

4. 加 工

4.1 鉄鋼加工理論と技術の展望

大量の鉄鋼を能率よく、より均一均質な製品に加工するための加工技術の進歩は、鉄鋼技術最近の発展のうちでも最も顕著なもの1つであろう。加工技術は非常に多岐にわたるため、この総説ではとくに塑性加工技術の分野の問題に限定して概要を述べた。

塑性加工技術のなかで最もはなばなしい進歩を行なったものは各種の連続圧延技術であろう。鉄鋼の精錬溶解技術の進歩は、良質で均質な大型の鋼塊を大量に生産することをうながし、加工技術はこれらを高い能率で処理するみごとな製産体系として、連続圧延技術を作り上げてからすでに30余年を経過した。この体系ははじめ薄板においてなされたが、今日は線材などすべての型鋼にもおよび、いずれの分野においても加工速度は飛躍的に上昇し、今日、熱間加工においては20ないし30m/sec、冷間加工ではすでに45m/secにおよぶものも出現している。つぎに、分塊、熱延および冷延のいずれの工程においても加工機械の大型化がとくに著しい。さらには、遊星圧延機などの特殊な圧延技術の進歩もあげられる。すなわち、より能率的な製法の開発と発展こそは、現代加工技術の進歩のうちではまず第1にあげられるべきことがらであろう。今日の圧延技術の進歩の第2の点は、精度の高い機械を使用し、熱処理などの付属の工程も含めて、精密な制御装置を駆使し、より均一均質な製品を製造しようとしていることである。第3は、高度な品質の製品を得ることで、加工温度の制御、熱処理、調質圧延および各種の非破壊検査などのさまざまな工程を付属させた工場を作り上げ、多種多様な性質を有する圧延材を大規模に製造していることである。圧延以外でも、一見能率的でないように思われる。たとえば押し加工法などが、鋼に対していよいよ発展の段階に入ってきたことも、主としてより品質のすぐれた製品の製造を主眼としているように思われる。以上のごとく、より能率的により均一均質な、高い品質の製品という目的で、鉄鋼の塑性加工技術が最近10年間に、いかなる進歩をとげたか、またその背景となることなどについては以下に詳しく述べられている。

塑性加工技術の進歩に対する理論の面では、薄板加工のみが述べられている。この稿ではとくに触れなかつたが、圧延理論に関してはTh. von Kármánにはじまり、1950年代に入ると、W. Hesseberg, R. Sims および、M. D. Stone らによつてようやく直接圧延技術に適用できる多くの理論が提出され、現在においても、つぎつぎとより使いやすい新しい理論の発表が行なわれている。これらの圧延理論を実際に適用するため、材料の被加工性や加工条件をみいだすためには、熱間衝撃ねじり試験やカム・プラストメータなどの実験設備が多く、機関に整備され、変形抵抗や変形能について、実用に

供し得るようなデータが蓄積されつつあると同時に、パス・スケジュールなどの検討に広く利用されている。とくにステンレス鋼継目なし鋼管の製造法の確立のため、熱間衝撃ねじり試験を用いた被加工性の研究などはそのよい例であつて、後に詳しく述べられている。このように理論と実験が、実際の加工技術と歩調を合わせる時代に入つたことも最近の進歩の特徴といえよう。

塑性加工技術の最近の進歩はつぎつぎと新しい技術と製品を生んでいる。たとえばこのほかにもたくさんあげることができる。高エネルギー率加工法もそのよい例の1つであろう。普通の加工法では困難な材料を経済的に作る方法として注目されている。この方法は、材料の被加工性の増加、加工硬化性の減少、スプリングバックの減少など多くの特徴が認められているが、一方において、降伏点の著しい上昇、臨界衝撃速度の存在、双晶の発生、高圧下のHugonioの挙動、組織の変化および変態など数々の困難な現象に遭遇し、未解決の問題が少なくない。またこれらの現象を上手に利用すれば新しい製品を造り出すこともできるかも知れない。高エネルギー率加工法のうちでは、ばく発成形が最もよく利用されていて、すでに実用段階に入つている。大型の鏡板、成形が困難な材料の成形、内張り成形などにおける利用が盛んである。このほか、小型の製品であれば、放電成形、ダイナパーク法、電磁気成形法なども注目されており、すでに実験室的な研究から製品化へ進んでおり、多くの話題が内外の学術技術書にみられる。

この総説では鉄鋼の塑性加工技術のすべてを記すことが困難であつたので、むしろ主流となる技術に限つて、少しでも掘り下げた実のある解説を望んだため、独断的に内容を限定した。ほかにも、きわめて深い内容をもつた技術について、多くの業績があげられていることを添えておきたい。

4.2 ストリップ・ミル

4.2.1 ホットストリップ・ミル

(1) 緒 言

わが国におけるホットストリップ・ミルの歴史は、昭和16年旧日鉄八幡製鉄所(現八幡製鉄戸畑製造所)で操業が開始され、昭和27年富士製鉄広畑製鉄所の連続厚板工場に仕上げスタンド2基、コイラーなどが付け加えられてホットストリップ・ミルとしての体裁が整えられるまでわずか一連のみであつた。

ところが戦後の鉄鋼業の回復はめざましく、数次にわたる合理化計画の実施で、技術革新はまさにホットストリップ・ミルを中心として押し進められ、昭和28年以降今日まで各社に建設、操業が始められ、現在では表4.2.1に示すように、国別のホットストリップ・ミルの保有数では世界第2位に発展してきた。

ことにここ10年の進歩はより速く、より大きく、よ

表 4-2-1 世界におけるホットストリップ・ミルの設置状況

地域	国名	連続式	半連続式	ステップケル	プラネター	合計
アジア	日本	5	6	1	—	12
	ほか	—	2	—	—	2
北米	アメリカ	24	14	3	—	41
	カナダ	—	3	—	—	3
中南米		—	4	3	—	7
西欧	イギリス	3	2	1	—	6
	西ドイツ	1	2	1	—	4
	フランス	3	—	1	—	4
	ほか	—	7	3	2	12
ソ連	ソ連	6	—	1	—	7
	ほか	1	2	—	—	3
その他		—	2	—	—	2
世界合計		43	44	15	2	104

(1964年4月1日現在稼動, ロール胴長 36" 以上のもの)

り均一にという方向に進み, ミルの高速化, 使用スラブの大型化, 寸法品質の均一化ではめざましく進歩し, 現段階ではなお進歩しつつあり, 今後は自動化について急テンポで発展するであろう。

(2) 技術進歩の趨勢

わが国のホットストリップ・ミルの技術進歩の趨勢を振り返ってみると, 表 4-2-2 でもわかるように, かなり明確に4時期に区画できる。すなわち第Ⅰ期は昭和16~27年, 第Ⅱ期は昭和28~34年, 第Ⅲ期は昭和35~37年, 第Ⅳ期は昭和38年以降の4時期である。各期を追ってみると, 材料の大型化, 圧延速度の高速化, 製品精度の向上については品質歩留の向上に鋭意努力がはらわ

表 4-2-2 わが国のホットストリップ・ミル

設備名	型式	胴長 (in)	圧延速度 (m/min)	仕上圧延機 モータ 総馬力 (HP)	完成年月
A	連続式	43	620	20,600	昭和16年9月
B	半連続式	86	650	30,700	27. 7
C	"	56	680	23,500	32. 9
D	"	56	687	23,000	33. 3
E	連続式	36	724	16,000	33. 5
F	半連続式	80	713	24,500	33. 11
G	"	68	664	23,500	34. 10
H	"	80	748	36,000	37. 4
I	連続式	68	915	40,000	38. 8
J	"	80	1,010	40,000	38. 9
K	"	56	940	4,0000	39. 4

れ, 特に最近の技術進歩はめざましく, 10年前と比較すると最新のホットストリップ・ミルは生産性の点, 品質の点などすべてに格段の相違があり, もはや旧設備では競争できないまでにいたっている。ここに上記の各期にしたがって, 技術進歩の特徴を追ってみる。

1) 第1期 (昭和16~27年)

この期はホットストリップ・ミルの黎明期であつて, 従来薄板の製造はきわめて生産性の低いプルオーバー式熱間薄板圧延機により行なわれていたが, タンデム圧延機の建設により, プルオーバーに比してきわめて生産性の高い品質の良好なホットストリップ・ミルにとつて変わろうとしていた時期である。

この頃のホットストリップ・ミルは連続式でも材料の大きさが 250~450 lbs/in 幅程度と小さいこと, 圧延速度も遅く, 生産量は 50~70 万 t/年と現在と較べてきわめて生産性の低いものであつた。

品質面においては, 加熱炉ではアスカニアの油圧式自動制御による燃料原単位の低下が実施されていた。圧延においては, X線厚み計もなく, ミルモーターの制御においても特にみるべきもなく, 歩留は低かつた。

2) 第2期 (昭和28~34年)

昭和30年を過ぎると, 鉄鋼業の設備合理化が大幅に推進され, その中心が圧延設備, 特にホットストリップミルであつた。この期に建設されたのは5連で, ホットコイルの生産量は飛躍的に増大した。特徴としては, 大部分が半連続式であること, スピード・レギュレーターおよびX線厚み計の設置, 捲取機の改良などが挙げられる。

a) 生産の向上 材料は逆転粗圧延機のモーター容量増大などにより, 若干増加し, 約 400~600 lbs/in 幅となり, これにともなつて生産量はだいたい 60~120 万 t/年に向上した。

加熱炉では, 3帯式ではあるが, 材料の大型化にともない炉幅が約 7m に大きくなり, 炉容が増加して, 120 t/hr 基程度の能力の加熱炉が建設された。この頃より, 燃料原単位の低下に熱効率のよいメタリック・レキュペレーターが採用され始め, 2~3 万 kcal/t の燃料の節約となつた。自動制御も一段と進歩し, 空気圧式および電気式自動制御が導入され, 応答が早く, 計器も小型化された。

b) 品質の向上 この期には品質面において, 機械, 電気工業界の進歩した技術を取り入れ, 大幅に改良された。

まず板厚については, X線厚み計の導入により, 圧延中での厚み管理が可能となり, また一方, 電気制御関係ではスピード・レギュレーターの設置で, モーターの速度応答が速くなり, 操作が容易となることにより, 歩留が向上した。また仕上げ圧延機前面にクランプシャワーを取付け, スピードレギュレーターと相まつてミスロールの減少をはかつた。

ストリップ表面の肌荒れに関しては, デスケーリングポンプの圧力が 70 kg/cm² 程度から 105 kg/cm² 程度に高圧化され, スケール剥離を強化するとともに, ロール材質の研究も進められ, 特に仕上げ 1, 2 号スタンドの作動ロールについては研究が進み従来の特殊鋳鉄に対してダクタイル鋳鉄が適用されストリップの表面状況は

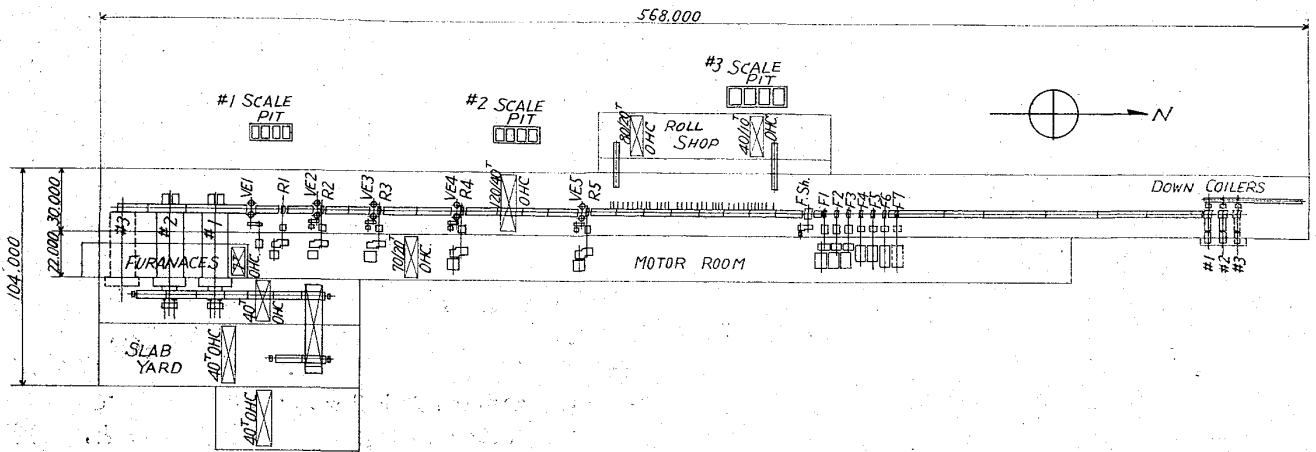


図 4・2・1 最新式全連続ホットストリップミル・レイアウト

向上した。

一方捲取機はコイルのテレスコープと故障の減少に改良が加えられた。従来は8ラップ・ロールであったが、これを4ラップ・ロールに変え、またピンチロール、ラップロールのギャップ調整を遠隔操作で行なえるようにした。

3) 第三期(昭和 35~37 年)

この期は現在の生産性の高いホットストリップ・ミルへの発展の中間段階にあたり、第二期に比して、各設備にわたり改良が加えられている。

a) 生産の向上 材料は生産性、歩留の向上のため、一段と大型化され、800 lbs/in 幅程度に増大し、これにともなつて、各設備も大型化し、それにふさわしいものが建設されている。加熱炉では、炉幅がさらに拡大され、8m をこえ、炉容が大型化され、能力も 150~180 t/hr に上がっている。またスケール・ブレイカーが大型になり粗圧延機として使用され、逆転粗圧延機のモーター容量も一段と大きくなつている。

仕上げ圧延機の圧延速度も増大し、約 2,300 fpm となり、増速なしで、ストリップがホットラン・テーブルを走る限界の速度まで上がつてきた。またモーター容量においても、AGC 装置(自動厚み制御装置)の設置に備えて大幅に大きくなつた。生産量としては、約 150~200 万 t/年に増大している。

b) 品質の向上 品質面に関しても、各設備について種々の改良が加えられた。まず、歩留に大きく影響を与えるコイル幅の精度の向上については水平ロールのスケール・ブレイカー前にバーティカル・スケール・ブレイカーが設置され、スケールのブレイキングと同時にスラブ幅を調整し、バラツキを減少させるとともに、仕上げスタンド後面に、ストリップ自体から発生する赤外線を利用して幅を検出する幅ゲージによつて、圧延時の幅の管理が可能となり幅のバラツキの減少を行ないえた。

仕上げ圧延機電源方式は前期までは共通母線、共通一独立母線、独立母線方式と各種各様であつたが、スタンド個々の制御を向上するために、この期に独立母線方式になり、しかも、速度応答をより早くするために、電源に水銀整流器が採用されるようになった。また、電動機容量の増大による GD² の増加を避けるために、ダブ

ル・アマチュアの電動機も現われ、一層応答が早くなつた。一方、スタンド間のルーパーはモーターから空気圧または油圧による制御方式になり、応答が早くなつてスタンド間テンションがより一定となり、これらによつてストリップの厚みの均一さは一層の向上をみた。

コイルのテレスコープの減少および捲取機の故障減少に努力がはらわれ、捲取機の構造はさらに改良が加えられた。すなわち4ラップ・ロールから2ラップロールとなり、また、マンドレルからコイルを抜き出すさいに、従来のストリッパー・タイプでは内巻のテレスコープが大きいので、これをコイルカーによつてコイルを持ち上げマンドレルより抽出する方式となつた。

4) 第四期(昭和 38 年~)

これまでも、高い生産性と優秀な品質のホットコイル製造のために、徐々に材料の大型化、作業の高速化、品質の均一化と精度の向上に向つて技術が進歩してきたが、この期に入り、急速に発展し、非常に優秀なホットストリップ・ミルが建設されるようになった。特に生産性の向上と品質の向上に努力がはられ、この期には材料が非常に大型化され、900~1,050 lbs/in 幅にまで達し、これにともない、粗圧延機が4~5台の全連続式となり、また、仕上げ圧延機の圧延速度も 3,000 fpm を超えるものが出現し、生産量は年間 200~360 万 t 程度の巨大なものとなつた(図 4・2・1、写真 4・2・1)

a) 生産の向上 まず、材料が非常に大型化され、

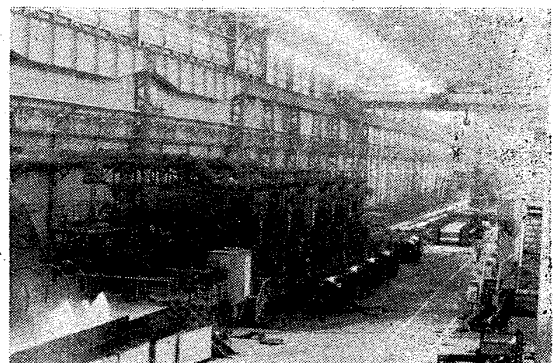


写真 4・2・1 最新式全連続式ホットストリップ・ミル

単重が約 30t に達するような大きなスラブができ、これによつて高能率になるとともに、歩留も大幅に向上した。そして、材料の大型化に対して、各設備も大型化され、かつ、高能率化されている。加熱炉に関しては、炉幅が 9m を越え、炉容が大きくなるとともに、急速加熱が行なわれ、このために 5 带式加熱炉が常識となり能力も 200~250 t/hr 基と大型化された。また、熱効率を高めるためと、設置位置の関係から全面的にメタリック・レキュペレーターが採用されるようになった。

粗圧延機は逆転式では能力が落ちるので、4~5 台の非逆転式の粗圧延機を設置し、きわめて高能率とするとともに、各スタンド前にエッジャーを設け、幅調整を行ない、バラツキが減少し、精度の向上をはかっている。一方、仕上げ圧延機のモーター容量はますます大型化され、かつ、従来の圧延速度は、ホットラン・テーブルをストリップが走る限度の速度 2300 fpm 位までだったが、ストリップが捲取機に捲付いてから、増速を行なうようにして一段と高速化され、3000 fpm を越えるようになり、能率の向上となつている。

全連続式は設備費が高額になるので、これをカバーするために稼働率の向上に眼が向けられた。特に仕上げ圧延機のロール組替えが従来のポーターバーによる方法では 10~13% のライン停止となるが、ターンテーブル使用の自動化された方式の開発によつて組替時間が従来の方法に比して 1/5~1/7 に縮小され、稼働率が 7~10% 向上した。

b) 品質の向上 前項 4)-a) でも記したように、全連続式で粗圧延機が 4~5 台となり、スタンド前にエッジャーを設けて、幅の調整を行ない、精度を向上して、歩留を上げている。当然、仕上げ圧延機後面に幅ゲージを据え、幅管理を徹底して行なっている。

ストリップ厚みに関しても、従来から X 線厚み計による管理、電動機制御関係の技術の進歩による応答速度の早いものとなつて、厚みの精度は向上していたが、この期にいたり、BISRA の開発によるゲージ・メーター方式による AGC 装置がホットストリップ・ミルに据え付けられた。これは圧下スクリューテンション方式による厚み自動制御であるが、圧下スクリューの調整にモーターによるものとさらに応答速度の早い油圧方式によるものがある。これによつて、厚みの精度は飛躍的に向上し、従来のもので ± 0.10 mm 程度だったものが 0.03 mm の精度が可能となり、当然歩留も向上した。

その他、品質歩留の向上には今まで記してきたものは全部取り入れられ、材料の大型化、幅ゲージとエッジャー、X 線厚み計と AGC、さらに捲取機の改善などにより、もはや旧工場は品質面においても対抗し得ないほどに向上し、技術の進歩のめざましいことをよく示している。特にホットストリップ・ミルは圧延設備のうちで、生産性の向上、品質の向上に最も進歩発展したものと考えられ、今後も急速な発展が十分期待できる。

(3) 設備別の特徴

1) 加熱炉

a) 燃焼帯の増加 加熱炉も順次大容量化の方向に進み炉幅は第 I 期の加熱炉ではせいぜい 6m であつたものが第 IV 期では 9m を越え、加熱能力も約 50 t/hr か

ら約 250 t/hr にも向上している。また、燃焼帯の数も増加し従来加熱帯上部・同下部・均熱帯の 3 带式であつたものから、予熱帯上部・同下部の加わつた 5 带式に変わつてきた。5 带式加熱炉はスラブの急速加熱がねらいであり、予熱帯での入熱はかなり多く全入熱の 50% 以上に達する例もある。図 4.2.2 に 5 带式加熱炉の横断面図を示す。一方、既設の 3 带式加熱炉においても改造により予熱帯を作り、下部にサイドバーナーを投入するなど、変則的な 5 带式加熱炉とすることにより大幅な加熱能力の増強を行なっている。

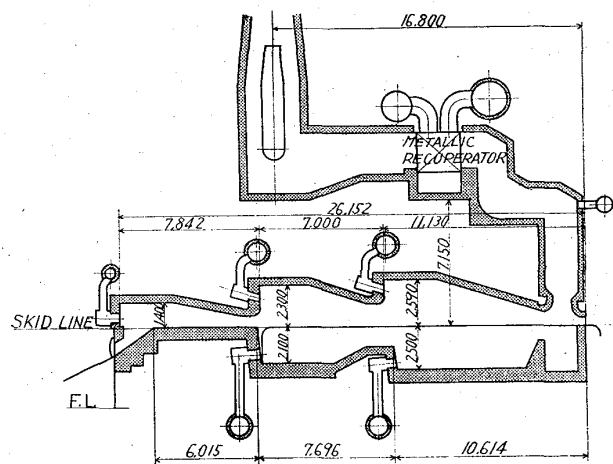


図 4.2.2 5 带式加熱炉

b) メタリック・レキュペレーターの使用 タイルレキュペレーターに代わつてメタリック・レキュペレーターが使用されるようになった理由は ① 熱交換率が大であり、予熱空気の温度を高くできる。② 容積・重量とも小さくコンパクトなので炉体上部に設置することができ、炉体構造が簡単になる。③ 気密性が良好、といった多くの長所をもつためである。反面、寿命・耐熱性・耐腐蝕性の面で今後改善せねばならぬ問題も残つているようである。メタリック・レキュペレーターには通常、特殊耐熱鋳鋼、耐熱ステンレス鋼などを使用し、数種類の型式のものがある。

c) 装入側設備 大型スラブの冷却・手入れおよびストックのためには余裕ある大きな面積を必要とし、スラブの運搬や加熱炉への送り込みの能率が悪くなりやすい。そのため、分塊圧延後ホットスカーフィングでライン中で手入れしたり、炉送り込みテーブルにチェーン・トランスファーでスラブをのせる方法もとられている。

2) 粗 圧 延

a) 全連続化 全連続式のミルは半連続式に較べて高生産性が期待できるため、新設のミルはほとんど全連続式である。従来の半連続式ではせいぜい年産 120~180 万 t であつたのに対し、新設の全連続式では年産 300 万 t の大台をねらつている。

また、全連続式ホットストリップ・ミルでは各粗圧延機の前面にエッジャー・ロールを備えているために、少種のスラブ幅で多種の幅のコイルの圧延が可能であり、将来連続鍛造によるスラブ製造のさい、幅の種類をまとめることができる利点がある。

初期の全連続式ホットストリップ・ミルは粗圧延機4基、仕上げ圧延機6基であつたが、最新式のものには粗圧延機5基、仕上げ圧延機7基となりつつあり、スタンド数は合計2基の増加がなされている。全連続式では高生産性と引きかえに投下資本が龐大となるので、ミルの稼働率を高めることが一層重要な問題となつてきた。

スラブの大型化にともなつて厚いスラブを減厚するために水平型スケールブレイカーは相当大きな圧下を行なうようになってきている。噛込み角が大きくなり過ぎるときには同一スケールブレイカーにスラブを2~3パスさせるか、大径ロールを使用し、負荷の増大に対してはモーター容量を増加させている。一方、スケールブレイカーとして幅調整をも兼ね合わせてバーティカル・スケールブレイカーを設置しているミルも多くなつている。

b) 逆転圧延機のCPC化 自動化の促進により逆転粗圧延機にカードプログラム・コントロール(CPC)またはプリセット・コントロールが採用され、全自動での圧延も可能となつた。このため各パスの切替時間の短縮により能率が向上し、寸法・温度の均一化にも効果があつた。昭和34年からは国産品のものも運転に入り満足すべき成果をあげている。

また、逆転粗圧延機にダブルアーマチュア・ツインドライブ方式を採用して、加減速・逆転の特性を高めている。

3) 仕上げ圧延

a) 高速化 仕上げ圧延の第1の特徴は高速化であり、このためスタンド数を6基から7基に増加し、モーターも大型化する傾向が強まつている。従来の圧延速度はたかだか2,300 fpmが限界とされていたが、新設のミルではいずれも3,000 fpmを越える圧延速度となつている。高速化における最大の問題点はストリップが仕上げ圧延機を出た後でホットラン・テーブルのローラー上をうまく進まぬことであり、この傾向はストリップの厚みが薄くなるほどはなほだしい。この解決策として、ストリップ先端がコイラーに捲付いてから、圧延速度を上昇させるという方法を現在とはつている。

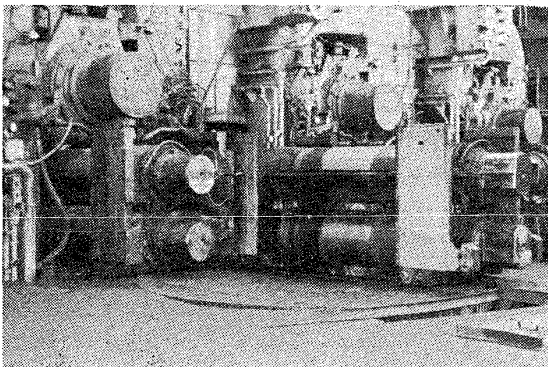


写真 4.2.2 ロール組替装置

b) ロール組替時間の短縮 ストリップ・ミルの稼働率を低下させる最大の要因はロール組替であるが、第IV期になつてこの組替時間を減少させる画期的なターンテーブル装置が採用されている(写真4.2.2)。この装置によつて組替時間は25 minから4minに短縮された。ターンテーブルはおのおののスタンドのそば

に設けられていて、組替が行なわれるときは、古いワークロールはターンテーブル上に押出され、180°回転される。ついでターンテーブル上にあらかじめのせられた新しいロールがスタンドに組込める位置にもつてこられる。ターンテーブルは直径約4mで互に平行な軌道を2組もつており、最初の軌道にロールを引出したら半回転して2番目の軌道を圧延機中心線に合わせられるように、その中心線は圧延機の中心線からはずれている。

c) 厚み制御 厚みの管理はわが国ではまず昭和30年頃X線厚み計の設置が行なわれ、圧延中の板厚が測定されたことに始まつた。だんだんと大型スラブを使用するにしたがい、仕上げ圧延機前のバーが長くなり、尾部は圧延温度頭部よりかなり下がるため、厚くなる傾向にあるが、加熱炉における傾斜加熱や、デスケリング水による傾斜冷却や圧延速度の高速化により温度勾配を小さくして行なつた。一方スピードレギュレーターの設置によつて負荷によるミル速度の変動がなくなり、従来スタンド間のループあるいは張力によつて生じていたコイル内厚み変動が少なくなつた。

しかし厚み制御に関して決定的な効果をもたらしたのは、BISRAによつて開発されたゲージメーター方式による自動厚み制御(AGC)である。

ゲージメーター方式は圧延圧力をロードセルによつて測定し、圧下ねじの位置とミル・スプリングを考慮して板厚を測定するので時間的な遅れがないという大きな利点をもつているが、ロールの摩耗、温度の変化などにより誤差を生じてくるので、最終スタンドの出口にX線厚み計をおきこれを補正している。図4.2.3にその実例を示すが、これは圧下を油圧操作で行なつた例であり、この他圧下をモーターのみで行なつている例もある。この例では2号スタンドと5号スタンドで圧下を調整し、スタンド間のループはルーパーの信号によつて各スタンドの速度を変えて調整する。なお5号スタンドで圧下を調整するかわりに、ゲージメーターの出力を5号6号の速度調整器に入れて速度を変化させ、5号6号間の張力

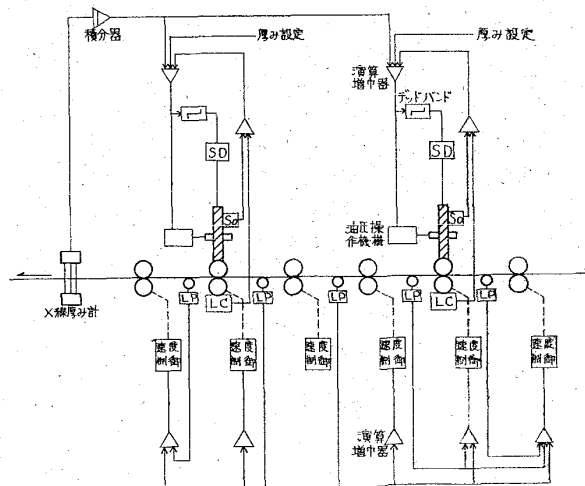


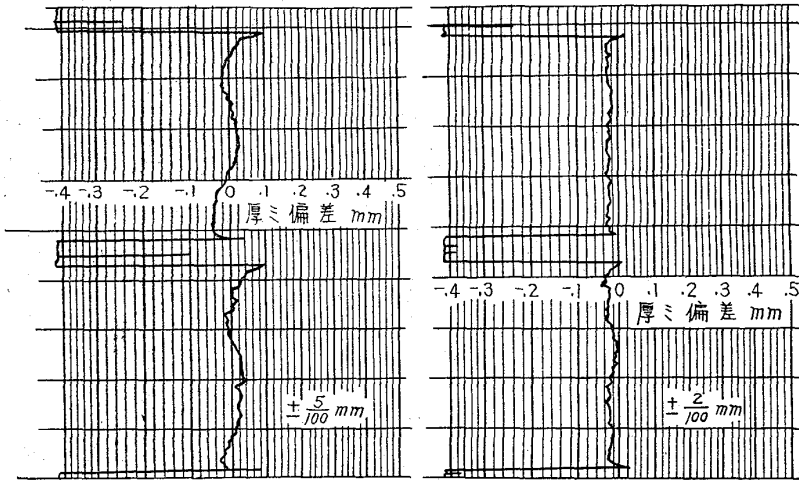
図 4.2.3

So : スクリュー位置検出
SD : スクリュー制御
LP : ループ検出
LC : ロール検出
AGC の例

を変えて厚みを調整することもできる。

ルーバーは最近まで電動操作のものが用いられてきたがその応答が遅く、また位置によつて材料に与える張力が変化するため、油圧と空気圧を併用した。応答の早い、しかも位置によつて張力の変化を与えない幾何学的配置をもつ方式のものが使用されるようになった。

AGC を使用した場合としない場合の X 線厚み計の 4 チャートを図 4.2.4 に示すが、この例では AGC により $\pm 0.02 \text{ mm}$ の高精度が得られている。



AGC を使用しない例

AGC を使用した例

図 4.2.4 AGC の効果を示す X 線厚み計チャート

d) 幅の制御 仕上げ圧延機で圧延中の幅の挙動は張力の影響によるところが大きいので、厚みの挙動によく似ている。したがってスピード・レギュレーターの設置などの厚み向上対策がそのまま幅の安定化に役立つ。現在、ほとんどすべてのホットストリップ・ミルで赤外線式幅ゲージを仕上げ圧延機 5 号 6 号間または 6 号の後に設置し圧延中の幅を測定している。今のところ必ずしも十分満足すべき精度は得られていないようであるが、実用には供されている。また、下部からの照射による照射式幅ゲージの開発も行なわれつつある。

e) クロップ・シャーの設置 仕上げ圧延前のバーの先端のとがりによる腰の弱化および先端、尾端の曲りを防止し、半成発生などのトラブルを減少させる目的で、第 II 期頃より仕上げ圧延機前にクロップシャーが設置され、所期の効果をあげている。

f) 温度の制御 ストリップの冶金学的性質（機械的性状、金属組織、結晶方位など）は仕上げ温度と捲取温度によつて大きく支配される。仕上げ温度についてもスラブ大型化にもなる尾部温度の確保が問題になるが、厚み制御のための温度勾配減少対策がそのまま仕上げ温度向上の対策となつている。捲取温度を適切な値まで下げることはミルの高速化とともに冷却し得る時間が減少するので、困難となつてくるが、新設のミルではホットラン・テーブルを長くすることと、冷却水設備を増強することにより対処している。ホットラン・テーブルの長さは第 II 期まではせいぜい 100~125 m であつたが、第 IV 期においては 140~170 m にも達している。

ホットラン・テーブルでの冷却効果については水圧・水量の増強によるものほかに、低圧水を層流状態でストリップに接触させることにより有効熱伝達面積を増加させようとするラミネーゼット方式が採用され始めたことも見逃がせない。

g) ロールの進歩 スラブの大型化はまたロールへもその影響をおよぼした。すなわち単重増加により i パスの噛込時間が増加しロール表面温度の上昇が著しいため、ロール肌荒れが製品にパターンされてストリップ表面を悪くする。これを防止するために、ロール冷却能力も次第に大きくなり、ロール材質の向上とアダマイト系ロールなど最適のロールをスタンドごとに選んで使用することが行なわれており効果をあげている。

h) ホットラン・テーブルの改善 ホットラン・テーブル上でのストリップのセンタリングをよくする目的で、ローラーを 1 本ごとに交互に傾斜させたスキュー・タイプテーブル・ローラーの使用が行なわれ始め、またエプロンを取去りローラー間隔をつめて、ストリップの裏疵の防止をはかつたことも進歩と考えられる。

i) 電動機制御関係の進歩 圧延電動機に大容量直流電動機が使用されることによりワード・レオナード方式は急速に進歩し、水銀整流器およびその制御装置の進歩により静止レオナード方式が採用されることになつた。従来仕上げ圧延電動機への電源方式は MG を用いた、6 台共通の母線をもつた方式であつた。第 II 期には、2 スタンド分ずつ共通母線とした共通独立母線方式もできたが、新しいミルはすべて静止レオナードによる独立母線方式となつている。一般に、仕上げ圧延電動機は速度制御として、電圧によるものと界磁によるものと 2 方法があるが、速度応答が速い点で電圧による速度制御のほうが優れており、この面からも水銀整流器を電源とした独立母線方式による静止レオナードの電子管制御の方法が採用されるようになった。

4) 捲取機

a) ラッパ・ロール配置 捲取機の使命はたけのこ捲き、折込みなどのない捲き、姿のよいコイルを捲取ることであり、しかも故障の発生が少ないことが必要である。そのためラッパ・ロールの配置は、図 4.2.5 のように変化し、現在わが国で新設されているものは、2 ラッパロール・タイプが普通となつている。

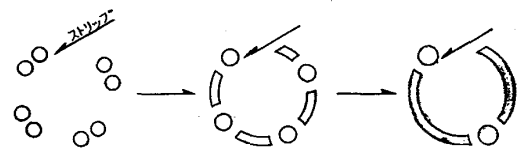


図 4.2.5 ラッパロール配置の変遷

最近ではコイル内側のたけのこ捲きを防止するため、マンドレルを普通の位置から、サイドガイドに近い位置に移動させておいて、ストリップ先端がある程度マンド

レルに捲付いてから元の位置にマンドレルを戻すという、いわゆるピボットタイプのダウンコイラーも考えられている。

b) コイルカーの使用 捲取つたコイルをマンドレルから押出すには、コイルを油圧あるいは駆動のストリップパーによつてマンドレル上をすべらせながら押出す方法をとつていたが、コイルの大型化によりマンドレルの下からコイルカーが受けて取り出すようになった。

ラッパー・ロールとマンドレルのギャップ、ピンチロールギャップなどの捲き姿に与える影響は大きい、これらの調整装置も電動式の完備されたものとなつてきている。

c) 修理の能率化 捲取機の修理の場合、圧延作業が不可能となるが、(特に仕上げ圧延機側の捲取機の場合はほぼ確実にそうなるが)最近のミルの捲取機はブロック全体がライン外に引き出せるようになっていて、修理中も残りの捲取機を使つて圧延作業ができるように考慮されている。

5) 付帯設備

a) シャーライン ホットコイルを捲戻して切板に剪断するシャーラインの進歩も画期的なものがあつて、第Ⅱ期頃から走間剪断機の採用により350 fpmまでのライン速度上昇が行なわれ、月間2~2.5万tのコイル処理を行なえるようになった。またスキップバスをライン中あるいはライン外におくことにより、腰折・平坦度不良などの矯正が可能となり、大幅な品質向上がみられる。一方、同一のラインで、切板への剪断へのスリットも可能な兼用ラインも稼動している。

b) グラインダー ロール・グラインダーそのものの機構の変化はないが、研磨作業をすべてならいによつて行なうものが最近作られており生産性の向上をはかつている。

c) ITV 経済的な人員配置をねらいとして、ITV(工業用テレビ)がかなり使用され始めている。まず加熱炉の装入口では1人の運転者が2つ以上の炉にスラブ装入を行なうことが可能となり、その他仕上げ圧延後のストリップの形状観察、コンベア上のコイルの観察などに有効に使用されている。

d) 水銀整流器とSCR 水銀整流器は昭和30年にポンプなしのものが国産化され、温度制御の自動化、保守取扱いの簡便さから信頼性が増した。MGと比較した場合、若干の短所はあるが、応答速度の速いこと、据付保守の容易さ、効率の上昇などの優位性から今後も大容量のものに使用されることにならう。またSCRは小容量の電動機の電源あるいは界磁制御として使用されていたが、最近450~900 kWのものが製作されるにおよび次第に大容量の分野に入つてきている。

e) 増幅機器、制御機、その他 自動制御回路の発達は急速であり、アンプリダイン・ロートロール・HTDなど、0.5~150 kW位までの回転増幅器が製作され、磁気増幅器も磁性材料の進歩、乾式整流器の進歩による特性の向上とか、400~1000°C/secの高周波電源を使用することにより速応性の進歩がみられた。

(4) 将来の展望

1) 大型化の傾向

近年米国におけるホットストリップ・ミルの新設計画ではますます大型化の傾向が顕著であり、なかには84 in全連続式で、スラブ最大単量7.5万ポンド(34t)、1,200 lbs/in幅、スラブ最大長さ40 ft、最大幅76 in、粗圧延機5スタンド、仕上げ圧延機7スタンドで、圧延機の総馬力18.1万馬力という超大型のものがある。日本のホットストリップ・ミルも連続鑄造の進歩と相まつて引き続きこの大型化の道をたどるものと考えられる。

2) コンピューター・コントロール

AGCが一般的となつた現在、つぎにくるべきはコンピューター・コントロールである。すでに米国マックス社のデトロイト工場、英国リチャード・トーマス・ボウイン社のスペンサー工場に設置されている。コンピューター・コントロールによる圧延機制御において計算機は圧延仕様、材料の寸法、温度などの測定値を読み込み、負荷配分計算、ロール開度計算を行ない、それぞれの板厚にあつた各スタンドのロール速度を計算し設定を行なう。また、ストリップの捲取温度と仕上げ温度の制御から最終的には加熱炉にまでおよぶ温度制御も対象であり、また加熱炉の加熱能力、粗圧延機、仕上げ圧延機の平均負荷率などを常にチェックしながらホットストリップ・ミルの最大能力を常にフルに保つよう圧延ピッチを調節するミル・ベージングも制御の対象である。コンピューター・コントロールの完成により、生産能率の向上、厚み、幅・温度など品質の均一性向上と要員面の経済化が期待できる。

3) クラウン・コントロール

AGCが板幅方向1点の厚みを対象としているのに対し、板幅方向の厚み偏差とストリップの形状を制御するための装置は、液圧ロールベンディング装置が現在米国で実用化されているに過ぎないが、今後のホットストリップ技術進歩の1つの柱となるものと考えられる。ホットストリップ・ミルではロールの熱膨脹と摩耗のため、また、同一のクラウンをもつたロールで広範囲の幅にわたるストリップの圧延を行なう必要性から、半ば宿命的に幅方向の厚み偏差の制御が困難である。したがつて圧延中にロールのクラウンを変化させ得るような装置が必要となる。液圧ロールベンディング装置はわが国では実施例がないが、米国ジョーンズ・アンド・ラフリン・スチール社ピッパバーグ工場の実施例は以下のとおりである。この装置ではバックアップ・ロール・チェックに8個のシリンダーが組込まれ、ピストンのほうがそれぞれワークロール・チェックを支えている。各スタンドごとに液圧制御装置によつてシリンダーへの液圧を増減させる。ワークロール・ネックにかかる力が増加するにつれて、ロールクラウンは減少して行くのと同じ効果があるので、組込み時のロールクラウンは大きいものを選ぶ。この装置はまたコイル長手方向の厚み偏差の減少にも使われる。この工場では、仕上げ圧延機第4スタンドと第6スタンドに使用して好結果を得たのでさらに第3、第5スタンドに設置しようと計画している。

4.2.2 コールド・ストリップ・ミル

(1) 緒言

戦後の低迷期を脱したわが国の近年における著しい経

済成長に伴ない、基幹産業である鉄鋼生産高の伸長は図4.2.6に示すように驚異的なものがあつた。戦後の鉄鋼

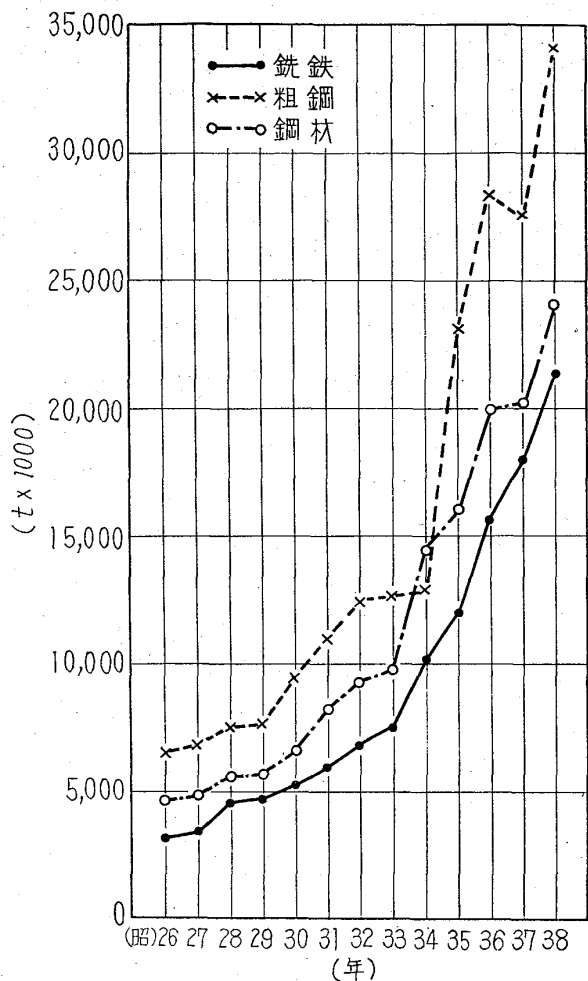


図 4.2.6 国内鉄鋼生産高推移

業界において、最初に重点的に推進された事柄の一つに圧延設備の近代化と合理化があつたが、なかでも帯鋼冷間圧延設備がその主体をなしてきた。わが国における帯

鋼冷間圧延機は昭和 13 年に東洋鋼鉄下松工場に可逆式帯鋼冷間圧延機が稼動、次いで昭和 15 年日本製鉄(現八幡製鉄)八幡製鉄所戸畑ストリップ工場に 5 スタンド連続式帯鋼冷間圧延機が稼動した。戦後鉄鋼業界の第 1 次より第 3 次におよぶ合理化計画により連続式冷間圧延機が相次いで建設され、表 4.2.3~4.2.4 のごとく現在すでに 11 基を数えるにいたつた。その他数多くの可逆式冷間圧延機およびゼンジミア圧延機が同時期に建設され、帯鋼冷間圧延機の全能力はほぼ 870 万 t/年と推定され、連続式熱間圧延機とともに米国に次いで世界第 2 位を占めるにいたつた。

現在までの圧延設備の進歩は一言にしていえば、その圧延速度の増加にあつたといふことができる。この圧延速度の増加の背景には、電子工業部門を主体とした関連部門の驚異的な進歩、より薄い成品を経済的にかつ能率的に製造しようとする製鉄関係者の意欲、さらには電気・機械メーカの設計製作上の意欲などがあつた。しかし今後成品に対する要求はさらに厳しく。

- (a) 自動板厚制御装置 (Automatic Gauge Control)
- (b) データ・ログ (Data Logging)
- (c) 計算機制御 (Computer Control)
- (d) ストリップ形状制御 (Strip Shape Control)

などの制御方式による品質・能率両面の向上が不可欠である。以下冷間圧延設備の今日までの進歩とその背景および現在の問題点さらに将来に対する展望を簡単に述べよう。

(2) 圧延の高速化と成品の極薄化

近代連続式冷間圧延機の高速化は表 4.2.5 に示すとおり J & L 社 Aliguippa 工場の 5 スタンド連続式冷間圧延機に始まり、今日ではすでに 4 基の 7200 f.p.m 6 スタンド連続式冷間圧延機が世界で稼動している現状である。

これらの高速圧延機はすべてブリキ板の製造を主目的としたもので、その高速化のよつてきたところは、アルミや合成樹脂の攻勢に対処し容器としての主位を確保するためブリキ板の厚みが年々減少の一途を辿っている今日、より経済的より能率的にブリキ板を製造するため

