

技術資料

UDC 621.771.23

厚板圧延技術の進歩*

三輪親光**・浅川長正***

Progress of Plate Rolling Technique

Chikamitsu MIWA and Chosei ASAKAWA

1. 緒 言

わが国の鉄鋼業は、戦後めざましい発展を遂げ、とくに昭和40年以降の伸びは著しいものがある。

昭和47年には、粗鋼年産1億tに達しソ連、米国に比肩する鉄鋼生産国である。このほとんどが圧延鋼材で、厚板の占める割合は20%といわれ厚板ミルによりこの約90%が生産されている。

ここで、主要鉄鋼生産国の厚板生産量を昭和46年の統計により比較してみたのが図1で、わが国は第1位にある¹⁾。また、図2に圧延鋼材に占める厚板の比率を示しているが、この比率が高いのもわが国の特徴といえる。

わが国における厚板の生産は、70年の歴史をもち、その間2重式圧延機、ラウト式3重圧延機を経て、現在は大型4重逆転式圧延機による生産がその主流である。

現在、この大型4重逆転式圧延機をもつ厚板工場は12を数え、その半数は昭和40年以降に設置された新鋭ミルで、生産量もここ数年で飛躍的増大を遂げている。

これを圧延技術の面から見ると、昭和30年代の外国

からの設備・技術の導入期を経て、昭和40年代はその国産化を果し、欧米先進国を追い越す水準に達した。現在は、生産性においても、品質においても世界第一の地歩を占めるにいたっている。

このような展望に立つて、本報では、わが国を中心とした最近の厚板圧延技術の進歩について、その背景、変遷および成果を概観してみた。

2. 進歩の背景

最近(昭和40年以降)の厚板圧延技術の進歩を促した背景として

① わが国の造船を始めとする重化学工業の発展により、鋼材需要が大幅に増大し、かつ、これら需要分野からの鋼材品質の要求が高度化されてきたこと。

② 厚板製造側において、労働生産性向上とコスト低

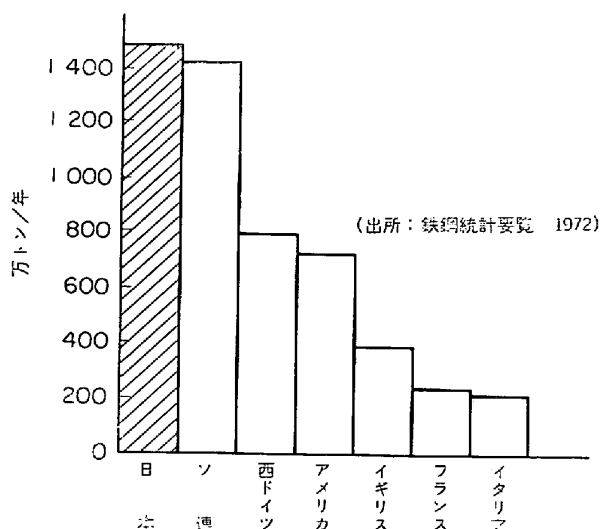


図1 1971年主要厚板生産国年産高(中板を含む)

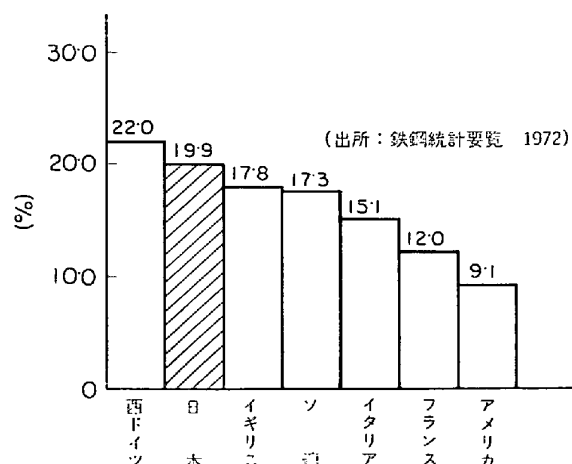


図2 1971年主要鉄鋼生産国における圧延鋼材に占める厚板比率

* 昭和48年5月28日受付(依頼技術資料)

** 共同研究会鋼板部会厚板分科会前主査
(川崎製鉄(株)千葉製鉄所)

*** 共同研究会鋼板部会厚板分科会幹事
(川崎製鉄(株)千葉製鉄所)

表 1 わが国の厚板用途別使用比率 (1971 年)

用 途	使用比率 (%)
船 舶	31.6
土 木 建 設	10.7
産 業 機 械	6.4
鉄 道 車 輜	3.5
容 器	0.3
次 工 程 用	1.0
販 売 業 者 向	21.5
輸 出	25.0
合 計	100.0

減を目的とした生産規模の拡大がはかられてきたこと。

③ 厚板圧延技術を支える機械、電気、コンピューターなどの国産技術が確立・進歩してきたこと。

が挙げられ、これらが相呼応して量的・質的進歩が実現してきた。

まず、量的進歩の背景についてみると、現在の、世界の建造能力と実績をほこる造船業界においては、昭和30年代後半より昭和40年代にかけて大型造船所が続々建設され、これによる造船用鋼材の需要が大幅に増大してきた。また、昭和40年前後より高速道路、高層建築に象徴される国土開発や都市改造による土木建築用鋼材、電力・石油・鉄鋼などの諸工業の拡大による設備建設用鋼材、および、港湾施設・土工工事などの機械化による産業機械用鋼材などの内需の伸びが大きかった。さらに、輸出においても技術力と臨海立地を利した国際競争力の強さにより、厚板の輸出量は年々増加してきた。

表1に、昭和46年のわが国厚板の用途別使用比率を示したが¹⁾、とくに造船用厚板は販売業者経由のものも含めるとおそらく40%に近く、厚板と造船との関連が強いことがわが国の特色である。

他方、製鉄所についてみると、昭和30年代において、大型高炉・LD製鋼法の採用、ストリップミルによる薄板の大量生産などの大型化を実施して世界最高の生産性を実現してきた。厚板の製造も大型製鉄所の主要生産部門として、その生産性の向上が強く要請された。

このため、厚板工場は、4重粗圧延機の併置をはじめとする製造設備の大型化、厚物剪断用対向式サイドシャーの採用による剪断ラインの高速化、剪断工程以降のレイアウト改善によるオンライン化、コンピューターを導入した生産管理・プロセス制御のシステム化などをはか

つてきた。

これは、昭和30年代に建設された工場の最近の増強や、昭和40年代に建設された新鋭工場に見られ、その生産規模は素材ベースで年産120万t以上となり、後者においては、すでに240万t能力をもつ工場がいくつかあり、生産性も著しい向上をみた。

これに関連して、製品寸法についてみると、厚板需要分野における鋼構造物の大型化と溶接工数削減のねらいから、幅と長さの拡大が要求され、昭和30年代の最大幅は4mであつたが、昭和40年代は4.5mのものが使われ、圧延機の幅もかつての160in. (昭和10年代に建設された幅5.3mの4重厚板ミルもあるが) から、昭和40年代は185in. が標準と考えられ、さらに、超大型タンカー用の広幅造船材や、パイプライン用の最大64in. 大径管材の需要増に呼応して210in. の新しいミルが建設されようとしている。製品長さについても15mから20mへ拡大され、最近は最大25m以上の長尺板も製造されている。

この要請は、厚板用素材の大型化につながり、厚板工場の生産能力向上に寄与したのである。

つぎに質的進歩の背景についてみる。

戦後の溶接技術の進歩と普及により、鋼構造物は溶接構造化され、最近はこの溶接作業の自動化が進められてきており、溶接特性・溶接作業性に優れた母材厚板が強く要求されている。また、鋼構造物の大型化に伴う重量軽減や、材料節減をはかつて高抗張力鋼の需要が増加してきた。降伏点36キロクラスの造船材を含めて、構造物用鋼板として50キロ鋼は汎用化され、60キロ鋼も造船材をはじめとして標準規格に採用されている。

一方、鋼構造物(天然ガスなどの輸送管も含めて)の使用条件も、広い温度域に亘り過酷な環境のもとで使用されるとともに、大型化に伴って構造物の破壊に対する安全性がとくに重視され、靱性の優れた材料を要求するものが多くなつてきている。

このため、低炭素当量で衝撃特性に優れた高張力鋼板の需要が増え、製造に当つては合金元素の添加、特殊な圧延法、熱処理などが単独に、また、組合わされてとられてきている。

厚板工場において、低温圧延法や、後述するコントロールローリング法などの圧延技術が生まれ、熱処理設備が強化されてきたゆえである。

また、これらの高度な材質特性を具備した厚板には、不純物元素の少ない、内質および表面性状の健全な鋼をベースにしなければならない。これは、脱硫・脱ガス法の確立、造塊法の改良をはじめ連続鑄造法の確立を含め

た製鋼技術の進歩と、分塊工程におけるスラブ表面欠陥の防除策の進歩改善に負うところであり、また、それを促したといえる。(本報では、これら素材製造技術の進歩についてはふれない。)

また、寸法形状についても、NC 制御による自動精密切断装置や片面自動溶接法など、需要者側の新しい鋼板加工技術の採用により、高い精度が要求されてきている。これに対し、厚板ミルに AGC 装置やロールベンディング装置が装着され、矯正設備も強化されてきている。

また、剪断機にも剪断精度向上のため種々の対策がとられてきた。

さらに、鋼構造物の美観を重視する傾向も反映し、厚板工場における鋼板手入作業の負荷軽減をねらいとした表面品質の向上策が設備面でとられてきている。たとえば、加熱炉・冷却床の搬送機構の改良、デスクーリング装置の強化がそれであり、無酸化熱処理炉の採用の狙いもここにある。

ショットブラスト設備も、最近の厚板工場に欠かせない設備となつているが、需要者側の加工工数軽減に寄与するとともに、表面品質の安定を狙いとしたものといえる。

このほか、品質保証の強化と厚板工場の合理化を狙いとしてオンラインの自動超音波探傷器や自動寸法測定機器の採用がはかられている。また、需要家の加工工程の合理化・システム化に伴い入庫条件がきびしくなつてきたことも反映し、厚板工場側の出荷設備や出荷システムの強化もはかられてきた。

3. 厚板圧延技術の変遷と進歩

前述の背景のもとに、昭和 40 年以降のわが国厚板圧延技術の進歩はとくにめざましいものがあつた。

以下に、工場規模の変貌と、設備を中心とした厚板製造技術の変遷・進歩の特徴を述べる。(これは、昭和48年9月刊行の日本鉄鋼協会・共同研究会・厚板分科会特別報告書²⁾の内容を確認しながら、考察を加えたものである。)

