数があまりに少ないと、圧延ロールの肌荒れが発生しやすい。また、仕上圧延を最終製品厚みまで可逆圧延で行うと、コイルの先・後端の温度が低下し、この部分が規格外れになりやすいなどの欠点が生じてくる。

4.2 設備および操業トラブル対応策

連続鋳造機と圧延設備を直列に配置し、連続鋳造機からの鋳片を、これが保有している顕熱を利用して直接圧延することは省エネルギーの面から望ましいものとする。しかし、

配置記号	設備配置	生産量 ($\times 10^9$ kg/年)	問題点
A (粗仕上兼用可逆ミル)		0.3	<ul style="list-style-type: none"> ● ロールの肌荒れ ● コイル先・後端の規格外れ
B (1スタンド仕上巻取圧延)		0.4~0.5	<ul style="list-style-type: none"> ● 仕上ミルのロール肌荒れ ● コイル先・後端の規格外れ
C (2スタンド仕上巻取圧延)		0.6~0.8	上記と同じであるが、かなり改善される。
D (1スタンド仕上巻取および2スタンドタンデム仕上圧延)		0.9~1.2	—

項番	名称	項番	名称
①	クランプシヤ	⑤	コイラ
②	デスクーラ	⑥	可逆粗圧延機
③	可逆仕上圧延機	⑦	2スタンド可逆仕上圧延機
④	ホットランテーブル	⑧	2スタンドタンデムミル

注：他は図5に同じ

図8 HMM用小規模圧延設備 圧延機の台数とともにHMMの生産量を増加することができる。

連続鋳造機と圧延設備の二つの設備は、おのおの異なる作業を行っており、しばしば設備あるいは操業のトラブルを起こしやすい。この場合、上記のように二つの設備が直列に配置されていると、どちらか一方の側のトラブルによって全設備の停止につながりがちである。特に圧延機側のトラブルにより、連続鋳造機を停止することは準備された溶湯をむだにすることになるので大きな損失を招く。

HMHでは、この問題を解決するため図5に示すように連続鋳造設備と圧延設備を並列に配置し、この間に均熱および加熱兼用の炉を設けた。そして、安定操業時には、通常この炉で鋳片スラブの均熱作業だけが行われる。圧延設備側にトラブルが発生した場合には、連続鋳造機の操業を停止することなく、少なくとも準備された溶鋼分についてすべて鋳造を行う。これにより、製造された鋳片は、保熱ボックスに一時保管され、圧延設備の再稼動に伴い、前記均熱および加熱兼用炉で再加熱後、圧延設備に供給される。

以上のように均熱および加熱兼用炉の設置により、設備および操業トラブル時に発生する損失を最小限に食い止めることが可能である。

5 結 言

安定操業性に優れた通常のスラブ連続鋳造機を使用しても、保温巻取り式可逆仕上圧延機の採用および圧延法の改善など

により、小スタンド数圧延機による小規模な熱間薄板圧延設備の実現が可能である。そして、鋳片板厚を200 mm程度に厚くしても、50 mmのような薄スラブ鋳片から薄板製品を製造する場合と比較して、圧延エネルギーの増加はわずかであることを明らかにした。

また、連続鋳造機と圧延設備を並列に配置し、この間に均熱および加熱兼用炉を設けることが、設備および操業トラブル対応に有利なことを述べた。

ミニホットストリップミルは、今後ますます多様化する製品需要および経済情勢にこたえるために、その実現が望まれている設備である。これに対し、上記のように安定操業を重視する経済的なHMHを提案した。この案に対してユーザーから多数の批判や意見を得て、より充実した設備の実現に努めたいと考えている。

参考文献

- 1) Peter Greis, et al.: Metec '89-Technische Trends in Metallurgie und Umformtechnik, Stahl u. Eisen 14, 15, 34~86 (Juli 1989)
- 2) ブルーム・ビレット連続鋳造技術の最近の進歩, 31~87, 日本鉄鋼協会 (昭55-8)
- 3) 内堀, 外: NKKの連鋳-熱間直送圧延プロセス, 鉄と鋼, 7, 40, 39~43 (昭63-7)