表 4.2.3 タンデム・コールド・ストリップ・ミル設備一覧表

会社名	メーカー	建設年月	圧延最高速度 m/min	主電動機容量 kW	被圧延材サイズ	
					板厚 (mm)	最大板幅 (mm)
八幡(戸畑 No. 1)	メスタ	S.33-10(改)	915	10,800	0.2 ~ 2.3	1,270
八幡(戸畑 No. 2)	メスタ	S.29-3	1,220	9,780	0.15 ~ 1.6	965
八幡(戸畑 No. 4)	メスタ	S.37-5	2,170	24,300	0.1 ~ 1.0	1,295
富士(広畑 No. 1)	U. E	S.29-1	1,250	11,500	0.2 ~ 1.6	1,270
東海(名古屋)	UE-芝共		1,430	14,200	0.2 ~ 2.3	1,270
川鉄(千葉 No. 1)	U. E	S.33-5	1,320	15,750	0.15 ~ 3.2	1,270
川鉄(千葉 No. 2)	メスタ		2,170	24,300	0.1 ~ 1.0	1,295
東洋(下松)	メスタ	S.34-2	1,370	11,940	0.1 ~ 2.3	1,270
日本鋼管(水江 No. 2)	U. E		1,830	16,800	0.15 ~ 1.6	1,235
尼鉄(堺)	UE-芝共		1,070	11,200	0.15 ~ 3.2	1,300
住金(和歌山)	メスター-広船		1,790	16,600	0.15 ~ 2.3	1,320

表 4.2.4 レバース・コールド・ストリップ・ミル設備一覧表

会社名	メーカー	建設年月	圧延最高速度 m/min	主電動機容量 kW	被圧延材サイズ	
					板厚(mm)	最大板幅(mm)
八幡(戸畑 No. 3)	メスタ	S.34-6	505	3,000	0.4 ~ 3.2	1,856
富士(広畑 No. 2)	UE	S.33-11	460	2,600	0.5 ~ 2.0	1,880
川鉄(千葉 No. 3)	日立	S.35-9	600	2,750	0.15 ~ 3.2	1,295
日本鋼管(水江 No. 1)	UE	S.34-9	530	2,600	0.254 ~ 2.36	1,530
東洋(下松 No. 2)	UE	S.12-12	380	1,310	0.15 ~ 2.3	940
日新(大阪 No. 1)	日立	S.29-10	460	1,600	0.179 ~ 2.0	1,000
大同(尼崎 No. 1)	UE	S.31-9	550	2,108	0.19 ~ 1.6	1,295
大同(尼崎 No. 2)	UE-芝共	S.34-10	670	1,900	0.19 ~ 1.6	940
大阪造船(横浜 No. 1)	日立	S.32-8	600	2,400	0.17 ~ 1.6	1,000
大阪造船(横浜 No. 2)	日立	S.34-8	600	2,600	0.27 ~ 1.6	1,240
淀川(呉 No. 1)	E.W.BLISS	S.29-5	614	2,650	0.2 ~ 3.2	1,240
淀川(呉 No. 2)	E.W.BLISS	S.35-5	1,000	3,700	0.2 ~ 3.2	1,240
東京亜細(千葉)	日立		460	2,400	0.169 ~ 0.635 SSG	1,300
中山(鶴見)	芝共	S.35-3	610	1,900	#16 ~ #37	1,015
大洋製鋼(千葉)	日立	S.39-5	750	2,400	0.158 ~ 0.178	1,050
八幡(八幡)	メスタ	S.34-6	250			
日本鍍金(東京砂町)	日本製鋼	S.31-1	300	1,125		1,800
日本ステンレス(直江津)	芝共	S.35-3	170	1,100	0.5 ~ 4.0	1,200

表 4.2.5 世界の主要高速冷間圧延機一覧表

会社・工場名	年次(発注)	スタンド	ロール寸法	圧延速度 (f.p.m)
J & L Aliquippa	1945	5	21" & 53" x 56"	6,000
U.S. Steel Fairless	1951	5	21" & 53" x 48"	7,000
Weirton Steel	1954	5	23" & 56" x 52"	7,030
Bethlehem, Sparrows Point	1955	5	21" & 53" x 48"	6,000
August Thyssen	1958	5	23" & 54" x 49"	6,000
Wheeling Steel Corp.	1958	5	21" & 53" x 51"	6,000
Nippon Kokan, Mizue	1959	5	23" & 56" x 56"	6,000
Broken Hill Prop. Co.	1959	5	23" & 53" x 48"	6,000
Hoesch	1959	5	23" & 56" x 56"	6,000
Midwest	1959	5	23" & 56" x 52"	6,000
Youngstown Steel & Tube	1960	6	23" & 56" x 52"	7,200
Yawata, Tobata	1960	6	23" & 56" x 56"	7,200
Kawatetsu, Chiba	1960	6		
U.S. Steel, Tennessee Coal & Iron	1960	6		
		5		
U.S. Steel, Gary	1962	5		
U.S. Steel, Gary	1962	6		
Youngstown Steel & Tube	1963	5		
Bethlehem	1963	5		
Nippon Kokan Fukuyama	1963	5		

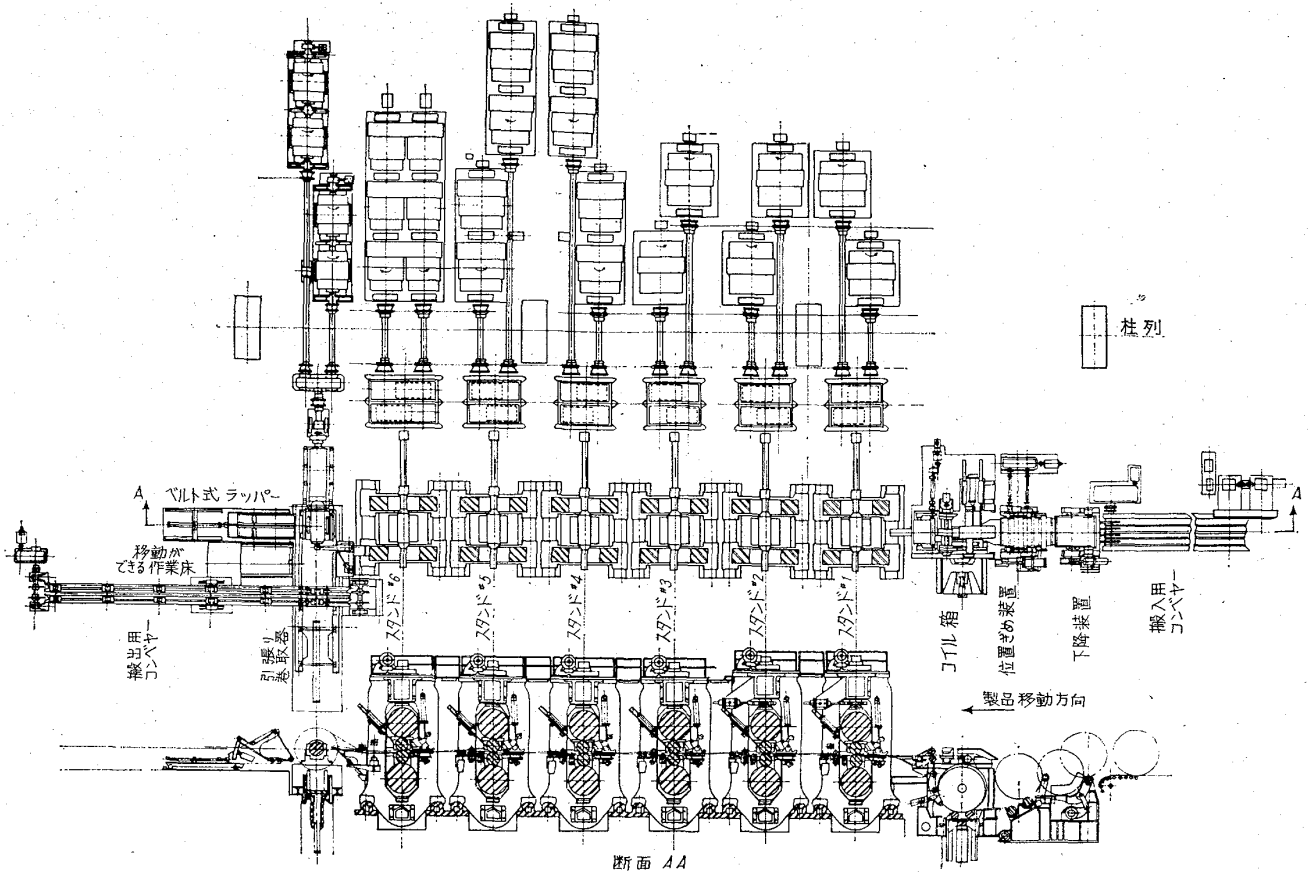


図 4.2.7 冷間圧延機全体配置図

表 4.2.6 6 スタンド冷間圧延機設備仕様例

型 式		4 段 6 スタンド連続冷間圧延機						
最大圧延速度		7200 (f.p.m)						
ロール寸法		作業ロール径 23" (584.2 mm), 補強ロール径 56" (1422.4 mm), ロール胴長 56" (1422.4 mm)						
		材 料				成 品		
板 厚		0.059" (1.50 mm) ~ 0.120" (3.05 mm)				0.0039" (0.099 mm) ~ 0.039" (0.99 mm)		
板 幅		20" (508 mm) ~ 52" (1295 mm)				20" (508 mm) ~ 51" (1295 mm)		
コイル外径		36" (914.4 mm) ~ 85" (2159 mm)				36" (914.4 mm) ~ 80" (2032 mm)		
コイル重量						60,000 lbs (27,000 kg)		
ス タ ン ド		# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	リール
電 動 機	HP	1500 × 2	2500 × 2	2500 × 2	1500 × 4	1500 × 4	1250 × 6	600 × 4
	r.p.m	125/375	212/520	212/520	255/637	255/637	300/635	200/1000
歯 車 比		1/1, 363	1/1, 438	1/1	1, 108/1	1, 516/1	1, 863/1	1, 768/1
	圧延速度 (f.p.m)	553/1660	890/2180	1280/3140	1770/4260	2330/5820	3360/7120	—

であり、6 スタンドの意図するところは、5 スタンドに比して負荷分散により1 スタンド当りの負荷が軽減でき、かつ圧延油の油性不足を補いえて高速化を可能にし、より一層の経済生産・品質向上を期待するためであった。図 4.2.7 および表 4.2.6 にスタンド冷間圧延機

の圧延機の配置図と設備仕様を示す。

この高速圧延も、圧延油に一抹の不安を感じる点を除けば、今日設備的すなわち電氣的にも機械的にもなら問題は存在しない。しかし過去の発展進歩の歴史を詳に顧みると、われわれはそこにいくつかの問題を発見し

それがいかに解決されてきたか数多くの事例を見出すのである。以下おもなものをいくつか拾って列挙しよう。

- (a) 主回路に単独発電方式 (Individual Generator System) の採用。
- (b) 主駆動電動機に 2 重または 3 重電機子電動機 (Multiple Armature Motor) や複式駆動電動機 (Twin Drive Motor) の採用。
- (c) 電気制御諸機構 (I.R. 補償・慣性補償・負荷平衡調整・定張力リール調整など) の完備
- (d) 磁気増幅器の採用
- (e) スピンドルに密閉式歯車接手 (Closed Gear Coupling) の採用。
- (f) ロールクーラント設備の強化。
- (g) 圧延潤滑油の開発とそれに適合した給油設備の改善。
- (h) 諸計測機器 (板厚測定装置・張力測定装置・圧下指示機構・圧下力測定装置) の信頼性の増加。

以上のごとき諸改善進歩により設備的には問題は存在しなくなつたが、高速化にはいま一つの障壁が厳然と横

たわつていた。表 4-2-5 を見ても 7000 f.p.m 級の 5 スタンド連続式冷間圧延機の建設は U.S. Steel Fairless と Wierton Steel の 2 基を最後に暫時中断されている。すなわち 5500 f.p.m 以上の圧延は、高速圧延時の高圧高温の苛酷なる条件下における冷却能力と潤滑能力の不足から "heat mark" "brown boader" などの問題を生じ、ここ数年間圧延技術者の間で論議の対象となつた。この障壁も後述のごとき圧延潤滑油の進歩および潤滑油給油系統、ロール・クーラント系統の設備強化と相まつて、6 スタンド連続式冷間圧延機の出現によつて打破され、前述のごとき高速度圧延を可能ならしめた。

では連続式冷間圧延機の圧延速度は、さらに高速化されるであろうか。米国において 1961 年 (昭和 36 年) 頃から 60 lbs/B.B. (0.172 mm) 以下のブリキが製造され製缶に供せられていることから考えて、ブリキ板の厚みはさらに減少することは間違いないと考えられる。この製造には現在 2C. R (2nd Cold Reduce) 法あるいは Double Reducing 法と称せられている方法が採用されている。すなわち 60 lbs/B.B. 以下の成品板厚ブリキに

表 4-2-7 2CR 圧 延 機 一 覧 表

会 社 名	所 在 地	ミル型式	メーカ	ワーク・ロール (in)			全馬力 (HP)	圧 延 速度 (f.p.m)
				第 1 ス タンド	第 2 ス タンド	第 3 ス タンド		
Bethlehem Steel Co.	Sparrows Point	2 スタンド	Blaw-Knox Co.	22	24		11,000	4,500
Granite City Steel Co.	Granite City III	Z-mill Nonreversing	Waterbury-Farrell Co.	3½			6,200	3,500
Inland Steel Co.	East Chicago III	3 スタンド	Mesta Machine Co.	23	23	23	18,500	5,000
Jones & Laughlin Steel Corp.	Aliquippa, Pa.	3 スタンド	E. W. Bliss Co.	23	23	23	12,250	5,600
Kaiser Steel Corp.	Fontna Colif.	3 スタンド	E. W. Bliss Co.	23	23	23	20,000	5,000
National Steel Corp.	Portage Ind. Weirton. W. Va.	2 スタンド	Mesta Machine Co.	23	21		8,000	2,800
Midwest Steel Corp. Weirton Steel Co.		2 スタンド	Mesta Machine Co.	19	19		11,000	5,000
United States Steel Corp., Fairless Works	Fairless Hills. Pa.	2 スタンド	United Engineering & Foundry Co.	21	21		4,300	3,000
Gray Sheet & Tin Mill	Gray. Ind.	2 スタンド	"	21	21		4,300	3,000
Columbia-Geneva Steel Div.	Pittsburg. Calif.	2 スタンド	"	21	21		4,300	3,300
Irvin Works	Dravosburg Pa.	2 スタンド	"	19	19		3,550	1,500
Tennessee Coal & Iron Div.	Fairfield Ala.	2 スタンド	"	21	21		4,300	3,300
Wheeling Steel Corp.	Yorkville. Ohio	3 スタンド	Mesta Machine Co.	18⅞	18⅞	18⅞	3,950	1,625
Youngstown Sheet & Tube Co.	East Chicago Ind.	3 スタンド	E. W. Bliss Co.	21	21	21	6,950	3,200

対して、成品板厚の約 1.5 ないし 2 倍の厚みをもつ冷延ストリップを第 1 回目の冷間圧延によつて作り、焼鈍後さらに 2 スタンドまたは 3 スタンド連続式冷間圧延機により 30 ないし 50% の圧下にて第 2 回目の冷間圧延を行ない所要の機械的性質をもつた所定の厚みのブリキ原板を得る方法である。このような方法を採用したわけは缶の強度、製缶性におよぼすブリキの材質と製造コストにあるといわれている。表 4・2・7 は世界の主要 2 CR 圧延機を示したものである。

したがつて従来の 5 ないし 6 スタンド連続式冷間圧延機による、板厚のより減少化に起因する経済的発展性からの高速化の動向は一応頓挫したものと考えるべきであろう。現在の低炭素鋼板の実用的最小厚みは 0.10~0.15 mm 程度のものである。これらを対象として考えた場合、連続式冷間圧延機の今後の高速化は従来の連続式冷間圧延機よりむしろ 2C.R. 圧延機にあると考えたほうが妥当ではなかろうか。ただこの場合、人間的判定、調整の要素を多く持つているストップの形状調整をどの程度まで自動化し得るかが問題であろう。

現在のところストリップ形状制御などの付帯的設備の開発進歩は見られるが、圧延機の型式などの基本的な開発の動きは見受けられず、前述の 2 ないし 3 スタンド連続式冷間圧延機が企画設計され実動している現状である。

一方では超極薄ストリップ “Ultra Thin Strip” の研究開発も散見される。この場合板厚は 10^{-2} mm 程度のものであつて、超極薄ストリップというよりむしろ “Foil” と呼ぶのが妥当であろう。現在箔の圧延には一般にゼンジミア圧延機または 4 重可逆式圧延機が使用されているが、今後の需要いかによつては新型式の圧延機の登場も十分考えられる分野である。すでに U. S. Steel では試圧延の結果について最小板厚 0.01 mm の報告がなされている。

かかる超極薄の圧延では中間焼鈍を行なわねばならぬことは今さら述べるまでもないが、Dr. Stone の圧延可能最小板厚の式より明らかなごとくワーク・ロールの径は小さくしなければならず、また圧延機の剛性にも限度がある以上同様にワーク・ロールの径が小さいことが不可欠である。一般に実作業上の最小板厚はワーク・ロール径の $1/2000$ 程度といわれている。ワーク・ロールの径を極度に小さくするといくつかの問題が生ずる。まず第 1 に胴径につれてネック径も小さくなり、ワーク・ロール駆動は不可能で補強ロール駆動方式を採用せざるを得ない。第 2 にワーク・ロール径が減少するに伴ないその撓みが大となりなんらかの方法で補正すなわち Roll Crown Control が必要となつてくる。後者に対して今日まで多くの考案がなされ報告されている。そのうち特色のあるものを 2 ないし 3 拾つて見ると、Taylor Mill, M.K.W. Mill, N.R.D.C. Lord Mill などがあつて、少し形態は異にするが、C.B.S. Mill が挙げられる。図 4・2・8 は Taylor Mill の一例であり、この圧延機は Mr. Louis H. Taylor の発明で Youngstown Research & Development Co. の手によつて開発されたもので、径小ワーク・ロールに平行に設置した撓み検出装置により撓み量を検出し、その信号によつて圧下およびリール張力を調整

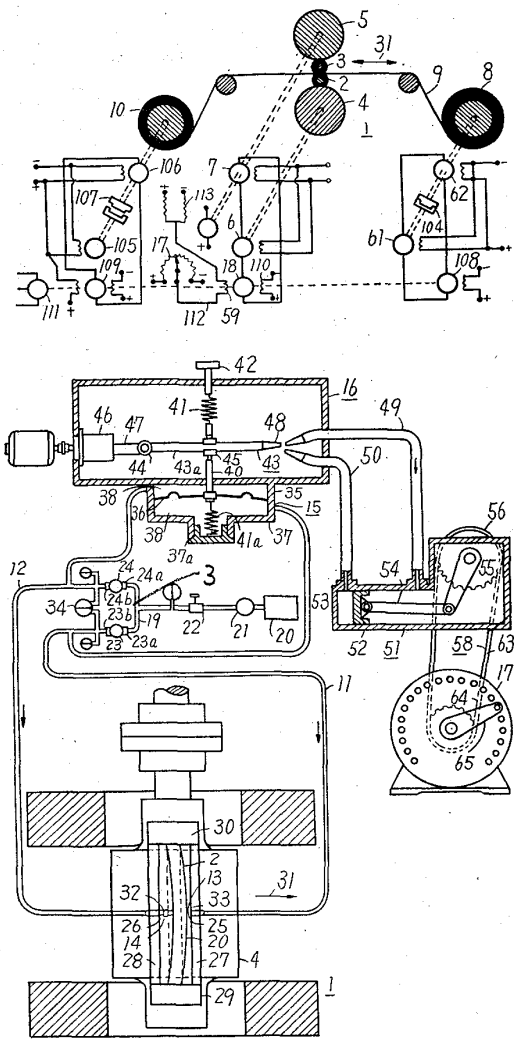


図 4・2・8 Taylor Mill 概略図

しかつ撓み量を補正しようと意図したものである。

以上 “Thin Tin Plate” “Ultra Thin Strip” あるいは “Foil” について簡単に述べたが普通の冷延薄板（板厚 0.4~2.3 mm）にも高速化の動向は見られないわけでもない。従来板幅 4 ft 以下の冷延鋼板は 3000~4000 f.p.m の 4 スタンド連続式冷間圧延機で圧延され、4 ft 超の広幅冷延鋼板は 80 in 可逆式単一スタンド冷間圧延機かまたは 80 in-3 スタンド連続式冷間圧延機で圧延されていたが、近年冷延鋼板用として 5000 f.p.m 級の 80 in-5 スタンド連続式冷間圧延機が採用されるようになった。すでに今年に入つて U.S. Steel Gary Works で稼動しており、続いて Youngstown Sheet & Tube Co. Indiana Harbor Works, Bethlehem Steel Co. Burns Harbor Ind. で発注されており、わが国においても第 1 号機が稼動するのさほど遠いことではないであろう。

(3) 圧延潤滑油 (Rolling Lubrication Oil)

冷間圧延作業にとって不可欠な要素の一つとして圧延潤滑油がある。前述のごとく圧延速度の増大につれて圧延潤滑油に対する要求はますます苛酷なものとなり、ペース油直接給油方式によつてさえ数年前までは 5000~5500 f.p.m が圧延速度の限界だと考えられ、当時最新鋭高速

圧延機において設計速度まで圧延速度を上げることは困難視されていた。第2次大戦中におけるパーム油の欠乏に端を発した圧延潤滑油の開発は、圧延速度の急激なる上昇に刺激されて、ここ数年急速の進歩を遂げ圧延技術の向上と相まってすでにこの圧延速度の壁も破られ現在では 7000 f.p.m の圧延も可能となつた。

給油およびロール冷却方式は基本的になら変わるどころもなく直接方式と循環方式の2方式が用いられている。強いていえば、冷間圧延潤滑油に対する酸洗中間防錆油の自由選択と Detergent の使用を可能にするため、各スタンドとも廃液または廃水がそれぞれ隔離されたブロックオフ方式 (Block off) が最近多く採用されている。

現在各種圧延機に使用されている圧延潤滑油は水溶性鉱物系油と動植物系油とに大別されるが、後者すなわち動植物系油のベース油としては比較的廉価で資源的に豊富な Palm Oil, Tallow Oil, Sperm Oil が現在広く使用されている。

1) 鉱油ベースの水溶性油

一般にナフテン系の鉱油をベースとし許容限度の乳化剤・油性向上剤・腐敗防止剤等を添加したものである。乳化剤としては一般に安価な石油スルフォネイトが使用されるが、汚れ錆などの問題から非イオン系のものが、stainless として最近重宝がられている。良質な商品でも低炭素鋼板の圧延において仕上厚み 0.4 mm 圧延速度 3000 f.p.m 程度が限度で圧延潤滑性はあまり強く望めないが、圧延後のストリップ表面の清浄度は比較的良好である。しかし“Mill Clean Strip”の圧延にはやはり Detergent の併用が望ましく、とくに最終スタンドに梨地加工のワーク・ロールを使用する場合強く要望される。時には表面清浄度を犠牲にしても潤滑性向上のため

めにパーム油など動植物油を混合して循環することもある。

2) パーム油

パーム油は圧延潤滑性を低下せしめることなく完全乳化することは極めて困難でありかつスカムの発生が多いため、循環使用には適さず現在専ら直接方式で使用されている。低炭素鋼板の圧延において仕上厚み 0.12 mm 程度圧延速度 7000 f.p.m までの圧延が可能であり、圧延性能は現在でも圧延潤滑油中第1位にあり、今日なお多くの冷間圧延機に使用されている。ただし焼鈍後の Oil Stain は避け難く焼鈍前の脱脂洗浄は不可欠である。なお天然果実を原料とするため産地・熟度・季節などによる変動は避け得ないのが欠点である。

3) 鯨油または牛脂をベースとした圧延油

第2次大戦中パームの入手が困難となり資源的に豊富な牛脂について各国が研究を始めたのが端緒であり、最近における圧延潤滑油の開発の最も大きな部分であり、かつ将来に開発を期待されている分野でもある。これらは鯨油または牛脂を精製後油性向上剤等の諸添加剤を加えた合成油であり、したがってパーム油に見られる前述のごとき性状の変動も少なく安定した成品が得られることは大きな利点である。実験室における諸実験の結果を試験項目別に見ればパーム油を凌駕するものも見受けられるが、総合的に見てパーム油に直ちに変更を加え得るものは期待できず高速度圧延下の実作業においても問題があるものと考えられる。表 4.2.8 はベース油の成分概要を示したものである。

圧延の理論的解明の進歩とともに圧延潤滑油に関する実験や考察も近年数多く発表されており、圧延性能の総合評価指数についての試みも 2, 3 なされているが、実作業の高速度圧延下における冷却性など二次的現象をも含

表 4.2.8 抹香鯨油, 牛脂, パーム油の比較

		抹 香 鯨 油	牛 脂	パ ー ム 油
一 般 性 状	比 重	0.875 / 0.890 (15?)	0.856 / 0.862 (100?)	0.921 / 0.948 (15?)
	屈 折 率	1.4610 / 1.4655 (20?)	1.454 / 1.4614 (40?)	1.4531 / 1.4590 (40?)
	融 点	0 以下	35/50 (45/48)	27/50 (31/40)
	鹼 化 価	120/150	190/202	196/210
	沃 素 価	71/93	25/90 (32/47)	43/60
不ケン化物		—	0.1/0.3 (0.1/0.6)	0.2/1.0
成 分		高級アルコール脂肪酸エステル 60~65% の脂肪酸 (81% の液体不飽和酸と 19% の固体酸) 32~42% の高級アルコール (主としてセチルオレインアルコール 1.4~5.5% のグリセリン。)	グリセリンの脂肪酸エステル成分はよく類似している 飽和脂肪酸 ミリスチン酸 2~2.5% パルミチン酸 27~29% ステアリン酸 24.5% 不飽和脂肪酸 オレイン酸 43~44% リノール酸 26%	飽和脂肪酸 ミリスチン酸 0.6~5.9% パルミチン酸 32.3~43.8% ステアリン酸 2.9~6.4% 不飽和脂肪酸 オレイン酸 40.2~52.3% リノール酸 5.6~11.2%
C 組 成		C ₁₄ ~C ₂₂ (C ₁₆ , C ₁₈)	C ₁₄ ~C ₂₀ (C ₁₆ , C ₁₈)	C ₁₀ ~C ₁₈ (C ₁₂)

表 4.2.9 油の圧延性能の実験室的試験方法

大 別	実 験 方 法
物 理 試 験	(1) 比重 (2) 色 (3) 粘度 (4) 引火点 (5) 圧力 (6) 乳化試験 (7) 腐蝕試験 (8) 臭気
化 学 試 験	(1) 酸価 (2) 鹼化値 (3) 沃素価 (4) 残炭 (5) S (6) Cl (7) その他添加物の有無 (8) 焼鈍試験
機 械 的 試 験	(1) 振子式油圧試験 (2) 四球式油性試験 (3) Amsler 極圧試験機 (4) Timken 極圧試験機 (5) Felex 極圧試験機 (6) Almen 極圧試験機 (7) Stick Slip 形摩擦試験機 (8) Orowan と Loos の摩擦試験
塑性加工による試験	(1) 試験圧延機による圧延試験 (2) 圧縮試験 (3) 高速圧縮試験

めた適切なる評価をなし得たものは見当らない。表 4.2.9 は圧延性能の一端でも表わし得るものとして現在行なわれている実験室的方法を示したものである。今日のごとく冷間圧延成品の需要が広範囲におよぶと、万能な圧延潤滑油を望むことはすでに不可能であり、したがってそれぞれの目的に応じた研究が必要となってくる。従来述べられている具備すべき条件はさておき、直接圧延にたづさわるわれわれが日常痛感する圧延潤滑油に対する要求を述べると次のとおりである。

(a) 循環方式で完全なる Mill Clean Strip を確保し得て、しかも圧延可能限界板厚のできるかぎり薄い。(0.25 mm 程度要望) 圧延潤滑油の開発。

(b) 7000 f. p. m 以上の高速圧延および極薄ゲージ(60 lbs/BB 程度)の圧延が可能な圧延潤滑油の開発。

現在冷延鋼板(メッキ用原板を除く)の冷間圧延後の焼鈍工程における焼付き防止と形状向上を目的として、可逆式圧延機および連続式圧延機の最終スタンドに梨地加工のワーク・ロールが使用されている。この場合現場で“ダレ粉”と称している微粉が発生し、ストリップ表面清浄度の劣化・圧延油の汚濁・後続工程における発錆・調圧時の押疵の発生などの悪影響を生じる。これを防止するため一部の工場ではアルカリ電解洗浄を行なっているが、通常冷間圧延最終パスまたはスタンドで Detergent を使用することによつて実用的な清浄表面を得ている。一般に使用されている Detergent は乳濁剤型(Emulsion Cleaner Type)と非イオン活性剤型(Nonionic Surface Active Agent Type)のものであり、後者としてはアルキル・フェノール系非イオン活性

剤を用いたものが比較的多いようである。

圧延潤滑油も 2C.R 方式の出現により再び新しい分野に足を踏み入れたことになる。ブリキの耐蝕性・アイホールさらにメッキ工程からの要求や、45~60 lbs/BB の被圧延材の極薄性、今後の高速化などにより 2C.R 用圧延潤滑油も今後幾多の開発と進歩の変遷を重ねることであろう。

(4) 板厚自動制御 (Automatic Gauge Control)

冷間圧延機における A.G.C はすでに 1930 年代から論議され数々の試みがなされていたが、1955 年(昭和 30 年) BISRA (British Iron & Steel Research Association) 方式が発表されるまで具体的な進展はなかつた。この間の圧延中における板厚制御は圧下と張力の人為調整によるもので専ら圧延手の腕すなち“Skill”に負うところ大であつた。勿論圧延電動機の加速特性や制御方式の改善進歩は加減速中のオフゲージの減少に大きく寄与した。BISRA 方式が実用化されてのち、年をへずして米国の General Electric Co. と Westing house Co. においてそれぞれ新方式が実用化された。図 4.2.9 は A.G.C を使用した場合と従来の人為的調整を行なつた場合の圧延仕上板厚の分布を示したものであり、明らかにゲージ均一性に関して A.G.C の優位を物語っている。

1) BISRA 方式

圧延機自体が一つの弾性体であることから生ずる関係式($\Delta h = F/M + S_0 - h_0$)を利用して、間接的に演算回路より算出される板厚偏差で圧下電動機を駆動し板厚制御を行なわしめる方法であり時間遅れの小さいことが特徴である。

2) 連続式冷間圧延機の A.G.C

一般に連続式冷間圧延機の A.G.C は前段部の粗制御(Coarse Control)と後段部での微細制御(Fine Control)との独立した系統よりなり、それぞれにはまた種なる方法が採用されている。しかしいづれもそれらの組合せの差異であつて現在のところ基本的には表 4.2.10 に示すように分類することができる。図 4.2.10 は連続式冷間圧延機での比較的デラックスな A.G.C の一例を示したものである。

3) ホイラー方式(Wheeler System) 入側自動板厚制御における圧下電動

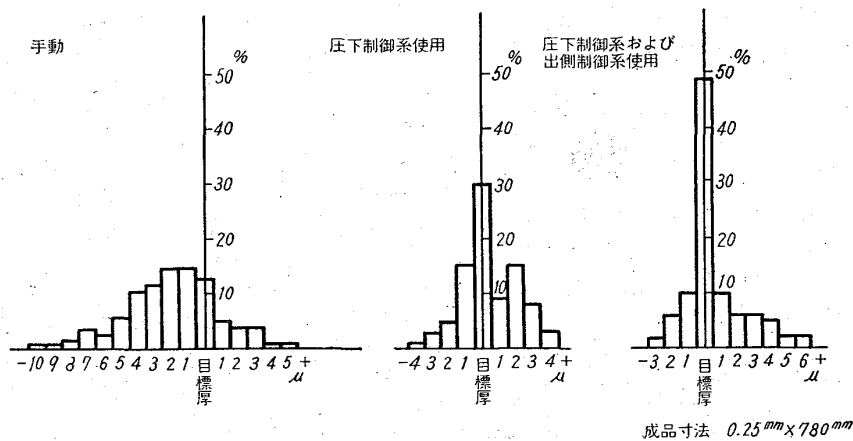


図 4.2.9 自動および手動板厚制御方式の板厚分布図の一例

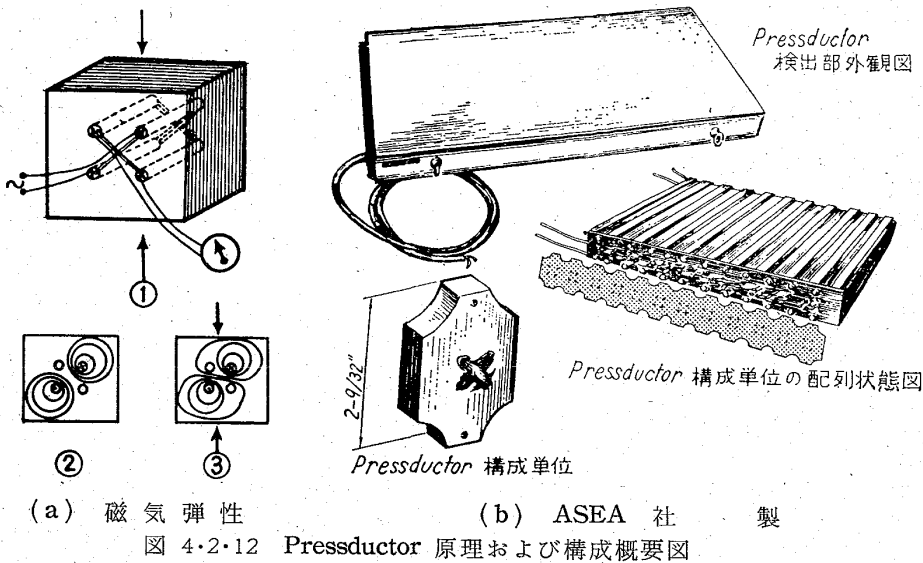


図 4.2.12 Pressductor 原理および構成概要図

性) 型のものである。初期の冷間圧延機にも磁気抵抗型または抵抗線型の歪み計 (Strain Gauge) が設置されていたが、これらは信頼性の欠如・保全補正の困難さなどのためにほとんど圧延作業上実用的なものではなかつた。これらに比してこの“Press Ductor”は充分使用に耐えるものようである図 4.2.12 はこの原理構成を示したものである。

圧延圧力測定装置の開発は自動板厚制御とともに圧延作業の安定化に大きく貢献した。従来、圧延中の圧延圧下力すなわち圧下の設定は圧延作業上の基本的な要素であるにもかかわらず、専ら圧延電動機負荷・ストリップ張力・ロール回転数・多分に推測的な相対圧下量等を目安とした熟練による“勘”によつて決定されていた。これは圧下の的確性を欠き圧延ミス発生の原因ともなつていた。圧下セットを圧下力として直読できるようになりこの種のミスは減少し作業の安定性は著しく向上し、オフゲージ量の減少はもとより形状の良好化が期待できるようになつた。

最近普及されつつあるカラーテレビ受像管のパネルの内側にはシャドウマスク (Shadow Mask) と称せられる極めて条件の苛酷な有孔極薄冷延鋼板が使用されている。これには直径 0.3 mm 程度の穴が規則正しく無数にあけられており、画面の鮮明度を保つため板厚公差は実に 0.001~0.005 mm と厳しいものである。また特殊鋼ではあるが腕時計用ゼンマイの板厚精度は 0.001 mm ともいわれている。かかる精度の圧延はもはや既存の連続式冷間圧延機での多量生産は困難であり、ゼンジミア圧延機さらには超精密特殊圧延機を必要とするであろう。東大生研では3スタンド6段精密圧延機の試作に成功したとも報ぜられている。

電動機による圧下スクリュウの駆動は、慣性が比較的大きくかつ即応性に乏しく正確なる微細調整が困難であるが、この解決法として 1933 年 Mr. W. H. A. Robertson 考案になる油圧圧下装置 (Hydraulic Controlled Roll Pressure) の採用が考えられる。当装置は現在アルミ箔圧延などに採用されているが、近時一般の冷延帯鋼圧延機へも改善された当方法の使用が推奨され

ている。油圧圧下方式の特徴は前述のとおりであるが次の2点は留意すべき事柄であろう。

①スタンドに組込んだままの状態ですぐに圧下力計 (Load Cell) の補正ができる。

②油圧系統を完全な閉塞方式にするか、蓄圧器またはリリーフ回路方式にするかによつて圧延機の状態はかなり異なつたものとなつてくる。冷間圧延機では板厚精度の点から“Hard Mill”すなわちミル常数の大きな圧延機が好ましくワーク・ロールの熱膨張歪によるクラウンの自己修正的傾向をもたらしめるためにも前者が当然であり、調質圧延機では伸び率を一定に

維持するためにすなわち原板板厚の変動や補強ロールの偏心の影響を避けるために“Soft Mill”が望ましく後者が好ましいと考えられる。

(5) ストリップ形状制御 (Strip Shape Control)

計測機器の飛躍的な発展と、A. G. C-Data Logging-Computer Control の一連の自動化によつて冷間圧延も高度の進歩を遂げたが、今日なお作業者の“Skill”に 100% 負わねばならないものに板の形状がある。この人間の判断調整的要素を有する形状調整を今後いかに自動化するかは将来の大きな課題であろうが、現在その調整方法についてすでに 1~2 の研究開発が行なわれている。

局部的な形状不良はさておき、一般に補強ロール、ワーク・ロールの基本カーブが熱延コイルのクラウンや圧延サイズ等の諸条件を充分考慮して定められている以

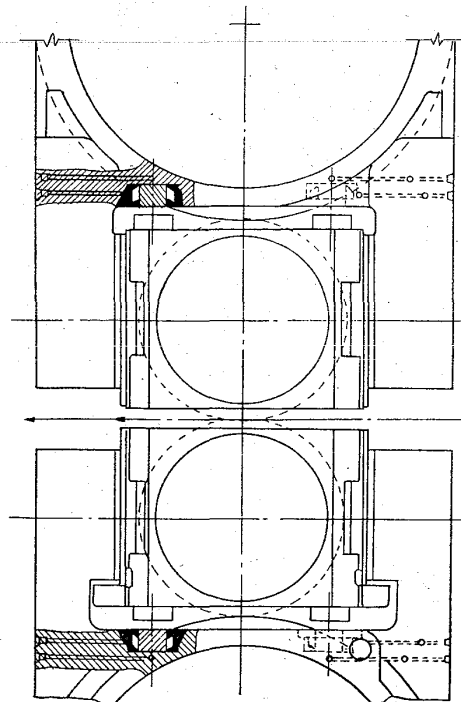


図 4.2.13 油圧ワーク・ロール形状調整装置機構概略図

表 4.2.10 タンデム・コールド・ミルの自動厚み制御基本方式

大分類	調整原理	制御方式	信号検出装置		型式	備考
			測定装置	測定位置		
粗制御	圧下制御	圧下電動機駆動	X線板厚測定装置 ロードセル	#1 または #2 スタンド	連続	
	張力制御	圧延電動機速度制御 (i) 発電機電圧 (ii) 電動機界磁	X線板厚測定装置 ロードセル	同上	間けつ	○圧下電動機はワードレオナード方式 ○最近圧下スクリーナ下プレッシャーブロックに起動トルク減少のためにスラストベアリングを使用
仕上げ制御	圧下制御	油圧作動方式によるスクリーナット駆動	X線板厚測定装置 ロードセル	同上	連続	ボイラーシステムと称せられるもの
	張力制御	圧延用電動機速度制御	X線板厚測定装置	最終スタンド出側	連続	

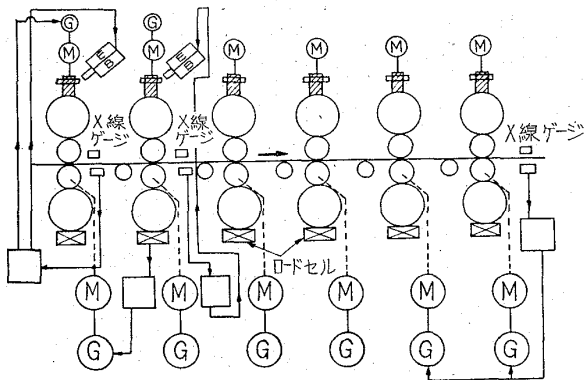


図 4.2.10 自動板厚制御装置概略

機駆動 A.G.C の不感帯内制御すなわち設定偏差範囲内の板厚変動を連続的に制御する方法として近年採用されつつある。図 4.2.11 はこの機構を示したものである。

冷間圧延機の A.G.C の誕生・成長は他の圧延機に比べて比較的早かつたにもかかわらず今なお多くの問題を

有し、熱延コイルの板厚変差・補強ロールの偏心の究明・制御系自体の安定性・検出部特性の改善・さらに根本的な圧延速度および圧下量と板厚変化との伝達函数の解析等の問題を究明することが急務である。

特に諸種の実験で判明したことは、補強ロールの偏心を自動板厚制御以前の問題として解決しなければならぬことである。この偏心量はロールの構造・材質の研究やロール研削組立作業に細心の注意を払うことによつて最小限に喰いとめることは可能であつても、常に零にすることは不可能である。しかも 6000 f.p.m の圧延においては 1~10 cycle/sec の最も始末の悪い外乱となつて A.G.C 制御回路に持ち込まれてくる。この対策として補強ロールの回転に関係した週期性信号を補正信号として使用することによつて消去しようとする試みも数多くなされている。

自動板厚制御装置の検出部として X 線板厚測定装置以外にロードセル (Load Cell) が使用されるが、そのうちで最もよく使用されているものは A. S. E. A 社製の "Press Ductor" と称せられる磁気誘導 (または磁気弾

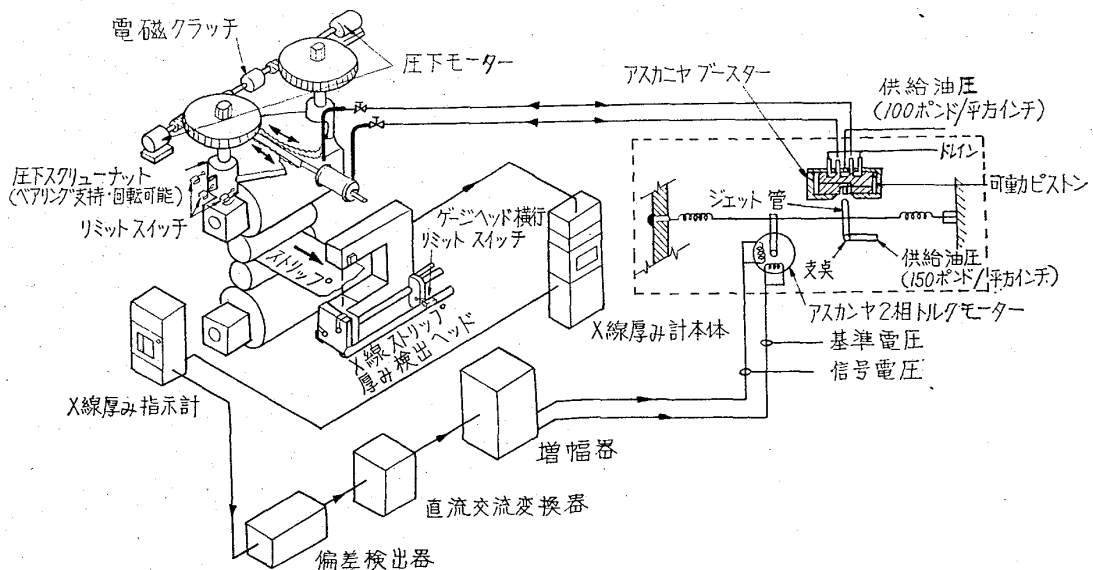


図 4.2.11 ホイラー制御回路

表 4・2・11 油圧ワークロール形状調整装置設置ミル一覧表

会 社 名	圧 延 機 型 式	圧延機寸法 (in)	建設年月
Pittsburgh Steel Thomas Strip Div. Warren Ohio	4-High Cold Red. Mill.	(直径) (長) (幅) 7½ & 19×24	(年) (月) 1960. 8
U.S. Steel, Research Lab.	4-High Cold Red. Mill.	9 & 21×16	1960. 11
J. & L. Steel Corp. Pittsburgh., Pa.	4-High Temper Mill.	20 & 53 × 33	1960. 5
Wallace Barnes Div. Associated Spring Corp. Wallingford. Conn.	Steckel Mill.	3¼ & 20×8½	1961. 9
Bethlehem Steel Lackawanna, N.Y.	4-High Temper Mill.	21 & 48×75	1961. 10
U.S. Steel Irvin Works Dravosburg, Pa.	4-High Temper Mill.	20½ & 48×55	1961. 10
J. & L. Steel Corp. Aliquippa, Pa.	4-High Temper Mill.	19 & 32×42	1961. 12
J. & L. Steel Corp. Pittsburgh, Pa.	2 Stands Continuous Hot Strip Mill. #8 & 10 Stands Also to be added #7 & 9 Stands	26 & 54 × 96	1962. 3
Youngstown Sheet & Tube, Youngstown. Pa.	4-High Temper Mill.	20 & 49×75	1962. 6
Usinor Montatiare Works, France	4-High Temper Mill.	21 & 53×66	1963. 3
Youngstown Sheet & Tube, Indiana Harbor East Chicago. Indiana	4-High Temper Mill.	22½ & 55×56	1963.
U.S. Steel Corp. Fairless Works Morrisville, Pa.	2 Stands 4-High Tin Mill.	21 & 53×48	1963. 3
Armco Steel Corp., Middletown Works. Middletown, Ohio	4-High Temper Mill.	21 & 53×80	1962. 11
U.S. Steel Corp., Gary Sheet & Tin Gary Indiana	2 Stands 4-High Tin Mill.	21 & 53×48	1963. 4
Republic Steel Cleveland Works Cleveland, Ohio	4-High Temper Mill.	20½ & 53×98	1963. 5
Armco Steel Corp., Butler Works, Butler, Pa.	4-High Reversing Mill.	16½ & 49×42	1963. 5
Dominion Fary & Steel Hamilton, Ontario. Canada.	4-High Temper Mill.	21½ & 56×66	1963. 3
U.S. Steel Irvin Works Dravosburg, Pa.	4-High Temper Mill.	20½ & 48×84	1963. 5
Bethlehem Steel Corp Lackawanna Works Lackwanna	4-High Temper Mill. #3 & #5	21 & 49×75	1963. 8
Tennessee Coal & Iron U.S. Steel Corp. Fairfield, Alabama	2 Stands 4-High Tin Mill.	21 & 53×48	1963. 10
Armco Steel Corp., Middletown Works Middletown, Ohio	4-High America Rolling. Mill.	15¼ & 30×80	1963. 12
U.S. Steel Corp., Fairless Works Fairless Hills, Pa.	4-High Sheet Temper Mill.	20 & 53×80	1963. 12

上、圧延中のストリップの形状調整は圧延圧力によるロールの撓みと熱膨張すなわち圧下量と冷却水の調整に帰せられることになる。換言すれば従来の形状調整は最も熟練した圧延手を連続式冷間圧延機では最終スタンドに可逆式冷間圧延機では圧延方向出側に配置し、時々刻々と圧延されてゆくストリップ形状の主観的な肉眼観察に基づいて、位置分割されたロール冷却水バルブの調整と圧下調整によつて行なわれてきたわけである。

ロール冷却水による調整は定性的な要素を多分に含み普遍性がなくかつ迅速性に欠け、圧下による調整は間歇的で微細調整には不向きであるため、微細な形状調整は前述のごとく圧延手の意欲と腕に依存するほかはなかつたが、近年にいたり油圧形状調整装置 (Hydraulic Work Roll Shapping Control) が考案開発され連続的かつ微細な調整が可能となつた。図 4.2.13 は代表的な装置としての Fox Industries Inc 製の作動部分を図示したものであり、表 4.2.11 は当装置の設置された圧延機の一覧表である。この装置は駆動側操作側上下合せて合計 4 カ所に 2 個ずつの Double Action 油圧シリンダーが補強ロール・チョックに設けられ、ワーク・ロール・チョックを通じてワーク・ロールにかかる力を加減調整

し、ワーク・ロールの撓みすなわちロール・カーブの修正を行ないうるようになってきている。さらにワーク・ロール・チョックにはワーク・ロール径に応じて調整可能なネジ込み式スペーサが設けられており、ロール組立時簡単に調整しうるような配慮もなされている。

油圧形状調整装置は今後のストリップ圧延において、形状の調整に大いに役立つものと期待される。

(6) 計算機制御 (Computer Control)

最近の電子工業の発展は目覚ましいものがあり、あらゆる分野の技術革新に大きな役割を果している。なかでも第 2 次大戦直後米国において軍事的な目的から誕生した電子計算機は、当初学術研究用・軍用として使用されるに過ぎなかつたが、1950年にはいり事務処理にその偉力を発揮し従来の経営形態を一変するにいたり、さらに1950年後半にいたつて電子計算機の生産工業への適用すなわち計算機制御が取りあげられるようになり、現在すでに少数ではあるが実用化の域に達している。

生産工業における電子計算機の使用はまだその緒に付いたところであつて事務用計算機に比すれば微々たるものであるが、その包含する広さからいつて将来広く発展を予想される分野であるといふことができる。鉄鋼業に

表 4.2.12 ストリップ工場計算機制御設備設置一覧表

会社名	計算器メーカー	コード No.	制御および調整設備
Aluminum Co. of America (Warwick, Ind.)	Westinghouse Electric Corp.	Prodac-580	Semi-Continuous hot mill
Atlas Steel Co. (Tracy, Quebec.)	I. B. M.	I.B.M.-1720	Sendzimir Mill.
Crucible Steel Co. (Midland, Penna)	Westinghouse Electric Corp.	Prodac-4449	66" reversing Mill.
Inland Steel Co. (East Chicago, Ind.)	Westinghouse Electric Corp. I. B. M. General Electric Co.	Prodac-580 I.B.M.-1710 GE-312	80" hot strip Mill. Galvanizing line. Thin Tin Mill.
Jones & Laughlin Steel Corp. (Aliquippa, Penna.)	General Electric Co. General Electric Co.	GE-412 GE-312	Electric tinning Line. Continuous Annealing Line
Kaiser Steel Corp. (Fontana, Calif.)	General Electric Co.	GE-312	Electric tinning Line
McLouth Steel Corp. (Trenton Mich.)	General Electric Co.	GE-312	60" hot Strip Mill.
National Steel Corp. Great Lakes Steel Corp. (Detroit Mich.)	Daystrom Inc.	Model 46	80" Hot strip Mill.
U.S. Steel Corp. (Pittsburg Calif.) (Fairfield Ala.)	General Electric Co. General Electric Co.	GE-412 GE-412	Electrolytic tinning Line. 6-Stand Cold Mill.
Wheeling Steel Corp.	Westinghouse Electric Corp.	Prodac-580	80" Hot Strip Mill.