3-1 厚板工場規模の変化

昭和 30 年代に建設された厚板工場は 60~90 万 t/年(素材ベース)の生産規模であつたが、その後設備の増強など生産能力向上をはかり現在は 120~180 万 t/年の規模になつている。一方、昭和 40 年以降に建設された新鋭工場は当初より最新鋭の設備・技術を導入し、生産規模 240 万 t/年程度を目標としてきた。すでにこれを実現した工場もある。

表 2 に見るように、240 万 t/年あるいはそれに近い生

産規模をもつ厚板工場の主要設備は、連続加熱炉 3 基、4 重逆転式圧延機 2 基、シャーライン 2 連をもつのが標準となつている。

昭和 30 年代に建設された工場のその後増強されてきた主要設備は次のようである。加熱炉については 3 帯式から予熱帯を設けた多帯式への改造および多帯式 1 基の増設である。圧延機については仕上圧延機のリプレイス、あるいは粗圧延機の増設である。また、シャーラインについては既設のロータリー式サイドシャーラインに対向ダウンカット式サイドシャーを併置するか、後者を中心に新しいシャーラインを設け 2 連にしてきた。(このサイドシャーは鋼板の幅方向サイド耳部のトリミングを左右同時に行なうダウンカットタイプの連動剪断機で、片側は固定し、他方を剪断幅に応じて移動し、1 回の剪断長さ 1000~1200 mm ピッチで鋼板を前進させながら間けつ剪断するもの。とくに、対向式というのは従来、片側づつ、2 ステージに分けてトリミングしていたサイドシャー(非対向)に対比して付けられた名称で、一名、ダウンカット式ダブルサイドシャー、あるいは、ツインサイドシャーと呼ぶこともある。)

つぎにレイアウトについて見ると、加熱炉、圧延機、シャーラインが冷却床をはさんでオンライン配置をとる基本には変りはない。しかし、昭和 40 年以降、剪断以後の精整・仕上設備および製品ヤードのレイアウトが大きく変化し、シャーラインとの有機的な結合がはかられている。

これは、生産規模の増大に対処して、従来の起重機を主体としたハンドリング作業の合理化と、コンピューターによる作業管理・現品管理のシステム化を狙いとしたものである。

また、製品品質の高度化に伴う熱処理設備、ショット設備の強化拡充が行なわれてきた点も見逃せない。

この変化は、昭和 30 年代に建設された工場の設備増強やヤード拡張のなかに見られるが、とくに昭和 40 年代に建設された工場のレイアウトが顕著に示している。

すなわち、手入作業、超音波探傷のオンライン化や、板流れに沿つた熱処理、ショット設備の配置、および、製造ラインとテーブルあるいは走行台車で直結した製品ヤードなどである。

この例を図 3 に示す。この工場は昭和 43 年に建設され、生産能力 240 万 t/年をもつている。各工程はテーブルラインと、ヤードを横断する専用クレーンで結ばれ、製造・出荷にわたる工程をリアルタイムのコンピューターシステムで管理している。

表2 わが国厚板工場の規模と主要設備 (S30年以降設置された工場, S48/3現在)

工場	稼動年月	生産能力		工場面積 (m ²)	主要設備			備		
		万トン/年	トン/時間		加熱炉	圧延機	剪断設備	熱処理炉 (全炉長) (m)	ショット 設備 (基数)	
										炉型式
新日鉄・八幡	S32.6 (S47.4仕上改造)	162	240	88500	連続式	3	2Hi-R+4Hi-F	RS-SS {ES	156	3
〃・広畑	S33.9	120	158	56090	連続式	2	4Hi-F	SS-RS-ES	158	2
鋼管・京浜	S29.4 (S35.5粗設置) (S38.5仕上改造)	120	185	85000	連続式	2	2Hi-R+4Hi-F	{RS-ES {RS-ES	59	1
川鉄・千葉	S36.4 (S48.2粗設置)	180	250	73395	連続式	3	4Hi-R+4Hi-F	{SS-ES {RS-ES	185	2
住金・和歌山	S40.4	112	146	96500	連続式	2	4Hi-F	{RS-ES {シリーズG.C	125	2
川鉄・水島	S42.2 (S45.7粗設置)	216	300	128051	連続式	3	4Hi-R+4Hi-F	{SS-ES {SS-ES	171	3
鋼管・福山	S43.2 (S45.12粗設置)	200	270	137500	連続式	2	4Hi-R+4Hi-F	{SS-ES {SS-ES	162	2
新日鉄・君津	S43.2	240	333	182000	連続式	3	4Hi-R+4Hi-F	{SS-ES {RS-ES	141	3
〃・名古屋	S43.3	154	208	110000	連続式	2	4Hi-F	RS-SS-ES	80	1
神鋼・加古川	S43.4 (S47.10仕上設置)	205	284	101775	連続式	3	4Hi-R+4Hi-F	{SS-ES {SS-ES	156	2
住金・鹿島	S46.10	192	250	137780	連続式	2	4Hi-R+4Hi-F	SS-ES	64	1

(注1) 圧延機 R:粗圧延機, F:仕上圧延機

(注2) 剪断設備 クロップシヤ、スリッターは除外した。

SS:ダウンカット式サイドシヤ、RS:ロータリー式サイドシヤ、ES:エンドシヤ

(注3) 工場面積はスラブヤードを含む厚板工場面積で、ここに附属する製品出荷ヤードも含む。

(工場から離れた出荷岸壁に位置する製品出荷ヤードは入っていない。)

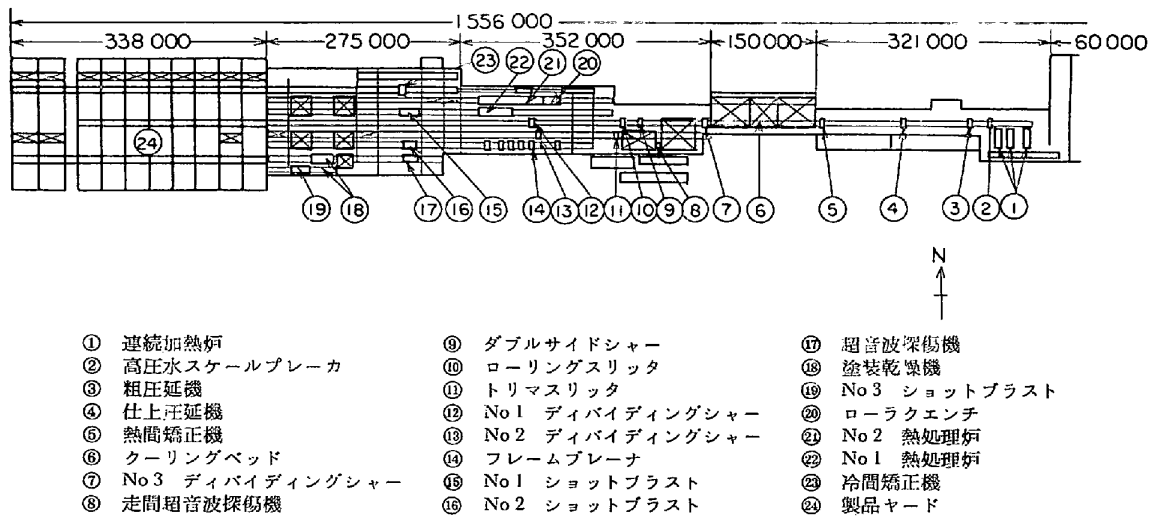


図3 厚板工場レイアウトの例 (新日鉄君津)

3.2 素材と加熱

高い生産性を得るため、加熱能率、圧延能率のよい大型スラブが採用されてきたこと、連続鋳造スラブが近年とくに多用されてきたことは厚板用素材の著しい変化である。

また、スラブ手入れについても、ハンドリング作業の改善に反転機テーブルラインの採用、手入れの機械化にコールドスカーファの導入がはかられ、表面品質対策にスラブショットを行なっている工場もある。

加熱炉については、スラブが素材の主体であることから、連続加熱炉が主流をなしている。この加熱能率を高

める施策と、スキッドマークや裏疵発生の防止策がとられてきたことが大きな特徴である。

このほか、公害対策に高煙突化がはかられているし、燃料も脱硫ガス・低硫黄重油が使用され、さらにLPG化される方向にある。

(1) スラブの大型化

昭和30年代の平均スラブ単重3~5tから、最近では5~9tと大型化し、18~22tのスラブが連続炉に装入されている新しい工場もある。

加熱能率、圧延能率を上げるため、スラブ幅・スラブ長さの拡大で単重アップが行なわれ、30年代の最大幅

表3 厚板用スラブサイズ

会社	工場	厚さ (mm)		幅 (mm)		長さ (mm)
		分塊スラブ	連铸スラブ	分塊スラブ	連铸スラブ	
新日鉄	八幡	90~500	200, 300	1000~1800	1800	1200~3300
	広畑	80~550	200, 250	1000~1900		1050~3000
	名古屋	80~300	245	1400~2360	1600~1900	2000~4000
	君津	100~360	180, 210, 300	1000~2200	1430~2200	2200~3800
日本鋼管	福山	90~500	220, 250	1350~1950	1600~2100	1600~3700
	京浜	110~220	200	1100~1970	1620	1100~3250
川鉄	水島	110~500	220, 260	1000~2200	1585~1890	1000~4000
	千葉	100~500	200, 260	1000~1900	1500~1700	1500~3400
住金	和歌山	100~400	190, 210, 220	1000~1870	960~1800	1500~3550
	鹿島	80~500	190, 250	1000~2100	1500~2100	1500~4000
神鋼	加古川	90~300	200~300	1100~2100	1250~2100	2500~3600

表4 わが国の厚板用連続鑄造設備概要

会社		新日鉄				日本鋼管		
工場		八幡	広畑	名古屋	君津	福山		京浜
						#3	#4	
製鋼炉		LD 転炉	LD 転炉	LD 転炉	LD 転炉	LD 転炉	LD 転炉	LD 転炉
炉容量 (トン)		150	100	250	250	250	250	100
型式		垂直	円弧	円弧	円弧	円弧	円弧	円弧
ストランド数		2	2	2	2	2	2	1
モールド サイズ	MAX.	300×1800	250×2100	300×2100	300×2050	300×2100	300×1900	200×1600
	MIN.	200×1600	200×950	160×950	180×980	220×750	220×950	200×1600
設計		神鋼	D. S. T	D. S. T	D. S. T	D. S. T	D. S. T	D. S. T
公称能力 (トン/月)		45 000	50 000	70 000	75 000	50 000	50 000	50 000
稼動		S 46. 6	S 45. 5	S 45. 11	S 45. 9	S 46. 3	S 45. 3	S 42. 3