おける生産制御もすでに溶鉱炉から電気メッキ装置にいたるまで多くの工程で企画検討され、一部はすでに実用化されている現状である。表 4・2・12 はストリップ関係の米国における Computer Control の企画および実施の状態を示したものである。

前述のごとく冷間圧延機では自動板厚制御装置が早くから開発され、すでに常識的にまで普及されているにもかかわらず、冷間圧延には未知の要素が多くその理論解析も極めて複雑であるため表 4・2・12 に示すがごとくストリップ工場の他工程に比して Computer Control の開発が遅れているのが現状にある。最近にいたつて自動化の前段階的な試みとして冷間圧延機に Data Logger が設置されてきた。わが国でも八幡製鉄戸畑製造所 6 スタンド連続式冷間圧延機に設置されて順調に稼動している。Data Logger では製作番号、コイル番号、寸法、重量、時刻など事務的な資料はいうにおよばず、圧延手から報告される時々刻々の圧延状況やゲージの状況なども

記憶され、圧延終了と同時に自動的にタイプ記録される。これによる人件費の削減はもとより、より一層の品質および能率の管理が可能となり、さらに I.B.M. との直結により事務の合理化は一層強化推進されるであろう。

現在 Computer Control を on-line で使用している冷間圧延機は世界中で Steel Co. of Wales の Abbey Works 4 スタンド連続式冷間圧延機 1 基のみである。近く General Electric Co. の手によつて 2 番目のものが U. S. Steel Fairfield Ala. の 6 スタンド連続式冷間圧延機で稼動する予定である。Abbey Works の Computer Control についてはすでに発表されているが、同文中に on-line で使用することによる効果は次のごとく述べられている。

- a) 板厚の均一化とそれに起因する硬度等の均一化による成品の均一性の向上。
- b) 圧延機のセットミスや圧延中の操作ミスの減少による板破断の減少とそれに伴うロール原価や生産能率の向上。
- c) オフゲージの減少による歩留の向上。

図 4・2・14 は可逆式冷間圧延機について、図 4・2・15 は連続式冷間圧延機についての Computer Control の一般概念を図示したものである。連続式冷間圧延機の Card Programming Control および Computer Control による自動化への道程には今後期待するところ多大である。将来この Computer Control に加えて Auto Threading が実現すれば圧延機の自動化も一応完成の段階に到達したと考えられるであろう。

(7) 結 言

以上過去 10 数年間のコールド・ストリップ・ミルの歴史を顧みて、その力強い歩みのなかに見いだされた主要問題点と現在における問題点さらに将来に対する展望を述べさせて頂いたが、一部私見を交えたところもありご容謝願いたい。他日各位のご批判を願えれば幸甚と考える次第である。

文 献

- 1) 横手：芝共ニユース, (1960), 33
- 2) Iron & Steel, (1964), 5
- 3) Schloemann lists of Reference Rolling Mills,
- 4) PAUL L. McMATH: Iron & Steel Eng. (1964), 6
- 5) J. TOBIN, H. J. Hartley: Sheet Metal Ind, (1963), 2
- 6) EDWARD L. LOYD: Sheet Metal Ind, (1963), 6
- 7) MIROSLAV BRZOBHATY: Sheet Metal Ind. (1962), 5
- 8) 横手, 野村: 塑性と加工, (1963), 4
- 9) Steel Times, (1964), April 10
- 10) Thin Tin "33" (1964), 6
- 11) 曾田: 摩擦と潤滑, (1954), 9
- 12) 平井: 圧延油について, (1964), 3
- 13) 桜井: 金属油剤, (1961), 12

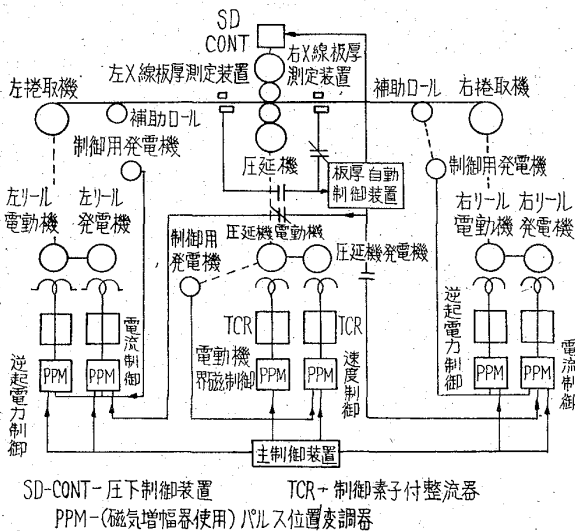


図 4・2・14 可逆式冷延圧延機自動化制御機構簡略図

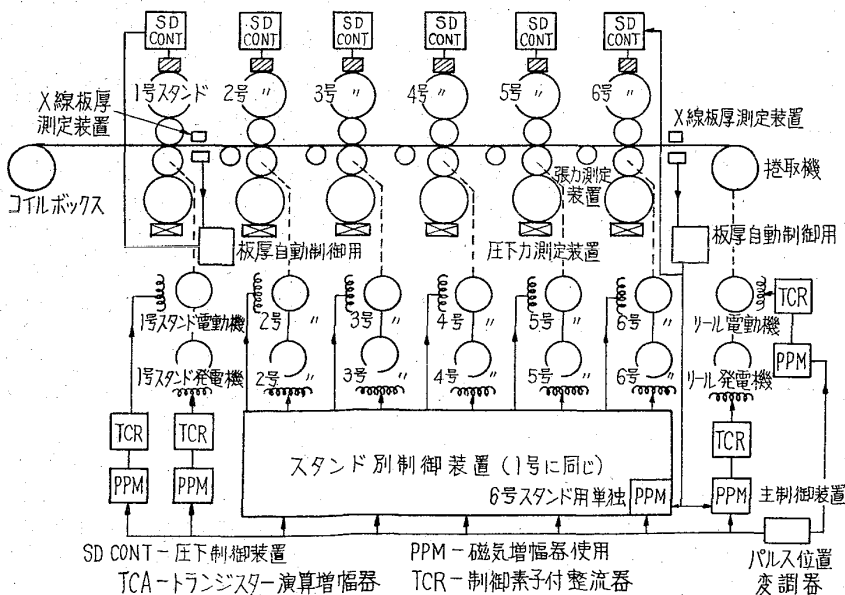


図 4・2・15 連続式冷間圧延機自動化制御機構簡略図

- 14) 精錬洗浄剤について
- 15) W. LUEG, P. FUNKE: Stahl u. Eisen (1957), 25
- 16) R. B. SIMS: (講演要旨) 芝共ニユース, (1960), 23
- 17) 鈴木, 橋爪, 小野: 精密圧延機に関する研究
- 18) 圧延機におけるあるいは圧延機に関する改良; ジョセフピーター・スミス: 日本特許公報 38-12167 (1963)
- 19) 高速冷間圧延機の自動制御: 紙谷
- 20) 17 角形カラー受像管; 鷺尾: 三菱電機, Vol. 34, No. 6
- 21) Fox Industries Inc.: Hydraulic Work Roll Shaping
- 22) Fox Industries Inc.: Contour Control by Roll Shaping
- 23) L. H. LAYLR: U.S. Patent 3077800, (1963) Feb. 19
- 24) 梶原: 日本特許公報 38-14478 (1963)
- 25) プロセス制御用電子計算機; 富士通信・カタログ 説明書
- 26) I. IMAI: Bulletin of JSME, 7 (1964)
- 27) 児子, 古谷, 浅村, 山村: 製鉄研究 (1964) 3
- 28) H. D. MORGAN and M. H. BUTTERFIELD: Control (1962) 11
- 29) M. H. BUTTERFIELD: Computer Control of High Speed Cold Reduction Steel Strip Tandem Mills; (May 1962)
- 30) 杉村, 岸本, 鶴沢, 今井, 古谷: 金属材料 (1962), 7, 8, 9, 10
- 31) 福田: 塑性と加工, (1963), 4
- 32) Iron & Steel Eng. (1958, '59, '60, '61, '62, '63, '64) 1

4.3 線材圧延機

4.3.1 緒言

線材圧延機が、旧来のガレット式、あるいは半連続式などの人力を要する設備に代り、いわゆる近代の全連続式圧延機の出現をみて以来、すでに 10 年の歳月が過ぎた。この間、鉄鋼設備の大幅な増強により世界的に近代設備への脱皮が行なわれ、世界の線材の生産能力は昭和 28 年度の $9,392 \times 10^3 t$ から 37 年度には $14,346 \times 10^3 t$ に飛躍した*。

全連続式圧延機の果たした大きな役割りとして

- (1) 圧延速度の高速化による生産能力の増大。
- (2) コイル単重の増大に伴う歩留の向上。
- (3) 圧延温度の均一化による製品品質の向上。
- (4) 作業人員低減に伴う労働生産性の向上。

などを挙げることができ、単に線材一次メーカーのみならず、線材の末端成品にいたる製造業者も相拮抗して設備の合理化を進め、基礎産業の役割りを十分に果たし、生活文化の水準向上の一翼を担ったといえる。しかし一方においては、急激な設備能力の拡大はメーカー間の国際

* 生産量は共産圏を除く 20 カ国の合計を示す。

的な競争を激化し、品質の向上、製造原価の低減のために従来に増し、研究努力が払われたのは、当然のことといえよう。

わが国においては、日本鉄鋼協会主催のもとに、鉄鋼連盟所属の線材メーカーによる共同研究会は、昭和 24 年以来、年 2 回ずつ開催され、技術資料の交換、実験調査結果の報告、設備の新設改造の発表などを行ない、これら報告の詳細については昭和 29 年に「鉄鋼技術共同研究会報告書」の「鉄材部会報告・第 5 篇・線材圧延」、昭和 36 年に「鉄と鋼」臨時増刊号「鋼材部会線材分科会報告書」としてまとめられている。しかし、それ以後、稼働休止した老朽設備や新たに稼働した新鋭設備はすでに 5 指におよび昨今の消長ぶりがうかがわれる。

本誌においては、全連続式圧延機が、ここ 10 年間、とくに著しい発展をみせた圧延速度の高速化、稼働率の向上、特殊鋼圧延機の増加、製品品質の向上に寄与した諸設備について概観する。

4.3.2 圧延速度の高速化

(1) 概要

線材圧延機の配置の分類は

- 1) ガレット式圧延機
- 2) 半連続式圧延機
- 3) 連続式圧延機 (スウェーデン式)
- 4) 全連続式圧延機 { i) アメリカ式
ii) ドイツ式 }

に大別されるが、今日新設される設備は連続式および全連続式に限定され、いずれの型式においても最終仕上げ速度の向上が認められる。このような圧延速度の向上に寄与した大きな要因として

- 1) 電機設備にトランジスターや SCR など半導体が広く採り入れられ、制御特性が著しく改善されたこと。
- 2) ロール・スタンドにプレストレス方式、油膜軸受、油圧機器によるロールショック、ロールスタンドのクランプ装置が装備され、高速回転に対する振動の発生原因を除去したこと。

などを挙げることができる。

(2) ドイツ式圧延機と電機設備の進歩

電機設備の発展が最も大きく貢献したのはドイツ式全連続圧延機においてである。ドイツ式圧延機は仕上列に垂直、水平ロールスタンドを交互に配列し、スタンド間の鋼材の捻れを避け、各個に駆動されるロールの間にループを形成させ、それを電機的に制御する方式である。垂直、水平交互配置方式が線材圧延機の仕上列に利用されたのは 1953 年 (昭和 28 年) 稼働の Rheinhausen (独)²⁾、昭和 30 年稼働の八幡製鉄光第一線材工場³⁾が先駆をなしたが、当時の最大仕上圧延速度が 24~26 m/sec であつたものが、主電動機回転数の設定値に対する定常偏差、圧延時噛込時の急速負荷による回転速度の低下およびその回復時間が大幅に改善され、36 年稼働の八幡製鉄光第二線材工場⁴⁾、37 年稼働の富士製鉄釜石工場⁵⁾においてはそれが 28~30 m/sec に上昇した。このように電動機の制御性能がよくなつた理由として SCR (シリコン制御整流器) 素子、トランジスターなどが半

導体製品の価格低減、品質向上の恩恵を蒙り、優れた制御特性を認められ広く用いられたことにある。SCRは小入力大出力、高速応性、軽量、耐温性などの特長を有し最近にいたり 200~400 kW の大容量の製造も可能となり、仕上列の各個駆動用主電動機に従来の水銀整流器に代るものとして脚光を浴びている。しかし、これまでの実績では、界磁昇圧機に代る励磁回路電源用、制御回路中の増幅器が主体で、主回路電源用としては仕上ピンチロールあるいは捲線機など 50 kW 以下の直流電動機用で使用されている。また、増幅器には SCR とともにトランジスターの演算増幅器がループ制御回路に取り入れられている。トランジスター式演算増幅器の特長として、トランジスターが電子管や磁気増幅器に較べ時定数が小さく制御性がよくループ制御、サクセシブ制御、速度制御などの信号が同時に加わった時、各信号に相互干渉なく一度に加減算を行ない、確実に制御できるので、設定値に対するループ偏差量を演算し、つぎのスタンド以降の電動機にも同一信号を送り、1個所のループ修正を他のループに影響を与えずに行なう方法も可能となつている。しかし圧延速度が 30m/sec を越えると鋼材尾端におけるムチ打ち現象を避ける技術がまだ完成されていないことが、垂直、水平ロール配置の圧延速度が水平連続配置に較べ劣る大きな理由である。今後、この種の圧延機が発展するには電機制御技術と圧延技術が相まつてループ処理設備を開発することが大きな課題である。

(3) 米国式圧延機とロール・スタンドの進歩

米国式圧延機は仕上列に水平ロールをタンデムに6~8台備え、1~2台の大容量電動機で共通駆動し、2スタンド間で引張り圧延を行なう方式である。この場合、通常、同時通し本数が2~4本であり、引張り圧延とスタンド間での鋼材の捻れなどの点から成品寸法、表面品質におよぼす悪影響があるが、鋼種、成品用途の面から圧延鋼種を選定することにより、高能率な大量生産が可能であり、普通炭素鋼を主体に生産する工場として採用され、米国、日本、英国を主体として世界的に最も多数建設されている設備である。引張り圧延が質的な欠点を有する反面、量的にはループ制御という制約条件がなく、すでに稼働した設備では最高 33 m/sec の仕上速度で運転されているが⁶⁾、今後はさらに高速化の方向にあり、英国においては今年に直径5.5 mm の線を 40 m/sec で圧延する設備が完成される予定である⁷⁾。このような高速圧延が可能である条件として、高速回転体を支えるロールスタンドが堅牢であり、歪や振動に耐えうる構造であること、さらにロールネックの軸受が高速回転に耐えうることなどが要求される。これまで水平連続配置のロール・スタンドは旧来の閉頭式スタンドと構造上根本的な相違はなく、ただ合成樹脂の平軸受に代る転り軸受を、ロールバランス装置に竹の子バネに代る皿バネを取り入れたスタンドが使用されていた。しかし、30 m/sec を越える圧延速度では、ロールスタンドの振動発生を防止する必要があり、圧延機設計技術の進歩により

1) ロール・スタンドには油圧あるいはリンク構造によるプレストレスドスタンドが開発され、圧延荷重の変動をロールハウジングに伝えない方法。

- 2) ロールネック軸受に転り軸受を用いず、耐荷重が大きく、耐摩耗性のよい油膜軸受(モーゴイル軸受)の使用。
- 3) ロール・スタンドのソール・プレートへの固定、ロール・スタンドへのロール・ショックの固定および、ロール・バランスなどに油圧を採用し、構造上の複雑さ、保守の困難さを克服し、堅牢強固な固定方法。

などが達成されたことが、圧延速度を超高速の域に高めた理由といえよう。

4.3.3 稼働率の向上

(1) 概要

ロール運転時間中の生産量の増大と同時に、ロール運転休止時間が大幅に短縮され、稼働率が向上した。その主な理由として

- 1) ロール組替が、スタンドごとの交換方式が発達し少ない人力で短時間に、容易に行なえるようになったこと。
- 2) ロール材質が改善され、カリバー寿命が長くなり、カリバー替や組替頻度が減少したこと。

を挙げることができる。

(2) ロール組替方法の進歩

ガレット式、半連続式圧延機においては、閉頭式あるいは開頭式のロールスタンドが用いられ、ソール・プレートに固定したロールスタンドからロールを軸受箱とともに取り出す組替方式であり、この方式ではロール取替時には、スタンドに付けられたガイド類、バルケンなど付属品の取りはずし、取付けまでを行なわねばならず、多くの人力と取替時間を要した。連続式圧延機においては、ロール組立場においてガイドの取付けまで完了した新しいロールスタンドを組立て、運転休止時間中にスタンドだけを交換する方式が一躍普及した。スウェーデン式圧延機ではロールスタンドに代り、軸受箱自体がハウジングの形態を備える(すなわち、軸受箱より出ているネジ軸に他方の軸受箱を嵌めこみ一体の構造とする)ロール・ユニットが開発され、ロール・ポスト(支柱)に上方からユニットを簡単に入れ換える方式がとられた。また、米国式、ドイツ式の水平ロールは殆んどロールスタンド取替方式となり、ことに最近の設備では組替設備として、コンベヤーを利用した quick changing device とか、スタンドのクランプ、装てんは油圧、または電動機を用い、わずか1~2名の作業者がボタン操作で10~20 min という短時間で組替を行なうことが可能である。しかも、このような油圧によるロールスタンドのクランプ、ロール・ショックのクランプ、ロールバランス方式などは、油圧機器の保守の面で若干の注意を必要とするが、従来のネジヤコッターによる固定方式に較べると、既述のごとく、高速圧延技術に貢献した油圧機器の発達を見逃すことはできない。

(3) ロール材質の改善

連続式圧延技術の発達で、圧延用ロールにおよぼす影響として、平均減面率の低下、冷却水量の増加、圧延温度の上昇および均一化、デスケラーの設置などの面で使用条件が改善されたが、一方においては、

- 1) 粗列の圧延速度は $0.1 \sim 0.2 \text{ m/sec}$ 程度までに下り、しかも多くの圧延機が間隔なく連続的に通過し、ロール表面に熱亀裂が生じやすい。
- 2) 粗列では同時通し本数が $3 \sim 4$ 本にもおよび、大きな圧延圧力を受け、曲げ荷重による折損事故が起りやすい。
- 3) 1 カリバーの時間当り生産量が増加したのでカリバー使用時間、ロール使用時間が短縮し、組替頻度が多くなりやすい。

など、むしろ苛酷な条件が多く、換言すると、連続式圧延機に使用するロールは、耐熱亀裂性、強靱性、耐摩耗性の材質の条件を備える必要がある。ロール製造技術もこれに呼応し、つぎのごときロールが開発された⁹⁾。

- 1) 従来、靱性に乏しかつたアダマイトロールに Cr, Mo, Ti, および V などの炭化物および窒化物形成元素を添加し、強靱性を著しく改善した。改良型アダマイトが粗列用ロールに使用されている。
- 2) ダクタイルロールの製造技術が確立し、強靱性、耐摩耗性、耐熱亀裂性を適度に兼ね備えた材質のロールとして粗列、中間列用ロールに使用されている。
- 3) 二重鋳込法が開発され、仕上列のごとく、表面の高硬度、ジャーナル部の強靱性を要するロールが、合金中抜チルドとして製造されている。

今日、圧延量の増大、圧延速度の上昇により、ロール材質に対する要求度はますます高まりつつあり、一方においては Kocks 式圧延機⁹⁾のごとき、ステライトロールを用いるものも出現し、カリバー寿命が長いことが認められている。今後はロール旋盤やロールグライnderの性能向上と見合った切削性を加味した材質の研究が図られるものと思われる。

4.3.4 特殊鋼主体の圧延機の増加

米国式、ドイツ式と並行してスウェーデンにおいては特殊鋼圧延に適したレピーター式圧延機（スウェーデン式）が出現した。スウェーデン式圧延機はロールスタンドを並列に配し、スタント間に 180° レピーターを備え全スタンド間にわたり圧延機に引張のかからないループ圧延を行なうことを特徴とし、製品品質におよぼす影響として

- 1) 圧延機にはスタンド間での引張力が働かず、各スタンドごとの断面形状を正確に作りうる。
- 2) 同時通し本数が1本で、スタンドごとのロール圧下調整の管理が容易である。
- 3) ローラーガイドを用いるので、圧延機とガイドとの間に摩擦がなく表面きず発生の原因とならない

などが主な長所である。

一方短所として、

- 1) レピーターを用いると圧延機のムチ打ち現象のため圧延速度が約 20 m/sec で抑えられる。
- 2) ループ形成のため圧延機の温度が低下し、とくに特殊鋼はビレット単重が $200 \sim 300 \text{ kg}$ (直径 5.5 mm のとき) に抑えられる。
- 3) 最終仕上速度が 20 m/sec を越えると、案内ローラーの軸受寿命が短縮し、ガイドの取替頻度が増し作業能率が低下する。

など、量的な制約条件が多い。ループ圧延の質的長所を生かし、量的欠点を補う方法として、最近建設される設備は、粗、中間列にレピーター式圧延機を、仕上列にドイツ式の垂直、水平直線配置を取り入れ、特殊鋼の高速圧延化が図られている。その工場例として、Böhlerwerke 社¹⁰⁾、Aosta¹¹⁾、Sammuel Fox 社¹²⁾ 社などがあり、特殊鋼主体の圧延機の新しい型式の方向を示すものといえる。

4.3.5 付帯設備の発展による製品品質の向上

(1) 概要

最近の線材品質が飛躍的に向上した原因には製鉄、製鋼、造塊における冶金学的技術進歩とならび、線材圧延設備の全般にわたる充実、品質管理意識の昂揚、圧延技術の進歩があるが、圧延工程で品質を決定する製品寸法精度、表面きず、スケール量、脱炭、伸線性などの主要項目は、付帯設備、ことに加熱炉および製品冷却装置により品質が左右されることが多い。

(2) 新しい加熱炉設備

新しい加熱炉においては燃焼装置用自動制御装置の設置は常識化されているが、これにより加熱温度の調節、炉内雰囲気量の制御が容易となり、鋼材の均熱、脱炭防止、スケール量減少が可能になった。さらに炉床には従来のスキッドパイプに代り、高アルミナ質系れんが、炭化珪素系れんがのスキッドが特殊鋼用加熱炉に用いられ、炉の熱効率が改善され、鋼材の加熱むら（スキッドマーク）を減少できた。その他、金属レキュペレーター¹³⁾の普及、テルモ式加熱炉の出現などがここ 10 年間の加熱炉発展に足跡を残したが、かかる加熱炉の進歩こそ、今日の特鋼の品質を向上させた大きな要因であるといえる。

(3) 製品冷却設備の問題

線材の最終品質を決定する、仕上げロールスタンド以後の線材冷却設備の革新は、今なお開発途上にある研究テーマといえる。

圧延を終了した線材の冷却段階は

- 1) 仕上げスタンドから捲線機にいたるまでの水による冷却。
- 2) 捲線機における捲取中の空冷、あるいは捲取後の水による冷却。
- 3) 捲取後のコイル移送中の空冷。

の3段階にわたり行なわれ、これら冷却方法が品質におよぼす影響として、線材表面に発生するスケール量の抑制および機械的性質の改良が挙げられる。スケールに関しては、製品歩留、二次加工処理前の酸洗脱スケールの処理時間、酸消費量、脱スケール後の線材表面の光沢、粗さ、色などの商品価値からも、発生量を抑制する方法をとるのが通例である。機械的性質に関しては直径 $5 \sim 5.5 \text{ mm}$ のとくに高炭素鋼 ($0.6 \sim 0.8 \% \text{ C}$) 線材に施されるパテンティング処理相当の効果を得るために冷却速度を大にし、抗張力、降伏点を増し、ソルバイト組織に近い金属組織を得るべく冷却速度の調節が図られている。これらの目的を達成するために、いずれも冷却速度を大きくすることが必要で、しかも鋼種、圧延終了温度、冷却水温などの変化で冷却速度を調節できる必要があ

る。連続式圧延機の通常設備においては、最終仕上げロール出口の線材温度（圧延終了温度）は 900~1,050°C であり、捲線機まで約 1 sec 位の通過時間中に高圧水（5~15kg/cm²）により 700~800°C 程度にまで冷却するが、捲取温度はスケールおよび、機械的性質の面からは低い方が望ましいが、仕上げロールと捲線機との配置関係、その中間に配置するピンチロールの機構、通し本数などの面で捲取温度が制限されることが多い。ことに最近、コイル単重の増加、生産能力の向上が大幅に行なわれる傾向にあり、コイルの冷却能力は低下する一方で、それを補うために捲取中あるいは低速コンベヤ上で強制空冷を行なっている工場例が多い。スケールの減少に関しては、このような設備の強化を行なうことにより所期の目的を達成することが可能であったが、パテント処理相当の線材を得ることは、これまで Roeb-ling's Sons Corp.¹³⁾ をはじめとして諸種の試みが重ねられたが、高速圧延（25 m/sec 以上）では達成することが困難であった。

その理由として

- 1) 高速化された仕上げ速度とつり合った十分な冷却能力や、水温に応じた水量を調節する設備を有する工場が少ない。
- 2) 水冷のみにより変態点以下に急冷する方法では水量、水温の変動で局部的にマルテンサイトを生じつぎの工程での伸線性は逆に低下するので、線材の全長にわたり均一なソルバイト状組織を得ることは困難である。
- 3) 700°C 前後に冷却され、しかも高速で捲取られる線材の温度を正確に測定する測温計が開発されておらず捲取温度の管理が困難である。

などの点があり、高炭素鋼線材の機械的性質を圧延工程において熱処理相当の材質に向上させることは、各社が多額の熱意を払っているにも拘わらず、未解決で残る問題といえよう。

4.3.6 結 言

全連続式圧延機が線材圧延機として採用され、十有余年になり、この間に達成された大きな成果として、

- 1) 圧延速度の高速化
- 2) 稼働率の向上
- 3) 特殊鋼圧延機の増加
- 4) 製品品質の向上

を取り挙げ、発展の根底を流れる各分野を概観した。その結果、今日の線材圧延設備は、半導体製品を中心とする電気機器、油圧機器、軸受設計、ロール製造、自動制御装置、れんがなど多くの分野での技術革新の結集が圧延機設計技術と結びついて誕生し、現場作業の習熟により育成され、今日の技術が結実していることと同時に、あらゆる、分野の技術が日進月歩の発展途上にあることを確認した、今後は、線材メーカーが、圧延機メーカーおよび各業界メーカーと相携えて研究に当たり、国際競争に負けない圧延機、線材を造ることを心掛けねばならない。

文 献

- 1) 国連「鉄鋼統計 4 半期報」ドイツ鉄連「鉄鋼統計

4 半期報」

- 2) W. SCHULZ: "Wire" English Edition No. 42 (1959) p. 94 など
- 3) 太宰: 製鉄技報, 220号 (1957) など
- 4) 太宰, 原田, 中川: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 211 など
- 5) 大沼, 前田, 江口, 大塚, 川添: 富士製鉄技報, Vol. 12, No. 1, p. 35
- 6) Blast Furnace and Steel Plant 47 (1959), p. 846
- 7) 「訪英鉄鋼視察団報告書」(日本鉄鋼協会)
- 8) 益子: 金属学会会報, Vol. 1, No. 6, p. 400
- 9) H. JUNGK, J. KRÄTZER: Stahl u. Eisen, 82 (1962), Nr. 22, S. 1512 など
- 10) G. BERSA: Stahl u. Eisen, 81 (1961), Nr. 9, S. 572
- 11) H. MULLER: Stahl u. Eisen, 78 (1958), Nr. 22, S. 1611
- 12) HANSELMAN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 42 (1964), p. 42
- 13) D. LEWIS: Wire and Wire Products, 32 (1957) 10, p. 1179

4.4 鋼管製造技術

4.4.1 継目無鋼管

(1) 概 説

わが国の鋼管生産高は着実に伸びており、とくに最近 5 年間の伸長が著しい。図 4.4.1 は主要各国の生産高

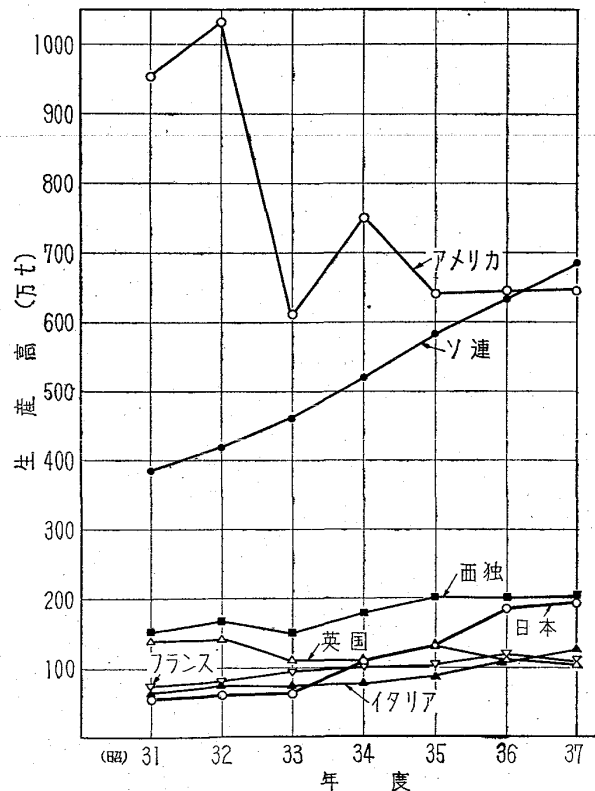


図 4.4.1 主要各国の鋼管生産高の推移

推移を示す。米国とソ連は別として、わが国と西独とは第3位を競っており、昭和38年度はおそらく西独を抜いたはずである。また全鋼材に対する鋼管の比率は図4.4.2に示すように、わが国は諸国中の最低である6.5

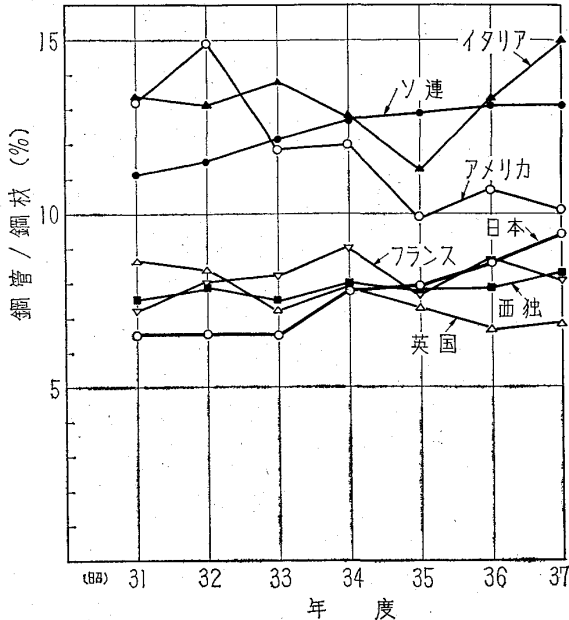


図 4.4.2 主要各国の鋼管/鋼材比の推移

%からはじまつて逐年上昇し、37年度は9.5%に達した。この比率は国情によつて異なるが、図4.4.2の傾向から見ると10%以上となつてもよく、したがつてわが国の鋼管生産高はなお伸びるであろうことが予想されている。

ところで、わが国のこの生産高上昇は、ほとんどが溶接鋼管の設備の増加によつて行なわれた。これはわが国

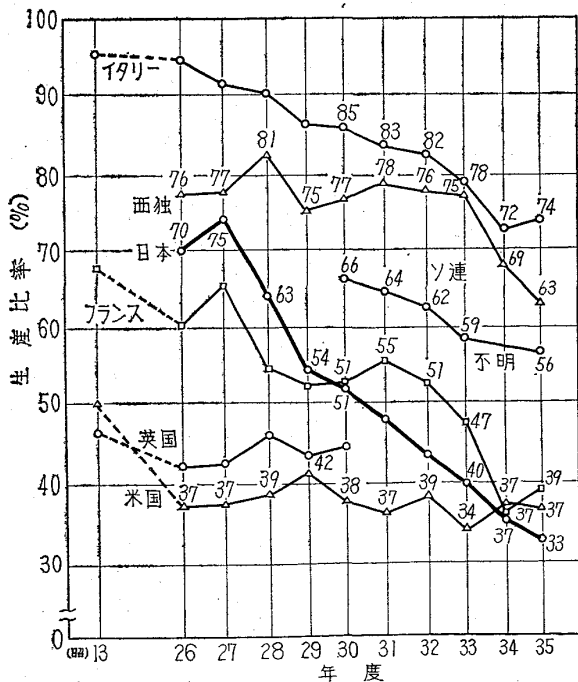


図 4.4.3 主要各国の継目無鋼管の比率 (普通鋼鋼管についてのみ)

だけの特長ではなく世界各国共通の現象であるが、図4.4.3のようにわが国はとくにこの傾向が著しいのである。10年前には継目なし鋼管の比率が70%台であったものが、35年には35%となり、主要各国中の最低の比率となつた。最近では、さらに低下して20%台になつて見られる。すなわち、継目なし鋼管は相対的に明らかに衰退しているわけであつて、過去10年間の継目なし鋼管の装造技術の発達はこの背景のもとに行なわれたものであることを見逃してはならない。

つぎに主要各国の継目なし鋼管設備数を型式別に比べると表4.4.1のようになる。ここで明らかに見られるこ

表 4.4.1 各国別継目無鋼管設備数

	米国	独	英国	仏	伊	加	ソ連	日本
Mann. Plug Mill	37	9	1	6	2	1		4
Mann. Pilger Mill		11	8	9	19			1
Assel Mill	6	2	1					
Ugine Sejournet	4	1	4	3	1			4
Ehrhardt								2
Push Bench	1	8	1	2	3	1		
Crank Press		3			1			1
Cont. Mill	7				6	1		
Discher Mill	2							
形式不明のもの							22	
計	57	34	15	20	32	3	22	12

とは、日本は鋼管生産高では世界第3位になつたが、継目なし鋼管設備については台数も少ない。また型式も、近年建設した熱間押し法を別にすれば、マンネスマン式に偏つてゐることである。これは前にも述べたように、近年の発達が生産鋼管設備の増加によつて行なわれ、継目なし鋼管は基本的には10年前の型式をもととして設備の工夫・改良によつて行なわれたことを意味している。

(2) 継目無鋼管と溶接鋼管の比較

継目なし鋼管の今日の状態を知るためには溶接鋼管と特長を比較しておく必要がある。溶接鋼管が近年著しく伸びた理由は継目なし鋼管に比べてつぎのような利点があるからである。

イ) 生産トン当りの工場建設費が安い。かりに4in以下の小径鋼管を製造する工場を建設するとして、各種製法の場合をごく大略に見積ると表4.4.2のようになる。また16inから14in程度の中径管の工場を比較すると表4.4.3のようになる。いずれの場合も、製品トン当りの建設費は継目なし鋼管は溶接鋼管の4ないし7倍におよんでいる。製品の価格差を考慮に入れてもなおかつ比較にならない高価さである。したがつて単に生産能力を増やそうと考えるとき、品質と用途の上の制約を度外視するならば、溶接管工場を建設するのは当然のことといえる。

ロ) 製造作業費が安い。製法による差はいろいろあるが、概していえば、変動費としては燃料費、固定費と

表 4.4.2 小径管 (4" 以下) 製法別建設費、生産能力の比較

製 法	生産能力 (千 t/年) (A)	建設費 (億円) (B)	B/A (円/t)
継目無管	96	40	41,700
電縫管	48	5	10,400
電縫管+絞り	100	13	13,000
鍛接管	150	20	13,300

(注) 建設費は建家を含む概算価格である。

表 4.4.3 中径管 (16"以下) 製法別建設費、生産能力の比較

製 法	生産能力 (千 t) (A)	建設費 (億円) (B)	B/A (円/t)
継目無 (マンネスマン プラグミル)	120	100	83,000
電縫管	150	25	16,700

(注) 建設費は建家を含む概算価格である。

しては人件費が、溶接管に比べて他の方法は明らかに大きい。これは製法の本質的な差として最後まで残るものであろう。

ハ) 素材が安くかつ生産量が大きい。溶接管はホット・ストリップ・コイルを、継目なし鋼管は圧延鋼材を素材とする。日本のようにホット・ストリップ圧延法の発達がとくに著しい国では、ホット・コイルのほうが低い原価で製造しようと考えるのが普通であり、また生産系列としてもホット・コイルの消化源として溶接管の生産を促進することになるのは当然であらう。

ニ) 偏肉その他がない。継目なし鋼管の場合、偏肉(外周と内周の偏心)と内面の縦すじその他の工具きずが、ほとんど縮命的な欠陥ともいえるありさまで、多くの努力にもかかわらず完全には除くことができない。ところが、溶接管はこのような点では、問題にならず、品質上優れている。反面、溶接管にはつぎのような弱点がある。

イ) 溶接であることの弱点。建材のように強度部品として使用するとき、このことは問題にならないが、配管用としてとくに高温高圧などの厳しい条件の用途に用いるときには、100% 完全であることを要求される。溶接管の製造技術がいかに進歩したとはいえ、溶接部は常に破壊の原因となる危険を有している。このようなことを防ぐためには、製造上の細心の注意と、信頼できる非破壊検査が必要であり、現段階では継目なし鋼管に比べて溶接鋼管は信頼度と歩留りの点で問題がある。

ロ) 溶接では製造ができない品種がある。第1に厚肉の鋼管がある。現在、溶接管は、外径対肉厚比が10対1までは問題がなく、最近の努力によつて6対1程度までは可能という情報もある。図 4.4.4 は継目なし、溶接両方法での製造可能な寸法範囲を示した、この図から高圧用の厚肉管に対するの継目なし管の優位は明らかである。第2は合金鋼管である。最近の高周波溶接技術によると、合金鋼・ステンレス鋼なども製管可能といわれているが、現実にはまだ生産の段階にはいたっていないから、継目なし製管によらなければならない。

以上のように考えれば、高級用途の鋼管、すなわちボイラ用、化学工業用、石油採掘用、機械部品用などには継目なし鋼管が優れている。

さてこのように溶接管に対する利害得失を眺めてみると、そこにおのずから継目なし鋼管製造技術の向うべき方向が明らかになってくる。すなわち、その欠点を克服して長所を伸ばすというべきであつて、それによつて一方では継目なし鋼管独自の分野を確保して需要にたえ、他方では溶接管との厳しい競争に対抗しようとするものである。最近10年間の継目なし鋼管製造技術の進歩も、要するに、以上のようなことに対する努力であつて、それらにはつぎの3項目に要約できると思う。

イ) 製造原価低減への努力。とくに一般の炭素鋼管の場合。

ロ) 継目なし鋼管特有の品質上の欠陥を除く努力。

ハ) 高級鋼管としての複雑多岐にわたる用途のための、いろいろの品質上の要求に応じた鋼管を製造する努力。

イ) および ロ) は主として溶接管との対抗策であり、ハ) は独自の分野の開拓と確保ということになる。以下、それぞれの項目について、技術上の発展を概観してみる。

(3) 原 価 低 減

圧延の場合、最も有効な原価低減対策

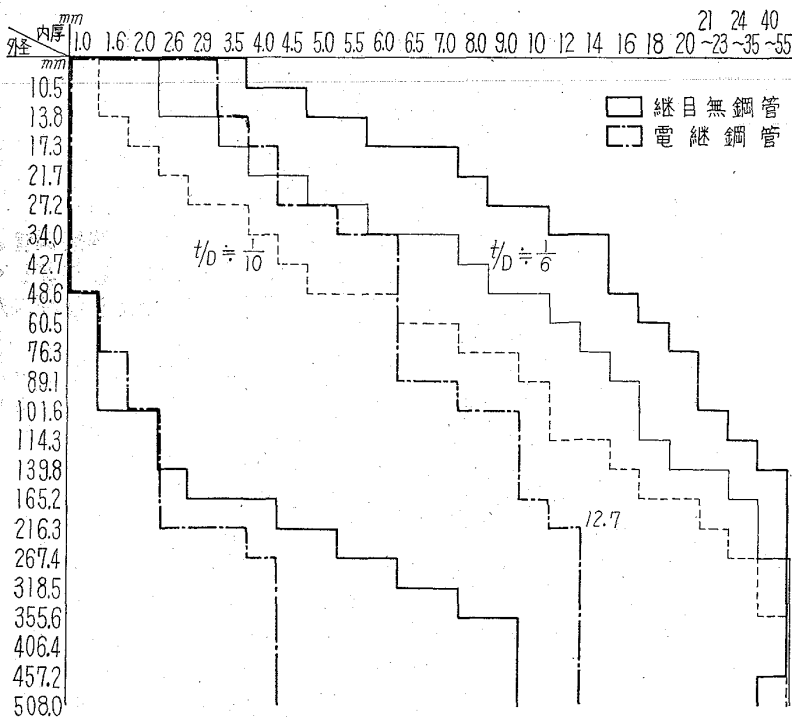


図 4.4.4 継目無鋼管と電継鋼管の可能寸法範囲

は時間当りの圧延量をあげることに、および作業人員を減らすことにあるのはいうまでもない。継目なし鋼管の場合もこの点に努力が集中された。

イ) 時間当りの製管量 (t/hr) 増加の対策. t/hr は時間当りの製管本数 (pc/hr) と管 1 本当りの重量 (wt/pc) の積であるから、そのおのおのを大きくする努力が払われた。わが国に多いマンネスマン・プラグ圧延方式を例にとると、pc/hr を上げるための第 1 の手段は、穿孔速度を上げることであるから、ロール径と回転数を大にし、ロールの表面速度を上昇させ、またロール軸の傾斜角を増加させ、結局穿孔速度が 1.5 ないし 2.0 倍になった例もある。穿孔機—圧延機—磨管機と連なる。各機の実力のつり合いを詳細に調査して、隘路を解決したうえで、圧延 1 本ごとの間隔を極力つめる努力も行なわれた。これらの結果、pc/hr は各社とも 10 年前の 2 倍にはなっているであろう。さらに wt/pc を増すためには、製管 1 本当りの長さを大にすればよいが、一般に長尺になるほど製管のきずが生じやすくなるから、穿孔、圧延の技術の向上、熱間工具類の改善が必要となる。わが国の各社は長年の努力を続け、圧延設備上可能な限度ともいべき長さとなっており、11 ないし 14 m である。現在では、圧延機自体の改造によつて、圧延可能な長さをさらに長くしようとしている。小径管は当然長さ当りの重量が小さくて能率上不利であるので、4B ないし 5B 程度の素管をストレッチ・レジャーサにより絞る方法がとられるようになった。この点では、近年の高能率のストレッチ・レジャーサの発達が目覚ましいものがあり、マンネスマン穿孔方式のみでなく、あらゆる製管法ののちに設備して、小径管を能率よく製造する方法となつていく。

このようにして t/hr を上げると、当然ながら最初の加熱能力は従来の上までは不足するので、旧式の傾斜炉床式の加熱炉は改造によつて、容量を増加することが行なわれたが、それもやがて限界にきて、別の形の炉を造るようになっていく。回転炉床炉の採用はその代表的なものであるが、反面燃料原単位は高くなつていく。

ロール組替時間の短縮についてもかなりの努力が続けられた。圧延機自体の設計を変更して、ロール組替時間を短くする例は、わが国にはまだないが、例えば、1957 (昭和 32 年) にカナダにおいて造られたマンネスマン製管機を用いた中径管工場では、この点に新しい工夫が行なわれて注目されている。すなわち、プラグ圧延機は単一カリバー式にし、さらに定型機、レジャーサを含めてすべてスタンドごと全体をべつべつに固定して、ロール上にのせて入替える設計にしたため、全段の組替え時間は数 10 分で完了するといわれている。

ロ) 人員の減少。操作の自動化によつて所要人員を減らす努力は各社とも行なつていくが、とくに新設工場ではこのことが大きな特長となつていくところが多い。例えば 1945 年 (昭和 20 年) National Tube 社が建設した連続圧延機は、2B 以下の小径管を高能率で製造し、フレツ・ムーン式鍛接管と競争しようとしたものであるが、当時すでに、材料装入から冷却床仕上げまでの全工程に数名の作業員ですむといわれた。前に述べたカナダ Mannesmann 社の設備では材料装入から仕上げまでの

全工程に、原則的には作業員は 1 名もいないということである。実際には不時に備えて要所に人員を配置してはいるが、今後の新設工場は当然このような方向に向うべきであろう。しかし、このような努力にもかかわらず、継目なし鋼管工場全体の所要人員は必ずしも減少していない。それは需要側の要求条件が年々高まつていくため、製管後の仕上げおよび検査などに必要な人員が増加するためである。

ハ) 素材費の低減。鋼管製造における原価構成上、素材の占める部分は非常に大きいから、これを低減できれば、その効果は大である。溶接鋼管に対するホット・ストリップがそのよい例である。継目なし鋼管の素材である圧延鋼材の原価と対しても当然努力が払われるべきである。この点でも各社それぞれの工夫があるが、継目なし製管では苛酷な加工が行なわれるため、素材の品質が悪ければ、きずを生じやすく、また用途が高度であるため材料に対する要求も高いので、原価が上昇しやすい要素が多く困難な問題である。工程の合理化による原価の低減へ各社とも努力しているが、製管歩留りの向上が効果が大きいこともあり、圧延鋼材の原価と製管歩留りを常に総合して考えていかなければならない。

しかし、今後の継目なし鋼管の発展の鍵がこの点にあることは間違いがなく、例えば、発展が予想されている連続鑄造法の適用による素材原価の大幅な低減の可否や、造塊法と製管法の工夫の組合せによつて素材の表面切削工程を省略しうるか否かなどに期待がかけられている。

(4) 品質および欠陥への対策

継目なし鋼管はその製造法のために、宿命的ともいえる問題点があることはすでに述べたが、現在それらは実際上差支えない程度にまで解決されている。しかし常に問題をはらんでおり、すべて継目なし製管法の改良発達における目標の 1 つである。

1) 偏肉および偏心

丸鋼から中空材に移る際、いかなる製管法による場合も偏心を伴うことは避け得られない。熱間仕上げ鋼管の規格では偏肉は $\pm 15\%$ 以下と規定しているが、 $\pm 10\%$ 程度を常に確保することが要望されている。この対策として、例えばマンネスマン法では、最初の穿孔工程で偏肉がほぼ決定されるので、穿孔機に対する努力が払われた。素材の丸鋼の加熱を十分に均一にすること、穿孔ロールをローラー軸受で強固に押えると同時に、上下の案内盤の位置に注意を払つて、いわゆるパス中心を安定させること、穿孔中の変形状況が合理的になるようにロールとプラグの形状を修正することなどが、対策として効果があつた。また穿孔心金を支える芯棒の振動を抑制するために、自動操作の芯棒抑え機構もこの目的で採用されるようになった。

プレス押し出しなどにおいても、かつては偏心が大きかったことが大きな欠点とされていたが、加熱法の改良、予備穿孔の実施などによつて、現在ではマンネスマン法よりもかえつて成績がよくなつていく。

2) 内面すじ疵

マンネスマン法特有の問題であり、穿孔に続くプラグ圧延の工程で、芯金を中心において強い圧延を行なうた

めに芯金が管の内面に軸方向のすじ疵をつける。これは、つぎの磨管工程でならして消すようになっているが、時には残存する。このすじは工具のつけたものであることは明らかであつても、流体の流れを妨害して局部腐食の原因となつたり、あるいは応力集中による破損の源になりうるという理由で、需要者に好ましくないとされる。内面すじ疵の発生の原因は芯金とロールの間で管に加えられる強い圧延であるから、発生を防止するためには当然プラグ圧延機の圧延度の軽減、芯金材質の改良および適当した潤滑剤の採用などのことがらが行なわれた。プラグ圧延機の圧延度を下げようと思えば、その分を穿孔機で引受けて、ここで一挙に薄肉に穿孔しなければならぬ。いわゆる薄肉穿孔法であつて、約10ないし5年前に各社で行なわれ、現在では技術上はほぼ完成している。このような努力によつて、現在の製品は10年前に比べて内面すじ疵は非常に少なくなつてゐる。外国の製品と比較して、この点でわが国の製品は明らかに優れていると考えられる、しかし、内面すじ疵を完全に防ぐことはできないので、根本的な解決法としては、プラグ圧延機を使用しない製管法が注目を引くようになってゐる。すなわち、芯金をなかに挟んで圧延する連続圧延法(continuous mill, mandrel mill)、プッシュベンチ法(push bench mill)あるいは穿孔のときに芯金を使用して長い管を最初に作つてしまう熱間押し出し法などである。これらの方法は他にも多くの特長を有しているが、内面すじの心配がないことはたしかに大きな利点であつて、ヨーロッパの新設工場においては最近すべてこの方式を採用している。ドイツのPhönix-Rein-Rohr、イタリアのF. I. T.のcontinuous millがその好例であつて、いずれも6B以下の小径管用ではあるが、ストレッチ・レジューサを後につけて高能率にして高品質の製品の製造を期待している。わが国でも今後はこのような方向をとるものと考えられる。

3) 材料疵の発生

継目なし鋼管の第1の特長は信頼性にあるべきである。したがつて完全に信頼できる製品として材料疵などは存在しないことが期待される。これに応じるために製管工場は、長年にわたり非常な努力を重ねてきた。すなわち、いかにして疵のない鋼管を確実に製造するか、またかたに疵が発生しても、非破壊試験などによりいかにして間違いなく除くかということが、継目なし鋼管にとつて最も重要な問題であるといつてよい。わが国の継目なし製管法は、マンネスマン方式が主流であるが、この場合は割れ疵はほとんどすべて最初の穿孔機で発生する。したがつて、まず疵の発生防止対策として、穿孔変形の解明が行なわれ、その結果より円滑な変形が行なわれるようにロール形状、芯金形状その他が改良され、穿孔中の疵の発生率は大幅に低下した。また製管用素材も穿孔中に割れ疵を発生し難いように、製鋼法その他が研究された。丸鋼が穿孔によつて鋼管になる過程で割れ疵が発生するのは大小の非金属介在物が端緒であるから、これをいかに少なくし、またあつたとしても無害になるように分散させることが研究改良の主眼であつて、製管工場と製鋼工場の間で長い期間にわたつて統計的あるいは実験的研究を行なつて、近頃は著しく改善されて

きた。しかしながら、多量に製造する鋼管の疵を全くなくすることはできないから、有害なる欠陥は間違いなく発見し、重要な用途の製品としては絶対に出荷しない検査態勢の確立がつぎの問題となる。

また、マンネスマン穿孔機が疵を発生しやすい製管法であることは原理上明らかであるので、これに代つてより安全なプレスによる穿孔法を利用することがふたたび考えられはじめた。プレス方式は古くから存在する製管法であるが、生産能率が低いため旧時代のものと考えられていた。したがつてふたたび近代化して採用するに当つては高能率化の工夫がこらされている。ドイツにおける熱間押し出し法、機械プレス法、プッシュ・ベンチ法、あるいはイタリアにおけるプレス穿孔法、マンネスマン式伸長機(elongator)を使用する方法がこの例であつていずれも割れ疵を防ぐ方法として効果があると考えられる。わが国でも今後継目なし鋼管設備を新設する場合には当然考えられるべき方式であろう。

(5) 高級鋼管製造への努力

高級な用途に使用するために、継目なし鋼管にはいろいろな要求が生まれ、それらをこの10年間につぎつぎと解決してきたが、まだ解決の途上にある問題も多い。おもなるものを以下に述べる。

1) ステンレス鋼管合金鋼管の製造

最近の最も著しい発達はステンレス鋼管の製造である。10年余り前に、18-8系ステンレス鋼の鋼管を製造する要望が生まれたときには、マンネスマン穿孔機にかけると大部分は使用に耐えない割れ疵が発生し、ひどい場合は穿孔不能の有様であつた。以来、素材の成分配合、管材の加熱法、穿孔機の調整方法などに、当時の鋼管技術を傾注して、ようやくにして穿孔が可能となつた。

しかしステンレス鋼は高温における変形抵抗が高いので、穿孔中のガイド・シューや芯金の摩耗のはなはだしく、また穿孔速度も落さねばならないので、能率は著しく低かつた。その上穿孔後酸洗した表面に、微細な割れ疵が多数発生することが多く、ほとんど全面を研削手入れする有様であつた。この時代には、穿孔調整法におけるあらゆる工夫とともに、熱間ねじり試験を鋼種ごと、溶解ごとの穿孔性の判定に用いて作業管理を行なうとか、ステンレス鋼の細部にわたる組成と穿孔性の関係を明らかにするなど、マンネスマン穿孔技術のすべてを発揮した感があつた。しこうして、この方法で当時18-8系ステンレス鋼鋼管をわが国全体で100t/日程度生産していた。

ところが、製管法の画期的変革はSejournetの特許によるガラス潤滑を使用した熱間押し出し法の導入によつて行なわれた。この方法によると18-8系ステンレス鋼の製管が容易である上に、表面の微細割れ疵は発生せず、ほとんどあらゆる鋼種のステンレス鋼およびさらに高級の合金鋼の製管も可能になつた。ただこの方法は、表面切削を必要とし素材歩留りが悪いこと、加熱費が大きいこと、および生産能率が比較的低いことなどの理由によつて、ステンレス鋼のような高級鋼でなければ有利な運用ができないことが悩みである。

合金鋼鋼管の他の問題としては、Cr-Mo鋼系耐熱耐

酸化鋼、Cr 鋼系その他の構造用鋼が主であるが、これらの鋼種についてはマンネスマン法による製管そのものには元来問題でなかつたが、十分な強度を得るための熱処理法に改良研究が行なわれたが、とくに Cr-Mo 鋼系の鋼管の高温クリープに対しては今後に残された問題が存する。

2) 冷間仕上げ法の発達

高級用途の鋼管では当然寸法精度、表面平滑度、機械的強度などに対する要求が厳しいから、これらを満足するためには冷間引抜きまたは圧間圧延のような冷間仕上げを適用することになる。このような要求を熱間仕上げのままでは満足すれば原価上有利なことは明らかであるが、そのために歩留りや能率が低下したり、あるいは手加工を要するならば、冷間仕上げを能率化して安価で行なうようにした方がかえって有利となる。このため冷間仕上げ法の改良に努力が払われた。その方向は熱間製管と同様に、能率向上による単位時間における加工量の増加と作業人員の減少とである。

冷間引抜き機はつかみ装置を自動戻り式にするなどの工夫により、1 台当りの作業員は 1 人が普通のこととなり、さらに大型化した引抜き機では同時に 2 本あるいは 3 本を引抜けるようになって、作業員 1 人当りの引抜き量が増加している。引抜き速度も最高 15 m/min であつたが、30m/min にまで上つており、また引抜き得る最大長さも 10 m 程度から、15 m あるいは 20 m におよぶものもある。このような発達のかけには潤滑法の進歩は顕著なるものがあり、そのために製品に疵をつけないで強荷重をかけることができるようになったのである。現在の潤滑法は、燐酸塩皮膜を下地としてステアリン酸石鹼を潤滑剤として用いるようになってきている。

冷間仕上げの主体は引抜き (drawing) であるが、冷間圧延による方法 (cold-reducing) も一部で用いられるようになった。冷間引抜きの断面減少率は最大 40% 位までであるが、これによると 75% にも達するので中間の軟化焼鈍を省き得るし、また芯金上での圧延であるから内面仕上りの平滑度がとくによく寸法精度もよい。しかし機構上能率はよくないので、一般用としては原価高となり、おもにステンレス鋼管に用いられている。

冷間仕上げには中間焼鈍と最終熱処理に加熱工程が必要であるが、熱処理炉の向上も目立つことである。従来のバッチ型の炉からローラによる鋼管移動式の炉にほとんどが置き換えられた。これによつて均一加熱になり、また不要なスケールの発生を防げるようになったが、さらに進んで無酸化雰囲気中で加熱してスケール発生を防ぐようになってきている。

3) 検査法の進歩

鋼管はすべての場合に欠陥のないことを要求される。継目なし鋼管の特長を十分に発揮して、高温高圧のもとなどで多くの装置工業に使用するとき、1カ所の欠陥のために装置全体が機能を停止し、引いては全工場が停止する懸念が考えられるので、欠陥はあらゆる方法をつくして検査して廃除することが必要である。このため、目視検査よりも信頼度の高い非破壊検査へ検査の主力が移りつつある。非破壊検査の発達は工業全般におよぶものではあるが、鋼管の場合は形状が円形で、時にはごく小

径のものおよび薄肉であることもあり、板および棒などに比べて応用に難しい点がある。このためにまず比較的容易で能率もよい磁粉探傷が導入された。この方法は表面近傍の疵に対しては有効であるが、内部に含まれた疵には無力であるので、超音波探傷あるいは渦流探傷法による傾向にある。超音波探傷法は現段階では最も希望をかけられているが、能率的でないことおよび判定基準が必ずしも確かでないことと理由によつて、まだ満足とはいえない。渦流探傷法は鋼管をコイル中を通過させるだけでよいために能率上は好ましいが、感度および精度など確実性にやや難点がある。現在重要な用途の鋼管には、超音波、渦流、磁粉などあらゆる非破壊検査法を動員している感があるが、全体的に見るとまだ決定的に信頼し得る検査法は確立されておらず、今後さらに研究し実用化する必要がある、これが継目なし鋼管の地歩を固める上に、大きな支えとなることは疑いをいれない。

従来から鋼管の検査法の基準と考えられていた水圧試験は今日でももちろん行なわれており、水圧試験機も能率的に、またできるだけ小人数で行なえるように改良発達が行なわれた。しかし一般的にいつて、溶接管の場合は比較的薄肉であるので、材料の降伏応力に近い内圧をかけ、これによつて溶接不良個所が発見できる例も多いので、水圧試験は実用上にかなり重要性があるが、継目なし鋼管の場合は厚肉管が多いため、水圧により発生する応力も比較的低い値で止める場合が多いから、水圧試験は形式的になることがある。したがつて継目なし鋼管の検査法としては、むしろ非破壊検査の能力をますことが今後採らるべき方向であろう。

(6) 製管機械

以上に述べたようにわが国の継目なし鋼管界は多年にわたる努力によつて、量的のみでなく品質的にも世界の一流品を製造するようになった。しかし新しい製管法を自ら開発するという点では、まだ何もないといつても過言でない。現在、精製検査などの補助機械はほとんど国内製品となつたが、主機械は依然として輸入にたよつており、したがつて製管法の相談相手は米独などの機械メーカーであるという事実は何といつても遺憾なことである。つぎの 10 年間には、このような状態から脱却することが望まれる。

4.4.2 溶接鋼管

(1) 溶接鋼管の生産量の増大

最近における溶接鋼管の生産量の伸びには、著しいものがある。継目無鋼管と溶接鋼管とについて、最近 10 年間における生産量の伸びを見ると、継目無鋼管が、10 年前に比して 2.9 倍となつたのたいし、溶接鋼管は 11.5 倍になっている。また、鋼管の全生産高にたいする溶接鋼管の生産量の比率を、日本、米国、西独で比較すると図 4.4.5 のごとくである。

以上の比率は、それぞれの国内事情によつて若干異なるものである。けれども、わが国の溶接鋼管の伸びの大きいこととわが国の比率は米国のそれに近づくといふことは確かである。このような溶接鋼管の増大は、たんに設備台数や能率の増加によるだけではなく、品質においても優れたものが製造できるようになつたことに

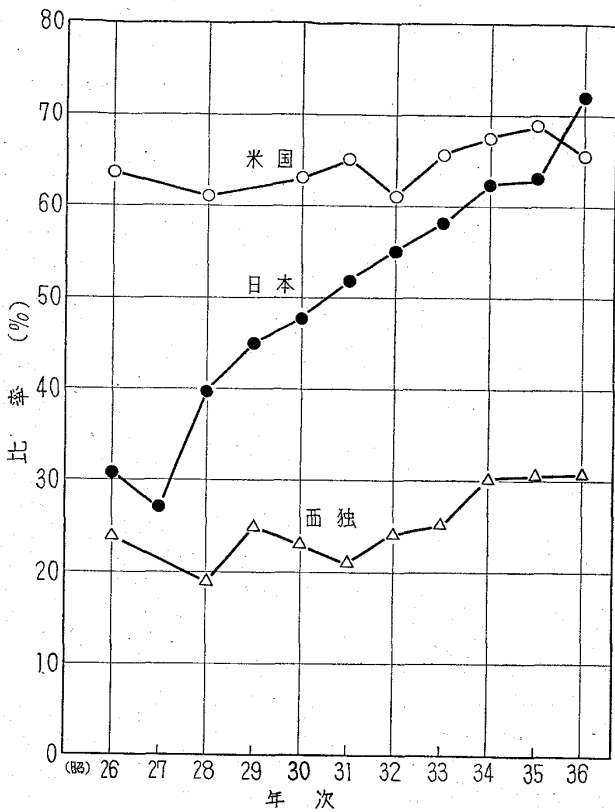


図 4.4.5 鋼管生産高における溶接鋼管の比率

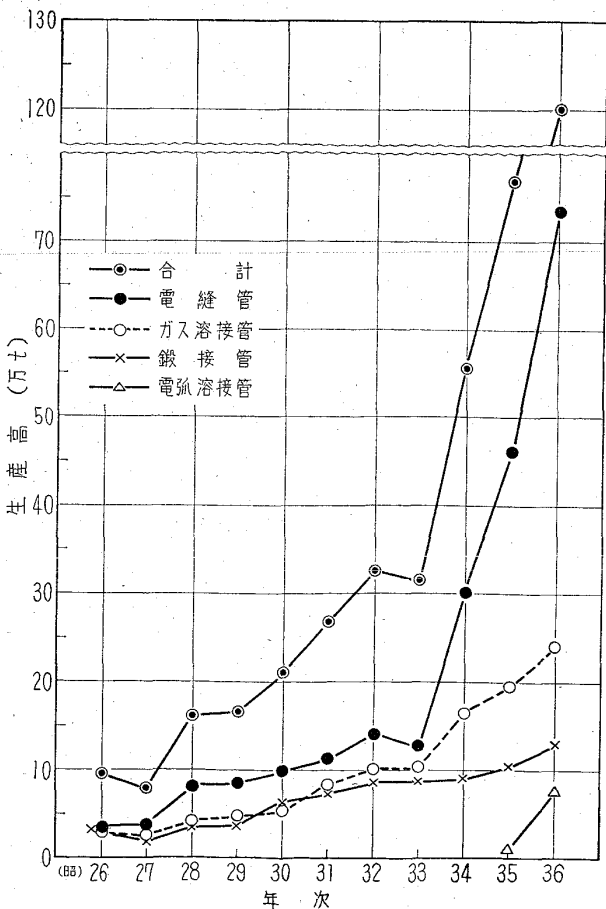


図 4.4.6 溶接鋼管の製法別生産量の推移

起因するものである。

わが国における溶接鋼管の年次別生産量を、図 4.4.6 に示す。ここには製法別に記しているが、なかでも電縫管の生産量は最も大きく、全体の約 60% を占めている。とくに昭和 34 年以降に大きく飛躍した。また、昭和 35 年より新たに、U-O フォーミング方式やスパイラル溶接方式が導入されて、電弧溶接管が伸びはじめた。以下の節に、これら溶接鋼管の発達の原因となつた技術的背景について概説する。

(2) 製管寸法の拡大

あらゆる溶接管の分野において、製造可能の寸法範囲が拡大されたことは、溶接鋼管の生産量の発達に、非常に貢献している。なかでも、最も設備台数の多い電縫製

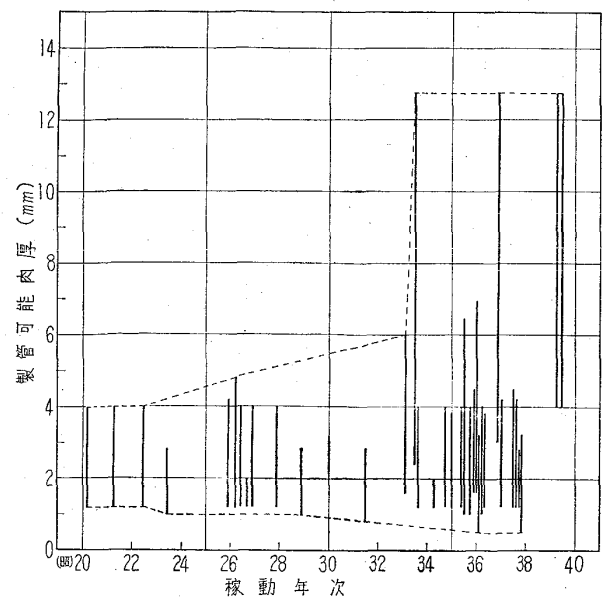
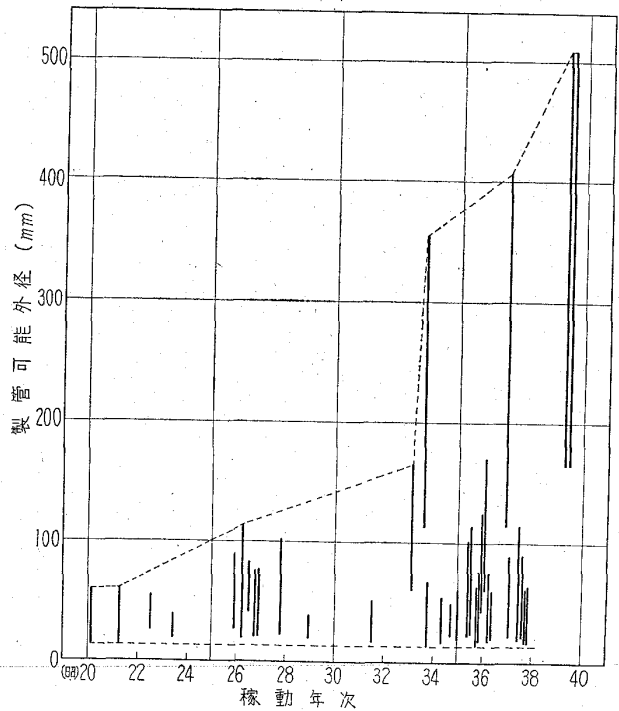


図 4.4.7 電縫鋼管製造寸法の推移

管機の製造範囲が最近著しく拡大されたことは、特筆すべきことである。同時に、製管機自体が、外径に応じて専用化して設計・使用されてきたために、非常に能率的となつた。わが国における電縫管設備の可能寸法範囲を、稼動年次別に図示したのが、図 4.4.7 である。最大外径については、昭和 30 年には 170 mmφ であつたのが、34 年には 350 mmφ まで、37 年には 400 mmφ まで、39 年には 500 mmφ までに拡大されている。同時に、肉厚の可能範囲も、外径の拡大にともなつて増加した。

このような可能寸法範囲の拡大は、熱間・ストリップ・圧延機の発達によつて、良品質の大型広幅コイルが大量生産されるようになったことが遠因とはなつていないが、やはり成形機、溶接機、定径機、切断機などを含む全体の製管機の容量・機構の発達に依るものである。電縫管よりも、さらに大径のものについては、主として電弧溶接法を用いた U-O プレス方式やスパイラル溶接方式が採用されている。各種の溶接鋼管製造方法における製管可能の最大外径を表 4.4.4 に示す。

表 4.4.4 溶接鋼管の製管可能の最大外径 (mm)

管 種	溶 接 法	日本における	世界における
		最大外径	最大外径
電 縫 鋼 管	低周波抵抗	406.4	508.0
	高周波抵抗	508.0	1066.8
	高周波誘導	114.3	174.6
	A C - D C 抵抗	76.2	101.6
U - O 鋼 管	電 弧 溶 接	1016.0	1066.8
スパイラル鋼管	電 弧 溶 接	1778.0	3048.0
鍛 接 鋼 管	連 続 鍛 接	114.3	114.3

(3) 溶接鋼管製造法の進歩の概要

溶接鋼管の製造には、いろいろの方法があり、それぞれ、用途によつて特色を持つている。これらのいずれもが、最近において、いちじるしく発達したもののばかりである。次にこれらの製造法の中で、特に発達した事項について述べる。

1) 電気抵抗溶接法の改良

従来、固定式の多かつた低周波溶接機の変圧器が、回転式に改良されたために、電流効率が上昇し、したがつて製管速度も 2 倍近くなつた。同時に変圧器の冷却方式も、従来の自然空冷から、水冷、油冷あるいはガス冷却と開発され、能率や稼働率の向上に寄与している。また、交流の周波数においても、従来の 50~150% から、200~360% となり、速度、品質の両面で向上が見られた。以上の改良によつて、現在低周波溶接機の溶接速度として、最大 70 m/min までが可能となつた。

2) 高周波抵抗および高周波誘導溶接の進歩

約 30 万 % 以上の高周波電流を、鋼管の溶接に応用する方式が、この数年間に急速に発達した。電極と管表面との接触の有無によつて、抵抗溶接あるいは誘導溶接と呼ばれているが、いずれの方式も、従来の低周波に比して、溶接速度や溶接性において非常な進歩が見られた。

3) 電縫管設備とストレッチ・レデューサーとの組み合わせ方式の発達

ストレッチ・レデューサーの進歩と相まつて、これを

電縫管製管ラインに付加した高能率な製管方法が、最近急速に発達した。最近の新しい設備では、外径 110~170 mm の母管を低周波溶接機あるいは高周波溶接機で製管し、加熱炉で約 1000°C に加熱したあと、19~26 スタンドのストレッチ・レデューサーに通して、外径 10~90 mm の小径管が製造されている。この出口速度は、最大 500 m/min に達しているものもある。

4) 連続鍛接管設備の進歩

加熱炉における予熱帯の設置、ストレッチ・レデューサーの設置による絞り率の増大、あるいはロータリ・ホット・ソーの進歩によつて、鍛接管の生産能率が非常に向上した。新しい設備では、製管速度 400~700 m/min にも達しているものがある。また、酸素の吹付、ロール形状の改良、絞り量の改善などによつて、鍛接部の品質も非常に向上した。

5) 大径溶接鋼管製造方式の進歩

外径 500 mm 以上の大径鋼管は、曲げロール方式で造られていたが、これでは長さ制限があり、また大量生産方式ではなかつた。最近、スパイラル溶接方式・U-O-E プレス・成形方式あるいは、アイドラー・ロールのケージ型連続製管方式が発達した。現在、世界における最大外径は、スパイラル鋼管で 3100 mm であり、後の二者の方式では 1100 mm である。なお、生産能率を上げるために、潜弧溶接あるいは低周波溶接から、漸次高周波抵抗溶接に移行する傾向を示している。

6) ステンレス鋼および高合金鋼管の製造法の進歩

アルゴンのごとき不活性ガスで保護したタングステン・電弧溶接によつて、ステンレス鋼や高合金鋼の優秀な溶接管が得られるようになった。さらに最近では、生産能率を上げるのに、高周波抵抗もしくは高周波誘導溶接が、これらの特殊鋼管の分野に、漸次適用され、威力を発揮している。

(4) 帯鋼の前処理およびエントリ (Entry) 設備の進歩

電縫管の製造においては、帯鋼が供給されてから、成形ロール、溶接機に入つて行くまでの、帯鋼の前処理作業やエントリ作業が重要な工程の一つである。特に最近では、高級管を電縫管で製造するようになったので、この前処理方法は、管の品質を左右する重要な工程となつている。前処理設備としては、帯鋼の表面スケールを硫酸洗滌するための酸洗設備が、最も多く使用されている。この酸洗設備については、最近スケール・プレーカー、ルーズナー、およびピン差し作業などを必要とする吊下浸漬方式から、それらの不要な、しかも酸洗ムラのないロータリ・ケージ方式あるいは連続酸洗方式に移行してきた。また酸洗液の改良も行なわれ、適当なインヒビターや水溶性鉱物油を添加して、酸洗品質や能率の向上が行なわれている。

このように、酸洗設備そのものに、かなりの進歩が見られてはいるが、電縫管の一般的な傾向としては、プレッシャーチュービングやメカニカルチュービングを除いては、酸洗設備の不要な製管方式を採用する方向に向つている。すなわち、設備費や製造原価の高くつく酸洗設備を設けずに、設備費・製造原価の安価なショット・ブラスト方式や、あるいは表面処理の不要な高周波溶接方

式の採用が増加している。昭和 28~38 年の 10 年間に
おいて、30 基の電縫管設備が新設されたが、その中で
帯鋼前処理設備の新設の内訳は、次のとおりである。

前処理設備を使用しないもの=3

酸洗設備を使用するもの=18

ショット・ブラストによるもの=9

表面肌的美麗さを要求する高級管については、スキ
ンパスを実施する機会が多くなった。すなわち、①表面状
態を美しくし、②肉厚を均一にし、③必要な機械性質を
出すなどの目的のために、帯鋼に 3~15% の圧下率を、
冷間ロールで与えるわけである。これによつて、熱間圧
延の肉厚精度が大幅に向上されるばかりでなく、表面状
態が非常に良好となった。高級な溶接鋼管の製造にたい
して、このスキンパス作業は重要な工程となっている。

帯鋼の末端溶接方式としては、①酸素・アセチレン溶
接、②アーク溶接、③不活性ガス電弧溶接、④フラッシ
ュ・バット溶接などがある。最近では製管速度の上昇にと
もない。帯鋼のエンドウェルドが迅速・確実に行なわれ
ることが要求され、①②の手動式より③④の半自動式へ
と進んでいる。

(5) 成形設備の進歩

成形作業は、後の工程である管の溶接作業の難易に直
接影響を与えるものであつて、いわば製管機生命とも
いふべきものである。したがつて電縫鋼管の品質の向上
は、成形設備の進歩改良に依るところが大である。最近
における成形の設備や作業の特徴的な進歩を列挙する
と、つぎのごとくである。

1) 成形圧延機の容量と駆動方式の進歩

製管寸法の大径化に応じて、駆動モーターの容量が増
大し、またスタンド、シャフトなどの機械面の剛性も強
化された。フォーミング・ミルの駆動モーター容量と製
管可能の最大外径との関係を、図 4.4.8 に示す。また、
現在では、まだ DC モーターによる駆動は、全体の約
55% であるが、容量の増加、製管速度の増大とともに、
漸次 AC モーターより DC モーターに変わりつつある。

小径寸法の圧延機においては、フォーミングとサイジ
ングとが共通のライン軸で駆動されている圧延機もあ
る。しかし、最近の圧延機においては、フォーミングと

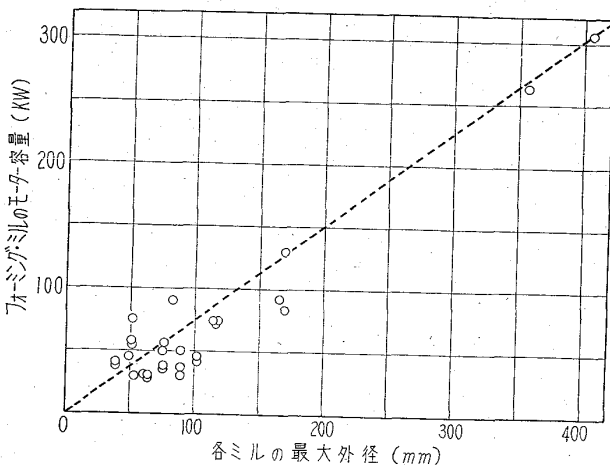
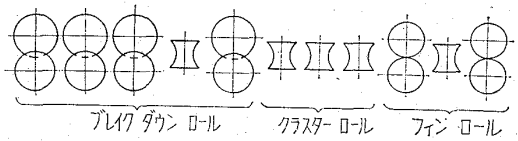


図 4.4.8 製管外径とフォーミングミルモーター容量との関係

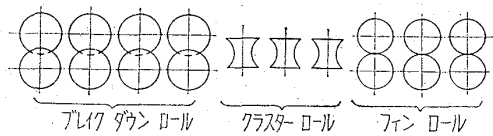
サイジング間の張力と負荷の均衡を保つために、それぞ
れ独立の電動機で駆動されるものが多くなった。中径サ
イズでは、水平スタンドがすべて独立の電動機で駆動さ
れ、回転数や負荷がスタンド毎に調整できるようになつ
た。

2) スタンド配列方式の改良

ロール疵、エッジストレッチング、エッジバックリン
グなどを防ぐために、成形の中期においてアイドルの
垂直ロールをクラスターに配列した方式が、多く採用さ
れ出した。アイドルクラスターロールは、上記 3 現象の防
止に役立つているほか、これによつて従来の水平ロール
と垂直ロールとが交互に配列されている方式に比して、
かなりのスタンド数が節約できるようになった。最近に
おける代表的なスタンド配列方式を、図 4.4.9 に示す。



a) 小径の例

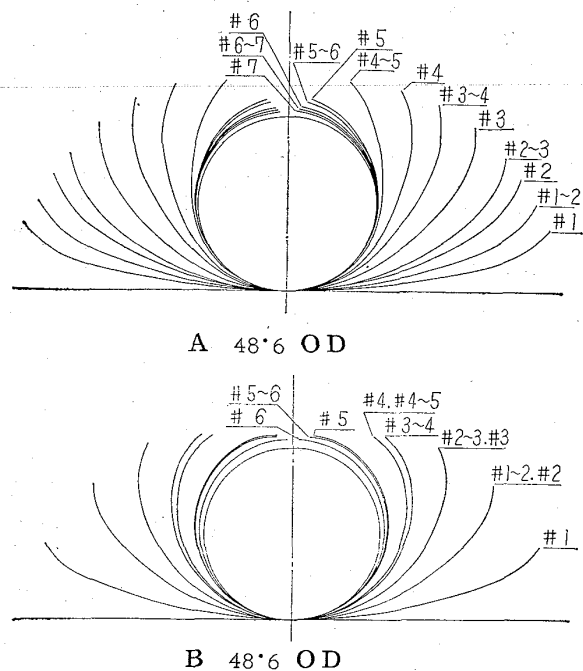


b) 中径の例

図 4.4.9 代表的なフォーミングのスタンド配列方式

3) ロールのカリバー設計の進歩

管の溶接の良否は、帯鋼エッジの成形状態によるとい
つても過言ではない。帯鋼エッジの成形状態が特に重要
であるのは、次の 2 つの場合においてであり、したがつ



A: (薄肉に適した flower)

B: (t/D の大なるものに適した flower)

図 4.4.10 Forming flower

てカリバー設計も、本質的には次の2つの問題を解決する方向に進んできた。その問題の1つは、 t/D の比較的小なる管を成形するときのエッジバックリングの防止であり、もう1つは t/D の比較的大なる管を成形するときのエッジの成形性の向上である。

これらの2つの問題は、単にカリバーだけで解決されるものではない。しかし、カリバーに依存する点が多すぎる問題であり、最近における一般的な改良点としては次のとおりである。① No. 1 スタンドのロールにエッジ・フォーミングとサーキュラー・フォーミングとを複合したカリバーを採用する。これによつて、エッジに若干の加工硬化を与えて坐屈抵抗を増加させるとともに、エッジの軌跡をも短くして、ストレッチを防ぐと同時に、エッジの成形を良好ならしめる。②フィン・パス・ロールの絞りを増加させる。これによつて、エッジに張力を与え坐屈を防ぎ、同時にエッジの成形を良好ならしめる。③許される範囲内で、肉厚専用ロールを使用する。これによつて、帯鋼の全横断面が一様に上下ロールと接触するようになり、エッジの成形を良好ならしめる。比較的 t/D の小なる管と大なる管とのフォーミングフラワーの最近の例を、図4.4.10に示す。

4) 薄肉製管技術の進歩

薄肉管の製管の可能なることは、溶接鋼管の一つの特長となつている。しかし、やはり t/D が1.5%以下の薄肉においては、溶接の困難なことが多い。その理由は、薄肉はブレイク・ダウン・ロールでエッジ・ストレッチが生じやすく、同時にエッジ・バックリングが生じやすいため、電極下でシームのラップやコラプスが起りやすいためである。これらの問題について、種々の検討が行なわれて、対策が取られてきたために、薄肉管の実績が非常に向上した。たとえば、低周波の回転電極を使用する場合には t/D が0.8%まで、高周波の場合には t/D が0.4%までの薄肉管を製造しているところもある。薄肉管の成形のため採られた。おもなる改善点を列挙すれば、次の通りである。①クラスター・サイド・ロールの使用……水平・垂直の交互配列ロールでは、垂直ロールで強く締めなければ水平ロールで疵がつき、強く締めるとスタンド間でバックリングが発生するという悪循環があつた。ここにクラスター・ロールが採用されるようになった。②下ロール高さの調整……下ロール高さを適宜にカーブさせ、成形の初期にエッジに張力のかからないようにし、また成形の中期に若干の張力のかかるようにして、バックリングを防いでいる。新しい圧延機は、ほとんど下ロール高さの調整ができるようになってい。③スタンド間隔の短縮……特にフィン・パス・ロール付近のスタンド間隔を狭くすることによつて、エッジのバックリングに対する抵抗を大きくする。④フィン・パスの絞りの増大……フィン・パスの絞りを大にし、エッジに張力を与え、バックリングの防止と矯正を行なう。

(6) 低周波ウェルダの進歩

1) 変圧器の機構・冷却方式の改良

電縫鋼管の製管速度が、年々向上しているが、これは溶接機の発達に負うところが大きい。一例として、低周波溶接の場合の速度の進歩状況を図4.4.11に示す。

この図は、昭和31年と昭和38年とを比較して図示してある。たとえば、肉厚3mmで40m/minから50m/min

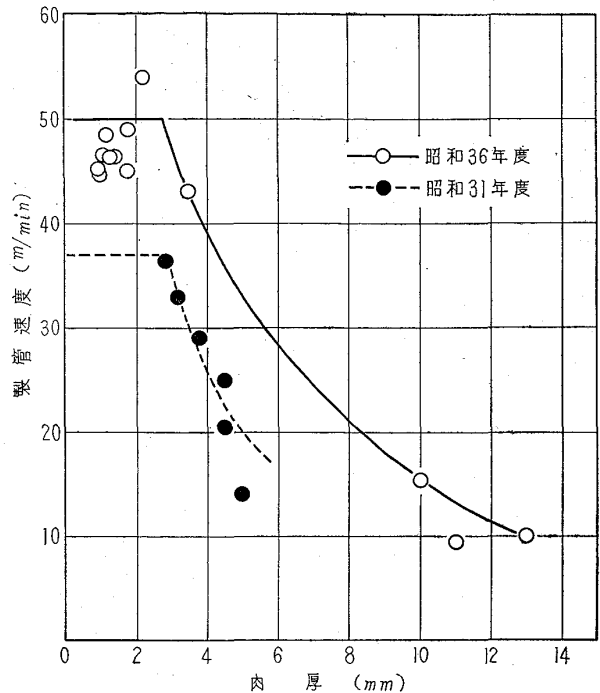


図4.4.11 わが国における電縫鋼管製管速度の進歩

minに向上している。このような速度の向上は、たんにウェルダのみならず、工場全体の設備の能率が上らなければ達成されないのは勿論である。溶接機以外のところで、速度の向上に寄与した主要な点は、①走行切断機の進歩、②帯鋼の端部溶接の進歩、③フォーミング設備の進歩であろう。

ウェルダの進歩としては、まず変圧器の改良が挙げられる。固定式変圧器より回転式変圧器の導入によつて、溶接電流の効率が約50%であつたのが、約90%に向上した。したがつて、製管速度が同容量の溶接機で約2倍近くに向上している。また、変圧器の冷却方式も、製管速度の向上に大いに役立つており、旧来の空冷式の変圧器に比して、液冷式(水冷・油冷)やガス冷式(フロンガス冷式)を採用することによつて、製管速度が2倍近く向上した。(ただし旧来の空冷式は、かつ固定式でもある場合が多い)

2) 変圧器の容量、周波数の改良

図4.4.12に肉厚、変圧器容量と製管速度との関係を示す。すなわち、変圧器の容量の増大により、理論的にも溶接速度と肉厚の限度とが増大している。同時に、周波数についても非常に改良された。すなわち、旧来の50~60%では、変圧器の容量を増してもスティッチのために50~60%では溶接速度が35m/min程度が限度と考えられていた。150~200%に増加させることにより、約70m/minまでの溶接速度が可能となつた。最近では、さらに360%の交流溶接機が数台稼動し、またAC-DC溶接機も現われて、溶接速度としては80~100m/minも可能となつている。周波数の改良は、製管速度の向上だけでなく、溶接部の強度や内面ビード形状等の品質面をも、非常に改善せしめている。

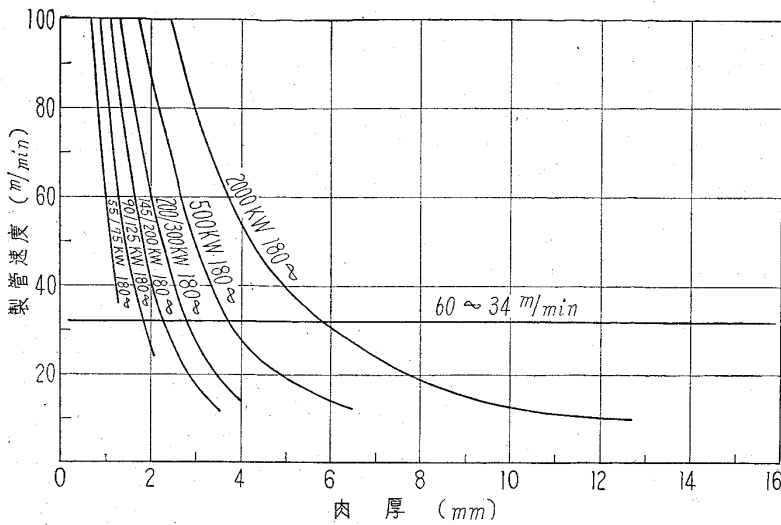


図 4.4.12 低周波抵抗溶接における肉厚—溶接速度の関係

(7) 高周波ウェルダの発達

高周波電流による溶接管の製管方式は、最近数年間に
おいて、著しく発達したものである。これには、抵抗溶

接と誘導溶接とがある。前者は、電極(チップ)を管表面に接触させて、高周波電流を直接エッジの接合面に流すものである。後者は電極(コイル)が管表面と接触せず、誘導によつて高周波電流を接合面に流すものである。いずれにしても、低周波の回転電極方式と大きく異なる点は、接合部の温度と圧力とである。すなわち、高周波溶接は接近効果と表皮効果とのために、電流が接合面に集中する。したがつて、低周波に比して、高周波による接合面の温度がかなり高い。また、上記の2効果によつて、高周波の熱影響部の幅が狭いために、溶接時のアセット圧力を高くすることができる。温度と圧力との有利性によつて、低周波では溶接困難な材質(例えば高炭素鋼、低合金鋼、ステンレス鋼など)についても、良好な溶接を得ることができる。同時に、上記の2効果によつて、溶接電流の効率が優秀であり、同一容量の低周波に比して、溶接速度が非常に大である。高周波による肉厚と溶接速度との関係を、図 4.4.13~4.4.14 に示す。