会社		川鉄		住金		神鋼	大和製鋼
工場		水島	千葉	和歌山	鹿島	加古川	
製鋼炉		LD 転炉	LD 転炉	LD 転炉	LD 転炉	LD 転炉	平炉
炉容量 (トン)		200	85	160	250	240	50
型式		円弧	全彎曲	円弧	円弧	円弧	円弧
ストランド数		2	1	2	2	2	1
モールド サイズ	MAX.	260×2200	260×1700	220×1800	250×2100	300×2100	250×1550
	MIN.	220×1400	200×800	190×960	190×1500	200×1250	200×1200
設計		コンキャスト	コンキャスト	コンキャスト	コンキャスト	神鋼 ソ連式	コンキャスト
公称能力 (トン/月)		100 000	40 000	58 000	94 000	70 000	18 000
稼動		S 46. 1	S 46. 7	S 46. 3	S 47. 9	S 47. 10	S 42. 2

1900 mm が、最近では 2360 mm へ、最大長さで 3m から 4m に変わってきている。これを表 3 に見ることができる。

今後は、形状のよい連鑄スラブの多用に伴い、形状調整なしで圧延され、スラブ長さが圧延機幅一ぱいまで拡大されると思われる。

(2) 連鑄スラブの多用

昭和 42 年頃より、連続鑄造設備がわが国に導入され、その鑄造技術が急速に進歩してきた。これに伴い、連鑄スラブが、厚板用素材に有利なものとして、近年多用さ

れている。

これは、厚板材は鋼種においてほとんどキルド鋼でまかなえること、寸法的にも厚板特有の幅出し圧延を前提とすれば、2～3種類のモールドサイズでかなりの範囲をカバーできることによる。

現在、表 4 に見る通り厚板工場をもつ製鉄所のほとんどにこの設備が置かれ、その使用比率は平均 35% 程度、高い工場は 70% 以上にもおよんでいる。この傾向は今後さらに進むものと思われる。

連鑄スラブは、長さ方向の組成が均一であり、特有の

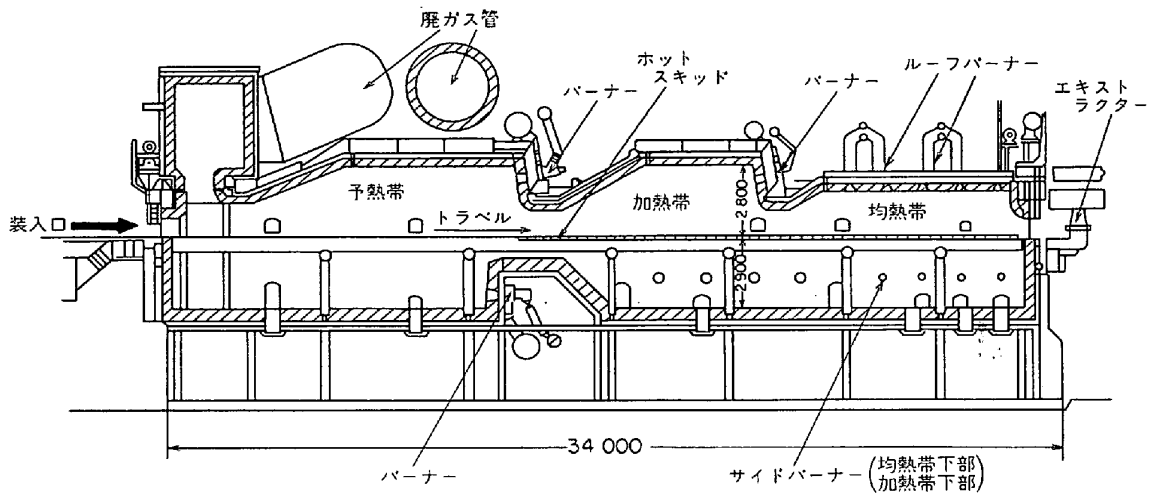


図4 6带式連続加熱炉の側面図(例) (ホットスキッド, エキストラクター付)

割れ疵に注意すればへげ疵などの表面欠陥が少ない, またスラブ形状がよい. さらに余尺スラブの発生が少ない点で分塊スラブに優り厚板歩留にして2~4% 高い実績を示している.

他方, 圧延比に制限があり, 厚物用素材には適用できない(現状40~50mm以下に適用), またスラブ寸法が固定的なので小単重, 大単重スラブは分塊スラブなどほかの素材に頼らざるをえないのが現状である.

(3) 連続加熱炉の能力向上

昭和30年代は上・下部加熱帯, 上部均熱帯からなる3带式が連続加熱炉の標準であつたが, その後, 予熱帯を設けた4带式, 5带式に改造され, 昭和40年以降に新設されたものは, 後述するホットスキッド, ウォーキングビームなどの採用と相まつて, 予熱・加熱・均熱各帯上下部からなる6带式が多く採用され, 炉全長が燃焼域化してきた. この一例を図4に示す.

この6带式の採用により, 加熱能力は3带式の80~100 t/hr 基から150~200 t/hr 基へと大幅に増大した.

また, サイドバルナー, ルーフバルナーなど多バルナー方式が従来の軸流バルナーと併用されるようになったことも最近の特徴である. 全域サイドバルナーのウォーキングビーム式連続加熱炉も出現している. この多バルナー方式は燃焼制御ゾーンの細分化も可能で, スラブの均一加熱に役立つている.

(4) 連続加熱炉の品質対策

スキッドマーク低減対策に図5に示すようなホットスキッドが加熱帯, 均熱帯に採用され, スラブ裏面のスキッド疵対策にプッシュ方式にかわつてウォーキングビーム方式が採用されている炉もある. このウォーキングビーム方式は炉底構造を複雑にし, 熱量原単位が高くなる不利な面もあるが, スラブ厚さの変化や薄物スラブに対応できる点と, 炉長を大きくとれる点が特長である.

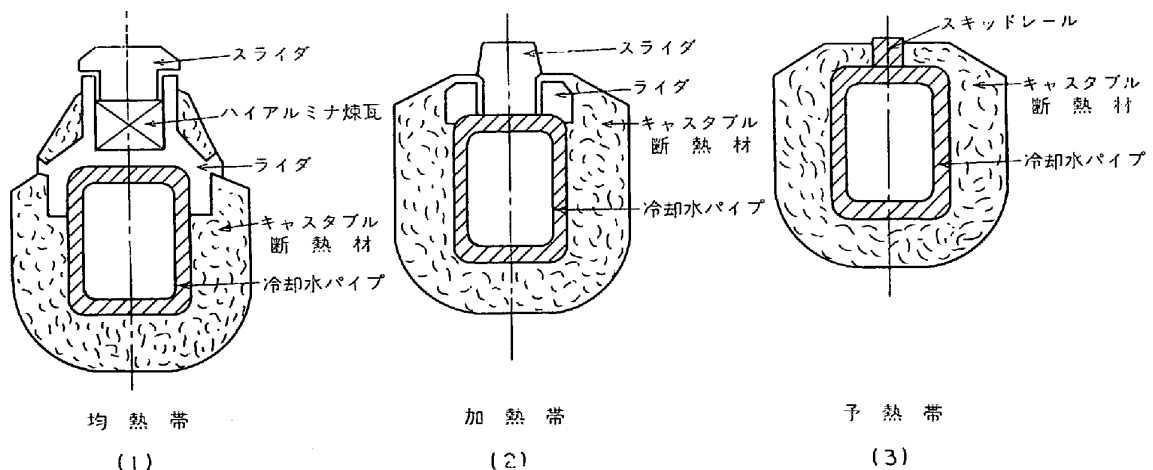


図5 スキッド断面図 (ホットスキッド型)

表5 主要厚板圧延機仕様一覧表

工場名	形式	メーカー	稼動年月	ロール寸法 (mm)		AGC	ローラーベンダー	計算機制御	ハウジング		主モーター		速度制御方式	
				W	BUR				ポストエリア (cm ²)	ミル定数	最大圧延圧力 (t)	容量		回転数 (rpm)
日本製鋼所	F	DEMAG.	1941	1130φ × 5300	1600φ × 5200	ナシ	ナシ	ナシ	7225	200 t / mm (幅=4700)	蒸気原動機 22500 kW × 1	272	450	油圧式
	R	MORGAN (改造)	1957	1300φ × 4055	—	ナシ	ナシ	ナシ	6600	300 t / mm (幅=3800)	DC 3475 kW × 1	48/120	67	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
	F	M & N- 工作本部	1972	980φ × 4300	1830φ × 4064	有 (油圧)	WR-ベンダー + BUR	ナシ	8450	900 t / mm (幅=4300)	DC 3750 kW × 2	40/80	91.3	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
新日鉄広畑	F	U E	1958	1005φ × 4064	1524φ × 4300	有	ナシ	厚さ計 設定	7010	490 t / mm (幅=3500)	DC 3750 kW × 2	40/80	91	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
	R	I H I	1960	1180φ × 3404	—	ナシ	ナシ	ガダンス	4500	—	DC 3000 kW × 2	0/35/50	97.5	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
日本鋼管 京浜	F	U E (改造芝共)	1954 (1963改造)	924φ × 3560	1473φ × 3353	ナシ	ナシ	ガダンス	6000	500 t / mm (幅=2200)	DC 2625 kW × 2	0/35/80	71.6	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
	R	I H I	1973	991φ × 3500	1580φ × 3400	ナシ	ナシ	有	7200	580 t / mm (幅=3000)	DC 2600 kW × 2	0/30/60	84.4	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
川鉄千葉	F	U E	1961	991φ × 4216	1700φ × 4216	有	ナシ	有	8000	500 t / mm (幅=3000)	DC 3750 kW × 2	40/80	91.3	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
	F	I H I-SACK	1965	1020φ × 4300	1800φ × 4300	有	ナシ	有	9000	484 t / mm (幅=2000)	DC 3700 kW × 2	40/80	90.2	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
住金和歌山	F	SACK	1966	859φ × 3150	1803φ	有	ナシ	有	8580	—	DC 10350 kW × 1	665/120	84.0	—
	R	I H I-SACK	1970	1020φ × 4700	1900φ × 4600	ナシ	ナシ	有	10000	635 t / mm (幅=4150)	DC 3750 kW × 2	40/100	91.0	M-G 1 ー ルグナ ー 方 式
川鉄水島	F	I H I-SACK	1967	1020φ × 4100	1900φ × 4000	有	ナシ	有	9750	700 t / mm (幅=4100)	DC 3750 kW × 2	40/100	91.0	サイリス ター方式
	F	芝共-U E	1968	1020φ × 4700	1830φ × 4700	有	BUR	有	9000	570 t / mm (幅=4000)	DC 4500 kW × 2	40/100	110	サイリス ター方式