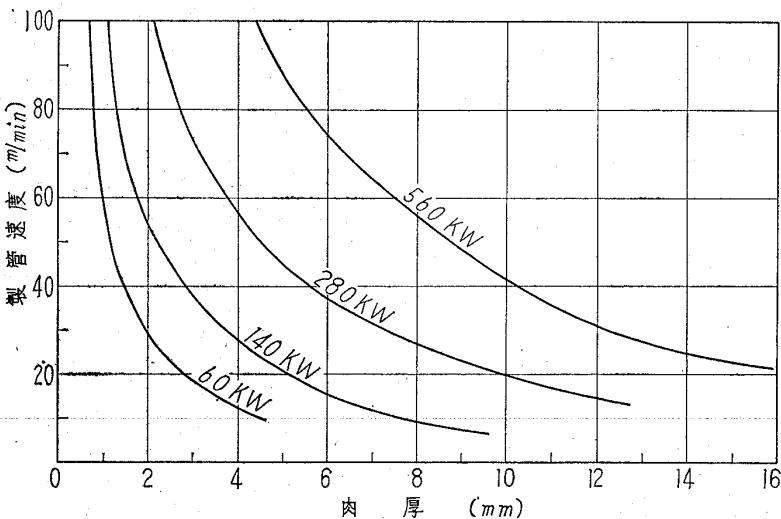


図 4.4.13 高周波抵抗溶接における肉厚—溶接速度の関係

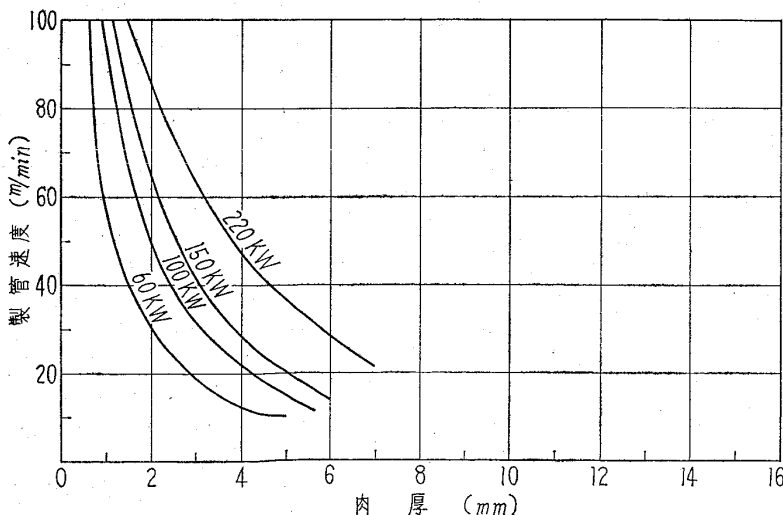


図 4.4.14 高周波誘導溶接における肉厚—溶接速度の関係

(8) 溶接後の焼鈍設備の開発

電縫管は、低炭素の普通鋼では接手効率100%のものが容易に得られている。しかし、炭素含有量が多くなつたり、あるいは他の合金元素の入つた材質では、溶接性が悪くなる。この解決策の一つとして、前記の高周波溶接が開発されてきた。しかし、これは溶接がしやすくなつたということであつて、溶接部の性質や組織そのものの改善は、後工程の熱処理によらねばならない。最近の中径電縫管設備には、溶接部を局部的に焼準もしくは応力除去焼鈍をするためのシーム・アニラーが設置されている。これによつて、溶接後の硬化組織や残留応力が緩和・消去され、したがつて溶接部の靱性が非常に向上している。シーム・焼鈍を施した溶接部の信頼性が、圧延のままの状態に比して非常に高められ、現在では API-X 52 ラインパイプは勿論、J 55 ケーシングまでが、電縫管で製造されるようになった。

(9) 走行切断機の進歩

溶接後の管の切断には、各種の切断機が用いられている。その主要なるものは、ディスク・カッター式、丸鋸式、バイト式、などであるが、切断速度の迅速化、切断長さの精度、切断面の変形防止、切断後の仕上の容易さ、工具の寿命などの諸点から見て、現在では大部分がディスク・カッター式になつてきている。上記3方式の切断可能最小長さとの比較を、表 4.4.5 に示す。

(10) 非破壊検査方法の進歩

溶接部に存在する欠陥を検出し、溶接部の品質を全長にわたつて保証するためには、非破壊検査方法の実施によらねばならぬ。溶接

表 4.4.5 各種切断機の能力比較

	ロータリ・ディスク・カッター式	バイト式	丸鋸式
切断可能最小長さ (mm/fpm)	21~29	46~60	31~43
長さ誤差 (mm/fpm)	±(0.02~0.03)	±(0.03~0.21)	±(0.10~0.12)

鋼管の高級鋼管への需要が拡大されたのは、この非破壊検査の充実が大きく寄与している。これらは、ライン内においては圧延機制御用として、ライン外においては成品検査用として、それぞれ設置されているところが多い。電線管の非破壊検査としては、小径にたいしては渦流探傷法を、中径・大径にたいしては超音波探傷法が適用されているところが多く、いずれも欠陥の検査に威力を発揮している。また、特に表面の疵を検出するためには、管の寸法を問わず磁粉探傷法が用いられている。また、アーク溶接による大径鋼管にたいしては、X線探傷法が採用されている。

4.5 熱間押し法

4.5.1 概 説

ガラス潤滑による鋼の押しが 1940 年代に始まって約 20 年、わが国で 4 社がそれぞれ第 1 機めの水圧押しプレスを設置して約 6 年の経験が積まれた。鋼の熱間押しは、まず既存の方法では加工困難な特殊鋼の加工、あるいは経済性が劣る少量多品種製品の加工などに適している特性を生かして、これらの生産を手始めに技術習熟期ともいべき期間を過ぎて、ようやく普通鋼生産も含めた量産化の可能性という確実な将来への姿が浮び上り、わが国にも第 2 機めの押しプレスを用意する企業が見られるようになった。

鋼押し技術の進歩および問題点については、英国鉄鋼協会の 1959 年秋季学会と 1964 年春季学会の報告に集約されている。また押し設備については Loewy Engineering 社の HAFFNER¹⁾、ELKAN²⁾、押し技術については Low Moor Fine Steel 社の Cox^{3,4)} が概括している。1959 年の討論⁵⁾ では、押し法の生産性、加熱法を中心に議論され、1964 年の報告では、量産押しプロセスおよび素材としての連続鍛造材の問題点を取上げている。ガラス潤滑による鋼押し法については川村の概説がある⁶⁾。

4.5.2 押 出 鋼 材

鋼管の熱間製造法としては、押しは穿孔法によるよりも合理的な加工法であるため、急激な進歩を示し、普通鋼管および低合金鋼管特に軸受鋼管を量産し、他の方法で加工困難な高合金鋼管および異形鋼管などの補促生産を行なうなど鋼管製造には旧来の方法に取って代ろうとする確固たる歩みが見られる。

生産量では鋼管よりはるかに多い形鋼の場合には、押し法は、他の方法では加工困難な材料で押しが可能で形状の製品あるいは少量多種生産の製品に対して注目され

る。したがって押しは圧延法と併用することにより形鋼の製造範囲を拡大する役割を果しつつある。

宇宙工業、軍事工業等では、秀れた熱間加工法の利点を生かして特殊金属、高合金鋼の加工に押しを使用し、特に分散強化合金製品の加工には押しは欠くことのできない方法とされている。

4.5.3 鋼押し出の量産化

単一の押しプレスで広範囲の多種寸法形状の製品を製造していた鋼の押しも、量産化の段階に入つて、押しプロセスの流れの一部としてプレスが組込まれ、プレスはその能力に応じ効率の良い限られた寸法の素材を押し出で粗加工を行ない、押し直後の素管から stretch reducer によつて所要寸法の製品を得るプロセスが STEINBOCK⁷⁾ によつて検討され、Mannesmann 社が年産 10 万 t の設備を新設したようにすでに実用段階にあつて⁸⁾、現在穿孔式製管法に対抗する一つの標準の量産押しプロセスの姿と考えられている。

鋼管の押しの場合には、ビレット穿孔のための expansion あるいは piercing 用型押しプレスが横型押しプレスに接近して備えられ、加熱、穿孔、再加熱、押し出の工程は既に標準プロセスとなつている。

量産化のための押しプレスの進歩は、ターレット式に 2 あるいは 3 個ずつのコンテナとダイスホルダーを備え、押し、切断、ビレット装入を同時に行なつて遊び時間を短縮し、時間当り押し本数を従来の 80~100 から 120~140 を可能にする小中型プレスの高能率化と、宇宙工業、軍事工業用として米国における 12,000 t の押しプレスの出現とが示すようなプレスの大型化にみられる。

Stretch reducer さらには冷間加工機を組合わせた押しプロセスを考えると、押しプレスは現在の標準である 2,000~3,000 t から大型化の傾向をたどり、その高能率化が計られるであろう。また大型化とともに従来の機械プレスは水圧プレスに取って代られたといつて良い。

4.5.4 ビレット素材

ビレット素材のコスト低下のため、鍛造ビレットあるいは連続鍛造ビレットによる押しの実験が行なわれてきて、炭素鋼および低合金鋼では既に実用化されているが、オーステナイト系ステンレス鋼では押し材表面肌に見られる縦すじが問題になり、機械加工仕上げをする需要家からも受け入れられない場合がある⁴⁾。オーステナイト系ステンレス鋼では、鍛造の際の凝固時に発達する柱状晶のために、ディスク表面に既に粗いしわがみられ、このしわが押し材表面の縦すじとなつている。成分あるいは熱処理による δ フェライトの調整、鍛造法あるいは添加元素による鍛造組織の調整が試みられ、加工の面からダイス形状、アセットの影響が検討されたがいずれも効果は認められていない。対策としては、鍛造組織においてかあるいは押しプロセスでの軽度の加工により柱状晶を破壊して押し材表面肌を縦すじを消すか、冷間加工との組合わせで消すことが検討されるであろう。

炭素鋼、低合金鋼では、ビレットの機械旋削加工を省

略して圧延丸棒を酸洗後局部疵取りしたビレットで十分な成績を得たり、角鋼塊からの押出しが試みられている。

4.5.5 加熱法

鋼の押出しの場合にはスケール無しの加熱が必要であり、数種の加熱法のうち実用的には低周波誘導加熱炉と

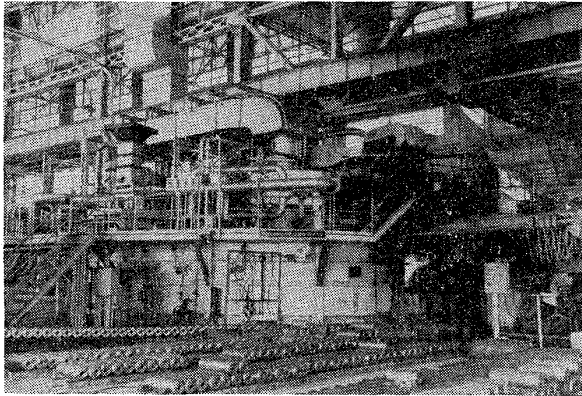


写真 4.5.1 無酸化ガス焚回転炉床炉

無酸化ガス焼き炉が多く採用されている。押出しの特長である少量多種生産およびビレット径方向の傾斜加熱が可能なることから加工困難な高合金鋼の押出しに適したものとして、当初前者が標準とされていたが、加熱法の適否はそれぞれの炉の特長と押出し計画に関係して、鋼の押出しが量産化への道と少量多種生産の融通性の二様性を持つ限り、これらの2加熱法は共存し続けると考えられている。誘導加熱炉は考えられていたほど均一加熱などの精密な温度調節が容易でなく局部過熱の危険もあつて、その点からも無酸化ガス焼き炉(写真 4.4.1)の方が良いという意見がある。しかしガス焼き炉が設置されても、誘導加熱炉は高温側急速加熱用としての再加熱炉の役割を果たすために併用される場合がある。

技術の進歩とともに押出しプレス能力が向上して、押出しプロセスの生産性は加熱能力で抑えられる現状であつて、現在の 10t/h 程度に対して 20~40t/h の加熱能力が要求されるようになってきている。

4.5.6 潤滑

鋼の押出しに採用されたガラス潤滑剤は、その秀れた潤滑性により加工鋼材のメタル・フローを極めてなめらかにし(写真 4.4.2)、またガラスの断熱性のためにごく

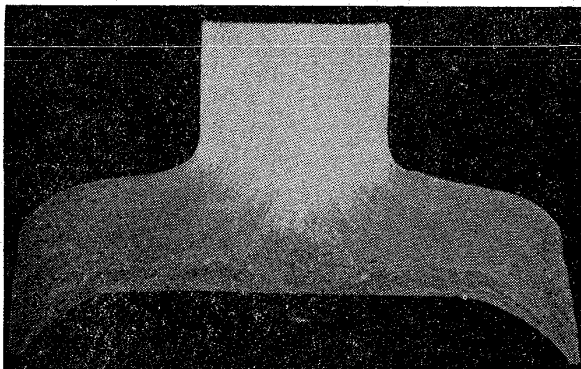


写真 4.5.2 ガラス潤滑押出におけるディスクでのメタル・フロー

普通の熱間加工用工具鋼材で十分な工具寿命が得られ、特効薬の役割を果たして鋼の押出し法を進展させた。Sukolski⁹⁾は各種ガラスの実験を行なつて、押出し温度に適したガラスがあり、製品表面性状に対しては適当なダイス形状と潤滑剤を選ぶ必要のあることを指摘している。粉末状のものが最も安く入手できるのであるが、ガラス潤滑剤は一般に価格が高いことと、押出し材からのガラスの除去が他の潤滑法に比べ困難であることがガラス潤滑の欠点となつている。

鋼の押出し用潤滑剤としては従来から黒鉛と油の混合物が使用されていて、断熱効果の少ない点を除くとガラスに類似した潤滑性能を持つている。黒鉛系の方がガラス潤滑より製品表面肌が良い結果を与えること、隅の鋭い形鋼の押出しにも適しており、押出材からの除去が容易であるなど固状潤滑剤に注目すべき点がある⁹⁾。

低合金鋼とくに軸受鋼などの量産押出しにガラス潤滑を使用した際の酸洗除去、黒鉛潤滑での浸炭の欠点に対して、Loewy Engineering 社が新しい結晶質鉍物系潤滑剤を開発して^{2), 10)}、とくに酸洗の容易さの利点を上げている。

変形能の悪い高合金鋼の押出しには、ビレットの外周、ときには内周も変形の容易な金属殻で覆つて、それに一種の潤滑剤の役割をさせる方法がある。

4.5.7 押出し製品の精度と歩留

鋼の押出し製品の表面性状と寸法精度は、熱間圧延材と同程度と考えられていて、製品の精度を上げるには冷間ピルガーまたはドロー・ベンチによる冷間仕上げが採用される。機械加工時間の短縮の点で高い寸法精度が望まれる軸受鋼管についても、押出し後冷間加工によつて寸法精度を向上させることが注目されている。

ディスクカドの発生は押出歩留を低下させるので種々対策が検討されている。普通には定尺寸法の何倍尺かの押出を行なつて、ディスクカド重量の製品重量に対して占める割合を少なくする方法がとられる。形鋼の場合には多数孔型ダイスにより同時に2個以上の製品の押出しが行なわれる。一方ディスクカドを無くする試みとして、アルミニウム円板を使用し、それがディスクカドになるようにして歩留を上げる実験が行なわれたが、コンテナシリンダーへのアルミニウムの焼付きが起つて良い結果が得られなかつた。アルミニウム以外に軟鋼も試みられたが結果は良くならなかつた。非鉄金属では次々にビレットを装入して押出される場合があり、鋼の場合にも計画されたことがあつた⁹⁾。

文 献

- 1) E. K. L. HAFNER, J. SÉJOURNET: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 195 (1960) 2, p. 145~162
- 2) R. M. L. ELKAN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 202 (1964) 3, p. 236~245
- 3) R. COX, T. MCHUGH, F. A. KIRK: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 194 (1960) 4, p. 423~434
- 4) R. COX: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 202 (1964) 3, p. 246~260
- 5) J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 195 (1960) 3, p.

329~339

- 6) 川村：鉄と鋼，43 (1958) 8, p. 826~848
- 7) H. ECKARDT：Stahl u. Eisen, 82 (1962) 13, p. 895
- 8) A. KLEIN, K. SCHINDLER, R. HARTENSTEIN：Iron & Steel Eng., 41 (1964) 7, p. 97~105
- 9) P. J. SUKOLSKI：Brit. Iron & Steel Res. Assoc., Rep., MW/G/58/57 (1957)
- 10) Steel & Coal, 187 (1963) 4971, p. 805

4.6 型打鍛造法

4.6.1 緒言

型鍛造とはいうまでもなく、空気もしくは蒸気ハンマ、アプセッタ、鍛造プレス、鍛造圧延機などの生産用鍛造機械に一組のダイをとりつけ、加熱した素材に塑性加工を施し、その組織を改善しながら要求される形状とする一連の作業をいうのである。その発展の歴史的過程をふりかえつて見ると、自動車産業のごとき量産工業の興隆に伴なつて急速に進歩向上を遂げて来たものであり、機械加工部門あるいは機能設計部門の要求に応えるため、削り代が少なく精度の均一な、重量の軽減を図りつつも強度的に信頼のおける粗形材を大量かつ低廉に供給することを使命としているといえよう。

そして型鍛造技術の生命は何んといつても型設計にあることはいふをまたないが、型鍛造工業が企業として伸びてゆくためには、型鋼の開発、型製作技術の向上、素材切断機械や鍛造機械の進歩改良などに負うところも多く、これら関連技術の総合的な水準向上をも当然考慮に入れなければならない。

本稿ではこの十余年間に著しい伸張を遂げ、今や鍛造工場の主力となつて来ているプレス鍛造を主体とした型打鍛造法につき概説したい。

4.6.2 部品形状と合理的な鍛造機を選定

量産を前提として考える場合、材料の面からも、また工数の面からも経済的な生産を行なうには、一焼鍛造法 (One heat production process) の採用が必然的に考えられ、このために一体型の Multi-impression die、あるいは各工程ごとのセパレートダイを組合わせて装着することが可能である。空気もしくは蒸気ドロップハンマー、鍛造プレス、鍛造圧延機、アプセッタなどの生産用鍛造機が最も適合した設備として挙げられよう。

そこで部品によつては、図 4.6.1 に大別したごとく、

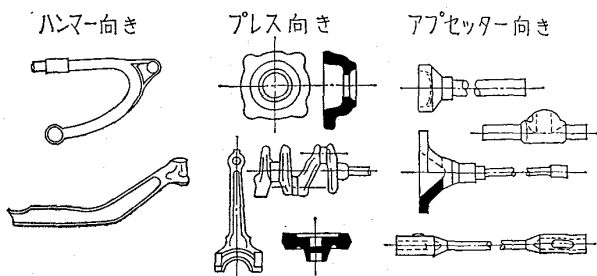


図 4.6.1 機械別・鍛造部品例

形状によりおのずから使用機種が決つてしまうものが出てくるわけであるが、逆に要求数量や機械工場の工程能力あるいは自社鍛造設備の機械負荷などを勘案のうえ使用機械を選定し、それに適合した部品形状、寸法精度などを決めねばならぬ場合が生じてくる。一般にハンマ、プレス、アプセッタの順にドラフト角を小さく、切削代を少なくすることが可能であるが、生産性は鍛造圧延機との組合わせを考えた鍛造プレスが最も高いといえよう。プレスの場合には強固な案内ピンを持ち、ロックアウト機構を内蔵するボルスターセットの使用によりドラフト角は外周で $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 、内周でも $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ あれば十分である。

4.6.3 型設計の手順

図 4.6.2~4.6.3 に示すごとくプレス鍛造用ダイには

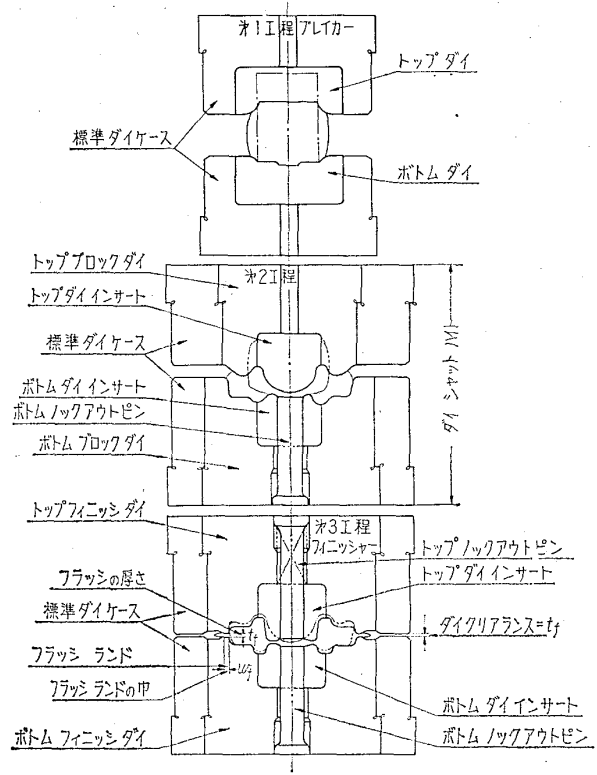


図 4.6.2 プレス鍛造用ダイ (丸型)

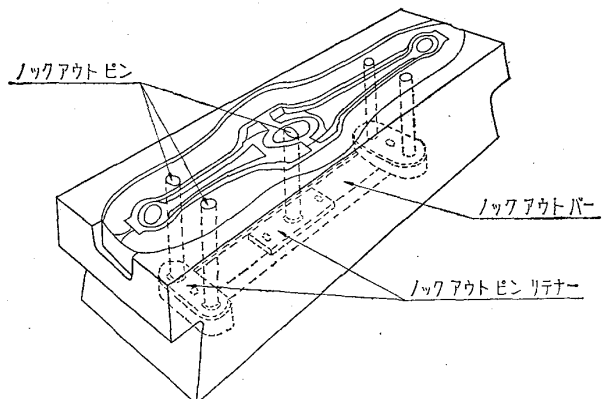


図 4.6.3 プレス鍛造用ダイ (角型)

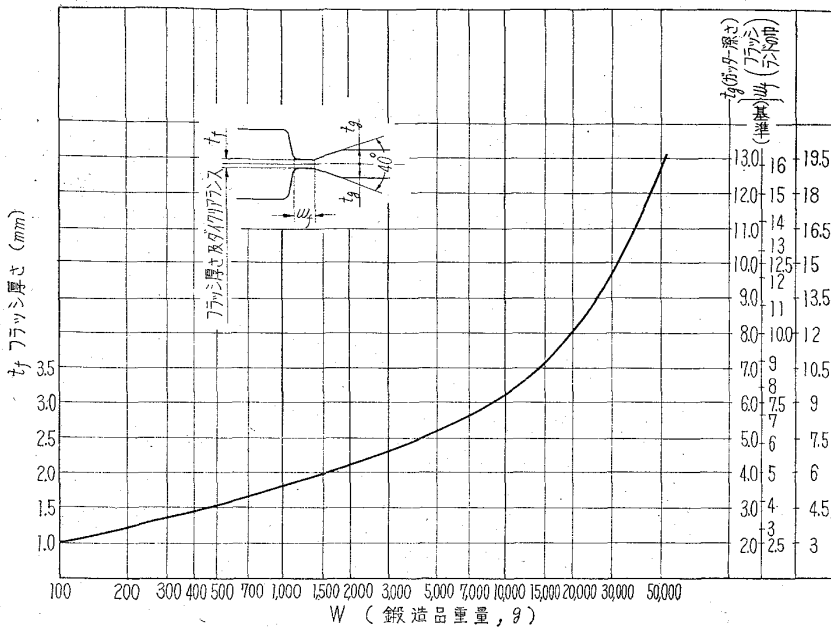


図 4.6.4 “Flash Land の 設計法”
(鍛造品重量より決定する方法)

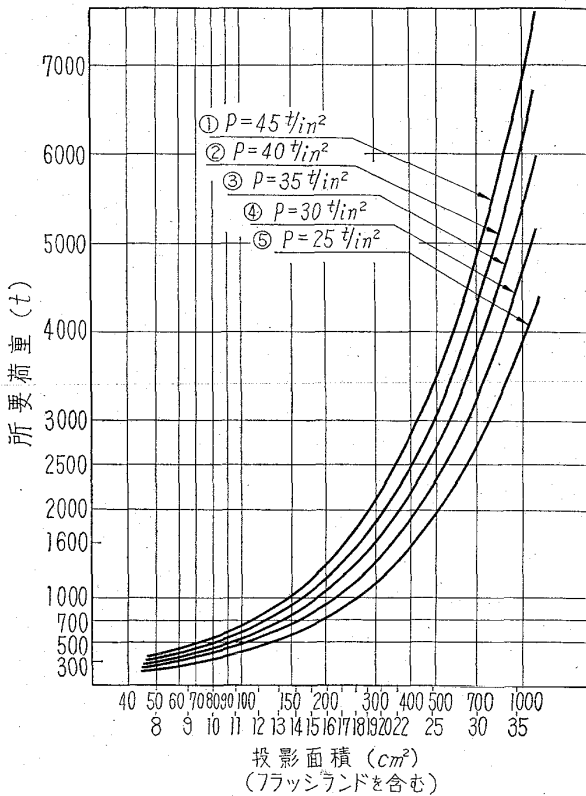


図 4.6.5 投影面積から“プレスサイズ”を決定する方法
丸型と角型とがあるが、何れもノックアウト機構を内蔵するのが特色である。丸型は一般に各種ギャブランクやフランヂケースエンド、ベアリングケージなどのごとく縦打粗材用として用いられ、通常 Breaker, Blocker, Finisher の 3 工程より成り、角型は一般にクランク軸やコネクティングロッドなどの横打粗材用として用いられ、鍛造圧延機における 2~4 工程の予備工程と

(Bender), Blocker, Finisher の 2~3 工程から成るのが普通である。設計手順としては……

(1) 容積計算

前述のごとく仕上形状に対し適正な切削代、ドラフト角を考え、鍛造粗材図の検討を行なつたら、まず容積計算を行なつて製品重量を算出する。この場合、回転体の容積計算は後述の図 4.6.7 における写像の面積をプランメーターで測れば簡単に求め得る。

(2) フラッシュランドおよびガッターの設計

フラッシュランドは別にフリクションランドともよばれ、金属の流動がこの部分を通ずる際の摩擦による抵抗を利用して内部の金属の圧力を上げ、インプレッションの隅々まで充填させるのが役目であるが、フラッシュランドの設計の良否は部品の肉上り、所要荷重、型寿命などに重大な影響を与えるので、決して忽せにはできない。これを決めるには図 4.6.4

に示す部品重量—フラッシュ厚ダイアグラムよりその厚み t_f を求め、 $2.5 \sim 3W_f$ をフラッシュ幅 W_f とする。投影面積に比しインプレッションの浅いいわゆる薄物の場合には投影面積—フラッシュ厚のダイアグラムを用い t_f を求めるが、前者と比較し大きいほうをとるのがよい。フラッシュランドからガッターへの逃げは図のごとく 20° にとるのが最適で、ガッターの深さは片側で約 $2t_f$ としている。もつとも複雑な形状の部品では部分的に肉上りの難易を判断し、標準値より多少の増減を行なっている。

(3) 所要プレス寸法の決め方

与えられた鍛造品に対し使用プレスの大きさを最適のものに決めることは、ダイ寿命の点からも機械や部品の精度保持の点からも望ましい。この決定法としては、部品形状・材質より荷重係数 (Tonnage Factor) を求めこれに (2) 項で得たフラッシュランドを含む部品の投影面積を乗じ、得られた値に適した容量のプレスを選ぶのが普通で、計算を省くため図 4.6.5 を用いる。

(4) 細部の設計

使用機械の寸法が決まると、使用するボルスターセットが決まり、それによつて使用するダイ寸法も決定されることになる。したがつてあとは中味のインプレッションの設計と素材寸法の検討に入るわけであるが、圧延素材や中間形状の決定法については詳細な説明を加えるスペースがないので、図 4.6.2, 4.6.6 にて代表的な歯車素材の工程を示し、図 4.6.7 に回転体の容積計算方式を応用しながら中間工程の形状を決める方法を示す。

プレス鍛造ダイの設計とともにトリムダイの設計を行なうが、これにもメカニカルなコンパウンドダイを用い生産性を高めねばならない。

4.6.4 鍛造作業

プレスは作業性がきわめて良いので、そのレイアウトを計画するさい慎重な検討を要するが、半自動化あるい

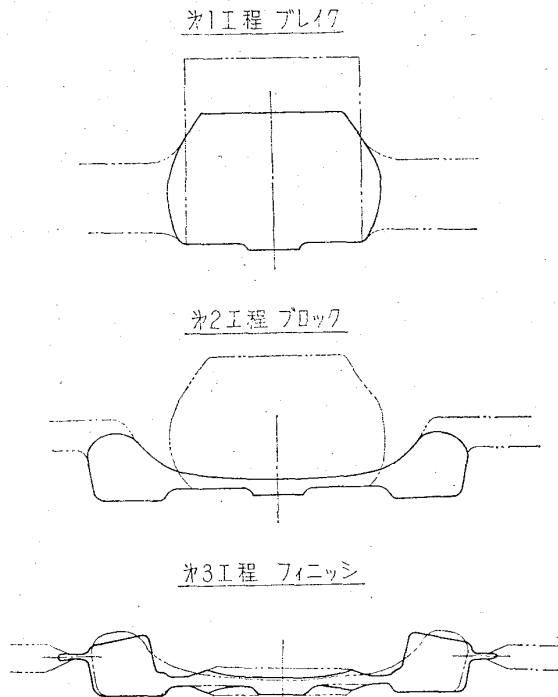


図 4-6-6 ギャー・ブランク鍛造工程図

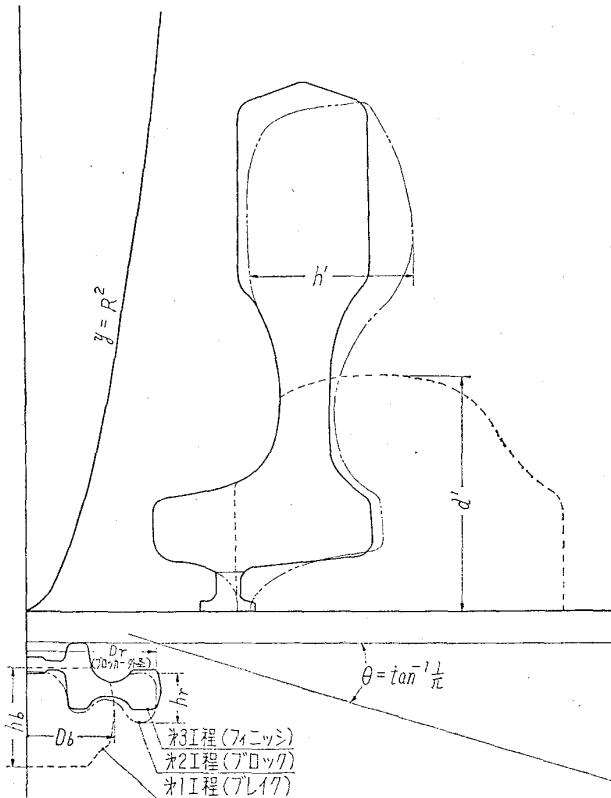


図 4-6-7 工程別容積計算法

は自動化への移行を考えると、加熱炉などにもその容量に余裕のあるものを選ばねばならない。またリデュースロールでの荒地加工を要するものは、ロールとプレス工程のサイクル時間の釣合いがとれるよう、作業者の配置も十分考えた上での機械のレイアウトを考慮する必要がある。

プレス本体での作業は生産速度が上がるにつれ、型温度の上昇も著しいから、型の予熱・冷却にはとくに意を用いる必要がある（予熱は 150°~200°C に、冷却は 400°C を越えぬように行なう）。これを怠ると部品の寸法精度・ダイ寿命に悪い影響を与えることになる。型の潤滑剤としてはコロイド黒鉛を主成分とした水溶液が効果的であると考える。

4-6-5 型 製 作

鍛造型は一般に消耗品と考えられ、部品によつては月に数型も製作しなければならぬものもあるくらいで、これが補給の円滑を欠くと一大事を生ずる。近年複雑な形状のインプレッションを正確かつ迅速に型彫する自動成型彫盤が発達してきた。これらは三次元のモデルを油圧または電氣的にトレースしながら刃物により切削するものであるが、近時放電加工、電解加工の長足の進歩により電極を使用して高硬度の型材を容易に加工する方式も採用される段階となつてきた。

4-6-6 結 言

以上極めて簡略に型鍛造の近況にふれたが、今後ますます採り入れられるであろう冷間鍛造技術の進歩と合わせ、機械加工部門との密接な連携のもとに、削り代をより少なくし、精度のより高い部品を大量かつ安価に供給するようあらゆる努力を傾注するのが塑性加工に課せられた使命ではなからうか。

4.7 建材製造技術

4-7-1 緒 言

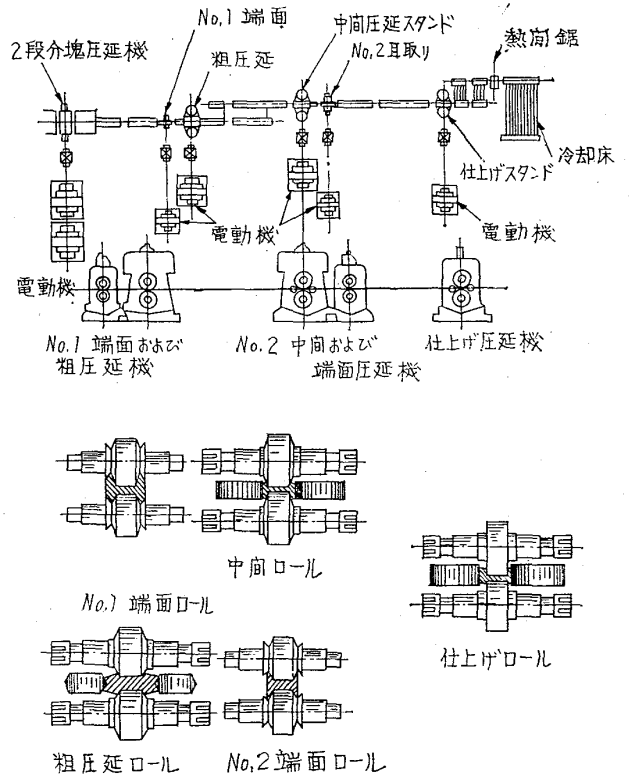


図 4-7-1 H形鋼工場設備配置およびロール図

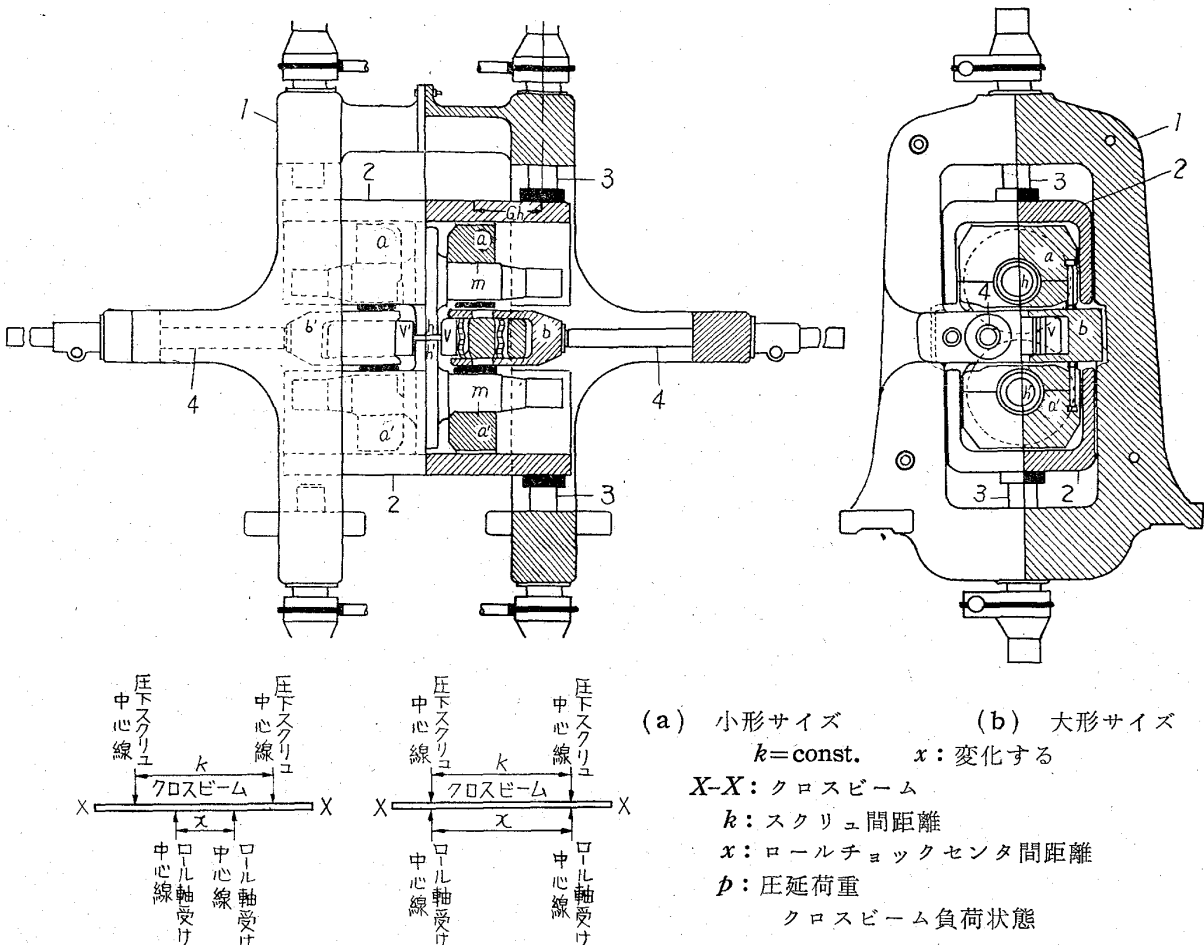


図 4.7.2 クロスビームスタンドおよびクロスビーム負荷状態

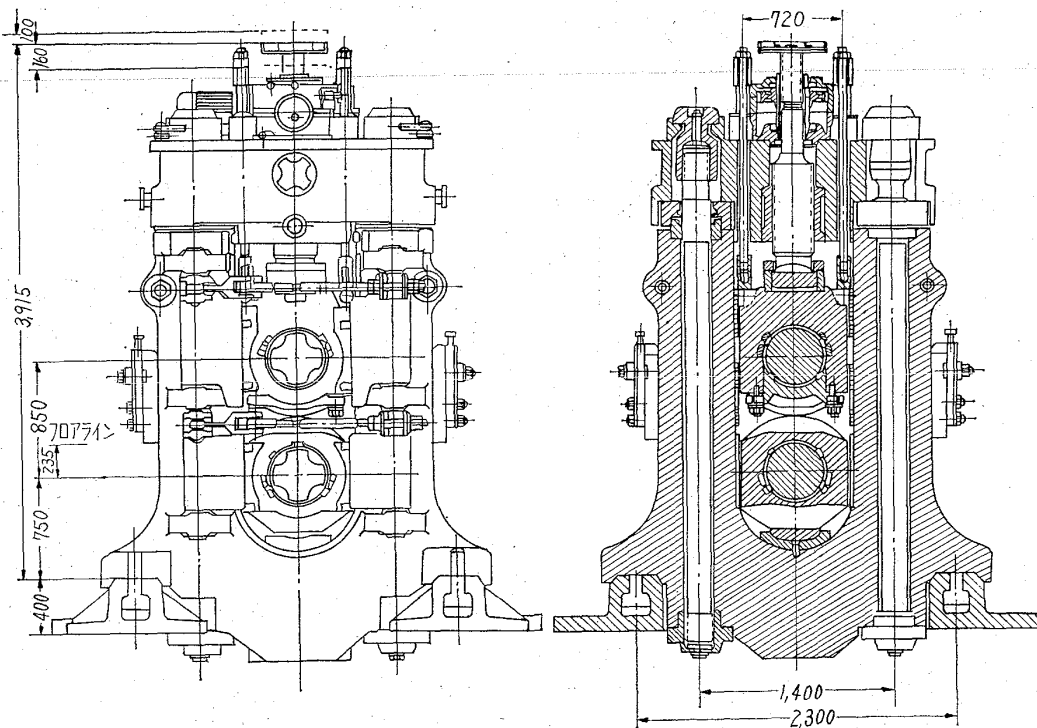


図 4.7.3 プレストレスによる油圧締結装置を有するスタンド

最近 10 年間に於いては戦後日本の復興と躍進、オリンピックの東京開催という大きな目標の下に、港湾・鉄道・道路・建築などいわゆる土木建築関係に大きな力がそそがれ、その結果として建設用鋼材の需要が非常に増加したが、鋼材の種類、形状、材質その他の技術的進歩も大きく土木建築技術の発達に大いに貢献するところがあり、今後ともますます両面相まって進歩発展する見通しである。そこで主として鋼材の種類別にその進歩の概況を述べたい。

4.7.2 H 形 鋼

H形鋼はヨーロッパでは 1902 年、米国では 1906 年から生産されはじめてその後急速な発展をとげ現在では構造用形鋼の主力になつている。わが国では遅ればせながら八幡製鉄が昭和 34 年 6 月以来八幡製鉄所で生産を開始し、ついで堺製鉄所に本格的な H 形鋼専門工場を建設して 36 年 11 月以来生産に入つている。また川崎製鉄では 36 年 10 月以来葺合工場で、富士製鉄では 38 年 3 月以来広畑製鉄所というように H 形鋼が大量に生産されるようになった。以上述べたようにわが国ではその歴史は浅いが高層建築の鉄骨、橋梁、基礎杭、トンネル枠などに使用されて急速に需要が伸びてきているのである。

従来構造用形鋼として使用されてきた I 形鋼、溝形鋼、山形鋼などは平行ロール 3 台または 4 台の往復パスによるカリバー方式で圧延されていたが、八幡製鉄所の大形工場では仕上スタンドのバルケンに堅ロール装置を取りつけることにより、仕上孔型までカリバー方式で圧延された材料を堅ロールを有する仕上孔型を通すことにより H100×100～H300×300 の H 形鋼を圧延したのがわが国における最初の H 形鋼の圧延である。しかしこの方式では現有仕上ロールの径により製品寸法が制約されるのと、H 形鋼の特長である多種類の寸法のものをつまみ出すにはロールの手持量が増え、型替え回数も増えすぎてコストが上がり作業能率が下がるという欠点がある。そこでブレークダウン、エッチャーとユニバーサルの粗スタンド群、仕上げユニバーサルをタンデムに並べた本格的な H 形鋼専門工場が建設されるようになったのである。図 4.7.1 に H 形鋼工場設備配置の一例を示す。

相ついで建設された各社の H 形鋼工場はいずれも最新鋭設備であるのでそれぞれ最新の技術が取り入れられているが、ここではその中で特長のあるものを二三取り上げてみる。作業能率を向上させるためにはロール組替時間の短縮が必要であるが、堺のインナーハウジング方式、葺合のカートリッジ方式はこの目的に沿つたものである。広畑にはロール胴長を圧延寸法によつていろいろと変えてロールの撓みを小さくするクロスビーム方式、ユニバーサル水平および垂直ロールとエッチングロール位置、ユニバーサル水平ロールとエッチングロール速度、テーブル速度、サイドガイド間隔、圧下率による速度補償、ロールおよびテーブルの回転方向を制御できるプリセットコントロール装置が取り入れられている。なお、工場配置についても、分塊圧延機からブレークダウンないし粗ユニバーサルに材料を送るのに直送・半直送・再熱の三工程方式を採用している。図 4.7.2 にクロスビームスタンドおよびクロスビーム負荷状態を示す。H 形

鋼工場ではないが八幡の軌条工場では、開頭式スタンドにおいてコッター締結装置の代りにプリストレスによる油圧締結装置が取り付けられ、圧延機のガタ防止と組替時間の短縮に役立つ。図 4.7.3 にそのスタンド図を示す。

4.7.3 シートパイル

シートパイルは昭和 5 年に八幡製鉄所で最初に圧延されてから最近まで 5 種類のみであつたが、近年建設工事の近代化、合理化が進むにつれてシートパイルの需要はますます増加し、最近 10 年間に於ける寸法の増加は著しいものがある直線型、Z 型、ラルゼン型というようにつぎからつぎへと新製品が出され、水深の深い 9～10 m の大型岸壁建設工事用として直線型によるセルラーコファダム工法あるいは Z 型というふうにそれぞれの性能に応じた使用がなされて、建設工事技術の発達に大いに貢献している。図 4.7.4 にセルラーコファダム工法の

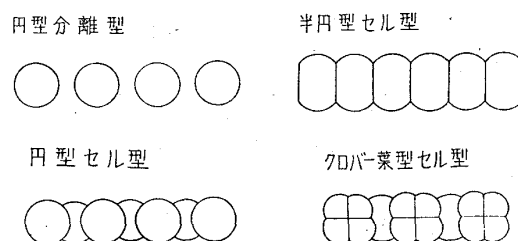


図 4.7.4 直線型シートパイルによるセルラーコファダム工法

一例を示す。とくに最近では断面係数と重量との関係が重視されて経済的なシートパイルということが強調され、この要望にこたえた新しい L 型、Z 型が数多く作られるようになった。図 4.7.5 に各種シートパイルの断面係数対重量のグラフを示す。従来のシートパイルでは断面係数 4500cm³ を有する Z 型が最大であつたが、これでは水深 -10 m 程度が限度であり、最近のように鉤石船、油槽船などがますます大型化して 6 万 t 以上になつてくると水深も -12 m 以上が必要になつてきたので、かかる超大型岸壁建設工事用としてセルラーコファダム工法以外に断面係数 7400 cm³ を有するボックスシートパイルも使用されるようになった。ボックスシートパイルの本体はユニバーサルミルを有する H 形鋼工場で圧延され、継手は中形工場で圧延されて、その両方を組合わせてシートパイルとして使用されるのである。図 4.7.6 にボックスシートパイルの組合わせ図を示す。

4.7.4 異形丸鋼

鉄筋コンクリート用としては従来普通の丸鋼が使用されていたが、米国においては戦時中より丸鋼に突起部を設けた異形丸鋼の研究が進められ、1951 年 (昭和 26 年) ASTM 規格が制定されて以来土木建築界において広く使用されるようになったが、わが国においても昭和 28 年 JIS が制定されて以来急速に普及されるようになった。

異形丸鋼も当初は横ふしのみであつたが、ロール孔型のみぞ加工に放電加工が使用されるようになってから、“ふし”の形状は自由にできるようになり、コンクリー

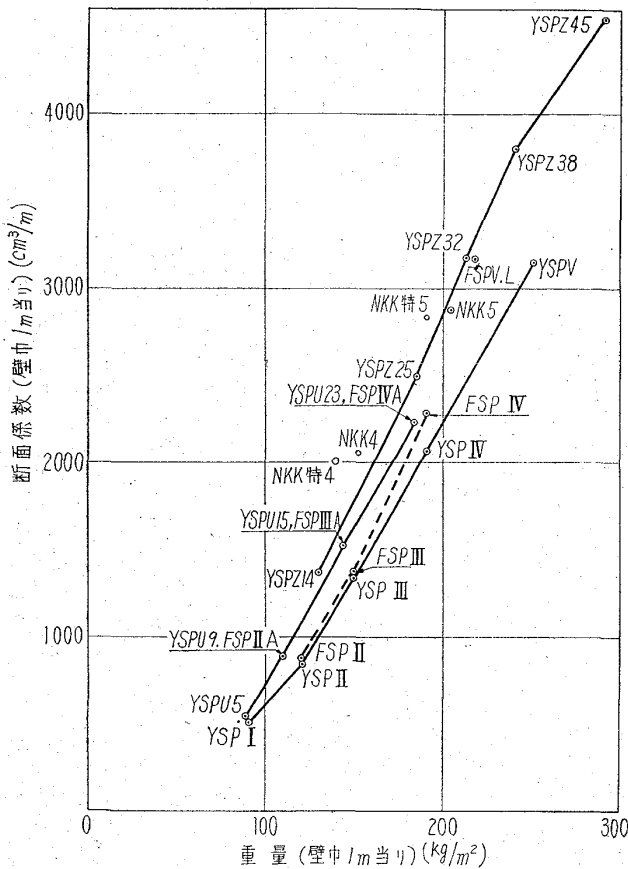


図 4.7.5 鋼矢板の断面効率

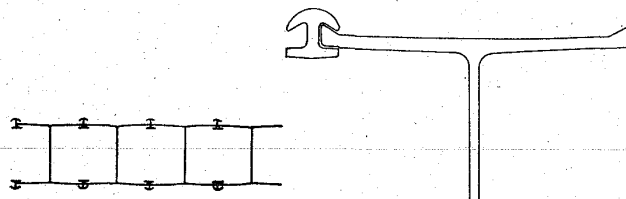


図 4.7.6 ボックスシートパイル組み合わせ図

トの付着力をさらに増大し曲げ特性も非常にすぐれて割れの発生も生じにくいような形状のものが作られるようになった。さらに材質も従来抗張力が 39 kg, 49 kg の 2 種類であったが、降伏点 35 kg (抗張力 50 kg 以上), 40 kg (57 kg 以上) の高張力異形丸鋼が作られるようになったので、さらに鉄筋量および施工費の節減、構造物の耐力増加が行なえるようになった。なお、降伏点 50 kg (抗張力 63 kg 以上) のものも現在研究されている。図 4.7.7 に異形丸鋼の一例を示す。

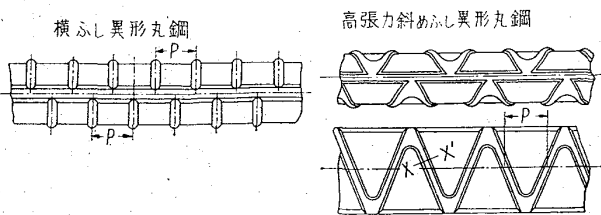


図 4.7.7 異形丸鋼

4.7.5 軽量形鋼

最近 10 年間に非常に発達したものに軽量形鋼がある。建物にしても、鉄道車輛にしても、船舶用間仕切りにしても軽量化ということは強く要望されていたが、熱間圧延形鋼では厚みにも形状にも制約があつて軽量化には一定の限界があつた。しかし、熱間および冷間の連続式ストリップ圧延設備による安価なストリップ薄板の大量生産と、連続式冷間ロール成形設備の急速な発達により、厚みが非常に薄くて形状の複雑な軽量形鋼が安価に大量生産されるようになり、土木建築、鉄道車輛、船舶などにおける需要も急速に増大してきた。

軽量形鋼の特長をあげれば次のようになる。

- (1) 薄手のストリップ材より断面性能が大きくなるような形状にコールドフォーミングできるので、従来の熱間圧延形鋼に比べて単位重量あたりの断面性能が高い。
- (2) 自重が軽く断面性能が高いため使用鋼材量は少なくすむ。材料費、基礎費も安くすむ。また、運搬もしやすく現場組立作業も容易である。
- (3) 冷間フォーミングであるので成品の形状寸法が正確であり、熱間圧延ではできないような複雑な形状のものが容易に作られる。

成形法としては連続式冷間ロール成形のほかに冷間引抜成形もあるが、前者に比べて後者はロール費も安く多品種少量生産に適する特長がある。

4.7.6 そ の 他

(1) 高張力ボルト

超高層ビルの建築、構造物の大型化、高張力鋼の使用、リベット工の不足などから摩擦継手用高張力ボルトがわが国でも使用されるようになり需要が増大してきた。現在は抗張力 70 kg, 90 kg, 110 kg の 3 種類あるが、さらに 130 kg も研究されている。製造法としてはフリクションプレス、六角材からの機械加工、打抜法などが大部分であつたが、最近では多段式熱間あるいは冷間鍛造機により大量生産されるようになった。

(2) 可縮杭梓鋼

おもに炭杭用として使用される杭梓鋼で二つの同一断面形状のものをオーバーラップして組み合わせ継手金物で緊結するから、梓の支持強度以上の地圧に対しては継手部で降縮することができる。最近炭層厚が 5 m から 7 m と厚くなり杭道の規模が大型化したので、従来の成品 1 m あたり 21 kg, 29 kg のものから 36 kg のものに大型化し、さらに成分調整または熱処理による高張力化が研究されている。

4.7.7 結 言

最近 10 年間における建材製造技術について鋼材の種類別にその進歩の概況を述べてきたが、土木建築の分野における建設工事の近代化、合理化はますます進歩発展をとげるものと思われるので、鋼材のほうもさらに新しい形状、新しい品種の開発とともに、高張力化、軽量化という大きな使命にむかつてさらに躍進を続けるものと思う。

文 献

R. BEYNON: Roll Design and Mill Layout

野田・加藤・山本: 富士製鉄技報 第13巻1号

山県義夫: 鋼材製造法第1篇第4章 日本鉄鋼協会編

鍵山・西尾・吉岡: 製鉄研究 No. 244 (1963-6)

4.8 多段式圧延機

4.8.1 作業ロールの直径とその数

電磁気材料やバネ材料のなかには、薄くなれば役に立たない、すなわち“薄いこと”を生命とする金属材料がある。とくに最近、圧延機は一般に軽量化を目的として、肉厚の薄いものが要求されるようになってきた¹⁾。

いま金属板を2本のロールで圧延してだんだん薄くしてゆくときを考える。板が厚いときには、圧下力を増してゆくと板はどんどん薄くなつてゆくが、ある程度まで薄くなると、圧下力を増加してもそれ以下に板厚を薄くすることが困難になつてくる。図4.8.1はFe-Ni合金焼鈍板の圧延例である²⁾。ロール径250mmのときには、パス回数55回で板厚は8mmから0.3mmに、すなわち1/27になつたが、次の55回では0.3mmか

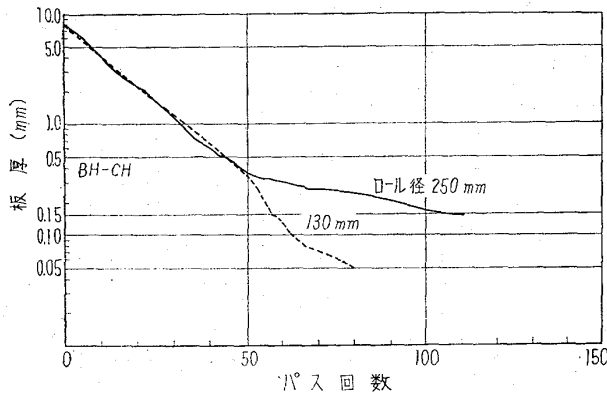


図 4.8.1 板厚とパス回数の関係

ら0.15mmと1/2にしかならなかつた。これは、ロールに弾性的な偏平変形がおこることがその主因であり、圧下力が増加してもロールと板の接触弧長が著しく大きくなるために、単位接触面積当りの荷重は増えないので板は薄くならないのである。

このロールの弾性的偏平変形量については、Hitchcockの方程式³⁾がある。すなわち

$$L' = \sqrt{\frac{8R(1-\gamma^2)p_s'}{\pi E} + R \cdot \Delta h} + \frac{8R(1-\gamma^2)p_s'}{\pi E}$$

ここに L' 弾性偏平変形した接触弧長、 R はロールの半径、 γ および E はロールのポアソン比およびヤング率、 p_s' は圧延圧力、 Δh は圧下量である。

式中で L' を小さくすることが薄い板をつくりやすくする必要条件であり、このためにはロール半径 R が小さいことが望ましい。

図4.8.1でロール径が130mmのときには250mmのときのようなことはなく、板厚は0.1mmまで圧延できた。

いまロールを剛体であると仮定したときの接触弧長を L_0 とすれば、 $[(L' - L_0)/L_0] \times 100\%$ で負荷による弧長の増加率を示すが、この値は、板厚0.2mmで130mm径ロールのときには18%であるのに比較して、250mm径ロールでは60%におよぶ。

上記のように、 R を小さくすると板厚を薄くしやすくなるが、ロールの断面2次モーメントは径の4乗に比例するために、圧下力によりロールは垂直面上で弾性曲げ変形をおこしやすくなる⁴⁾。この曲げ変形がおこると圧延板は中高となるので、これを防ぐ目的で比較的細い作業ロール (work roll) の背後に太い支えロール (back-up roll) を置いたものが4段圧延機である。

いま4段圧延機の作業ロール径を d_1 、支えロール径を d_2 とすると、 d_2/d_1 の比にはある制限が存在する。まずこの比をあまり大きくとると、作業ロールは上下の支えロールからの圧力によつて水平面内で異常な曲げ変形をおこし、とくにこの現象は張力を加えるときに著しくなり板の形状を損う⁵⁾。また板幅がロール径に対して非常に大きな場合にも重要な問題となる⁶⁾。そのために

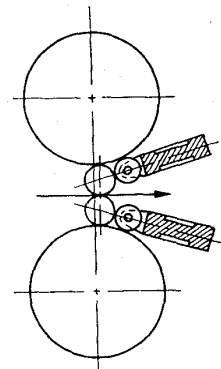


図 4.8.2 作業ロールが水平面内で曲がるのを防ぐ装置を付けた4段圧延機 (Puppe, Stauber)

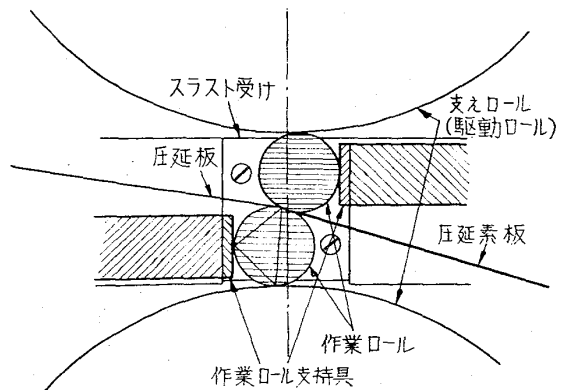


図 4.8.3 作業ロールが水平面内で曲がるのを防ぐ装置を付けた4段圧延機 (ロードミル) (Tobin)

普通4段圧延機では、作業ロール中心線と支えロール中心線を同一の線上におかず、平行にずらしたり、図4.8.2⁷⁾、図4.8.3⁸⁾のように作業ロールが水平方向に変位するのを防ぐ工夫をとり入れている。

第二に、支えロールと作業ロールの弾性接触面内の最高圧力が増大することである。いま $(d_1 + d_2)$ を一定として、 d_2/d_1 を2, 5, 10 とすると、最高接触圧力は

d_2/d_1 が1のときと比較してそれぞれ10, 40および80%⁹⁾増大する。

すなわち, (d_1+d_2) が一定のときに, 作業ロール径が小さくなればなるほど最高接触圧力は大きくなり, これはロール破断の危険性を増すことになる。したがって

作業ロール径を著しく小さくしたい要求の下に d_2/d_1 の比を比較的小さくし, 支えロールを上下2本ずつにした第4・8・4図に示す6段圧延機がつくられた。

6段圧延機は普通クラスタミル (cluster mill) といわれている^{4), 7)}。6段圧延機では, 図4・8・4よりもロール径を小さくすると上下の支えロールが触れ合ってしまうので, さらに支えロール数の多い図4・8・5~4・8・6に示す12段, 20段圧延機がつくられるようになった。

以下本稿では6本以上のロールを持つ圧延機を多段圧延機と称することにするが, 多段圧延機には数多くの種類があり, ロールの数, 配列, 駆動, 圧下機構にそれぞれの特徴をもっているが, ここには工業的に現在多く使用されているものと, 著しい特徴をもつもの数例を概略する。

4・8・2 ローン型多段圧延機

上述のように, 作業ロール径を小さくし, 多数の支えロールで作業ロールを保持するという考え方はかなり以前からあったが, 1930年頃までは電気設備や工作精度の問題から実現しなかつた。

ドイツの W. Rohn が多段圧延機に関する特許をとつたのが1930年および

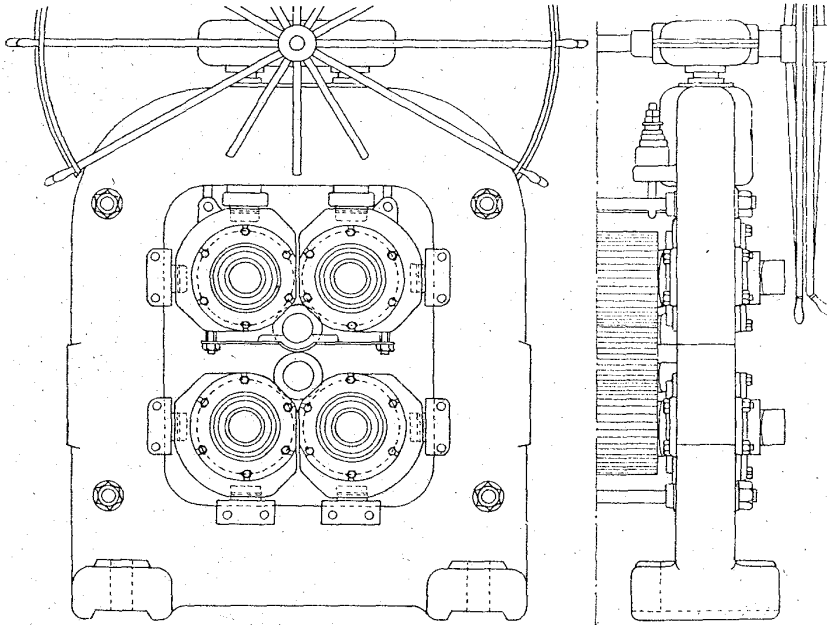


図 4・8・4 6段圧延機 (クラスタミル)

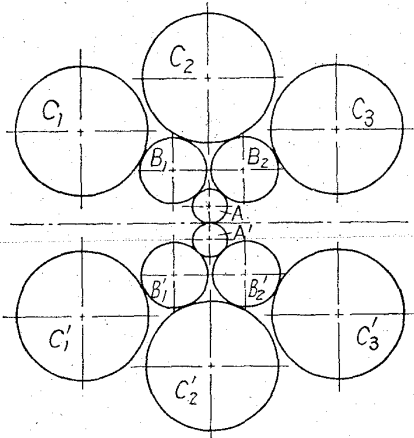


図 4・8・5 12段圧延機 A, A': 作業ロール
B~C: 支えロール

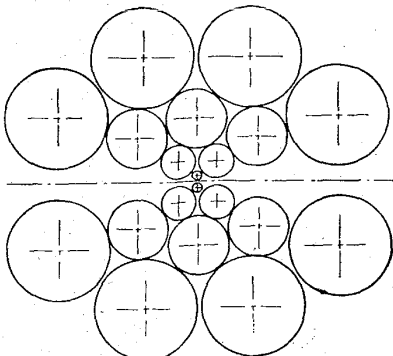


図 4・8・6 20段圧延機

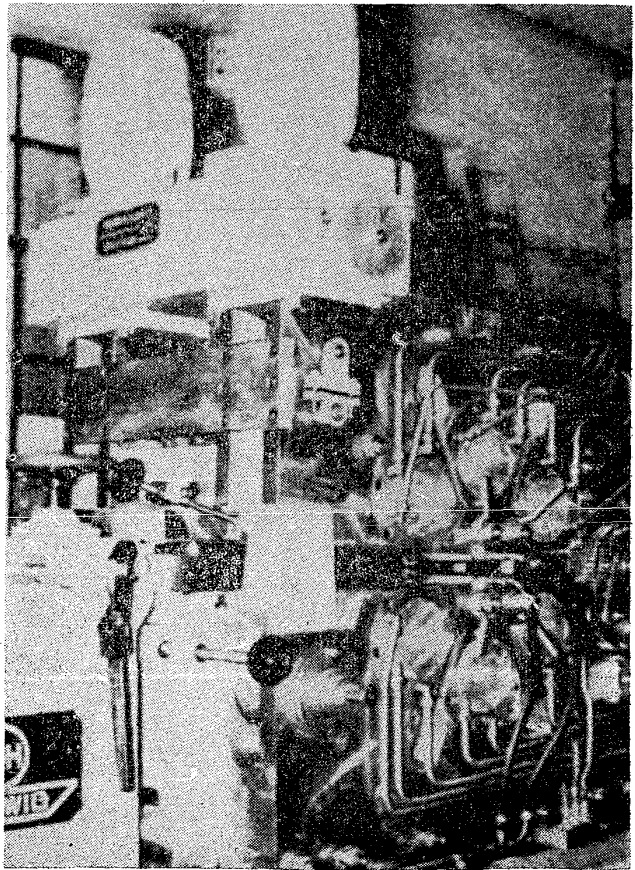


写真 4・8・1 近代的なローン型12段圧延機

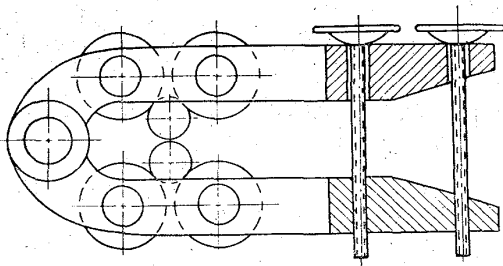


図 4-8-7 初期のローン型圧延機

1931年であり¹⁰⁾、1932年には本機による冷間圧延の成功例を発表している⁷⁾。ローン型多段圧延機は、図4-8-7、写真4-8-1のように、12段圧延機ならば12本のロール全部がソリッドロールであつて、ロール両端はフレームでとめ、上下のフレームはヒンジでつながっている。そのため作業ロールはかなり大幅にその径を変えることができ、またヒンジの調設により偏肉のストリップを圧延することもできる。また写真4-8-2のように、タンデ

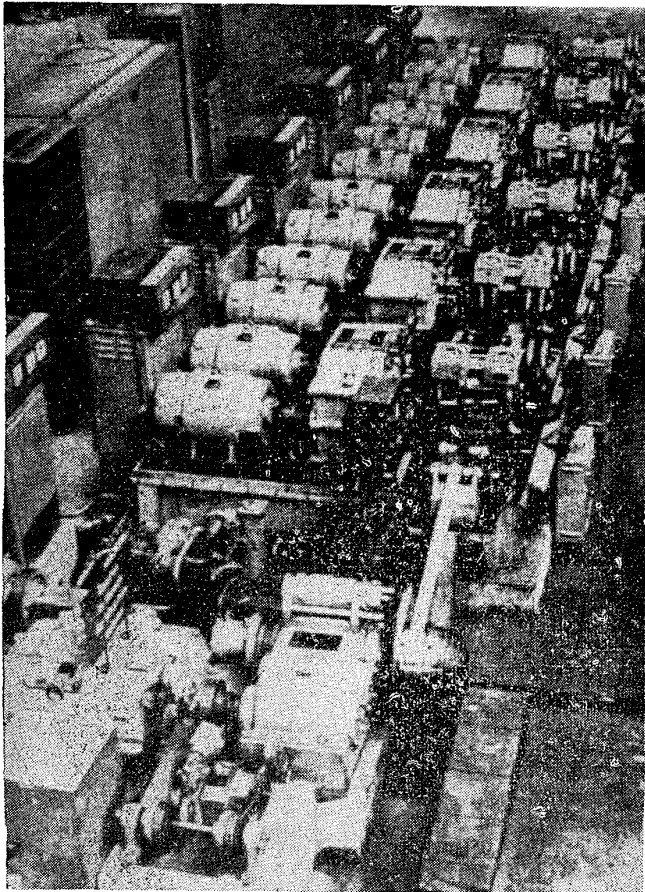


写真 4-8-2 6タンデム、12段ローン型圧延機

ム式のものも稼動している¹⁰⁾。最近ではハウジングを上下に分割し、これを4本の柱で連結して圧下を行ない、また最外周ロールをベアリング対にしたものもつくられ、日々その進歩を新たにしている¹¹⁾。ローン型圧延機は日本にも十数台輸入されており、とくに欧州では多数が稼動され、現在では比較的狭い幅の硬質合金の圧延に使用されている。

4-8-3 センジミア型多段圧延機

W. Rohn とほぼ同時代に K. T. Sendzimir はポーランドで多段圧延機の製造を行なつており、1932年にセンジミア型の6段圧延機を製造したが、この圧延機は現在でもポーランドで稼動している¹²⁾。この多段圧延機の特徴は、一つの頑丈なブロックでハウジングをつくり、この中に偏心リングをもつベアリングの組合わせで作業ロールを保持している点である。

その後作業ロール2、第一中間ロール4、ベアリング

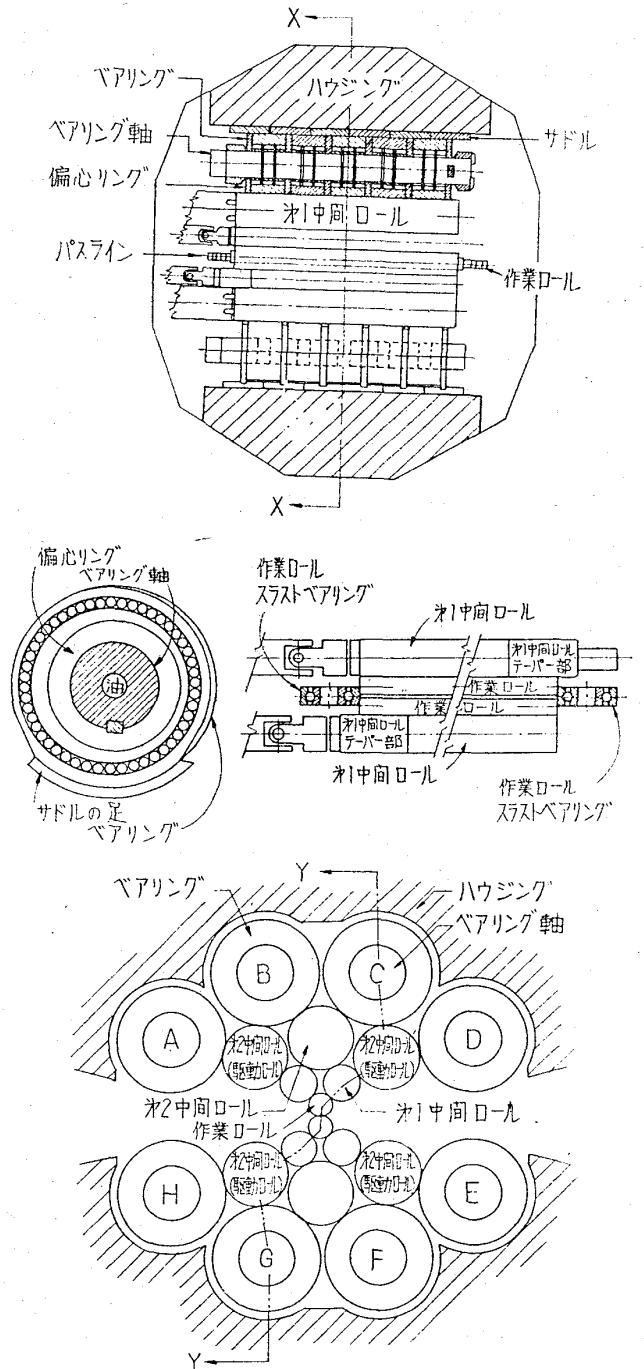


図 4-8-8 センジミア型 20 段圧延機のロール配列。駆動法、圧下機構およびストリップ形状の調整法

表 4・8・1 各種合金箔の圧延例

材 質	素 材		20段圧延機による圧延 (ロール径 6・4 mm)			作業ロール径 130 mm 4段圧延機による圧延	
	幅 (mm)	厚 さ (mm)	圧延のパス 回数	圧延後箔 の厚さ (mm)	平均1パス 圧下率	平均パス圧下率	
銅	26% 冷間圧延	71	0・50	9	0・005	42	27 (0・20→0・12 mm)
7-3 延 黄銅	焼 鈍	100	0・50	3	0・16	32	8 (0・30→0・08 mm)
8% 燐 青銅	15% 冷間圧延	100	0・18	7	0・008	48	4 (0・20→0・03 mm)
ベリリウム銅	10% 冷間圧延	70	0・09	9	0・006	26	
コンスタンタン	79% 冷間圧延	85	0・06	4	0・010	24	
アルミニウム	98・8% 冷間圧延	75	0・40	6	0・006	52	
2・5% Mg-Al 合 金	焼 鈍	100	0・30	4	0・008	70	
5% Mg-Al合金	焼 鈍	100	0・32	4	0・007	73	
軟 鋼	55% 冷間圧延	100	0・14	8	0・005	38	
珪 素 鋼 板	焼 鈍	100	0・17	8	0・016	24	
50/50 Fe-Ni 合 金	55% 冷間圧延	100	0・15	20	0・006	15	
ニ ッ ケ ル	75% 冷間圧延	100	0・09	3	0・01	52	
チ タ ニ ウ ム	焼 鈍	100	0・25	29	0・006	18	

の組合わせ8, (1-2-4型とよぶ)の圧延機を, さらに現在最も広く使用されている1-2-3-4型の20段圧延機を開発した. 1-2-3-4型のロールおよびベアリングの組合わせを図4・8・8に示す. 圧延機の幅は2mにおよぶ広幅のものもあり, 圧延速度は最高約1000m/secであり, わが国には30台近くが輸入¹³⁾されているが, 主として広幅硬質合金の冷間圧延に用いられている.

変形抵抗の大きい合金のストリップ圧延には, 上述したように, また表4・8・1¹⁴⁾に示すように, 作業ロール径の小さいローン型やセンジミア型圧延機は大いにその威力を発揮するが, 比較的変形抵抗の小さい合金の圧延については, ロール径の大きいタンデム圧延機とどちらが有利であるかについては論争がある^{15), 16)}.

一方最近は各種の金属合金でその集合組織が工業的に問題となりつつあり, 磁性材料, 弾性材料のみならず, 板金加工用素材¹⁷⁾にまで大きな影響をもちつつある. 古くは集合組織は圧延率, 焼鈍温度が同一ならば圧延方法には左右されないとされてきたが^{18)~21)}, 近年金属表面の集合組織は圧延方法により異なること^{22), 23), 24)}が判り, 集合組織とロール径との関係, またロールフィニッシュとの関係²⁵⁾も工業的に再検討を要する時期にきているといえよう.

4・8・4 その他の多段式圧延機

(1) M.K.W. (Mehrzweckwalzwerk)²⁶⁾

1台の圧延機で分塊圧延から箔圧延まで行なう目的でつくられたものにM.K.W.がある. たとえば放射性金

属や毒性金属の圧延にはこのような圧延機が便利である. これらの金属を普通の圧延機で鋳塊から箔にすると, 数台の圧延機群が汚染されることになる.

図4・8・9~4・8・10に本圧延機を示した. 一例をあげると, 厚さ約50mmから熱間圧延と冷間圧延で0・025mmの箔まで1台で圧延することができる. ロールは,

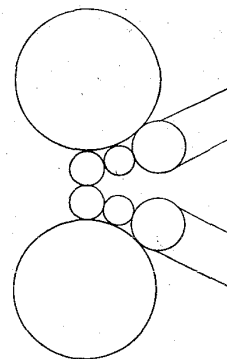


図 4・8・9 多目的圧延機のロール配列

2段として使用するときには径900mm, 4段として使用するときには支えロール径を900mmとし, 径420mmの作業ロールをその間に入れこれを駆動する. さらにストリップを薄くするときには, 図4・8・9のように作業ロール径を120~140mmとし, 次に図4・8・10のように52~57mmの作業ロールを使用するものである.

(2) 振り子圧延機²⁷⁾

硬質合金の熱間圧延および冷間圧延を目的として製作

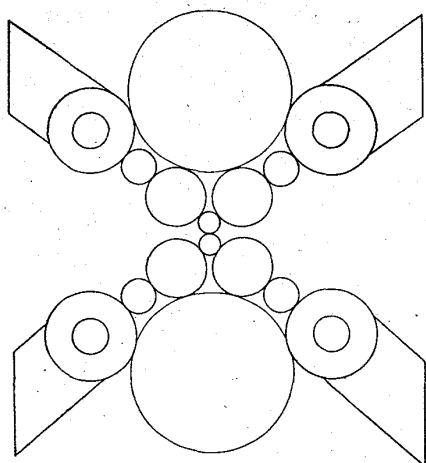


図 4・8・10 多目的圧延機のロール配列

されたものに振り圧延機がある。

図 4・8・11 にその概要を示す。ハウジング内部には6段

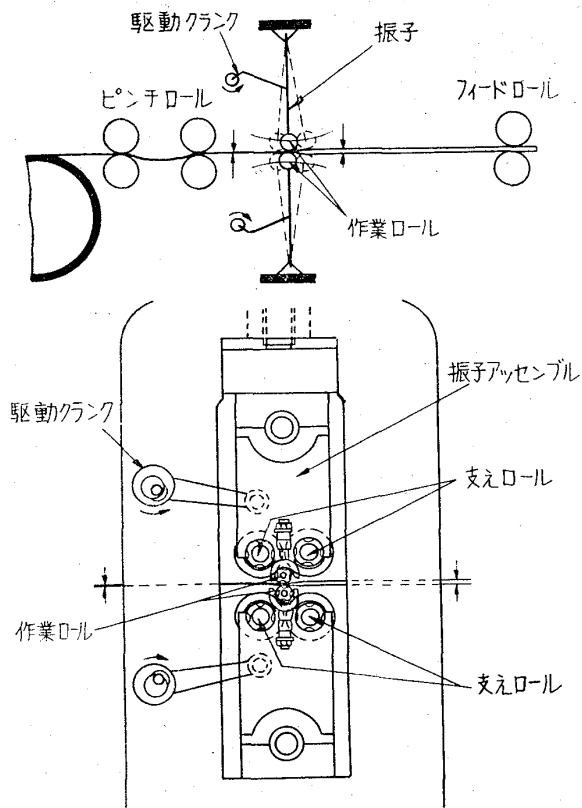


図 4・8・11 振り圧延機

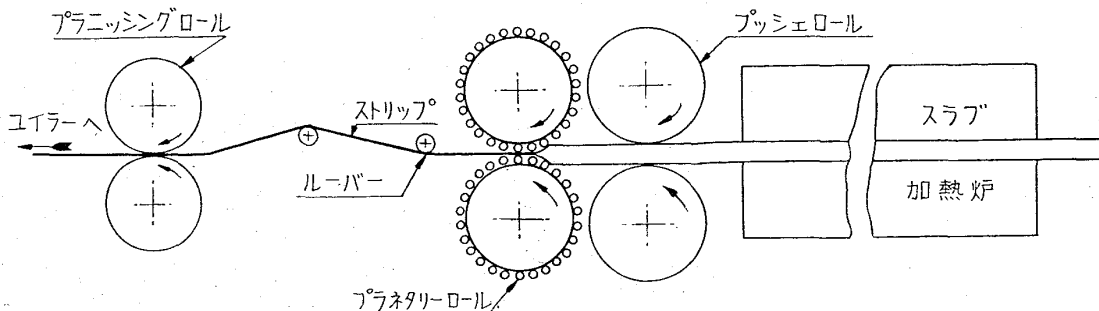


図 4・8・12 プラネタリー圧延機

ロールが入っているがこれは駆動しない。6段ロールの上, 下は図のように頑丈な箱にとりつけられ, この箱はハウジング上下部にある軸を中心に回転運動ができるようになっていいる。ハウジングの左側に付いている腕は駆動クランクで, これが箱および6段ロールアセンブリーに振動を与える。圧延素材は, フィードロールにより図4・8・11 (上側の図) のように6段ロール作業ロール間に送りこまれる。

一例をあげれば, 幅 160~250 mm, 厚さ 9.5~4.3mm のスラブを1回のパスで 80~95% 冷間圧延できるが, このときの振動源としては 120HP の D. C. モーターを用い, フィードロールの周速は 0~3.8 m/min, 振動数は 800~1,800 cycle/min であり, 案内板で素板の坐屈を防いでいる。圧延後ストリップはピンチロールを経てリールに巻きとられる。

4・8・5 プラネタリー圧延機

高能率な熱間圧延機として, またその着想において著しく他の圧延機と異なるものにプラネタリー圧延機がある。

この種の考え方は 1941 年英国の Picken²⁸⁾ によるが, 着想以上には進展しなかつた。1948 年, K. T. Sendzimir は独自の考え²⁹⁾と Picken の同意を得てセンジミア社で本機を完成した。

概略図を図 4・8・12 に, また要目の一例を表 4・8・2 に

表 4・8・2 プラネタリー圧延機の一例

	モーター			
	型式	定格出力 (HP)	速度 (r.p.m.)	電源
ピンチロール	D. C.	7½	750/850	発電機
プッシュロール	D. C.	30	1000/1100	415 V, 3 相, 50% 発電機 2
プラネタリーロール	A. C.	900	495	
プランニングロール	D. C.	200	900/1050	発電機
テーブルロール	D. C.	5	1000	
巻取機	D. C.	15	285/500	定電圧励磁機
プッシュロール圧下	D. C.	10	1200/2400	
プラネタリーロール圧下	D. C.	5	600/2400	定電圧励磁機
プランニングロール圧下	D. C.	10	600/2400	

示した。第1号機はフランスの Peugeot & Sons Co. に設置された。現在では支えロール径 1,700 mm のものが製作され、ステンレス鋼スラブ厚さ 130mm, 幅 1,300mm のものを 180 t/hr 程度圧延を行なっている³⁰⁾。

英国 Ductile Steel Ltd. に設置されたものについて⁴⁾以下その作業などについて述べる。

(1) スラブ

厚さ 30~40 mm 幅 150~380 mm, 長さ 4.5~14 m であり、このスラブ前端は前に置いてあるスラブと軽く溶接し、圧延機が完全に連続運転でき空転しないようにしてある。

(2) 予熱炉

長さ 32 m で、これが 18 のユニットに分かれ、1つのユニットが故障してもユニットごとに温度調整が可能ないようにしてある。

(3) ディスケーター

スラブが予熱炉を出て次のロールに入る直前にディスケーターがあり高圧水を吹きつけ酸化物を吹きとばす。

(4) プッシュロール

ディスケーターを出たスラブは、径 560 mm のプッシュロールに入り、厚さは約 20% 減少し、このとき、11 t 位の水平方向の推力を得る。

(5) プラネタリー圧延機

支えロール径は 507 mm で、このまわりに径 51mm の作業ロールが 26 本 図 4.8.12~4.8.13 のように配列

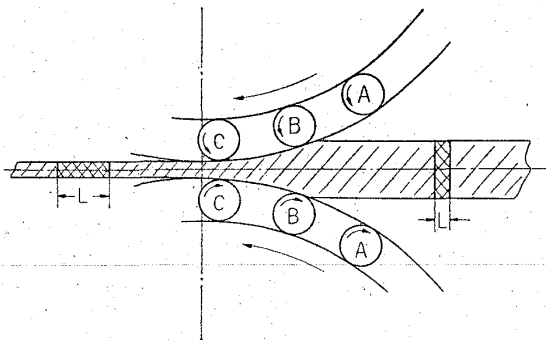


図 4.8.13 プラネタリー圧延機の圧下機構

している。作業ロールの両端はベアリングに入っており、各ベアリングはその相対位置が動かないようにケージに入っており、上下作業ロールは同期するようになっている。支えロールは 500 r.p.m. で回転し、プッシュロールにより推力を得たスラブは作業ロールの間に押しこまれ、約 1.2 mm (圧延率約 96%) に圧延される。材料がかみこまれてからロールを出るまでの時間は約 0.16 秒で、この間に作業ロールが 13~17 個材料にあたる。ロールがスラブを引きこむのではなく、プッシュロールにより押しこまれたスラブの上を作業ロールがたたいて薄くしてゆくという点で、圧延と鍛造両方に類似した点がある。

(6) プラニッシングロール

圧延されたストリップは、プラニッシングロール (平滑化ロール) を通り、美しい面になると同時に 1.2 mm 厚から 1.0 mm に圧延される。

次にストリップは 30 m のテーブルを走り、冷却、剪

断され、切りはなされたストリップは、75% 速度を上げて走り巻取機に入る。

(7) 本機の特徴³¹⁾

a) 酸化が少ないこと、予熱炉はトンネル型で雰囲気調整も容易であり、後述するように予熱温度が低いために、普通の熱間圧延にくらべて、1次スケールが少なく、また圧延時間がきわめて短いので、2次スケールも発生し難い。

b) 予熱温度が低いこと、短時間に強加工するため、加工による発熱で温度上昇が大きい。普通の連続熱間圧延機では、仕上り温度より予熱温度を約 300°C 高くし、圧延中の冷却を考えに入れていたが、本機では仕上り温度近傍の予熱で十分である。したがって、上述したように1次、2次スケールが少なく、熱間圧延後酸洗なしに冷間圧延を行なうこともできる。また高温で予熱温度が約 300°C 低いことは燃料費にも関係する。圧延温度を上昇させるには、プッシュロールの回転を早くし単位時間当りの発熱量を大きくする。また下降させるには、プッシュロール周速をおそく、作業ロールの公転を早くする。

作業ロールは短時間素材に触れ、支えロールのまわりを廻って水煙で冷却されるので、公転を早くすれば温度は下がる。圧延条件が適当でないときには、図 4.8.14 のようなバックフィンその他の欠陥を生ずること³²⁾があ

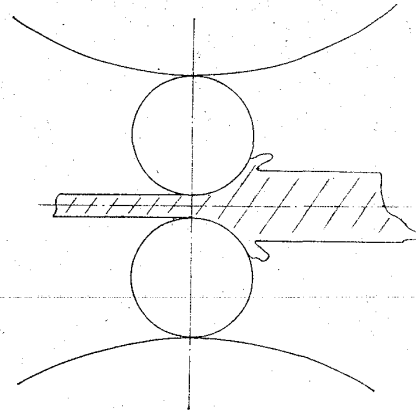


図 4.8.14 プラネタリー圧延機において生ずる欠陥の一例 (バックフィン)

るが、条件を適正化することによって防ぐことができる。

c) 端切が少ないこと 作業ロール径が小さいために幅拡がり少なく、これに起因する端切が少ない。また圧延機への力のかかり方が他の圧延機と異なり、とくに、プッシュロールから圧縮力をうけるため、板の端に張力を生じないので、これによる端切も生じ難い。

d) 硬質合金の熱間圧延による薄板製造が容易であること 普通熱間圧延ではスラブが厚い間は冷却が少なく、高温において変形抵抗が小さい状態で圧延することが可能であるが、薄くなると冷却が著しくなり変形抵抗が大きくなって薄板の熱間圧延は困難になる。また、金属組織の上から最低熱間圧延温度の定まっているような合金では、圧延中の冷却によりおのずから熱間圧延のできる最小板厚が定まってしまう^{33)~35)}。本機では、板を

薄くするほど温度上昇をおこさせることが容易であるために、上記のような制限はなく、硬質合金の熱間圧延に有利である。

プラネタリー圧延機に類似したもので、わが国で開発されたものに単軸遊星圧延機がある³⁰⁾これは、図4・8・15～4・8・17に示すように、1個の遊星ロール群と板また

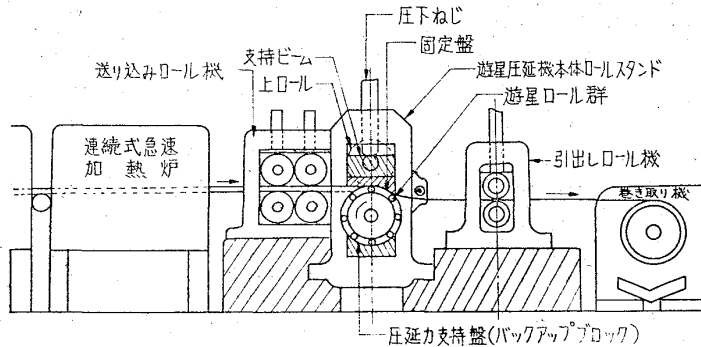


図 4・8・15 単軸遊星圧延機

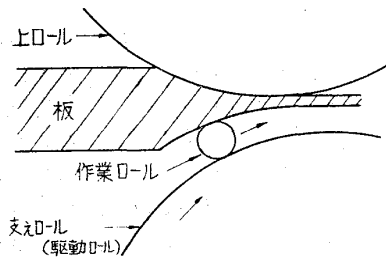


図 4・8・16

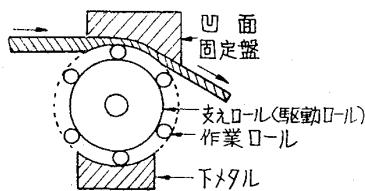


図 4・8・17

は大径のロールの間に圧延を行なうものであり、その構造がプラネタリー圧延機より簡単であるために、各部の強度を十分に設計することができ、そのため熱間圧延はもとより冷間圧延も可能である。

プラネタリー圧延機は、図 4・8・14 のような欠陥や金属の流れから明^{37), 38)}らかなように、圧延時の金属組織は普通圧延のときと異なることが予想される。圧延条件³⁹⁾、圧延機構⁴⁰⁾についても検討が加えられている興味ある点が多々ある。

以上多段圧延機について略述してきたが、いずれも作業ロール径を小さくして、作業ロールと材料の負荷時における接触弧長を短くし、単位接触面積当りの圧延力を増加させることにその目的があるのであり、上述のほかにも種々の型式をもつものが発案製造されている。

これらの経済性については、あるものは確立しているが、未だ不明のものもあり、圧延機構の究明とともに新しい発展が期待される。

文 献

- 1) 福田：塑性と加工, 4(1963~4), p. 175
- 2) 田中, 加藤：昭和 33 年 4 月, 日本金属学会講演会に発表
- 3) L. R. UNDERWOOD : The Rolling of Metals, 1 (1952), Chapman & Hall Ltd.
- 4) E. C. LARKE : The Rolling of Strip, Sheet and Plate (1957), Chapman & Hall Ltd.
- 5) C. W. STARLING : Sheet Metal Ind., 36 (1959), p. 667
- 6) N. H. POLALOWSKI : J. Metals, 8 (1954), p. 954
- 7) J. PUPPE, G. STAUBER : Handbuch des Eisenhüttenwesens III, (1939), Julius Springer
- 8) J. TOBIN : Sheet Metal Ind., 40 (1963), p. 105
- 9) 著者の計算による
- 10) G. THIEL : Z. Metallkunde, 48 (1957), p.399
- 11) H. NIEDERSTEIN : Stahl u. Eisen, 80 (1960), p. 926
- 12) M. G. SENDZIMIR : J. Met., 8 (1956), p. 1154.
- 13) 岡村：特殊鋼, 10 (1961), p. 58
- 14) 田中, 福田：機械の研究 10 (1958), p. 73
- 15) N. H. POLAKOWSKI : Metal Progress, 61 (1958) 2, p. 67
- 16) 横手：芝共ニュース, (1958) 31, p. 1
- 17) 五弓：日本機械学会誌, 67 (1964), p. 488
- 18) W. A. SISSON : Metals & Alloys, 3 (1933), p. 193
- 19) G. WASSERMANN : Stahl u. Eisen, 48 (1928), 693
- 20) F. WEVER, E. SCHMIDT : Z. Metallkunde, 22 (1930), p. 133
- 21) C. B. HALLABAUGH : Metals & Alloys, 2 (1932), p. 246
- 22) H. HU, P. R. Sperry, P. A. Beck : J. Metals, 4 (1952), p. 76
- 23) P. REAGEN : Z. Metallkunde, 54 (1963), p. 273
- 24) I. L. DILLAMORE, W. T. ROBERTS : J. Inst. Metal, 92 (1964), p. 193
- 25) Metalworking Production, 107 (1963), p. 93
- 26) Metall, 15 (1961) Mai.
- 27) Metalworking Production, 107 (1963), p. 86
- 28) British Patent Specification, 609,706 (Application Date, 1941)
- 29) British Patent Specification, 655,190 (Application Date, 1948)
- 30) K. T. SENDZIMIR 氏よりの私信による
- 31) C. W. STARLING : Sheet Metal Ind., 38 (1961), p. 247
- 32) H. W. WORD : Iron & Steel, 31 (1958), p. 25
- 33) The Making, Shaping and Treating of Steel, (1957) U.S. Steel.