	R	四重式 逆転式	三菱- MESTA	1968	1000φ ×4724 ^{・4}	2000φ ×4597 ^{・4}	ナシ	ナ	シ	有	10000	800 t/mm (幅=2000)	5000	DC 3750 kW×2	35/75	104	M-G イ 方 式
新日鉄君津	F	四重式 逆転式	三菱- MESTA	1968	1000φ ×4724 ^{・4}	2000φ ×4597 ^{・4}	有	ナ	シ	有	10000	800 t/mm (幅=2000)	7000	DC 5000 kW×2	50/100	97	M-G イ 方 式
	R	四重式 逆転式	I H I	1970	1020φ ×4700	1980φ ×4600	ナシ	ナ	シ	有	9750	690 t/mm (幅=4150)	4500	DC 4000 kW×2	40/100	110	サイ リス タ ー 方 式
日本鋼管山福	F	四重式 逆転式	I H I	1968	1020φ ×4700	1980φ ×4600	有	WR ペンダー		有	9750	690 t/mm (幅=4150)	4500	DC 4000 kW×2	40/100	110	サイ リス タ ー 方 式
Thyssen Röhren- werke- Mülheim	F	四重式 逆転式	SACK	1969	1120φ ×4980	1960φ	有	BR ペンダー		有	—	—	6000	—	40/90	—	—
BritishSteel (Colvilles)- Motherwell	F	四重式 逆転式	M & N	1969	1000φ ×4340	1840φ	有	WR BR ペンダー		有	—	—	6000	—	40/80	—	—
	R	四重式 逆転式	三菱- MESTA	1969	1000φ ×4724 ^{・4}	2000φ ×4597 ^{・4}	ナシ	ナ	シ	ナシ	10000	815 t/mm (幅=3500)	4000	DC 4500 kW×2	40/100	110	サイ リス タ ー 方 式
神鋼加古川	F	四重式 逆転式	三菱- MESTA	1971	1000φ ×4724 ^{・4}	2000φ ×4597 ^{・4}	有	ナ	シ	有	10000	—	7000	DC 5000 kW×2	50/100	97	サイ リス タ ー 方 式
	R	二重式 逆転式	MESTA	1970	1350φ ×4060	—	—	ナ	シ	—	—	—	—	DC 2250 kW×2	30/60	73・1	—
United States Steel (Baytown)	F	四重式 逆転式	MESTA	1970	990φ ×4060	1830φ	—	WR ペンダー		—	—	—	—	DC 4500 kW×2	40/100	110	—
Fabrique de Fercharleroi	F	四重式 逆転式	Siemag- United	1970	1050φ ×4270	2110φ	有	将来つける 予定(WR BR)		有	—	—	6000	DC 4500 kW×2	40/100	110	—
	R	四重式 逆転式	三菱- MESTA	(1974)	1000φ ×5330	2010φ	—	—	—	—	—	—	—	DC 4500 kW×2	40/80	110	—
住金鹿島	F	四重式 逆転式	三菱- MESTA	1970	1000φ ×4724 ^{・4}	2000φ ×4597 ^{・4}	有	WR ペンダー		有	10000	740 t/mm (幅=4700)	8300	DC 5000 kW×2	40/100	122	サイ リス タ ー 方 式
	R	四重式 逆転式	Skodo- Vitkovice	1971	1130φ ×3607	1800φ	ナシ	ナ	シ	将来 予定	8710	—	4630	DC 7050 kW×2	40/80	172	—
Azovstal- Zhdanov	F	四重式 逆転式	Skodo- Vitkovice	1971	1030φ ×3610	1800φ	ナシ	ナ	シ	将来 予定	8710	—	4630	DC 9000 kW×2	40/70	219	—

工場名	形式	メーカー	稼動年月	ロール寸法 (mm)		AGC	ロールベンダー	計算機制御	ハポスリアエ (cm ²)	ウジン		最大圧延圧力 (t)	主モーター		速度制御方式
				W	R					ミル定数	容量		回転数 (rpm)	(定格) トルク (t-m)	
Dillingen	F 四重式 逆転式	SECIM	1971	1050φ ×4290	2160φ	有	BR ベンダー	—	—	—	9070	DC 8780 kW×2	最大 110	—	—
UNINSA-Gijon (Verina)	F 四重式 逆転式	SACK	1972	953φ ×3610	1910φ	ナシ	ナシ	—	—	—	—	DC 5250 kW×2	60/120	85.2	—
Italsider-Taranto	R 四重式 逆転式	United	1972	1020φ ×4830	2030φ	ナシ	ナシ	ナシ	—	—	—	DC 4500 kW×2	30/60	146	—
	F 四重式 逆転式	United	1972	1020φ ×4830	2030φ	有	BR ベンダー	ナシ	—	—	—	DC 5250 kW×2	50/120	102.3	—

また、抽出装置も従来のバンパーへの衝突疵対策としてエキストラクターが採用されるようになった。

これらはいずれも大きな成果をあげ、とくに裏面疵の発生は皆無に近い。

3.3 圧延

圧延機は厚板製造設備の中心であり、生産能力はもとより、製品品質を左右する。また、圧延時の圧延形状(断面プロフィール、クランプ形状、耳形状)は歩留を決定する重要な要素である。

最近の厚板圧延機の進歩は

圧延寸法の拡大

圧延能率の向上

品質歩留の向上

を指向し、新技術の採用とともに、設備的に大型化、強力化、高速化がはかられてきている。これらは表5に示す、最近の外国の厚板ミルも含めた³⁾ 4重厚板圧延機仕様のなかに見ることができる。以下に、その特徴を挙げてみる。

(1) 4重粗圧延機をもつ、2スタンド方式の採用

厚板圧延に2スタンド方式が採用されたのは古くから見られ、わが国においても昭和30年初頭に採用している工場がある。しかし、従来の粗圧延機は2重逆転式であつた。4重逆転式粗圧延機が設置されたのは昭和40年以降で、新設ミルはほとんど採用している。

この2スタンド方式は、圧延作業前半の形状調整、幅出しパスをおもに粗圧延機で行ない、後半の減厚・仕上げパスを仕上げ圧延機で行なうことにより、圧延能力の増大と仕上げ圧延機のロール表面の荒れ防止がはかられる。

また、この機能分離により、両者のミルモーター特性にそれぞれに適した方式を採用できる。

最近、粗圧延機の幅を仕上げ圧延機より広くしている工場もあるが、これは、圧延量の比較的少ないごく広いものは粗圧延機で仕上げバイパス処理して設備費の節減をはかっている点と、長尺スラブの幅出し圧延に重点を置いたものといえる。

(2) 圧延機の大型化・強力化

圧延寸法の拡大を狙いとする圧延機の広幅化(ロール胴長の拡大)は、圧延荷重の増大に対応するミル剛性のアップと、ロール撓みを抑えるバックアップ強化が必要となつた。

また、パス回数減少による圧延能率向上を狙いとする許容圧延荷重の増大、板厚精度向上を狙いとするミルスプリング量の低減、形状効果を狙いとするプレートクラウンの減少などの要請が圧延機機械系の強力化と、バックアップロールの大型化を促した。

表 6 パススケジュールの例

工場		ミルモーター 3700~4000 kW×2 の四重逆転式圧延機を2基もつ工場									
材料寸法		125×1880×3100					120×1550×3000				
仕上寸法		12×2500×20000					25×2500×8900				
パス回数	項目	方向	スクリュウ値	圧延幅	圧下量	エッジング	方向	スクリュウ値	圧延幅	圧下量	エッジング
	1		L	85	1900	40		L	100	1550	20
2		C	75	2170	10		C	75	3660	25	
3		C	68	2400	7		C	62	〃	13	
4		C	63	2800	5		L	40	2500	22	
5		L	45	2820	18		L	32	〃	8	
6		L	30	〃	15		L	28.5	〃	3.5	
7		L	20	〃	10		L	26	〃	2.5	
8		L	15	〃	5		L	24	〃	2	
9		L	13	〃	2						
10		L	12	〃	1						

さらに、近年ラインパイプ用素材などの材質向上をはかるコントロールローリング法が強化される方向にあり、低温域での圧下量を大きくとる必要から、圧延荷重・圧延トルク増大の要請が一層高まっている。

まず、ミル剛性について見ると、ミルハウジングが大型化されポストエリアで昭和30年代の6000~8000 cm²から昭和40年代に設置されたミルでは9000~10000 cm²に拡大されている。したがって、最大圧延荷重は従来の4000~5000 tから、最近では6000~8000 tを許容するミルが多い。

これをミル剛性定数で見ると、従来の450~500 t/mmから最近では700~800 t/mmにもなっている。

このミル剛性と関連して、最近厚板ミルの新しいハウジング型式に、開頭式分割構造のプレストレスミルが登場してきた。わが国においても昭和47年にこの型式の圧延機を採用した工場がある(旧ミルのリプレース)。

この特徴は、ハウジングが分割構造で、上下横構造のクラウン、ボトムガータを縦構造の4本のテンションバー(閉頭式の2対のハウジングポストに相当)を通して、10000 tのプレストレス力で締め付けられ、一体化している。したがって、各パート重量は軽減され、大型に伴う製作上、据付工事上の制限を緩和できる。

また、圧下機構については、左右各2本のテンションバーが固定スクリュウとなり、上ロールとともにナットに相当するアップライトが上下する機構である。すなわち、圧下スクリュウがプレストレスされていることと、4本に荷重配分されることになる。したがって、圧下時の弾性変形が小さく、ミル剛性が大きい。上述のプレストレスミルについては、ポストエリア8450 cm²でミル剛性係数900 t/mmと大きい値を示している。この型

式をもつミルの総合評価は、今後の課題であろう。

一方、バックアップロールについてみると、昭和30年代の直径1500~1700 mmから、昭和40年代は1900~2000 mmと大きくなり、さらに2160 mmのものが、昭和46年に設置されたヨーロッパのミルに使われている。

(3) ミルモーターの大型化・高速化

圧延荷重の増大に伴い、高速化とも関連して、負荷トルクが大きくなり、このためミルモーターの容量は従来のDC3500 kW×2程度から、最近のミルはDC4500~5000 kW×2に大型化している。ここでも、昭和46年以降に設置されたヨーロッパのミルにDC9000 kW×2クラスの大容量ミルモーターが使われているのは特筆される。

また、大型スラブの採用により圧延長さが長くなり、これに伴う終段パスの温度降下と、板内温度偏差による形状悪化を防止する狙いと、圧延能率向上を目的として圧延の高速化がはかられている。これをミルモーターの最高速度で見ると、昭和30年代の80 rpmから、昭和40年代のミルは100 rpmとなつている。さらに最近のヨーロッパのミルに110~120 rpmのものも出現している。

このため、速度制御方式も、従来のイルグナーMGセットのワードレオナード方式から、応答性の優れた(応答時間0.1~0.2 sec)サイリスタレオナード方式が多く採用されるようになってきた。