- 34) Flat Rolled Products, (1959) Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., Interscience Publisher Inc.
- 35) Flat Rolled Products, (1960) Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., Interscience Publisher Inc.
- 36) 本多, 広瀬: 塑性と加工, 4 (1964), p. 238
- 37) J. H. MORT: Iron & Steel, 27 (1954), p. 451, p. 486
- 38) H. M. WAITER: Iron & Steel, 28 (1955), p. 68, p. 106
- 39) D. M. POTTER: Iron and Steel, 30 (1957), p. 587
- 40) R. TOVINI: Sheet Metal Ind., 37 (1960), p. 488

4.9 薄鋼板の性能

4.9.1 鉄鋼薄板のプレス成形技術

プレス型によつて素板の変形と移動に秩序ある拘束をあたえ、素板を型に塑性約ならびに弾性的になじませて所定形状に成形するのがプレス成形技術である。鉄鋼薄板のプレス成形技術は、多量生産技術の要望を背景に、基礎をなす成形の力学を母胎とし、プレス機械、プレス作業、接合、表面処理などの関連部門との平衡関係にたつて、最近の10年間に著しく向上した。

約80年の歴史をもつプレス作業の経験と、約50年にわたつて蓄積された研究成果を基盤に、成形の力学は昭和25年以来急速に進展した¹⁾。昭和35年に入つて、力学的成果は成形技術の体系的認識を作り出し、他の部門にも直接的に融合し、発展に大きな貢献をした。すなわち、成形技術との相対的關係にたつて、薄板の成形特性の体系化された認識をあたえたことは、鉄鋼薄板の成形特性の開発と向上を進めた。さらに、プレス作業に生ずる各種不良現象の分析は、表4.9.1に示すように、吉田による不良現象の分類と作業基礎系区分を可能にした²⁾。すなわち、不良現象を成形中と成形後に現われるものに大別し、さらに成形途上において、素板の型へのなじみ状況、破断による成形限などを中心としてまとめ、それらと成形技術、薄板特性、型工学などの関係

を示した。そして、成形技術、薄板特性、型工学の3部門はプレス作業の基礎系を構成し、この基礎系は成形の力学に基盤が置かれねばならぬとした。

現代のプレス成形技術は、作業において生ずる表中の諸問題を総合的に経済的手段で処理することが中心課題である。それゆえ、問題点と基礎部門を結びつける総合的認識が、現代のみならず、将来の基礎ならびに応用研究に必要である。

(1) 成形技術の力学的基盤³⁾

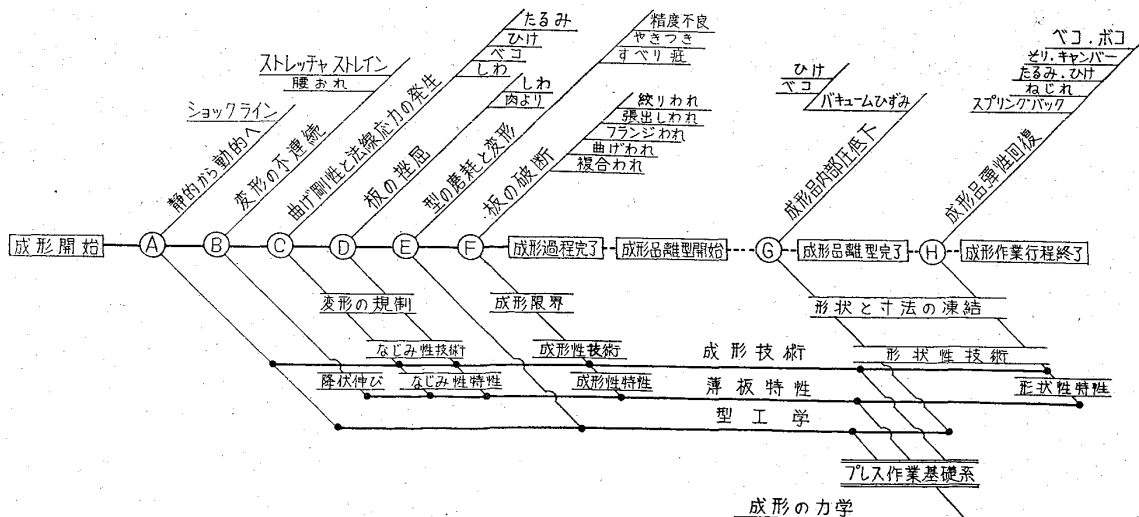
最近の10年間に円筒深絞りを中心とした軸対称成形、各種形態の曲げ成形などに対する、数学的解析がほぼ併行して完成した。そして、各種形状についての成形の実験的研究による力学的特性の解析は、数学的解析結果を、より実用面への一般化を行ない、成形技術の力学的基礎の確立を助けた。

円筒深絞りを中心とした軸対称変形の数学的解析は²⁾、連続体の力学として、基本的には弾性問題と同じ考え方である。塑性問題であることは、応力とひずみ関係が異なる点で弾性問題と区分され、各種形状と状態の成形は境界条件として数学的手法に取り入れられる。

実際の変形状態を忠実に取り入れて、各種軸対称変形における各部の応力ならびにひずみ分布が明確にされた。このことは実験的解析と併されて、複雑な形状の成形における各部の応力ならびにひずみの分布状態の推定も可能ならしめた。これらの成果は表4.9.1に示す諸問題を個別に、また総合的に解決する技術の基礎となるもので、成形限やしわ発生⁴⁾におよぼす成形形状、寸法、型を構成する成形部諸寸法などの影響が具体的に解明された。

以上の成形の力学的特性の解明の展開は、各種成形様式を伴う成形の合理的分類を行なうプレス成形区分を生んだ⁵⁾。すなわち、プレス成形における素板の変形と破断の型式の組合わせによつて、深絞り、張出し、伸びフランジならびに曲げの4種の基礎的成形が考えられた。これらの基礎成形が、変形的に独立と独立でない複合成形、たとえば絞り-張出し複合成形などの概念も同時に作られた。これらの各種の総称名として、プレス成形という言葉がこのときに設けられ、絞りとは同一

表 4.9.1 プレス成形における不良現象分類と作業基礎系



でない独立分野としての張出しの概念も、ここで分けられた。この成形区分は個々の研究成果の有機的結合を助け、それら成果の成形技術への反映を容易かつ適正化した。

曲げ⁶⁾に関する数学的解析も弾性問題を出発の基礎として、応力-ひずみ関係、中立軸の移動、バウシinger効果などに塑性問題としての特徴を作り進められた。曲げに関する実験的解析も併せて進んだ。この分野で特筆される成果の1つは、曲げ精度、すなわちスプリングバック量に影響をおよぼす変形履歴の定性的ならびに定量的検討である。たとえば図4.9.1に示すごとく曲げによ

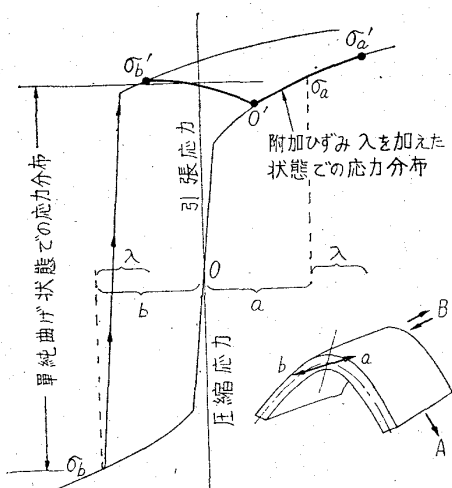


図 4.9.1 曲げ後に付加ひずみを加えた場合の板厚内の応力分布と応力差の変化

る板厚内のひずみ分布に対応した応力分布(細線)は、わずかな付加的ひずみ λ を A 方向に加えることによつて、 σ_a は σ_a' 、 σ_b は σ_b' へ移り、太線のように板厚内の応力分布は均一化と対称的へと移行し、スプリングバックが減少する。この付加的ひずみは B 方向に加えても同じような効果が得られることも明らかにした。曲げについて得られたこのような考え方は、一般的なプレス成形における精度向上に対しても適用される。なぜなら、曲げ変形を伴わないプレス成形は無いからである。三次曲面をもつ大寸法製品、たとえば自動車外板の曲面精度は、板厚内におけるこのような不均一な応力分布に加えて表面の場所の違いによる変形の不均一で生ずる応力分布の不均一や、ひずみ分布の不均一の影響も加わるとの考え方が作られた⁷⁾。

プレス成形では素板の拘束が必要であり、それによる摩擦抵抗の軽減や、場合によつては積極的利用のための調節は、潤滑剤の特性や潤滑方法の検討を必要としてきた。成形限向上、型摩耗、表面疵などの対策としての潤滑問題は、最近 10 年間に組織的に解明されてきた⁸⁾。

以上のべた現代の成形技術を買っている大きい力学的基礎群のほかに、表 4.9.1 に示す諸問題の総合的解明には、今後検討せねばならぬ問題が未だ多く残されている。たとえば成形条件と成形品の弾性変形や形状剛性の関係の究明がある。このことは、変形の調節効果の検討が必要となり、ボデーしわの発生ならびに成形初期からの、型への素板のなじみ状況の観察と影響の調査に結び

つけられる。このような研究によつて、あたえられた製品の形状に成形するために必要な、変形の強制、拘束などが明らかにされ、形状に対する成形様式の認定と、成形難易度の判断が可能となろう。成形様式の認定の基礎は成形区分によつてあたえられたが、形状ごとの成形難易度の区分は未だ不十分で、形状区分とも名付けられるこの分野の確立が進められねばなるまい。そのためには表4.9.1に示す技術的問題に対する形状ならびに寸法効果の研究をさらに重ねる必要がある。

最近 10 年間のプレス成形技術の特徴の一つに、成形精度向上を中心課題として技術が展開されている面がある。そのため、ポンチ底部や側壁部に接する素板の変形調節を行なうために、絞りビード、段絞り、フランジ絞り、局部的張出しの広範囲な活用が行なわれている。この結果、素板と型寸法が大きくなり、プレス機械の大容量化が目立っており、プレス成形技術の経済性には好ましくない傾向が現われている。

比較的浅い三次曲面の成形に当つて、変形の調節を普通プレス成形による消極的方法から、積極的方法に変えて、この好ましくない技術的傾向を打開する考え方も現われねばならない。たとえば、ストレッチ成形法や、それを組合わしたエキスパンド成形法の利点を用い、能率的にするのも一つの方法である(図4.9.2参照)。これら

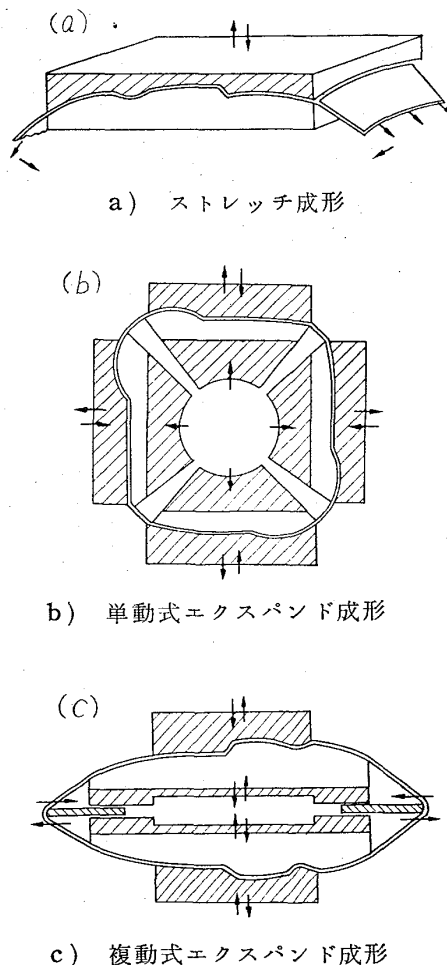


図 4.9.2 引張りと型成形の組合わせ例

の成形技術も、基本的にはプレス成形技術であり、近い将来に普通のプレス成形と工程上で組合わせよう。

(2) 成形技術と薄板の成形特性

プレス作業開始以来、成形技術と薄板特性の関係は、もつとも多く論議されてきた。それは主として表 4・9・1 に示す問題点のうちの破断を対象にしたもので、いわゆる古典的な意味での深絞り性に関するものである。材料の引張試験値と深絞り性の不一致は、エリクセン試験その他さまざまな模型的プレス成形による試験法を生み出した。それでも、実際作業結果とそれら試験値に密接な相関が認められない例も数多く発表されてきた。このような混乱状態は、プレス成形区分が発表された昭和 33 年頃まで続いた。

成形区分の考え方によつて、破断を対象とした材料特性はプレス成形性として総称され、プレス成形性は成形区分に従つて深絞り性、張出し性、伸びフランジ性、ならびに曲げ性に区分されるべきだとした。また変形が重合している複合成形には複合成形性⁹⁾の概念の必要を示した。そして、深絞り性試験法としてひろく認められていた既存の各種試験法を、試験片の変形と破断の型式の違いにより、それぞれ表 4・9・2 に示すように分類し対応させた⁹⁾。このことにより、実際のプレス成形、成形性試験法、材料特性の相互間の判断に関する論議に秩序

表 4・9・2 プレス成形と成形性試験の対応関係

プレス成形性	成形性試験法
深 絞 り 性	スイフトカップテスト
張 出 し 性	エリクセンテスト
伸 び フ ラ ン ジ 性	K. W. I テ ス ト
曲 げ 性	曲 げ テ ス ト
絞 り - 張 出 し 複 合 性	コニカルカップテスト

を作り、成形技術と薄板の成形性を直接的に結びつけた。この考え方は、すでにわが国では常識化し、1960年(昭和 35 年)における I.D.D.R.G. での発表以来国際的にも受入れられた。

一方、それら試験法と実際作業との対応が明らかにされたので、試験を行なうことは、研究場所で各種のプレス成形を行なうことと同意義となつた。それで、この模型的プレス成形を対象にして、万能的共通試験として引張試験を考え、各種成形性と引張試験値の対応関係の研究が、国内のみならず、国際的にも共同で始められた¹⁰⁾

薄板の加工硬化係数 n と深絞り限界の関係については、簡単な数学的取扱いと実験的解析によつて、 n が大きいほど深絞り性は良好であることが、わが国でもすでに昭和 27 年には発表されていた¹¹⁾。ただ、軟鋼板は非鉄金属板とは異なつた特性の導入による解明の必要が実験的に示されていた。このことは、ランクフォード値 R の深絞り性への効果に関する数学的ならびに実験的解析によつて達成された。

n と R の深絞り限界への効果を求めたわが国最初の解析結果¹²⁾を模型図的に示すと、図 4・9・3 に示すように、 R 値増大によつてポンチ力が下がり、 n によつては、ほ

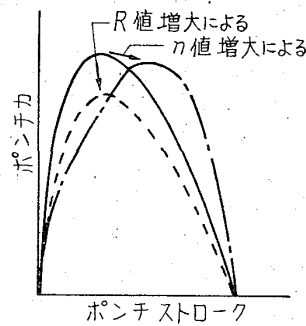


図 4・9・3 R と n 値のポンチ力への影響模型

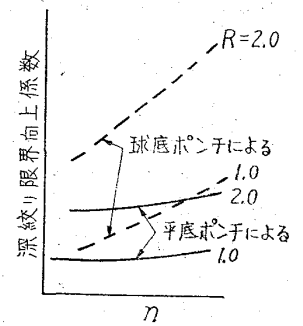


図 4・9・4 平底と球底ポンチによる深絞り限界への R と n の効果

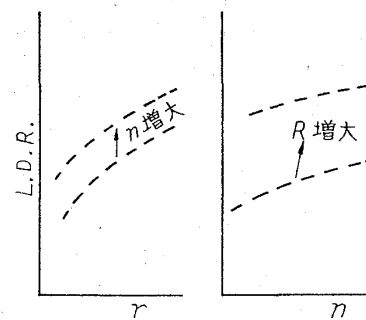


図 4・9・5 深絞り性へおおよぼす R と n の影響模型

ぼ水平方向に移動し、一方、破断力は R の増大によつて上昇する。それゆえ、深絞り性は R と n の両方の影響を受けるが、鉄鋼板に期待できる n の増加は R の増加にくらべて小さいので、深絞り性向上に対する R の支配が n より大きいことが実験的にも示された。

ついで、基本的には前述の解析法により、平底ポンチと球底ポンチにおける破断条件の違いも取り入れた数学的取扱いがなされた¹³⁾。この結果は図 4・9・4 に模型的に示すように、平底の場合は前述の結論と同一であるが、球底では平底の場合より n の影響が大きいことも示された。これらの結果は、材料の加工硬化を無視し、変形を単純化して行なつた。米国での最初の解析結果である $\sqrt{1+R}$ の形での深絞り性への R 効果も特別の場合として求まる、より一般的成果である。深絞り性と n と R の関係は図 4・9・5 に示すように R ならびに n によつてある幅が存在することが各種材料を用いて実験結果の総合整理によつても明らかにされた¹⁴⁾。

張出し限が材料の変形能に依存することは直感的なものでもあり、具体的にはエリクセン値と伸び率の関係が検討されてきたが、両者間にはかならずしも満足すべき結果は得られなかつた。これは材料の変形能としてくびれ後の局部伸びを含む伸び率を用いたことに問題があり、一様伸び限界の対数伸びひずみでも、ある n とエリクセン値の間に、最近、やや満足な結果が認められつつある。張出しに関しては、定義の上からも、変形的にもまだ不確定で不鮮明な事項が多い。これらの諸事項の解明のため、張出しの形式とひずみ分布ならびに勾配と変形能の関係、あるいは張出しにおける不安定変形条件の追究などがなされねばなるまい。

絞り-張出し複合成形については、一層、Rとnの交互作用が考えられる。絞り-張出しの模型成型としてコンカルカップテストがあるが、この結果と被断部における幅絞り $\phi^{16)}$ とさらに(R×n)とかなりの強い相関が認められている。また、一樣幅縮み限界にも、より多くの張出しを含む複合成形性インデックスとして提案されている。

深絞り性、張出し性ならびにそれら複合成形性と、主な引張特性値の対応関係は表4.9.3のように示すことが

表 4.9.3 成形性と引張試験で求まる成形性インデックス

	Index	F(R,n)
深絞り性 Lankford R	R	R
Sumitomo ϕ	ϕ	$NR/(1+R)$
Yoshida $\phi \times u$	$\phi \times u$	$NnR^2/(1+R)^2$
Benelux R×n	R×n	R
Yoshida u	u	$nR/(1+R)$
張出し性 n	n	n

$u = \ln w_0/w$
 $\phi = \ln w_0/w$

できる。軟鋼の深絞り性とRの関係については十分な確認が得られ実用に供されている。他のインデックスについてもより組織的な、そして広範囲な研究によつて、これらの対応関係の確認と実用性への検討が続いている。

表4.9.1に示す諸問題を材料の成形特性的面から見た場合、破断を対象とした成形性以外に、表中に示すようにあと2種の成形特性を考える必要がある。1つは、素板が型と外力によつて拘束され変形させられる過程において、型へのなじみ性である。しわの発生も型になじまない現象の一つである。いま一つは、成形品が型からはずされた状態で、好ましくない弾性変形によつて形状がくずれることなく、所定形状に維持できる。あるいは凍結しうる材料の特性で、形状性という成形特性である。形状性に富む材料の特性の一つとして、低降伏点あるいは低降伏比の材料があげられ、このことは実験的にまた実際作業的に確認された。

なじみ現象や、弾性回復による変形や不良現象の除去も、成形技術的には成形過程に適当な付加張力を必要とするので、破断に結びつく。このことから、なじみ性も形状性も成形性に帰納できることになる。一方、なじみ性、形状性が良ければ、付加張力も少なく、技術的には楽な成形が可能になるともいえる。なじみ性、形状性、成形性の相互関係とそれらと技術との関係の究明が学問的にもまた作業的にも興味ある問題である。

(3) 成形技術の型工学

成形の力学と材料の成形特性を考慮して、成形の具体化を行なうのが型であるから、三者の関連は当然密接なものである。したがつて、プレス作業所では多くの資料があり、型設計基準的なものが整備されつつある。成形の力学に基づいた型設計基準も徐々に提案されつつあり、型工学分野の確立に必要な母胎が作られている。現状では、成形の力学と材料の成形特性を対応させた場合のように(技術と型工学の関係を)体系的に記述ができるまでに到っていない。成形技術の基礎は、この3分野の学問的体系に立脚すべきであり、平衡した展開を必要とする。しかし、各プレス作業所の型工学的研究や資料が公表されるようになったので、型工学の学問体系も遠からず確立されよう。主な鉄鋼会社と自動車会社で構成されている、薄鋼板成形技術研究会が、成形技術の基礎部門の平衡した発展に貢献している寄与は、将来とも大きく期待される。

文 献

- 1) 機械工学年鑑, 塑性加工学会誌“塑性と加工”に集録されている。
- 2) 吉田: プレス作業系区分の1部 (未発表)
- 3) 福井, 益田, 春日, 宮川, 山田, 吉田, 室田, 河合らの研究
- 4) 宮川, 春日, 河合らの研究
- 5) 吉田: I. P. C. R., 53 (1959) 1514, p. 126 理研報告, 35 (1959) 3, p. 199 塑性と加工, 2 (1961) 10, p. 657
- 6) 益田, 戸沢, 室田, 齋藤, 阿部らの研究
- 7) 吉田: 塑性と加工, 5 (1964) 37, p. 56
- 8) 春日, 河合, 福井, 吉田, 吉井, 今岡, 尾崎らの研究
- 9) 吉井, 吉田, 阿部, 福井らの研究
- 10) 国内的には薄鋼板プレス成形技術研究会とそのメンバーにより, 国際的には, IDDRG により
- 11) 福井, 工藤, 吉田, 大川: 東大理工研報告 6 (1952), p. 351
- 12) 福田: 塑性と加工, 5 (1964) 36, p. 3
- 13) 山田: 塑性と加工, 5 (1964) 38, p. 13
- 14) 吉田: 塑性加工専門講演会 (1964)
- 15) 幅絞り ϕ は, 本来, 表3に示す $\phi = \ln(w/w_0)$ でなく (w/w_0) である。

4.9.2 冷延鋼板におけるプレス成形性の進歩

(1) 緒言

今日自動車工業, 電機工業その他の諸工業において基幹原材料として重用されている冷延鋼板は, 日本においてはストリップミルによる生産方式が導入されて以来, 最近十数年の間に飛躍的に発展してきた品種である。この間に冷延鋼板は単に数量的に生産が増えただけでなく, 品質面においても著しい進歩をとげた。すなわち最近では純酸素転炉製鋼法, オープンコイル焼鈍法などの代表例に見られるごとき製造設備, 技術の開発は冷延鋼板の品質の向上という面においても著しく寄与するものがあつた。さらに近い将来においては真空脱ガス法, 連

続製造法などの新技術にかけられる期待もまた多大なものがあるといえよう。

一方このような飛躍的ともいえる発展の経過に対比して、理論面、使用者、製造者の三者がおのおのの立場から協力して地味ながら一步一步解決し、前進してきた面があることも特記しておかねばならない。すなわちプレス加工技術、ならびに理論面において、プレス加工上の諸問題点を成形性および形状性として体系化し、おのおの基本特性値を明確ならしめ、これに対応する試験方法を確立するためにはらわれてきた努力ならびにその成果には着目さるべきものがある。一方製造者側においてもここに得られた知識、試験方法を基礎、媒体として鋼板の基本特性値と冶金的要因の間の関係を解明し、さらにはこの成果を製造技術面に結びつけて多くの研究開発を行なっている。その結果、冷延鋼板の全般的な品質向上のみならず、おのおの特性値に対する効果的な工程管理手段が明確となってきたため、使用者のさまざまな用途におのおの応じた適性の鋼板の供給もより容易となつてきつつある。

(2) 鋼板の塑性加工性に関する基礎研究

プレス成形性として鋼板に要求される基本特性としては、深絞り性、張出し特性、伸びフランジ特性、曲げ特性の4要素があり、さらに現在ではまだ不明の点は多いが、形状性も成形性と同等程度の価値を有する特性と考えられるにいたっている。そのほか、一般用リムド鋼板を使用するさい、不可避の現象ともいえる時効性もまた重要な特性の一つであるといえよう。

これらの基本的特性と冷延鋼板の冶金的要因の結びつきには非常に複雑なものがあり、かならずしも明確化されたものばかりとはいえない。これから述べる内容に関しても、なかには独断的な説明を含んでいるかも知れないが、このような点については御批判、御叱正を仰ぎたいと考えている。

1) 伸び、張り出し性、伸びフランジ性の冶金的要因

基本成形性要素のうち、張り出し性、伸びフランジ性は引張試験における伸びなどと一応総括され同種の特性値と考えられてきている。これらの特性値を向上せしめるための手段としては、鉄の結晶格子に歪を与える不純元素をできるだけ除去し、さらに非金属介在物、カーバイドのごとき異相粒子を最小限におさえ、しかも完全焼鈍を行なつて結晶粒を適当な粒度に調整し、加工歪もできるだけ与えない状態のまま使用することが望ましい。これらの諸条件には熱間圧延、焼鈍、スキンプスの各工程において決定される要因も含まれているが、やはり不純物の効果はもつとも重要でかつ複雑である。

冷延鋼板における不純物の存在状態は、つぎの3種に大別できる：

(1) NおよびCのように、侵入型固溶原子として存在するもの。これらの不純元素は固溶状態でもその影響は大きいと、とくに時効硬化の主要原因となり、このさいに降伏点を高めるだけでなく同時に延性をもはなはだしく劣化させる。一例として図4.9.6は平炉において酸素製鋼の条件を変えN含有量を変化せしめた一般用リムド鋼板について、夏季2カ月時効後の伸びの値を示したものであるが、高度の相関が存在する。

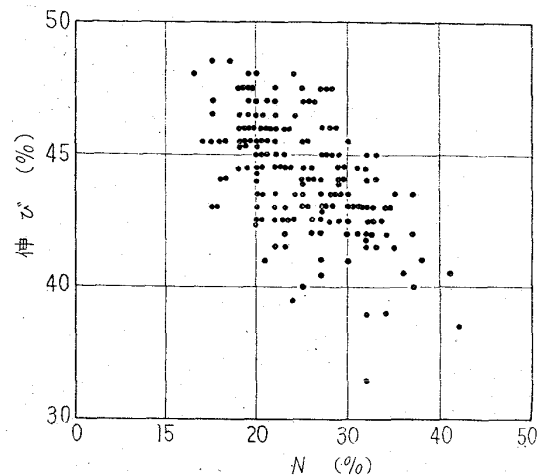


図 4.9.6 鋼中N量と伸びの関係(夏期2ヶ月自然時効後)

(2) Mn, P, Cu, As その他の tramp element の置換型固溶元素、この種の不純元素は傾向としてはやはり延性を低下せしめるように作用するが、侵入型の不純元素にくらべては現今の管理状態では実際的なその影響は少ない。

(3) 前二者の不純物とは異なつてフェライトのマトリックスから遊離して異相粒子として存在するもの。炭化物、窒化物、硫化物、酸化物などのいわゆる非金属介在物などがこれである。これらの異相粒子は一般に異方的配列を有するいわゆる mechanical fibering として存在する場合が多く実際にプレス成績に大きな影響をおよぼしている例も少なくない。この種の介在物は量的に少ないことが有利となることはいうまでもないが、存在する場合でもできるだけ微細、球状、かつ均一に分布していることが望ましい。

一般に材料の延性に影響を及ぼす因子としては、マトリックスの特性と広い意味での介在物の挙動の両者を考えねばならないが、ここで変形形態が異なつてくれば当然両要因への依存性の優劣が変化することが考えられる。すなわち種々の変形における伸び限界はその破断の形態によつて左右され、歪勾配、応力集中効果などによつても影響をうけるが、なかでもこれらの余条件の影響が少ない延性試験値、たとえば長標点間距離の試験片を用いた一軸引張における一様伸びなどでは、不純元素、加工歪などのマトリックスの性状によつて支配されるところが大きいようである。一方エリクセン試験のごとき多軸局部張り出し加工、穴抜き成形のごときマトリックスの成形限が拡張された変形形態などにおいては、破断の基因となる介在物の影響がマトリックスの影響よりも強くあらわれてくる場合がある。すなわち深瀬²⁾は穴抜き限界について硫化物系介在物との間にもつとも高い相関があることを見出しており、さらにエリクセン値については森永²⁾、佐々木³⁾らが介在物の存在が大きな影響をおよぼすことを発表している。

結晶粒度は通常のプレス用冷延鋼板の範囲、すなわち粒度番号6以上の細粒では、微細化するほど伸びは劣る傾向を示すので、最終焼鈍においては結晶粒度を適正な範囲におさめるように管理しなければならない。しかしエリクセン値に関しては、結晶粒が粗大化することは有

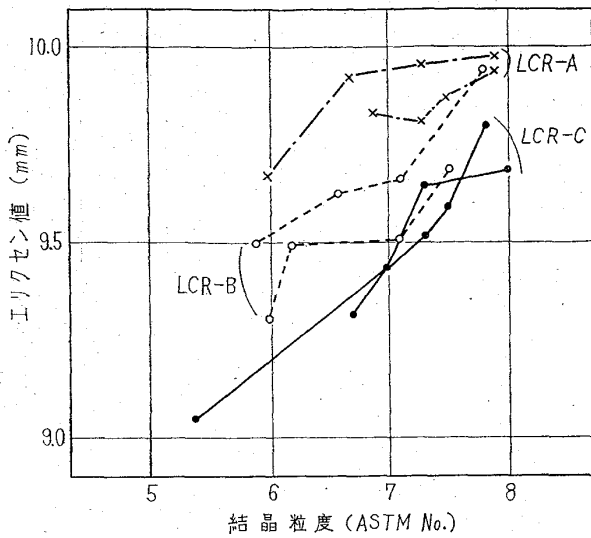


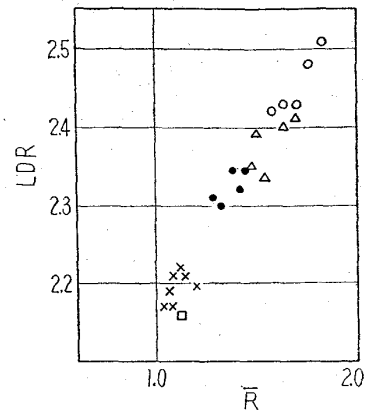
図 4-9-7 エリクセン値と結晶方位, 粒度の関係 (板厚: 0.53mm)

利にならない。図 4-9-7 は同一の熱延コイル素材から (111) [110], (110) [001], (100) $\pm 10^\circ$ to plane—[011] $\pm 25^\circ$ to R.D. (R.D. = 圧延方向) の 3 種類の集合組織を有し, 成分, 介在物, 内部歪などの要因は全く同等である冷延鋼板を作成し, エリクセン値と結晶粒度の関係をしらべたものである。この試験結果によれば, エリクセン値は結晶粒度が 8 以下に粗粒化し, 肌荒れが甚だしくなるにしたがって低下する傾向を有し, また集合組織自体の影響, 集合組織と結晶粒度の交互作用⁴⁾も認められる。

2) 深絞り性の冶金的要因

深絞り加工の機構から考えて, 摩擦力および曲げ抵抗などを無視すれば, ポンチ面での破断強度が大で縮みフランジ変形抵抗が小なる材料ほど優れた深絞り性を示すことは当然である。古くから冷延鋼板においては Al キルド鋼が深絞り用材料として賞用されてきたが, すでに, Lankford⁵⁾ は 1950 年 (昭和 25 年) に, Al キルド鋼の優れた深絞り性が, 加工のさいに板厚方向に薄くなりやすく平面方向に縮みやすいという塑性異方性に起因していることを見出し, この異方性を引張り試験によつて検出し, R 値として深絞り性の一つの要因と考えた。この場合, 彼はこの R 値を単独的ではなく, 加工硬化係数 n 値と組合わせて成形性の良否を論じている。山田⁶⁾, 岡本⁷⁾ は n 値, R 値の深絞り性におよぼす効果について理論計算を行ないとも深絞り性の基礎特性であることを明確にした。この両要因を比較した場合 n 値は, とくに深絞り用として製造されている冷延鋼板を全般的に見た場合, 変動が比較的小であり, その効果も R 値に比しては小さい^{3,7,8)}。現今の冷延鋼板について R 値と限界絞り比の関係を図 4-9-8 に示したが, これからも冷延鋼板の深絞り性の変動は実際的にはほとんど R 値によつて左右されているといえよう。

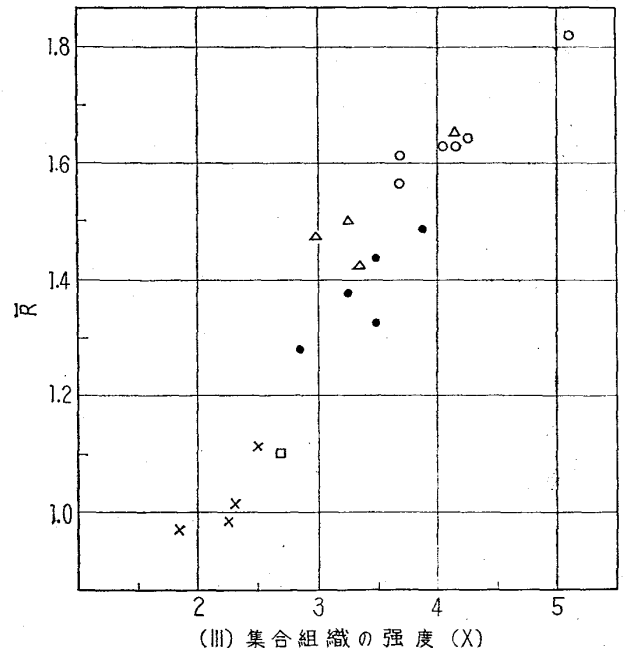
R 値のごとき normal anisotropy あるいは深絞り加工時に発生する耳の例に見られるような planar anisotropy などの塑性異方性の真の冶金的要因の追求は古く



- × Rimmed Steel
- △ Al-Killed Steel (Elongated grain)
- Al-Killed Steel (Equi-axed grain)
- Open Coil Decarburized Rimmed Steel
- Open Coil Decarburized Special Rimmed Steel

図 4-9-8 \bar{R} 値と限界絞り比の関係

から行なわれてきたが, 最近になつて Burns, Heyer⁹⁾ は冷延鋼板の R 値と結晶集合組織の間の関係を理論的にも実験的にも明らかにした。すなわち彼等は塑性異方性は冷延鋼板の結晶方位がある特定の方位にそろっている場合に生ずることを結論し, R 値の平均値 \bar{R} が大で平面内での R 値の変動の少ない結晶方位, いいかえれば深絞り性が優秀で耳の発生も少ない結晶方位として, 鉄の体心立方格子の (111) 面が圧延面に平行あるいはそれに近い方位をとつた場合を選んでい。図 4-9-9 はこの



(III) 集合組織の強度 (R)

図 4-9-9 (111) $\pm 20^\circ$ 範囲内積分 Pole figure value と \bar{R} value の関係

表 4・9・4 結晶集合組織と R 値

試料 No.	優先結晶方位		結晶粒		R 値						
	主方位成分	強度	形状	大きさ ASTM No.	圧延方向 (0°)	22・5°	45°	67・5°	幅方向 (90°)	\bar{R}	ΔR
LCR-A	(111) [110]	強	等軸	5・0	1・86	1・72	1・88	2・18	2・70	2・02	0・98
LCR-B	(110) [001]	中	等軸	4・3	1・00	0・62	0・61	1・82	3・16	1・29	2・57
LCR-C	(100) $\pm 10^\circ$ to plane [011] $\pm 25^\circ$ to R.D.	強	等軸	4・0	0・57	0・62	0・58	0・81	1・15	0・72	0・58

(111) 集合組織の強度としてX線解析による(111) $\pm 20^\circ$ の範囲の集積強度をもとめ、これをR値の関係を示したものであるが両者の間には強い正相関が認められ、この

理論が正しいことを裏付けている。(111) 集合組織以外の方位の効果についても少なからぬ研究結果^{4,7,10,11)} が発表されている。

写真4・9・1に示す3種類の冷延鋼板は同一熱延コイル母板より製造されており、化学成分、異相粒子、内部歪の状態は全く同じでしかも結晶粒度も大体同程度である。通常鉄の冷間圧延鈍集合組織としては、いろいろな方位をとる可能性はあるが、なかでも(111) [110] の Cube-on-Corner orientation, (110) [001] の Cube-on-edge orientation, (100) [011] の Cube-on-face orientationの3種類がその代表的なものといえる。表4・9・4に示すごとく、本試験材は集合組織の強弱あるいは分数に若干の差はあるが、一応これら3種類の集合組織の性状をそなえており、もつとも深絞り性の優れた(111) 集合組織と理論的にももつとも深絞り性の劣る(100) 集合組織ではRにして2・0と0・7、限界絞り比にしても2・5と2・0の差となつてあらわれている。一方方向性珪素鋼板の Goss texture として著名な(110) 集合組織は、深絞り時の耳の形成が大で絞り性もあまり良好ではなく、プレス用冷延鋼板の集合組織としては不利であるといえよう。

プレス加工における耳の問題は、深絞り性と同様に結晶異方性の面からかなり検討されてきており、表4・9・4写真4・9・1を対比しても明らかなように、一応R値の平面異方性 ΔR の大小と耳の大小は傾向的には一致するようである。理論的な機構の解明のみならず、実際に集合組織を変化せしめることによつて、一般の冷延鋼板に見られる $0^\circ \sim 90^\circ$ 耳から 45° 耳、さらには 60° 間隔に6つ小さい耳が発生する冷延鋼板、あるいはほとんど耳が発生しない鋼板などの製造が可能であることはすでに報告されているとおりで^{1,2)}。

3) 形状性の冶金的要因

割れ以外のプレス不良として重要であるしわ、ドラミング、スプリングバックなどの形状不良は、割れの場合ほど体系的な研究は進められていないし、たとえばしわを例として考えても、相関ある特性値は場合によつて非常に異なつてくるのが報告されている³⁾。このことからこの種の欠陥においては、冶金的要因との関係の明確化、ひいては製造条件へのフィード、バックも困難となりがちであつた。しかし現在の段階で一応いえることは、降伏点、降伏比、 n 値といったような引張試験における応力-歪曲線の形状を決定する一連の特性値がなんらかの形で関係を有する場合が少なくないことである。

降伏点については転位論の立場から理論的研究が進め

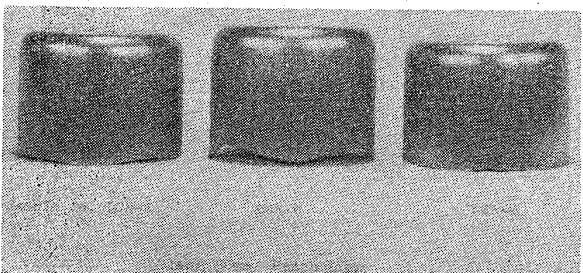
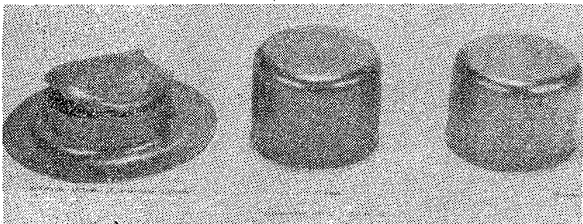
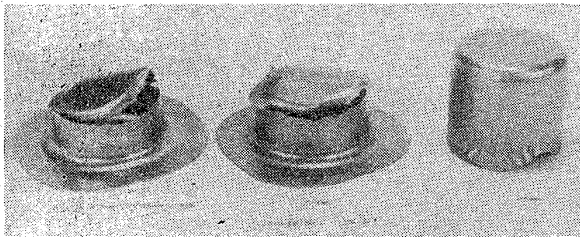
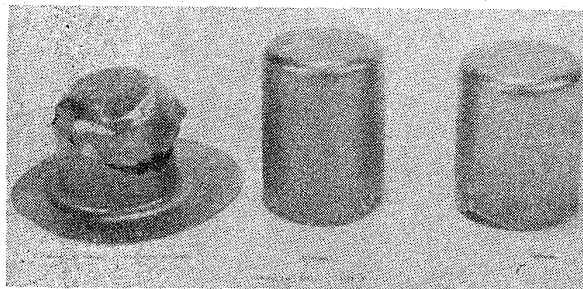


写真 4・9・1 結晶方位と深絞り性、耳の関係

られ、結晶粒度と転位を固着する働きをもつ格子間固溶不純原子が根本的要因であることが明らかとなつている。また n 値として示される加工硬化特性についても理論的な研究が進められており、オースナイト系ステンレスのごとき面心立方金属と体心立方金属である通常のフェライトの鉄の加工硬化特性の差は変形におけるすべりの機構の違いから生じることなどが解明されている。冷延鋼板においては、このような本質的な意味からは n 値に大差が生じることはないが、それでもマトリックス中の不純元素、結晶粒度、あるいは時効硬化などによつて実際形状性に関して問題になる程度の差は十分生じてくる。

ここで注意しておかなければならぬことは、一般的な形状性の向上対策、すなわち塑性変形度を高めることによつて形状ならびに寸法精度向上を行なう場合と異なつて、加工における歪の伝播をできるだけさげ、歪を局部的に吸収することによつて形状をだすような加工例も考えられることで、このような場合には冷延鋼板に要求される特性としても逆に降伏点が高く n 値および R 値が低いことが望まれる特例があることである。

4) 時効性の冶金的要因

冷延鋼板を実際に使用するにあつて、ストレッチャーストレイン発生の原因となる時効硬化は単にそれだけではなく、成形性、形状性に対しても転視できない悪影響をおよぼす重要な特性である。この冷延鋼板の時効現象については非常に多くの研究がなされてきたが、結局時効硬化は鋼中に固溶した C 、 N に起因すること、とくに室温程度では N が主要原因であることが結論されている。したがつてこの固溶不純元素を化合物として固定する方法、あるいは除去する方法の二つが時効性を軽減するための手段である。前者の方法は、 Al キルド非時効性極深絞り用鋼板において Al による N の固定を利用する方法として古くより実用化されており、またリムド鋼板においても経済性、あるいは技術上の難点を無視すれば V 、 B などの窒化物形成元素の添加によつて非時効性ならしめることは可能である。一方後者の方法は、後述するオープンコイル焼鈍方式によつてはじめて工業的に成立したともいえるが、今のところこの方式のみで完全非時効性ならしめることは経済性の面でまた得策とはいえない。

一方、一般のリムド鋼板においては、固溶不純元素の影響だけではなく結晶粒度の影響が実際問題として非常に大きい。すなわち、固溶不純元素が同水準であれば、

結晶粒が大であるほど焼鈍板の降伏伸びは小さくなるので、より少ないスキンプス圧下率で降伏伸びを消滅せしめることが可能であり、したがつて成形性、形状性の点でも有利となるのみならず、歪時効がおきた場合でも回復量絶対量ともに低いのでストレッチャーストレインが発生しにくく、またレベラーでの除去もより容易になることが知られている。

(3) 製造設備、技術の発達

1) 成分および介在物要因

過去においては、冷延鋼板の品質向上における根本的な思想は鋼中の有害元素の低減ということにとくに重点がおかれてきた感があるが、実際に製鉄、製鋼工程における設備技術の進歩が冷延鋼板の加工性にもたらした実績は非常に大きい。なかでも特筆すべきものは製鋼精錬作業における酸素の使用、純酸素転炉の採用であろう。

冷延鋼板の鋼塊は、日本にストリップミルが導入された初期の頃は主として平炉製鋼法によつて溶製されてきたが、酸素製鋼法が発達するにしたがつて初期の目的であつた生産性の面のみならず品質面、とくに冷延鋼板の時効性、成形性に非常に悪影響をおよぼす N 含有量の低減に大きな効果があることが明らかとなり、使用酸素はさらに高純度化して大量に使用されるようになった。さらに純酸素上吹転炉が日本の主要製鉄所に設備されるにおよんで、生産性の点のみならずその品質面の優位性は旧来の通常平炉法に比して決定的なものとなり、現在では冷延鋼板用の鋼塊はほとんど純酸素転炉鋼にきりかえられるに至つた。表 4.9.5 は通常の平炉鋼、高純度酸素製鋼法による平炉鋼、純酸素転炉鋼、オープンコイル焼鈍法による脱炭・脱窒処理鋼と製造技術の進歩のあとをたどつてリムド鋼板の主要化学成分、機械的特性を比較したものである。 C 、 N のごとき侵入型の不純元素は一般に置換型の不純元素に比して材質劣化におよぼす影響は時効硬化とも関連してとくに大きい、この点についてのみ着目しても冷延鋼板の品質は着実に向上していることが明らかであろう。

純酸素転炉製鋼法においては、平炉法と異なり、不純な購入スクラップを使用せず、少量のリターンスクラップのみを使用する機会が多く、したがつて Cu 、 Sn 、 Ni 、 Cr などの tramp element の増加を防ぐことができ、冷延鋼板に適した鋼塊を溶製できる。その反面溶銑の成分に関しては厳密な管理が必要で、とくに転炉製鋼法では精錬時間が短いため P 、 S の除去が問題となる場合が多い。このため最近では溶銑に対しても脱硫前処理を行