(4) 新技術の採用

① AGC(自動板厚制御)装置の採用

この装置は昭和30年頃からストリップミルに使用され、厚板ミルにも圧延長さの長尺化に伴い10年前から

材料仕様
規格 SS41 製品厚 19.0mm スラブ厚 150mm
圧延方向 L 製品幅 1.900

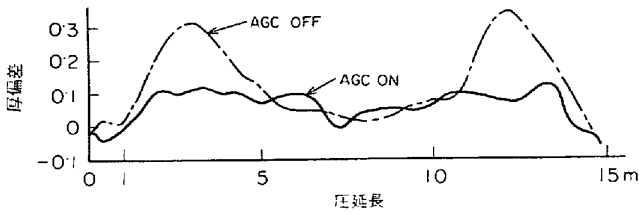


図6 AGC効果の例 (電動式AGC)

採用され、最近ではほとんどのミルに装着されている。

これは、長さ方向の板厚偏差、とくにスキッドマークによる板厚不同を減少されるために使用される。圧延方向の圧延圧力の変化をロードセルで検出し、ロール位置を調節するもので、上ロールの昇降スクリューをモーター駆動する電動式と、下ロールを油圧で上下する油圧式とがある。厚板ミルには、前者が多く採用されているが、後者は応答性に優れ圧延の速度アップにつれ、今後多用されて行くものと思われる。

図6に示すように、長さ方向の板厚偏差を0.2mm程度におさえられ、歩留向上にも寄与している。

② ロールベンディング装置の採用

この装置は、幅方向の板厚偏差すなわちプレートクラウンを制御し、ひいては鋼板の形状制御を行なうもので、厚板圧延機にも最近採用されるようになった。

これは、圧延中、ロールに強制的に外力(油圧)を与えベンドさせようとするもので、ワークロールベンディング方式と、バックアップロールベンディング方式とがある。

厚板圧延機の場合、この両者が採用されているが、後者が有利といわれ⁴⁾、わが国で後者を使つた成果がすでに発表されており⁵⁾、これによるプレートクラウンの変化を図7に示す。

これは、板厚精度、広幅薄物の形状を良くする効果のほかに、歩留向上および仕上げパス回数の減少による圧延能率の向上もある。

(5) 制御圧延法(コントロールローリング法)の

採用

従来から、圧延終了時の温度を比較的低温にて仕上げる低温圧延法が、鋼板靱性の向上に寄与することは一般に知られ、造船用鋼板のD級鋼(40キロ、50キロとも)クラスにこの方法が適用されてきた。

しかし、欧米においては、この外に、薄肉大径ラインパイプ用厚板に、制御圧延法が早くから採用され、API(アメリカ石油協会)パイプ規格の規格値に一部反映されている。

わが国においても昭和40年代中葉より、大径鋼管の素材厚板の生産が増加するに従い、より強化された制御圧延法の研究開発が盛んとなり、世界的規模で開発されている天然ガス・原油の凍土地帯パイプラインの素材供給などにこたえている。

この制御圧延法の狙いは、十分微細なフェライト結晶組織を安定して得ることにある。

このため、まず、オーステナイト粒度(フェライト粒度はこの粒度に依存するといわれている)を小さくするため、スラブ加熱温度をNbなどの固溶域で極力低温に抑えること、またNbなどを添加し、オーステナイトの再結晶を遅らせる効果を付与し、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態時に微細なフェライト結晶を得るようにするため、ある一定温度以下の圧下量を大きくとつて加工歪をオーステナイト結晶中に多く残留せしめること、さらに、最終仕上げ温度を比較的低温域で管理すること、が要諦とされている。

すなわち、圧延初期温度、圧延途中の温度と圧下量、圧延終了温度を適正な範囲に制御する圧延法である。

この圧延法の採用は、圧延機系の負荷を増大するとともに、圧延能率を低下する方向にあり、かつ、板間の材質のバラツキを小さくするため厳格な圧延条件の管理が必要である。

この圧延法が採用されてきた狙いは、ラインパイプの大量需要に呼応して製造コストの低減(調質処理に比較して)、Ni元素などの低温靱性強化元素の節減(資源不足を考慮)をはかつた点にあり、今後、制御圧延法を考慮した新しい厚板ミルが生まれる情勢にある。

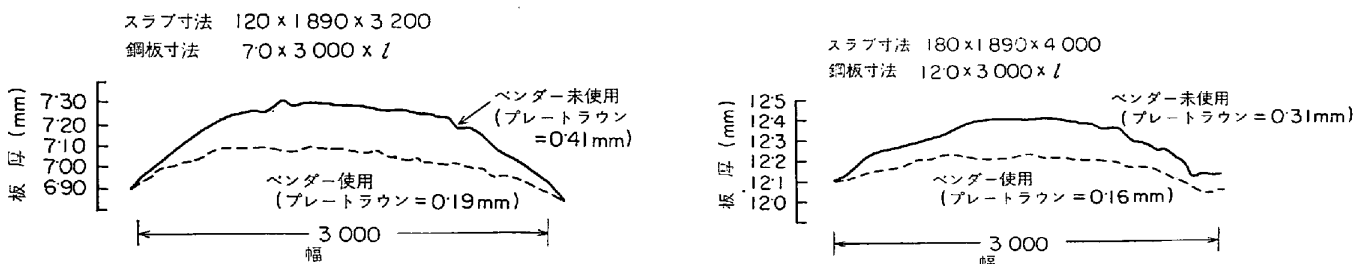


図7 バックアップロールベンダーの効果例

(6) その他

最近、高張力鋼、特殊鋼の増加もあり、デスクーリング装置の水圧強化がはかられている。従来、吐出圧力 100 kg/cm² 前後を標準としていたが、最近のものは 150 ~ 170 kg/cm² にアップされ、スケール疵防止に効果を発揮している。

また、バックアップロールの材質に変化がうかがえる。従来の鑄鋼ロールから、最近は、大型化と負荷増大に対応して鍛鋼ロールがかなり使用されるようになった。

このほか、ロールの組替方式にクイックチェンジ方式が昭和 40 年以降採用されるようになった。これは 2 組のチェンジグリグを持ち、ワークロール単独あるいは下バックアップロールと抱合せて組替える方式があるが、前者が多く採用され、従来 30~50 min/回 要していた組替時間が 8~15 min に短縮されている。これによる生産性向上への寄与も大きいといわねばならない。

3.4 矯正・冷却

最近、厚板の矯正、冷却についても品質の向上、工程の安定をねらいとして、設備的に考慮が払われてきたことが特徴である。

(1) ホットレベラーの強化

圧延時に、鋼板形状をよくするための諸策が前述のごとく設備的にも技術的にもとられてきている上に、その後の熱間矯正で十分平坦度を確保する狙いから、ホットレベラーが強化されてきた。

すなわち、薄物、厚物用の区別なく 1 基のレベラーで矯正効果を発揮できるよう工夫され、ロール径、ロールピッチを比較的小さくし、強力なバックアップロールをもつ 4 重式が設置されている。この例を図 8 に示す。

このホットレベラーの強化は、1 パス矯正による自動運転もねらいとされている。

(2) 冷却床の機能強化

圧延量の増大に対処して、圧延と剪断との能力アンバランスを十分吸収できるような配慮と、圧延長さの長尺化により冷却床面は大きくなってきている。また、複数の冷却床をもち、冷却に必要な滞留時間によるグループ

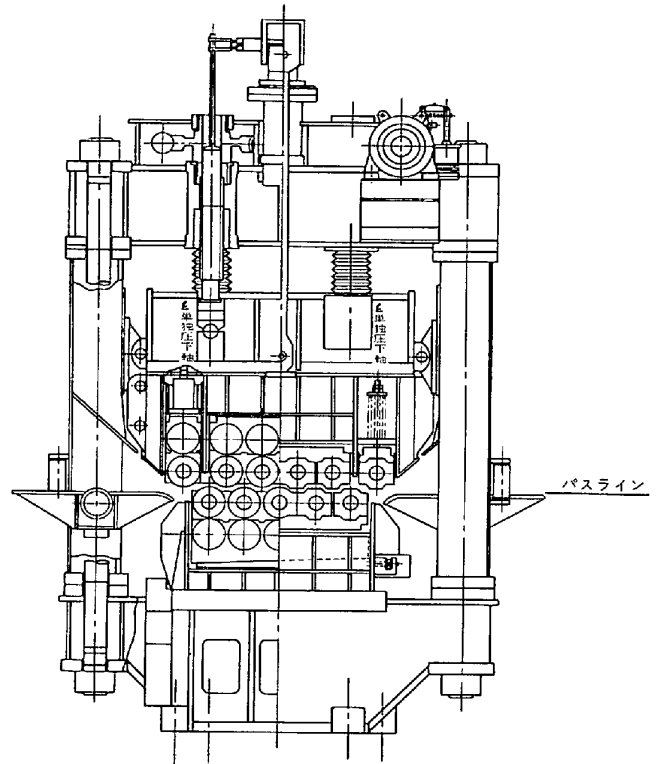


図 8 ホットレベラーの例

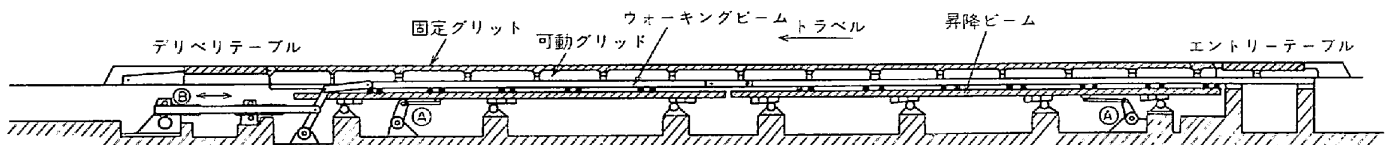
化と、複数剪断ラインへの鋼板フローを分岐する機能をもたせている。

(3) 冷却床の品質対策

昭和 30 年代は、冷却床上の鋼板移送をドッグチェーンによるプッシュ方式で行なっていたが、グリッドによる裏面摺り疵が発生し表面品質上の問題点の 1 つであった。

この対策として、グリッド上に全面アイドルローラーを入れて改造したり、昭和 40 年以降に設備された工場は、キャリアチェーン方式、ディスクローラー方式、あるいは、図 9 に示すウォーキングビーム方式を採用してきた。また、搬入搬出装置にも、従来のロープシフターなどによるプッシュ方式にかわつて、キャリオーバードバイスが採用されてきた。

これらにより、裏面疵発生や耳部損傷の問題は解決し、鋼板手入負荷は大幅に軽減した。



1. ④を引くことにより昇降ビームを上げウォーキングビーム上の可動グリッドを固定グリッドのレベルより高い位置まで上げる。
2. ⑤を引くことによりエントリーテーブルおよび、クーリングベット上の鋼板を移動する。
3. ④を戻し、昇降ビームを降し、⑤を戻す。
4. 1~3の繰返しにより鋼板移送

図 9 ウォーキング・グリッド式冷却床 (側面図)

表7 サイイドシヤ一仕様一覽

工 場 名	剪断形式	製作メーカー	設置年月	モーター能力	最大剪断能力 (厚)	剪断速度	レキ ア ソ グ ル	刃 物 寸 法	刃物材質	
ポーター式	パンカ ット	U E	S 29. 6	150 kW×1台	19 mm	71.2m/分		上刃 50.8×400φ×147.7φ 下刃 63.5×1524φ×1016φ	SKT 4 SKD 12	
			S 32. 8	DC112.5 kW×1台	19.05 mm	70.7m/分			381φ×50.4	SKT 5
			S 33. 8	DC150 kW×1台	19.05 mm	92 回/分			上刃 50.8×381φ×228.6φ 下刃 63.5×1524φ×1016φ	HUK 3 相 当
			S 36. 5	DC 60 kW×2台	20 mm	24~48 m/分			60×800φ×480φ	SKD 12 相 当
			S 37. 5	150 kW×1台	19 mm	70.5m/分			60×1000φ×700φ	SKT 4 SKT 12
			S 40. 1	DC 75 kW×2台	19 mm	0~60 m/分			60×1000φ×680φ	NSR 55
			S 43. 3	DC110 kW×2台	19 mm	60~120 m/分			60×1500φ×1000φ	SKT 4 改 良 品
			S 46. 8	205/410 kW×2台	26 mm	68~111 m/分			1200φ×80	NSR 55
			S 41. 9	DC375 kW×2台	40 mm	16~23 回/分			50×203×1275	SKD 61
			S 43. 3	DC390 kW×2台	40 mm	16~24 回/分			60×200×2050	SKD 61 相 当 品
ダウン カ ット	パンカ ット	川重- シユレ-マ ン	S 43. 3	230/625 kW×2台	40 mm	16~24 回/分			SKD 5	
			S 43. 3	DC280/560 kW×2台	40 mm	18~24 回/分				SKD 4 改 良 品
			S 43. 3	DC280/560 kW×2台	38 mm	24 回/分 max.			75×200×2800	SKD 6 相 当 品
			S 43. 5	DC280/560 kW×2台	40 mm	16~24 回/分			上刃 50×201×1204 下刃 50×150×1225	SKT 4 相 当 品
			S 45	DC200 kW×2台	25.4 mm	20~24 回/分			60×200×1820	SKD 61 相 当
			S 45. 10	DC375 kW×2台	40 mm	26 回/分 max.			85×100×1700	SKD 12
			S 46. 12	DC280/560 kW×2台	38 mm	24 回/分 max.			60×180×2600	SKD 4 相 当 品
			S 47. 10	DC370 kW×2台	40 mm	24 回/分 max.			60×200×2050	SKD 12 相 当 品
			S 47. 10	DC410 kW×2台	40 mm	28 回/分 max.			60×170×2200	SKD 61
			S 47. 10							

3.5 剪 断

製品剪断設備は、厚板工場の生産規模を拡大するにあたって、その性能・配置がとくに重視されてきた。サイドシャーに対向ダウンカット式が導入され、剪断ラインの体制が整ってきた。また、剪断機の組み合わせや剪断方式に新機軸なものが取り入れられ、剪断能力・剪断精度の向上がはかられてきた。

一方、剪断に付随する採寸・表示作業や検査作業も高速剪断に対応して合理化され、さらにこの自動化を進めつつあるのが現状である。

(1) 剪断ラインの高速化

昭和 30 年代の製品切断は、板厚 20 mm 以下はロータリー式サイドシャーラインで高速剪断していたが、20 mm 超の厚物は非対向ダウンカット式サイドシャー (40 mm まで剪断可能)、あるいはガス切断によっていた。

しかし、生産規模の増大、厚物の構成増加に伴い、後 2 者は能率上から対処が困難となつた。

これに対処して、昭和 40 年代に入り板厚 40 mm まで剪断可能な対向ダウンカット式のサイドシャーが導入された。これは剪断速度 16~28 カット/min (1 カット長さ 1000~1200 mm) で、従来の非対向式に比較して、高速化されるとともに、ライン長さも短縮されている。

この採用により、高速剪断ラインに 90% 近くがのり、圧延機の大型化と相まって厚板工場の生産規模の増大を可能にしたといえる。

他方、表 7 に示すように、ロータリー式サイドシャーについても高速化され、剪断速度で、従来の 50~80m/min から昭和 40 年以降設置のものは 100~120m/min となり、最大剪断板厚も 26 mm まで拡大している。

(2) 剪断機の複合

剪断ラインの基本的配列は、図 10 に示す通りであるが、圧延幅の拡大に伴い、サイドシャーと複合してこれと同型式のスリッターを設置している工場が多い。ロータリー式の複合は昭和 30 年代に見られたが、最近では曲刃のダウンカット式スリッターが採用され、ダウンカット式サイドシャーと複合し板厚 40 mm まで幅分割可能である。

また、対向ダウンカット式サイドシャーとエンドシャーを近接し、自動測長機を使つて同時剪断し、ライン長さの短縮をはかつた工場があるのは特筆される。

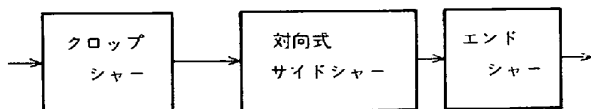


図10 剪断ラインの基本配列

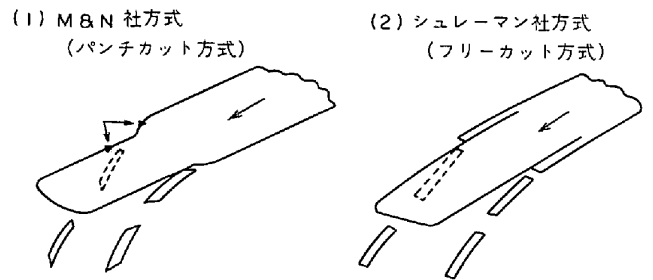


図11 対向式ダウンカットサイドシャーのカット様式

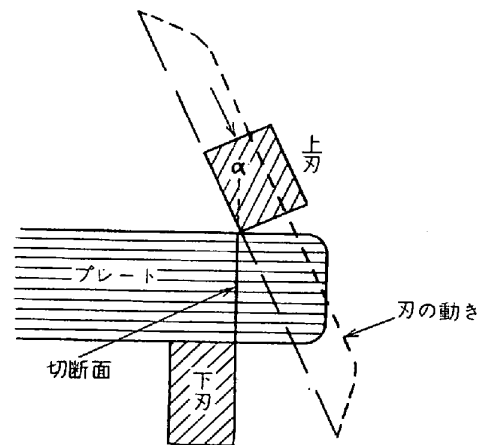


図12 傾動式ダウンカット

(3) 剪断精度の向上

剪断精度の面から剪断方式、剪断機構の変遷・進歩をみることにする。

まず、対向式サイドシャーは、従来の非対向式に比較して、平行度、幅精度が向上している。

直角度のレベルアップはエンドシャーのクランプ強化などのほか、サイドシャーとの複合剪断方式の1つの狙いでもある。

ダウンカットによるシャーボー(反り)対策は、ギロチン式のレーキアングルを小さく(1.5°以下)とるほか、従来のロッキング方式に曲刃を組ませたローリング方式が多く採用されるようになった。

また、図 12 に示すような上刃が傾動するダウンカットシャーが採用されるようになり、断面垂直度がより確保しやすくなっている。

さらに、最近の剪断機は、板厚に応じたクリアランス調整を、ウェッジ方式などによる自動調整装置で行ない、良好な剪断破面を確保している。

対向ダウンカット式サイドシャーによる耳肩のチョッピング方式も、切断面の継目形状に影響し、現在、図11に示す2つの方式がある。フリーカット方式は凸目に、パンチカット方式は凹目になる。実用上は両者とも差し支えないが、最近前者の採用が多い。

(4) 採寸・表示作業の合理化

剪断の準備作業である採寸は、作業環境・省力の面から省略化の方向をたどつてきているが、最近、自走式採寸機や、メジャリングロールを利用した固定式採寸機などを導入し、コンピューターシステムとの結合による自動化がはかられようとしている。

また、鋼板の表示、刻印作業も、剪断ラインの高速化と省力化に対処して機械化・自動化へと変化しつつある。

ステンシルの自動穿孔装置、刻印のセットと打刻を自動的に行なう装置、自動吹付装置などの専用自動機器が開発され実用化しつつある。しかし、表示内容の多様性など全面的な自動化を困難にする問題をかかえているのが現状である。

(5) 検査作業の合理化

剪断ラインの高速に伴い、省力と精度向上を目的として、オンライン検査の設備化・自動化がはかられている。最近、寸法検査に放射線板厚測定器、光電管式幅測定機、メジャリングロール式測長機などが採用されるようになり、さらに進んで、コンピューターシステムとのデータリンクによる自動判定も行なわれようとしている。

また、超音波探傷装置の進歩も著しく、60 m/min 程度の探傷速度が得られ、検出力向上と相まってオンライン装置として実用化している。

他方、材料試験関係についてみると、引張試験片・シャルピー試験片の切断・加工を自動的に行なう専用ラインの開発、自動引張試験機、自動シャルピー試験機の開

発が行なわれ、その実用化も時間の問題である。

また、試験結果の判定、ミルシートの作成はコンピューターシステム化され、検査事務の合理化を果している工場が多い。

3.6 熱処理・ショットブラスト

高張力鋼板・低温用鋼板などの開発およびその需要増に伴い、熱処理設備も厚板工場の重要な設備となつてきた。とくに調質鋼の量産化につれ、昭和 40 年以降その品質の向上と安定のため熱処理設備・熱処理技術の大幅な進歩をみている。

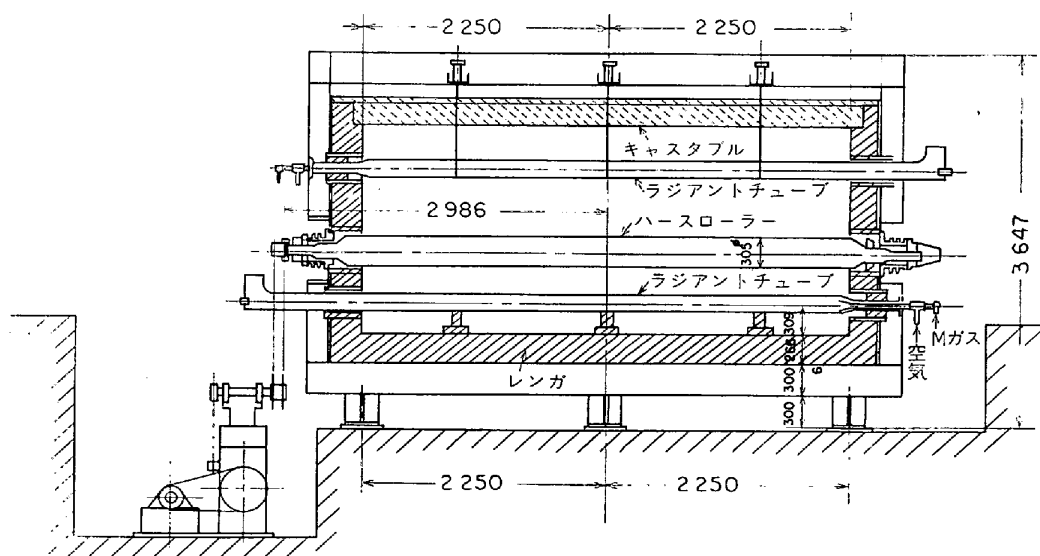
また、ショット設備も、熱処理材の増加とショット塗装製品の需要増から、処理能力の向上がはかられ、設備的にも大型化してきているのが最近の特徴である。

(1) 無酸化連続熱処理炉の採用

従来の直火式では、焼準・焼入など高温(800°C以上)処理の場合、ハースローラーによる鋼板裏面のピックアップ疵や選択酸化による水玉模様が発生し、表面品質上の大きな問題であつた。この対策として昭和 42 年以降無酸化式熱処理炉が採用されるようになった。

これは、N₂ 雰囲気中のラジアントチューブにより加熱する方式で、N₂ 純度 99.99% 以上であれば、ピックアップ疵の発生はない。しかし、炉構造が複雑で、ラジアントチューブの寿命に問題を残している。この炉の断面図を図 13 に示す。

他方、焼戻しなど低温(700°C以下)処理の場合は表面品質上の問題はなく、直火式炉を用い、2 系列の専用炉をもつのが最近の特徴である。



1. 鋼板の搬送はモーター駆動によるハースローラータイプである。
2. 炉体は内部より耐火レンガ、保温材、外壁は鋼板構造となる。
3. 炉内雰囲気は高純度の窒素を用い、鋼板は噴射管ラジアントチューブを通じて加熱される。
4. ロラーネットチューブはそれぞれピローブロックベローズにて気密を保たせる。

図13 無酸化連続式熱処理炉断面図 (一例)

(2) 連続焼入法の採用

従来のプレスクェンチ装置による焼入では、加圧部のソフトスポットおよびバッチ水冷による冷却むらがあり、材質の均一性に問題があつた。

このため、無酸化式熱処理炉の採用と期を一にして、ローラークェンチ方式に代表される連続焼入装置が採用された。水量水圧の強化(ヘッダー圧力にして $1\sim 2.5 \text{ kg/cm}^2$ から $7\sim 10 \text{ kg/cm}^2$ に上昇)と相まつて、性能は一段と向上し、鋼板の冷却速度を理論的限界にまで近づけ(板厚38 mm, 850°C から 500°C までの冷却時間が50 sec から 20 sec に短縮)、均一性も向上した。これにより焼入材の板厚限界が拡大(100 mm)し、炭素当量の低減をもたらした。

熱処理前ショットの施行と無酸化炉の採用による表面品質改善と、この材質改善により、調質鋼の品質は飛躍的向上をみた。

(3) ショット設備の大型化

最近、ショット設備としては熱処理材専用ショットラインと製品専用ショット塗装ラインの2系列をもつ工場が多い。前者は熱処理炉に隣接し、後者は出荷ヤード側に配置されている。

最近のショット塗装ラインは、ショット本体の大型化予熱炉の設置、大型自動塗装機の採用をはかり、ライン速度も、従来の $5\sim 8 \text{ m/min}$ から、 $15\sim 20 \text{ m/min}$ と高速化されている。

処理能力も、従来の数千 t/月から、最近では $2\sim 3$ 万 t/月が標準となつている。

3.7 手入れ

厚板の表面疵は手入れにより手直しされる。この作業は発生量が不規則なことから、人手を要する点で、量産化に伴い生産管理上の大きな問題として対処され、表面疵発生を低減する予防対策と、手入れ作業の機械化、オンライン化がとられてきている。

(1) 表面疵の低減策

この問題は製鉄所における冶金管理上の重要問題として従来から取り組まれてきた。造塊工程における介在物浮上策、鑄型管理の徹底、下注造塊法の採用などがそれであり、トラックタイム規制、均熱条件の管理、など分塊工程の諸策もある。

また、素材の項でふれたスラブ表面疵の防除策もとられている。

一方、厚板工場における設備的な改善も行なわれてきた。しかし、これら設備はたゆまざる保守が確実にこなされて始めてその威力を発揮できることを忘れてはならない。

(2) 手入れのオンライン化

従来、鋼板手入れは起重機ハンドリングにより、土間での作業が一般であつた。最近では、トランスファー、テーブル、反転機からなる専用手入れラインを設置してハンドリング作業の軽減をはかり、さらに剪断ラインと直結したオンライン化がはかられている。

また、手入れの自動化も検討されてきており、厚物の全面手入れ用には、自動手入れ機が実用化されている。

4. コンピューターシステムの採用とその変遷

昭和30年代より、わが国の製鉄所における生産管理にコンピューターが利用され、その量産を支え、生産性向上に寄与してきていることは論をまたない。

そのなかにあつて、厚板生産においても、その生産方式が少量多種の注文生産で、一品一葉の製品管理が必要であることから、コンピューターシステムを積極的に導入し、その利用レベルも高い水準にある。

まず、昭和30年代中葉より、素材設計、製造命令作成、実績集計など、工程管理の計画業務の情報処理にコンピューターシステムが導入された。

その後、このレベルアップと機能を拡大し、出荷業務などの情報処理もその範囲に入れた。さらに、本社サイドの営業情報システムとも結合して、受注から製品出荷までの生産管理全般にわたる情報システムに発展してきている。

これにより、人員削減、製造工程期間の短縮など多大の成果をあげるとともに、厚板歩留面においても、素材の設計精度を高め、きめ細かい管理を可能とし命令歩留の向上に著しい貢献をなしてきた。これは、後述する的中歩留の推移のなかに見ることができる。

さらに昭和40年代に入り、厚板工場の製造作業に対する作業指示、実績収集を主体とするオンライン情報システムが、新しい厚板工場に導入されるようになった⁶⁾。

これは作業管理のリアルタイム化であり、現品管理を容易にし円滑な作業を進める有力な手段となろうとしている。このシステムは、近年、多くの工場に採用され、省力効果もあげつつある。

他方、昭和30年代後半より始まったプロセスの計算機制御は、昭和40年代に入り、表5に見るように圧延機を中心としてほとんどの工場に導入されるようになった。

工場により、その制御範囲、制御レベルはいろいろの段階にあるが、その狙いは、加熱炉からホットレベラーまでの自動化と、熟練オペレーターを必要としない、圧

延作業の精度アップと安定を目的としている。

前に述べた AGC 装置、ロールベンディング装置の効果もこの計算機制御との連携で威力を發揮するものである。

また、圧延温度や圧延荷重などの予測モデルが高い精度で要求され、その解析を通して圧延技術の向上を促しており、成果が実りつつある段階といえる。

さらに、剪断プロセスの計算機制御をはかつてきている工場もあり、採寸・表示作業の機械化はその前提で、剪断ラインの自動化も近く実現されるだろう。

以上述べてきた生産管理情報システム、作業管理オンライン情報システム、プロセス計算機制御システムは階層的に結合されており、それぞれの機能の拡大をはかりながら、厚板生産管理のトータルシステム化へと発展しつつある。

このシステム体系の一例を図 14 に示す。

5. 進歩のあと

わが国の厚板圧延技術の進歩はめざましく、とくに、昭和 42 年以降新鋭厚板工場の相次ぐ稼動に伴い、量・質ともに驚異的な躍進をとげている。

ここで、過去 10 年の進歩のあとを 2, 3 の指標により確認してみることにする。

(1) 生産量

図 15 に見るごとく、10年間で4倍に増大している。

(2) 圧延能率

工場単位の t/hr の平均を図 16 に示しているが、およそ2倍となっており、これはわが国厚板工場の平均生産規模が2倍になったといえる。

(3) 労働生産性

図 17 に示すようにここ 10 年で倍増している。とくに、昭和 44 年以降の伸びが著しい。これは各工場の省力化努力と、初期より省力された新鋭工場が出現してきていることを如実に語っている。

厚板工場の製造・検査・出荷にわたる直接作業員 1 人当たりの年間生産量(素材圧延ベース)で見ると²⁾、昭和 30 年代に建設された工場は、30 年代の 600~800 t/人・年から、最近では 1000~1400 t/人・年に向上している。一方、昭和 40 年代に建設された工場は 1700~2000 t/人・年くらいで、高い工場は 2500 t/人・年に達しようとしている。

(4) 歩留

2 工場の例を図 18 に示したが、この傾向はすべての工場に共通している。命令歩留が理論歩留に近づいている工場も見受けられる。

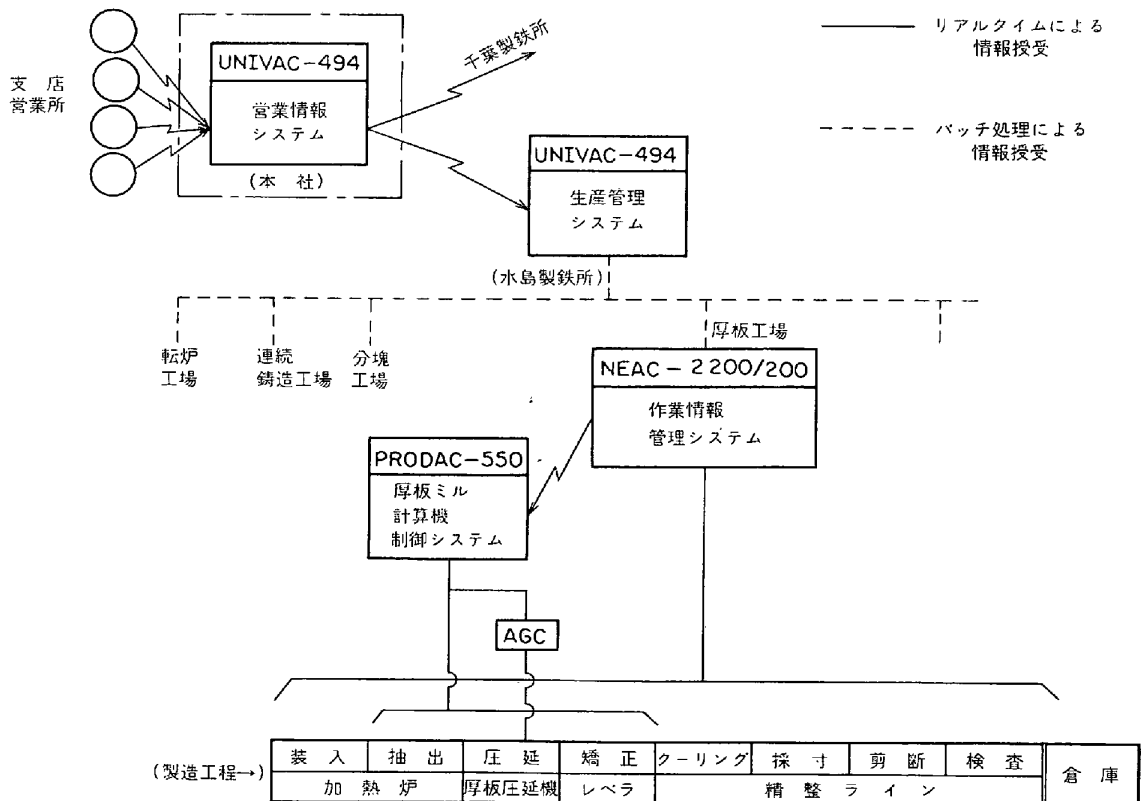


図 14 厚板工場を中心としたコンピューターシステムの例 (川崎製鉄・水島)

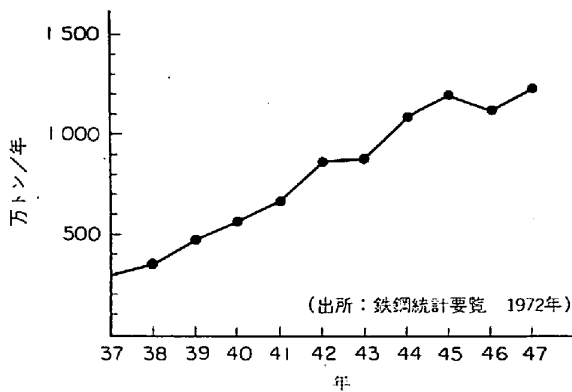


図15 わが国厚板生産量 (材料ベース) の推移

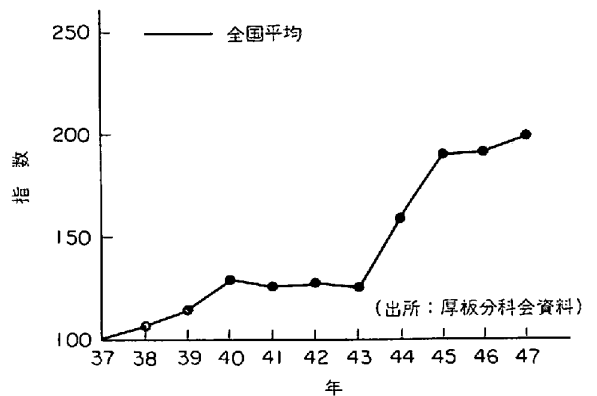


図17 わが国厚板工場労働生産性 (直接労働時間当たり材料使用量) の伸び (昭和37年を100とする)

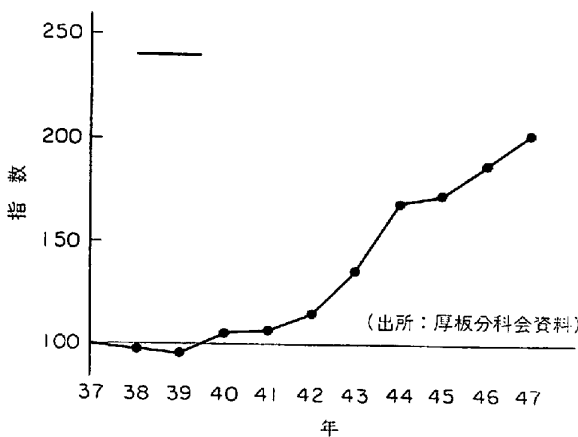


図16 わが国厚板圧延能率 (ロール運転1時間当たり圧延量) の伸び (昭和37年を100とする)

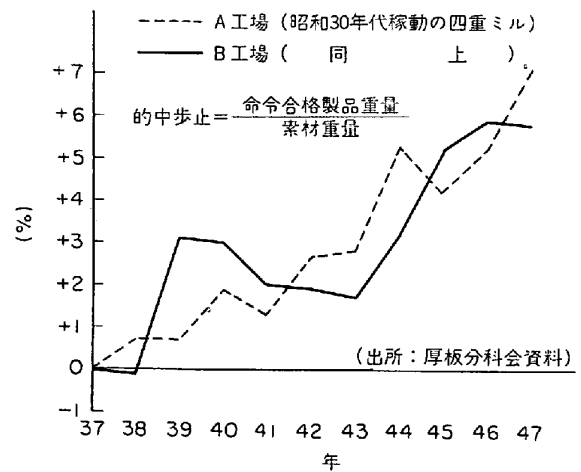


図18 厚板的中歩留の推移 (例) (昭和37年をベースにした歩どまりの変化量)

6. 今後の動向

わが国の厚板圧延技術は、昭和40年以降ここ数年の間に、量の面においても、質の面においても飛躍的發展をとげている。昭和40年代初期に建設された多くの新鋭厚板ミルも、現在、その完成期にある。

世界的に見ると、西独、ソ連、イタリアなどヨーロッパにおいて、ここ1、2年の間に新鋭大型ミルの建設が見られるが、わが国の水準は依然高位にあるといえる。

しかし、厚板需要分野における構造物の設計技術、加工技術の進歩、および、新しい需要分野の拡大は1年昔日のごとく進展している。一方、厚板製造側における生産性の追求は、今後ますますその度合を深めようとしている。

これらに呼応して、現在、新しい厚板ミル建設が各社で検討されている段階にある。以下に、その背景と今後の厚板ミルの構想にふれてみることにする。

まず、需要面より見ると、

造船業界においては、50万t、70万tクラスの超大型タンカーの建造が始まつており、100万t容量のドック

をもつ造船所がすでに建設されている。建造工程の自動化・高能率化のため大入熱溶接の方向に進み、かつ厚板製品の大型化の要請はさらに強まろう。材質としては、降伏点32、36キロクラスが主体で、その溶接性がとくに重視される。

また、橋梁については、その長大化に伴い、50キロクラスはもちろんのこと、60~80キロクラスの大型高抗張力鋼板がすでに南港連絡橋に大量に用いられたが、きたるべき本州四国連絡橋に一層大規模な厚物調質鋼の需要が見込まれている。

さらに、電力業界についてみると、昭和65年には、現在の6倍の発電能力が必要といわれ、火力・水力発電の大型設備の拡充計画とともに、40%強を原子力発電でまかなう構想がもたれている。このため、高抗張力鋼のペンストック材、原子炉格納容器材とともに、低合金極厚鋼板のボイラー、炉芯材の需要増が見込まれる。

他方、近年、エネルギー源の緊急性から、石油、天然ガスの開発が世界的規模で行なわれている。これに伴い、

その大陸油田・海底油田の採掘設備や、輸送手段としてのパイプラインに大径鋼管の需要が増大している。とくに、ラインパイプ用素材にはコントロールドローリング法により材質強化をはかった高抗張力鋼板が用いられているが、カナダ、アラスカ、シベリヤなど凍土地帯に敷設するものは、さらに高度な低温靱性をもつ素材厚板が要求され、その一層のレベルアップが必要である。

また、これに関連して、石油、LPG、LNGの貯槽タンク、タンカー搭載の専用タンクに低温用高張力鋼板がさらに必要となろう。

したがって、今後の厚板需要動向をまとめてみると

- ① 大プロジェクト依存の大量需要
- ② 鋼構造物の大型化による大型寸法化、極厚化
- ③ 高抗張力指向
- ④ 低温性能・溶接性能の要請強化

などとなる。

つぎに、今後、厚板製造側における高生産性の追求は

- ① 省力のための自動化、無人化
- ② 量産普通鋼、特殊鋼などに分ける集中生産方式を

指向するものと思われる。

これら内外の動向から、新しい厚板ミルの構想として、つぎのようなものが検討されている。

・量産ミル：幅3 m以下、圧延長さ80~100 mとした薄物の高速圧延を行ない、走間剪断、走間検査設備をもつて大量生産(300万 t/年以上)するミル。

・広幅強力ミル：幅210 in.の超広幅圧延を可能にし、低温圧下を大きくとれるミル、この場合、最大許容圧延圧力10 000 t程度を考えると、ハウジング重量300 t以上、バックアップロール径2 300 mm以上となり、その製造技術の検討が急務といわれている。

・特殊鋼ミル：特殊鋼・極厚材生産を主体とするミル、特殊製鋼設備、鍛造設備などの素材製造設備と連けいするとともに、熱処理設備をはじめとする鋼板仕上設備を強化しようとするもの。

とくに、種々の加工熱処理法の応用を、従来の直接焼入法を含めて生産設備に取り入れようとする考えもある。

これらの構想をもとに、厚板製造設備全般にわたる自動化、計算機による完全プロセス制御、さらに、出荷、輸送から加工工場の受入、加工工程を含めたトータルシステム化を実現した、厚板生産方式が生まれてくるであろう。

7. 結 言

わが国を中心とした厚板圧延技術の進歩について、おもに、昭和30年代と40年代の比較において概説した。

今日、わが国の厚板圧延技術は、世界の最高水準を行くもので、日本経済の発展に果たした役割も大きい。

今後、福祉経済、安定経済を指向するなかにあつても、経済社会ひいては人類の進歩がある限り、質、量ともに鉄鋼需要は伸長を続けるであろう。

この意味において、一人、厚板製造側のみならず、厚板需要側を含めた全体利益の上に立つて、厚板圧延技術の進歩発展が今後ますます期待される。

これが人類社会に寄与する道であると確信する。

文 献

- 1) 鉄鋼統計委員会編：鉄鋼統計要覧(1972)
- 2) 鉄鋼協会編：共同研究会厚板分科会特別報告書「わが国における最近の厚板製造技術の進歩」(1973 投稿中)
- 3) Andrei LEDERER: Iron and Steel Engineer (Jan. 1973), p. 47
- 4) 鉄鋼協会編：第11回西山記念技術講座(1971), p. 18
- 5) K. KONO: International Conf. Science Tech. Iron and Steel, Conference Reprints (1970), p. 372
- 6) 大島, 平井, ほか: 水島製鉄所厚板工場のコンピュータ・システム, 川崎製鉄技報 2 (Jan. 1970) 1, p. 58