表 4.9.5 リムド鋼板における材質の変遷 (板厚 0.8 mm)

鋼種	化学分析値 (wt. %)							降伏点 (kg/mm ²)	引張り強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	降伏伸び (%)	エリクセン値 (mm)	C.C. V.
	C	P	S	Cu	Ni	Cr	N						
平炉鋼	0.056	0.012	0.019	0.10	0.04	0.03	0.0035	23.1	34.8	42.1	3.8	10.3	38.34
純酸素製鋼法による平炉鋼	0.045	0.010	0.017	0.09	0.04	0.02	0.0022	22.0	34.3	43.1	2.0	10.6	38.02
純酸素転炉鋼	0.047	0.012	0.019	0.06	0.02	0.01	0.0018	20.8	33.7	44.5	1.6	10.7	37.95
Open coil 方式による脱炭脱窒処理鋼	0.004	0.011	0.017	0.06	0.02	0.01	0.0008	17.3	28.4	49.8	0.5	11.0	37.42

なつたり、あるいはこの両成分のみならず Cu, As をはじめとする製鋼工程では除去できない不純元素を含めて根本的に高炉の操業、製鉄原料の管理を行なっているところが多いようである。

さらに積極的に転炉製鋼作業において微粒の脱硫、脱磷剤を酸素と共に吹きこむ OLP 法なども今後 P, S の低減策として採用されるであろうと考えられる。

C は平炉、転炉のいずれの製鋼法でも大体 0.02~0.03% 程度まで下げることができるが、この際 C の低下に逆比例して O 含有量が増加する。O 含有量の増加はキルド鋼においても脱硫剤の歩留、安定性ならびに残留介在物などの諸点で不利になることはいうまでもないが、とくにリムド鋼においてはこのような低炭素高酸素の領域ではリミングアクションが不良となり鋼中の介在物の増加、結晶粒の微細化などにより、冷延鋼板の材質は向上するどころかかえつて劣化してしまうので、精錬終了時の C-O バランスは適正に管理する必要がある。この C と O の相反的な影響を一挙に解決することができるのが最近脚光をおびてきた真空脱ガス法である。すなわちこの方法によれば鋼中の C と O は CO ガスとして自己脱酸の形で同時に除去されてしまう。現在はまだ一般に使用されているわけではないが、冷延鋼板の成分、介在物要因を制御できる製造方式として理想的なものであると考えられる。

製鉄、製鋼工程における成分管理技術はこのようにわずかずつではあるが進歩してきているが、これに比して非金属介在物、二枚板などの内部欠陥に関してはほとんど問題とはえない。もちろん製鋼作業において出鋼成分、温度の管理を行ない造塊では鑄型形状の検討、リムド鋼のリミングアクションの適正管理、スカムの除去、Al キルド鋼では押湯方法の改善などいろいろな方向から対策はとられているが、いまだに満足さるべき状態とはいえない。

この分野において真空脱ガス法とならんで将来利用されるであろう造塊技術に連続鑄造法がある。これによれば過去の造塊方式において宿命であった鋼塊頭部欠陥、すなわち冷延鋼板における二枚板、偏析などの内部欠陥、不均質性などの問題の解決は容易である。現時点ではリムド鋼タイプスラブの鑄造にまだ難点が残っているようであるが遠からず実用化されるものと思われる。さらに将来はこの真空脱ガス法と連続鑄造を組合わせた造塊方式が冷延鋼板製造に適用されるであろうことも十分考えられることである。

以上のごとく最近までは冷延鋼板の成分調整は、一部は製鉄工程において、根本的には製鋼工程において行なわれてきた。すなわち従来の工業的な精錬方法のほとんどは鉄を液相で処理しているが、最近開発されたオープンコイル焼鈍方式は焼鈍時にコイルを間隔をあけて巻きなおすことにより板の全表面にわたり固相の鉄を雰囲気ガスと反応せしめ成分調整を行なうことを可能ならしめたのみならず、液相反応の場合に比して遜色ない生産性をあげることができる特徴を有している。

プレス用冷延鋼板の製造にあたってはこのオープンコイル方式による成分調整はいまのところ C, N が対象となつている。C は湿水素ガスと反応せしめることによつ

て、製鋼作業の場合と異なつて、O および介在物の増加の危険なしに通常含有量の $\frac{1}{10}$ 程度すなわち 0.005% 程度にまで簡単に低下できる。C 量は当然炭化物量を左右し通常は熱延-冷延-焼鈍工程においてその形状分布状態が決定されるが、このような極低炭素鋼では製品の炭化物は完全に消滅しておりその悪影響は除かれている。

オープンコイル焼鈍法における脱窒機構は雰囲気中の水素とのアンモニア合成反応によるようで、その脱窒速度はそれほど大ではないが、それでも通常の焼鈍サイクル中に約 $\frac{1}{2}$ すなわち 0.001% 以下程度にまで下げることができる。

2) 結晶粒度と結晶異方性

前に述べたように冷延鋼板の結晶粒度はストレッチャー-ストレーン、弾性限あるいはプレス成型性などの諸点からは肌荒れを生じない範囲である程度大きいことが望ましいとされている。一般に結晶粒度は圧延工程においてどのようにでも制御できると考えられがちであるが、結晶粒界の barrier energy を高めるような不純元素や粒界移動を妨害する介在物などを製鋼時点で管理しないと、他の工程はすべて同一条件であっても、実際の製品のバラツキは非常に大となつてしまう。S, 非金属介在物¹⁴⁾, C などがこの点に関して重要と考えられる要因である。焼鈍条件はいうまでもなく直接結晶粒度に関与する製造工程であるが、連続焼鈍では急速加熱を行ない、均熱時間も短かいために結晶粒は大きくならないし、従来のベル焼鈍では焼付などの欠陥が生じるために温度の上限がおさえられてしまう。オープンコイル焼鈍法によれば、この種の欠陥は生じないので、より高温の焼鈍が可能であり結晶粒度の調整も容易である。しかし脱炭焼鈍を行なつた場合は脱炭時に急激な結晶粒の粗大化が起るため、かえつてこれをなんらかの方法で抑制しなければならぬ場合も生じてくる。

冷延鋼板において結晶異方性が重要な要因であることが解明されたのはつい最近のことであるが、それ以来この問題に関しての研究開発の成果には注目すべきものがある。以前より極深絞り加工に重用されてきた Al キルド鋼板のすぐれた深絞り性は、熱延-冷延-焼鈍の過程での AlN の固溶析出現象を利用して (111) 集合組織を形成せしめることによつて得られたものであることが最近になつて明らかとなつたが、リムド鋼板においては通常工程を通るかぎりこの種の効果は利用できないため、その他の機械的特性では差がなくても、この深絞り性に関しては Al キルド鋼板に比して本質的に劣るのもやむを得ない。深絞り加工にさいして有利に作用するこの (111) 集合組織は冷間圧延焼鈍鋼板の集合組織の一つの要素として形成されやすく、また焼鈍過程における結晶の粗大化時にも、この方位は他の方位の結晶に優先して成長する傾向も有しているが、何といたつても集合組織の弱い一次再結晶の範囲でしかもプレス加工時の肌荒れの点から結晶粒が小さいうちに特定方位の結晶をそろえることはなかなか困難で、異方性珪素鋼板の場合と同様な高度の製造技術管理が必要である。

最近ではリムド鋼についても (111) 集合組織を強く形成せしめる技術が二、三発表されているが製鋼時における添加元素の効果¹⁵⁾、熱延条件、冷延圧下率および脱炭

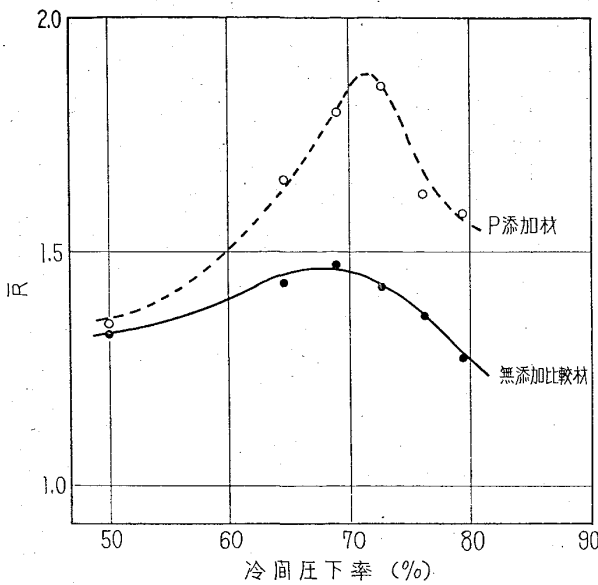


図 4.9.10 冷間圧下率および P 添加の R 値におよぼす影響

焼鈍の条件¹⁰⁾などがその主要なものである。図4.9.10はその例としてオープンコイル焼鈍法による脱炭処理リム

ド焼鋼について冷延圧下率，P 添加の影響を示したものである。

3) 調質度の管理

最終焼鈍を終った冷延鋼板は剪断前にスキンパス圧延を行なうが、これは鋼板の形状を整えるとともにストレッチを行なうがこれは鋼板の形状を整えるとともにストレッチャーストレインを抑制する目的をもあわせて有している。しかしこの工程が材質に与える効果は冷間加工にほかならないので降伏点近傍の応力-歪曲線の形状、延性などの特性に大きな影響をおよぼす。最近のリムド鋼板の使用範囲はますます広がる傾向にあるが、これにつれて調質技術の管理もいつそう高度のものが要求されるようになり、加工性とストレッチャーストレインの相反性、形状性、剛度などの諸特性を考慮して調質度を分別管理する必要が生じてきた。一方技術面においてもデジタル式スキンパス圧下率計¹⁶⁾などが開発され、調質度管理をより厳密に行なうことを可能ならしめている。

現在では時効現象が不可避である一般のリムド鋼板においてもこのように製造者側における C, N 含有量の管理結晶粒度調整の二大要因をはじめとして調質圧延技術、ならびに管理方式の進歩、使用者側においては在庫期間の調整、レベラーの使用などによって一步一步時効に原因する加工上の問題は実質的に減少してきている。

表 4.9.6 各種冷延鋼板の製造上、使用上の特徴

JIS 規格	鋼板種別	製造上の特徴	使用上の要点
SPC-1相当	一般用リムド鋼板	主として転炉製鋼法により C, N その他の有害元素を除去し、溶製したリムド鋼板。最終スキンパス工程での調質度の分別によつて特性管理がなされている場合もある。	現在は一般用といえども総合的な製造技術の進歩により優れたプレス成形性を有し、相当、苛酷な加工に耐え得る品質水準になつてきているがバラツキは他の高級鋼板に比してやはり大であることに注意する必要がある。 調質圧延を行なわないものから半硬質のものまで調質度によつて分別されている場合は用途に応じて適性のものを選ぶことが肝要である。
SPC-3相当	深絞り用 Al キルド鋼板	製鋼工程で極限まで有害元素を低減せしめた溶鋼を Al で脱酸し鋼中の N を AlN として固定して非時効性ならしめさらに圧延工程において AlN の固溶析出現象を利用して通常のリムド鋼では得ることのできない深絞り性を賦与せしめたキルド鋼板で工程全般にわたつて最上の製造条件が選ばれ厳格な工程管理が行なわれている。	リムド鋼板では深絞り性形状性などにおいて満足できる特性の得られないようなプレス成形用途あるいはリムド鋼板ではどうしてもストレッチャーストレインが防止できない特別の場合などに使用する。品質のバラツキも少ない。
	形状用低降伏点リムド鋼板	製鋼圧延工程を通じて、不純元素結晶粒度など降伏点に影響をおよぼす要因を重点的に管理し、降伏比を 0.6 程度にまで低下せしめたリムド鋼板	厳しいプレス成形加工ではないけれども形状精度が問題となるような用途に対して Al キルド鋼板にかわるものとして開発されつつあるが現在ではまだ試作試用の段階である。
	オープンコイル方式による脱炭脱窒処理、深絞り用リムド鋼板	厳密に管理されたリムド鋼に特殊処理を行ない集合組織を調整することによつて Al キルド鋼と同等以上の深絞り性を与え、オープン、コイル焼鈍方式によつて脱炭、脱窒処理を行なつて、伸び張り出し性、時効性を向上せしめたリムド鋼板張り出し加工用、深絞り加工用、その他ホーロー用に至るまで特性を用途に応じて作りわけることが可能である ¹⁷⁾ 。	とくに難しい張り出し加工、深絞り加工、再絞り加工、形状精度が要求される加工などにその特性を発揮するほか、コイル使用の場合などはリムド鋼の美しい表面性をいかすことができる。

表 4.9.7 各種冷延鋼板の機械的諸特性

	降伏応力 (kg/mm ²)	引張り強 (kg/mm ²)	伸び (%)	降伏伸び (%)	\bar{R}	C.C.V.	エリクセン 値 (mm)	
一般用リムド鋼板	23.3	33.9	43	1.8	1.09	38.09	10.7	
非時効性深絞り用 Al キルド鋼板	(18.7)*	31.0	45	0.0	1.58	36.95	11.0	
形状用低降伏点リムド鋼板 ^{17,18)}	18.1	31.0	46	0.5	1.12	37.75	11.0	
オープンコイル方式 による脱炭脱窒処理 深絞り用リムド鋼板	張り出し成形, 形状用	(17.5)	29.5	49	0.0	1.64	36.68	11.3
	深絞り成形, 形状用	(18.3)	30.7	46	0.0	1.68	絞り抜け	11.0
	ホーロー用	17.9	28.2	50	0.6	1.43	37.28	11.2

板厚 0.8 mm 引張試験は幅方向, * 降伏点が検出されないときは 0.2% 耐力とした。

また形状性についてはその性質上使用者, 製造者が共同で研究を行なう場合が多いが, すでにドラミングなどの部品形状不良と調質度の関係について一部成果も得られつつある状況である。

4) 最近の冷延鋼板の特性

過去においてはプレス用鋼板の主流として Al キルド鋼板が重用されてきた。しかし Al キルド鋼板は特性が優れている半面歩留が低く, さらに脱酸生成物であるアルミナが鋼板表面にスリーバーとして露呈するために表面欠陥が多く, 本質的に製造原価はリムド鋼材に比してどうしても割高となってしまう。このため使用者側においては生産原価低減を目的として従来 Al キルド鋼板を使用していた分野を積極的にリムド鋼におきかえるべく努力を続けてきた。一方これと平行して, とくに自動車工業においては, 冷延鋼板の使用形態を切板からコイルへとときりかえる傾向が強くなってきたが, この点からも表面欠陥の少ないリムド鋼板の使用が有利であった。しかし生産性, 経済性に優るリムド鋼板が実際にプレス成形用鋼板の主流を占めるまでには少なからぬ問題点を解決しなければならなかった。これは裏返していえば, 近年のプレス用鋼板にかんする研究開発はリムド鋼板を中心として動いてきたということにほかならないであろう。これらの問題点の中には使用者側におけるプレス技術の進歩と前述した一般用リムド鋼板の全般的な品質の向上だけで容易に解決した面もあつたが, さらに製造者側においてつっこんだ対策を考えねばならぬ本質的な問題点も残された。すなわち“リムド鋼板の時効性を实际的にどう解決するか。”“形状精度を要求される用途に対してリムド鋼板をどのように製造したらよいか。”“リムド鋼板において本質的に劣る深絞り性をいかにして Al キルド鋼板の水準までひきあげるか。”などの課題がそれである。そして現在ではこれに対する答としてオープンコイル焼鈍方式を適用した時効性のすぐれた極低炭素極深絞り用鋼板, さらに最近自動車外板用として試用されつつある形状性の優れた低降伏点リムド鋼板^{17,18)}などが開発され, 一方材質面以外でも消費地へのスキンパスミルの設置プレス時期にあわせたスキンパス圧延ならびに納入方式などの対策がとられるに至っている。

最後に現在製造されている各種の冷延鋼板の特性の代表例および製造工程の特徴, 使用上の要点を表 4.9.6~

4.9.7 に示した。

(4) 結言

以上冷延鋼板の品質の進歩のあとをとくに加工性の面について概略述べたが, 現在でもなお少なからぬ未解決の問題点が残されている。また近年の傾向をふりかえてとくに感じられることは加工技術分野における進歩, 変遷が鋼板の材質についての要求を方向づけていることであり, この意味から今後は加工技術と冷延鋼板の特性はともに調和をとりながら進歩してゆかねばならないと考えられる。

文 献

- 1) 深瀬: 塑性と加工, 3 (1962), p. 463
- 2) 森永他: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1072
- 3) 佐々木: 金属材料, 3 (1963) 8
- 4) 神崎: IDDRG 補足報告, (June, 1964).
- 5) W. T. LANKFORD, S. C. SNYDER, J. A. BAUSCHER: Trans. Amer. Soc. Metals, 42 (1950), p. 1197
- 6) 山田: 日本機械学会誌, 67 (1964), p. 542
- 7) 岡本: IDDRG 報告論文, (June, 1964)
- 8) 福田: 塑性と加工, 5 (1964), p. 3
- 9) R. S. BURUS & R. H. HEYER: Sheet Metal Ind., 35 (1958), p. 372
- 10) 神崎, 中里, 伊藤: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 588
- 11) 神崎: IDDRG 報告論文, (June, 1964)
- 12) WHITELEY: 未発表
- 13) 山本: 塑性と加工, 5 (1964), p. 33
- 14) 安藤: 塑性と加工, 4 (1963), p. 403
- 15) 吉田: 第7回塑性加工シンポジウム前刷 (July, 1963)
- 16) 矢野: 第10回塑性加工シンポジウム前刷 (July, 1964)
- 17) 八幡製鉄: 薄鋼板のプレス成形性研究会報告 (1964)
- 18) 川崎製鉄技術資料 (1964).

4.10 表面処理鋼板

4.10.1 結言

表面処理は, さびの発生を防ぎ, かつ, 色彩や光沢な

どの美観を与えるために行なわれる。過去の表面処理鋼板としては、熔融金属に浸漬する方法で製造されたブリキと亜鉛メッキされた亜鉛鉄板がすべてであったといつても過言でなかつた。今日においても両者の占める地位は他の新しい表面処理鋼板に抜き出ているが、その製造方法は切板処理から連続処理へ、また熔融浸漬法から電気メッキ法へと大きな変化発展を示した。さらに近年における多くの新しい表面処理鋼板の開発は、まだ定着した新材料としての地位を確保していないものもあるが、その処理方法の多様さと進出分野の範囲の広さは、過去のいかなる時代にも見ることのできないものであつて、鉄鋼材料が意欲的に新しい需要の開拓を試みた証左として注目に価すると思われる。すなわち、処理素材としては錫、亜鉛、鉛、クロム、アルミニウム、チタン、ホーローなどの無機物質のほか、各種の有機無機塗料、塩化ビニルなどの有機物質におよび、その処理方法も、電気メッキ、化成処理、拡散浸透、塗装、クラッドなどの広範囲におよび、その用途も大は建築材料から、小は家庭器具や容器にわたり、より高い加工度のものを供給することによつて、需要家により近づく努力が払われている。

将来の表面処理鋼板も、過去10年間指向してきた、需要家への奉仕の方向を歩みつつけるために、各分野に著しい進出を示している。アルミニウム、プラスチック、紙などと競合しつつ、より軽くより強く、より耐食性に富み、そして究極的にはより安価な材料の開発と、その定着化への努力の上に発展するであろう。

4.10.2 ブリキ¹⁻⁶⁾

(1) ブリキ産業の発展

過去10年間の世界のブリキ生産量は順調な伸びを示し、1953年昭和28年の約560万tから、1963年には900万tに増加した。

わが国においては、昭和30年に電気メッキラインが導入されて以来、新ラインの増設が相次ぎ、生産能力は急速に増加し、ブリキ生産の主力はホットディップ法から電気メッキ法へと移行した。昭和38年のブリキ全生産量66万tのうち約70%は電気メッキ法により作られている。この間、連続焼鈍法の採用、一般ブリキの板厚および錫、メッキ量の減少、極薄ブリキの開発、メッキ後処理の改良など製造設備、品質の両面で大きな進歩をとげた。需要の面では新しい容器としての用途も次々と開発され、ブリキの生産量はなお増加の一途をたどっている。

(2) メッキ原板

生産性の向上あるいは格外品の減少のためには、表面欠陥のない高品質の原板が要求される。圧延速度が増し、板厚が薄くなるほど、それは重要な要素となつてきた。ブリキ原板の成分は、米国においてはブリキ板の使用用途によつて次の3種類の鋼種にわけられており、わが国でもこれに見倣う傾向がある。L型鋼は有害元素の含有量がきわめて少ないもので、深絞りや高い耐食性などを必要とする用途に使われる。MR型鋼は通常の食品缶詰に使用され、MC型鋼はPの含有量が多く、耐食性よりむしろ板の強度が要求される場合に用いられる。

従来ブリキ原板はバッチ焼鈍法のみによつて作られていたが、最近では連続焼鈍法が広く使われるようになり、米国では60~70%がこの方法によつて生産されている。わが国でも漸次これに移行する傾向にある。連続焼鈍法は、加熱、均熱、徐冷、急冷部を带状で連続に通過させるもので、加熱処理時間は約20secである。バッチ焼鈍法では17~20hr熱処理を行なうから、焼鈍後の組織、機械的性質は非常に異なってくる。急速な加熱で再結晶は起るが均熱および冷却時間が短いために結晶の成長はほとんどない。硬度、機械的強度ともに大きく製缶時の加工性は改良され、不良品発生率を減少させることができる。また内容物によつては板厚を減ずることもでき、原価の引下げにも役立つ。均一な硬度形状は調質圧延作業によつて与えられるが、連続焼鈍ラインにも負うところが大きい。

(3) 極薄ブリキの開発

ブリキ原板の平均の厚みは10年間で約0.28mmから0.25mmに減少し、板幅は広くなる傾向にある。一方高速度で圧延、連続焼鈍、電気メッキラインを広幅の薄い材料を通し、しかも完全な平坦性を得ることは容易ではなく、板厚の減少には経済上限界がある。しかし、アルミニウムなどの競合品種の出現のために、米国においてはより薄いブリキの製造が必要となり、極薄ブリキの製造方法が検討された。この極薄ブリキは従来のブリキの代替として使用されるために、硬度、機械的強度ともに大きく、しかも従来のブリキと同程度の平坦性が要求されている。

極薄ブリキを製造する方法の一つに、錫メッキを行なつ後、2度目の冷間圧延を約50%行なう方式がある。これは極めて経済的に極薄ブリキを製造することはできるが、ブリキ表面の仕上がりは均一ではなく、耐食性、ハンダ性も低下するなどの欠点があり、実用化は困難とされた。次にメッキ前に原板を所定の厚みまで繰返し圧延し電気メッキを行なう方法がとられた。これは一般的な製造法として現在採用されつつある。わが国でも極薄ブリキの開発は主としてこの方式で進められている。

極薄ブリキの生産には水平型酸性メッキラインが適しているが、低い張力で通板できる特殊なラインや、現有のラインの改造も種々試みられている。

(4) ブリキの品質

ブリキが容器類の材料としていちぢるしく進出したのは、ハンダ付けが容易で迅速に作業が行なえることに負うところが大きい。一方缶詰の内容物は多岐にわたるために、耐食性を向上させ同時に錫の節約、あるいは外面の装飾などから、ブリキ板に塗装、印刷されることが多くなつた。ブリキ製造時に施されるメッキ後の表面処理塗油などがハンダ性、塗装性などに影響をおよぼし品質を左右することも少なくない。

表面処理にはクロム酸塩や、炭酸塩処理がブリキの用途に応じて使われている。処理被膜量は一般に酸化膜量の測定から知ることができるが、クロムなどを直接定量する方法も種々検討されている。塗油は極くわずかの量を均一に塗付することが非常に重要であり、主として静電法によつて施される。塗装を行なわずに使われることの多い酸性果実缶中での腐食作用については、Fe-Sn₂

合金層の作用が近年注目されることとなり、腐食機構の解明のみでなく製品の耐食性を向上させるための製造法の検討も進められている。そのほか各方面で基礎的な研究が進められ、新しい需要分野を開発する努力が続けられている。

4.10.3 亜鉛メッキ鋼板

(1) 溶融メッキ^{7)~10)}

1940~1950年代を境として、シートの形で処理されていた亜鉛メッキ鋼板は、冷間圧延技術の発達とともに、ストリップの連続処理設備と変化し、ゼンジャー法およびその応用法、ホイーリング法、シーラス法と進歩してきた。それにつれて、従来考えられなかつた分野まで使用されるようになった。シートでは、酸洗後、塩化物の溶融フラックス中を通つて、表面を清浄にしたのち、亜鉛中に浸漬してメッキする。亜鉛メッキのさい、鉄と亜鉛の間に合金層が生じ、この合金層が厚いとメッキ板を加工したさい、亜鉛層が鉄板から剥離する。この合金層は、亜鉛浴中に Al 0.1~0.2% を加えてメッキすると、その生成が抑制されるが、シートの場合塩化物溶融フラックスを使用するため、Al は AlCl₃ となつて消費されるので、Al を添加できなかつた。ところが、フラックスを使用せず、アンモニア分解ガス中で、鋼板を加熱焼鈍して、清浄な表面のまま空気にふれることなく、亜鉛浴中に浸漬してメッキする「ゼンジャー法」が実用化され、Al の添加は可能となり、メッキ層の密着性のよい亜鉛メッキ板が得られるようになった。次に鋼板をオープン・バーナーで加熱酸化後、アンモニア分解ガス中で還元する「アームコ：ゼンジャー法」が出現し、さらにアンモニア分解ガスと塩素ガス中で処理する「ガスビッキング法」またアルカリ脱脂処理後、アンモニア分解ガス中で処理する「U.S. スティール法」などの各種連続メッキ設備が発展した。これらの方法によるメッキ板は、ライン内が焼鈍方式とも呼ばれ品質が一定であり、メッキ量のバラッキは少なく、鉄と亜鉛の密着性、メッキの表面状態、光沢がよく、スパンクルも大きく、また板温が 500°C 前後でメッキ浴中に入るため、亜鉛を加熱しなくてもよいなどの利点はあるが、一方バッチ焼鈍材に比べて硬度が高く、腰折れの危険性があり、未焼鈍材のメッキができず、加熱炉の容量などの関係から、ラインスピードが遅いという欠点がある。このうち、硬度の高い点については、メッキ後、250~290°C でバッチ焼鈍すれば、メッキ層に変化を生じることなく、硬度を低下できることが判明しており、腰折れは、レベラーをかけることによつて防止している。

Al 添加浴を用い、しかもフラックスを使用してメッキするホイーリング法は、鋼板を脱脂、酸洗した後、水溶性フラックスを塗布し、乾燥後、約 250°C まで予熱してメッキするもので、未焼鈍の材質のものから調質圧延された深絞り用のものまでメッキできる。これは予熱温度が低いから、ゼンジャー型よりも高速でメッキしやすいという利点はあるが、メッキ前の板の温度が低いから、亜鉛浴を加熱する必要がある、メッキ板のスパンクルは小さく、また予熱中に発生するフラックス分解ガスメッキ板の性質に悪影響を与えるともいわれている。

最近開発されたシーラス法は、鋼板は脱脂、酸洗後、O₂ 0%, CO+H₂ 4~8%, CO₂ 6.2~7.7%, H₂O 18.2~18.7%, N₂ 67.6~69.6% の組成の 1316°C の焼成生成ガスをストリップに直接吹きつけて、短時間で板温を 500~560°C の温度まで加熱し、次に HNXC~10% H₂, 露点 -40°F ガス中で保温または 510°C に冷却して亜鉛浴中に浸漬メッキする方法である。この方法はライン外焼鈍であるため、焼鈍板、未焼鈍板いずれもメッキで、また亜鉛の加熱の必要もなく、短時間加熱であるため、ラインも短かく、高速運転が可能である。さらに前処理後、ガスビッキングを行ない、Al 添加PD浴でメッキするため、鉄と亜鉛の密着性も優れている。

以上のように、メッキ方法について、多くの改良、進歩が見られるが、メッキ後の後処理においても、耐食性や塗料密着性向上のための色々な手段が考えられ、製品化されている。すなわち、種々の組成をもつリン酸塩またはクロム酸溶液による処理で、白サビ発生防止・塗料密着性向上をはかる。メッキ直後にスチームをスプレーしてスパンクルを消し、塗装性を良くする。あるいは溶接が可能ないように、片面のメッキする、などである。

(2) 電気メッキその他

従来、電気器具、自動車、建材などは冷延鋼板を成型加工したのちリン酸塩皮膜処理などの表面処理を施してから塗装し仕上げられていた。わが国においては昭和33年頃よりあらかじめ塗装下地処理を施した電気亜鉛メッキ鋼板がこれに代つて登場し始めた。時を同じくして別項で述べられるクロム酸処理鋼板も塗装下地として出現し、板厚みの薄物、厚物を含め現在約 2500 t/月の生産量に達している。これらの表面処理鋼板類の出現によつて従来の塗装工程の前処理の一部または全部が省略でき、塗装工場における生産性の向上、生産厚価の低減に寄与している。電気亜鉛メッキ鋼板は溶融亜鉛鉄板に比較し加工性に優れているが、生産性においては劣つている。現在市販されている電気亜鉛メッキ塗装下地鋼板は、米英より技術導入されたものが主体で2種のタイプのものがある。その一つは >3 g/m² の薄い電気亜鉛メッキを施したのちリン酸塩皮膜処理を施したもの、他は、18~90 g/m² の厚い電気亜鉛メッキのちクロメート処理を行なつたもので、前者がおもに冷延鋼板の需要分野を目標としているのに対し、後者は亜鉛鉄板の分野を目ざしているといえよう。溶融亜鉛鉄板の塗装下地としての改良は、表面粗さを阻害するスパンクルの除去がその一つとして挙げられ、メッキ面での結晶成長を抑制する方法や、メッキ面を調質圧延する方法等が採られている。その他の方法として、亜鉛メッキを全部 Zn-Fe 合金に変えるガルバニールリングが挙げられる。塗装下地処理鋼板の発展過程は、(1)加工成型工程における防錆、(2)塗装前処理の省略、(3)塗装後の耐食性の保証にあるが、実際に需要目的に応じた亜鉛メッキ量、表面処理のタイプなどが今後検討されるべきであろう。

4.10.4 クロム酸処理鋼板およびクロム・メッキ鋼板

クロム酸処理鋼板は第2次大戦中、ブリキに必要な錫の不足に悩んだ米国で、はじめて雑缶用ブリキ代替材と

して研究開発された。当初、主として液体洗剤缶用に用いられていたが、プラスチック容器の出現で現在米国では生産されていない。しかしわが国では、その優れた耐食性と塗料密着性のため、ブリキ代替材としての用途ばかりでなく、塗装下地鋼板として多く使われている。クロム酸処理法には浸漬法と電解法があり、数多く研究されているが、工業化されているものは今のところ、3種にすぎず、今後さらに優れた特性をもつものが現われるであろう。

(1) 浸漬クロム酸処理法

米国でブリキ代替材として開発された浸漬クロム酸処理による Hinac 法^{11)~19)}は Al, Cd, Zn などで行なわれているクロメート処理法とは異なる。Al, Cd, Zn などではクロム酸、重クロム酸およびその塩を主剤とし、硫酸、硝酸、弗化物などを助剤とした水溶液に浸漬して、クロメート皮膜を形成させるものであるが、鋼板ではこれらの水溶液に浸漬しても鋼板表面は不動態化されるだけで、クロメート皮膜は形成されない。この Hinac 法は還元剤(多価アルコール類、ブドウ糖など)の添加と加熱によつてクロム酸を積極的に還元させ、クロム酸処理皮膜を形成させる方法である。皮膜中のクロムは約 20~60% であり、そのうち 40~95% は 3 価クロムである。Hinac 法には処理液中にブタジエンステレン共重合体、アルキッド樹脂、アクリレート重合体などを加えた液を塗布する方法、さらにこの液に顔料を加えた液を塗布する方法などがある。これらの方法で形成される皮膜は樹脂類を含むクロム酸皮膜であり、一種の塗装鋼板と考えてもよい。Hinac 法は技術提携によつてわが国でも工業化されている。わが国の特許にはポリアクリル酸、ポリ酢酸ビニルなど水溶性高分子エマルジョンと Fe, Cr, Zn などの水溶性無機化合物を主成分とする液に浸漬したりまたは塗布する方法²⁰⁾、酸性側で水溶性のマレイン酸あるいは無水マレイン酸共重合体と 3 価、6 価の水溶性クロル化合物を主成分とする溶液を塗布し 50~400°C で強制加熱する方法²¹⁾がある。これらの浸漬クロム酸処理は鋼板ばかりでなく、ブリキ、亜鉛鉄板、アルミニウム板などの表面処理法としても適用される。

(2) 電解クロム酸処理法

クロム酸を電解すると陰極では還元反応により、クロムが電着されるが、それより前に陰極表面に 3 価クロムよりなる酸化クロムの水和物の皮膜が形成されることはすでに古くから研究されている²²⁾。その皮膜の形成機構、皮膜組成についてもかなり研究されているが、まだ、明確ではない。電解クロム酸処理法はクロム酸水溶液に種々の添加剤を加えて、陰極表面にクロムの水和酸化皮膜を安定した状態で得ようとするものである。その方法としては無水クロム酸に、(1) ホウ酸またはその塩を加えるもの²³⁾、(2) リン酸を加えるもの²⁴⁾、(3) 浴中の Cr^{+6} イオンと Cr^{+3} イオンの比を 1~5 ぐらいに保つもの²⁵⁾、(4) Cr^{+3} イオン、リン酸、ホウ酸を加えるもの²⁶⁾、(5) フェノール、カテコールなどの芳香族のジスルホン酸またはその塩を加えるもの²⁷⁾、(6) 重クロム酸ナトリウムに硫酸、尿素、硫酸クロム、リン酸などを加えるもの²⁸⁾、(7) 酢酸、プロピオン酸または Se, Te, As, V, Mo, W などを含む陰イオンを加えるもの²⁹⁾、

(8) ハロゲン酸素酸またはその塩を加え、pH 1.5 以下に調整するもの³⁰⁾など数多くの方法がある。これらの添加剤の挙動は十分研究されていないが、すべて 3 価クロムの水和酸化皮膜の形成を促進するものであり、形成される皮膜の特性、組成などは添加剤および処理条件電流密度(電解時間、液温度)などによつて異なる。その性状も、ゲル状でかたいもの、乾燥前はゾル状で乾燥によつてゲル状になるものなどがあり、それぞれの性質は一長一短がある。このように電解クロム酸処理法には数多くの方法があるが、工業化されているものは芳香族ジスルホン酸を加えた Hitop 法のみで、その他はまだ試験段階である。電解クロム酸処理鋼板の皮膜は 0.1 μ 以下で非常に薄いにもかかわらず、優れた耐食性をもち、塗料の下地として塗塗密着性が優れ、プリスター、糸状のさびも生ずることもなく、表面が平滑であるため塗装後の仕上がりもよい。その上安価で均一な品質ものを連続高速生産することができ、今後の急速な伸びが予想される。

(3) 極薄クロム・メッキ鋼板³¹⁾

鋼板に極めて薄くクロムメッキを施したものであり、そのメッキ層厚みは 0.1 μ 以下といわれている。これはブリキの代用として缶詰用その他に使用することを目的とした塗装下地板である。電解液はいわゆる Sargent 浴であり、無水クロム酸と硫酸からなりたつている。この方法で得られるクロムメッキは乳白であるが、最近さらに改良した方法すなわちクロムメッキし、ついで 0.1 % 以下の硫酸で洗浄し、表面のクロム酸クロムを除去し、ついでクロムメッキする方法で光沢のあるクロムメッキを得ている³²⁾。

(4) クロム拡散浸透法

鉄鋼表面にクロムを拡散浸透させてステンレス鋼に似た性質をもたせようとする方法で、古くからクロム蒸気または塩化クロム蒸気を利用する方法が知られている^{33)~35)}。最近アメリカの Alloy Surface 社で開発された Alphasizing 法^{36)~38)}もこの方法の一つである。これはクロムの添加により、クロム系状態図で鉄側の α 域で拡散させるものである。わが国ではあまり研究されていないが、ステンレス鋼より安価であり、優れた特性を有しているため、将来はステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼と競合し、さらに発展するであろう。

4.10.5 プラスチック皮覆鋼板

石油化学工業の発展にともないプラスチックが安価に供給されるようになり、必然的に耐薬品性、耐食性が優れている有機材料と機械的強度を有する金属とを組合わせた新しい工業材料が誕生した。1945年以前における金属塗装は主にブリキ板のオフセット印刷、ロール塗装が行なわれていたに過ぎないが、現在ではこれらのほかに、塩化ビニール皮覆鋼板(塩ビ鋼板と略称)、着色亜鉛鉄板で代表されるプラスチック皮覆鋼板類の需要伸長期に入っている。このような新材料は色彩や印刷、図柄模様の豊かさと、耐食性、耐候性、材料強度の優れた点から容器電気器具、自動車、建材等の用途に有用性が認められてきている。生産方式の改良と広範囲な有機材料の適切な使用によつて低価格な材料として将来の発展の約束さ

れよう。

(1) 塩ビ鋼板^{39,40)}

塩ビ鋼板の工業的生産は米国において1954年に開始され、数年間に世界的に生産が行なわれるようになった。

塗装原板は普通の冷延鋼板、亜鉛鉄板、アルミニウム板で生産方式に従い切板またはコイルの形で供給されている。原板については取上げるべき進歩はみられないが将来はコストの観点から板厚みを薄くすることと亜鉛メッキのメッキ量の低減が検討されよう。塗装前処理はリン酸塩かまたはクロム酸処理が行なわれ、表面処理剤と処理条件について塗膜の接着と耐食性を考慮した改良がなされた。接着剤は可塑剤移行に対する抵抗性、高温抗クリープ性、加工による接着力の変化の少ないものが選択され、熱可塑性および部分熱硬化性タイプのもものが開発された。

皮覆の方式は初期には、プレス積層法が行なわれた大量生産方式にむかないため、その後は塩ビ・シートのロール積層法と塩ビ・ゾルのロール塗装法が採用された。積層法は図柄の異なるシートを余分にストックすること、ロール塗装法では図柄の印刷が別工程になる点でそれぞれ欠点を有する。製造法の相違により前者では半硬質皮膜、後者では軟質皮膜の製品となる。ゾルのロール塗装は逆転型塗装機が使用され、現在では接着剤を使わない One coating 方式、粉末塗装、エクストルーザー法による製造方式も検討されている。今後の問題として塩ビ以外の高分子材料、接着剤の検討と同時に着色亜鉛鉄板との中間製品の開発が行なわれるものとみなされる。

(2) 着色亜鉛鉄板

本邦で連続亜鉛メッキを設備した時期と同じくして着色亜鉛鉄板の工業的生産が開始されれば10年を経過し今では亜鉛メッキ・メーカーの多くが着色亜鉛鉄板を生産している。

製造方式は前処理と塗装ラインを別ラインとした切板方式からスタートしたが、現在ではコイルによる連続塗装方法が出現している。塗装前処理は塩ビ鋼板の場合と同じような経過発展過程をたどっている。使用する塗料は着色亜鉛鉄板の場合、最初はアルキッド・アミン系、エポキシ・アミン系が使用され、最近においては熱硬化性アクリルあるいはアクリル変性のアルキッド系のもものが使用され始めた。アルキッド・アミン系は加工に対する接着性が劣るので加工接着性を要求する用途に対してはアクリル系、ビニール系、オルガノゾルタイプ・ビニール系塗料が使用される方向にある。現在にいたるまでの着色亜鉛鉄板塗料の膜厚は20~30μ程度で用途は屋根板、建材が主体であるが、将来は塩ビ鋼板との中間的な製品が内装用建材および自動車、容器に伸びることが期待されよう。塗装方式は正転型塗装機による二重塗装かもしくはコイル連続塗装では逆転型塗装機のいずれかが使用されている。

4.10.6 その他

表面処理鋼板としては前記のほか、アルミニウム、ターンメタル(鉛と錫合金)、ニッケルなどのメッキ鋼板、ホーロー鋼板、溶射法や拡散浸透法による各種金属被覆鋼板、あるいはクラッド鋼板がある。

アルミメッキは、耐熱および耐食性、とくに耐硫化性にすぐれているが、水溶液からの電気メッキは水素過電圧が高く技術的に困難なこと、また、古くから実用化の試みられてきた溶融メッキ法でも、浴温度が約700°Cで高温のため鋼の酸化防止などの技術的問題があり、工業化がおくれている。しかし1943年(昭和18年)になり溶融アルミメッキ鋼板(アルミナイズド鋼板)はアームコ・スチール社が、ゼンジミアの水素還元による前処理法を採用して実用化に乗りだして以来、主として米国において開発され、工業生産されてきた⁴¹⁾。最近、わが国においても、このゼンジミア法によるアルミナイズド鋼板の製造が開始されようとしている。この方法によるメッキ皮膜は、Fe-Al合金層を有し、これは硬くて脆いため、成形加工用材料としては、合金層の生成をできるだけ抑制する必要があり、浴中Siを添加することなどが行なわれる。一方装飾の目的で用いられてきた真空蒸着法によつて、連続的にストリップにアルミ被覆する方法も、最近米国で開発された⁴²⁾。完全に清浄にされたストリップを10μHg以下の真空室へ入れ、約1370°Cのフィラメントから出たアルミニウム蒸気をストリップ上に凝縮させて、皮膜を作らせるものであり、合金層を有しないため、加工性が良好で表面も美麗である。しかし、高温の溶融アルミニウムに十分耐えるルツボ材料は、まだ得られておらず、また、蒸着室を高真空に保持する方法など、多くの技術的な問題点が残されている。最近、BISRAにおいて、Elphal法と呼ばれる全く新しいアルミニウム被覆法が開発された⁴³⁾。これは、有機溶剤にアルミ粉末をケン濁させた液中で、アルミ粉末を泳動させて、ストリップ表面に付着させ、ロールで圧着した後、熱処理する方法で、アルミ皮膜の密着性がよく強度の成形加工に耐え、また、表面外観も良好である。このElphal法は、アルミニウム以外の金属あるいは、樹脂などへのメッキの可能性を示唆するもので、興味ある研究課題と思われる。その他、アルミ被覆法として、コロライジングがある⁴⁴⁾。これは、1930年頃、ゼネラルエレクトロニック社で開発された方法で、還元性ガス中でアルミニウムを鋼表面に拡散浸透させるものであるが、薄鋼板への適用は、まだ研究段階である。

鉛と錫の合金であるターンメタルを薄鋼板に溶融メッキしたターンシートは、欧米では古くから製造され、自動車のガソリタンクなどに広く使用されているが、わが国においては、まだ製造されていない。最近、極薄クロムメッキと同様の目的で、極薄ニッケル電気メッキ鋼板がわが国において試作されており、今後が期待されている。

その他、鋼板にホーローを焼付けたホーロー鋼板は、耐熱、耐食、耐摩耗性材料として、広範な用途が開拓されつつある。ホーロー技術そのものは、非常に古い歴史をもっているが、ベスレヘム・スチール社のBethamelと呼ばれる極低炭素ホーロー用鋼板⁴⁵⁾の開発とともに、一回のホーロー引きで、ホーロー鋼板ができるようになり、著しい進歩をとげた。従来は下地ホーローをかけてベースメタルと上地ホーローの粘着を促進させ、焼成中金属からガス類の発生を防ぎ、さらに上地ホーローをかけていたものである。

文 献

- 1) TIN : (1964), 5, Statistical supplement.
- 2) 日本鉄鋼連盟 : 鉄鋼統計時報, (昭 38~39 年)
- 3) 吉崎 : ブリキ (昭 36 年), [鉄鋼と金属社]
- 4) 鉄と鉄製品, 16 (1964) 2, p. 51
- 5) 鉄と鉄製品 : 13 (1961) 4, p. 37
- 6) I. S. SCOTT-MAXWELL, M. I. MECH : J. Iron & Steel Inst. (U. K.), (1962), 10, p. 788
- 7) E. P. BEACHUM : Blast Furn. & Steel Plant. (1963), 3
- 8) C. A. TURNER : Iron & Steel Eng. (1964), 3
- 9) C. A. TURNER : Iron & Steel Eng. (1958), 8
- 10) 小池他 : 日新製鋼技報, 9 (1963) 11.
- 11) L. K. SCHUSTER, A. L. BALDI Jr : U. S. Pat. 2768104 (Oct. 23, 1956).
- 12) L. K. SCHUSTER, A. L. BALD Jr : U. S. Pat. 2768104 (Oct. 23, 1956).
- 13) L. K. SCHUSTER, A. L. BALD Jr : U. S. Pat. 2773623 (Dec. 11, 1956).
- 14) L. K. SCHUSTER, A. L. BALD Jr : U. S. Pat. 2777785 (Jan. 15, 1957).
- 15) L. K. SCHUSTER, A. L. BALD Jr : 日本特許, 昭 35-3219 (Apr. 7, 1960). 昭 37-514 (March 8, 1962).
- 16) Iron Age, 179, (1957) 23, p. 106
- 17) Material in Design Eng. : 52 (1960) 6, p. 159
- 18) 北村 : 金属, 31 (1961) 15, p. 17.
- 19) 北村 : 金属表面技術, 13 (1962) 8, p. 329
- 20) 鮎沢, 田中 : 日本特許, 昭 37-11507 (Aug. 20, 1962).
- 21) 鮎沢, 田中 : 日本特許, 昭 37-11508 (Aug. 20, 1962).
- 22) 電気化学進歩号 (1960~1962 の進歩), (1962) p. 75
- 23) R. M. WICK : U.S. Pat. 2733199 (1955), U.S. Pat. 2780592 (1957).
- 24) T. A. LOVELAND, A. F. PRUST : U. S. Pat. 2769774 (1956).
- 25) 豊島, 米崎, 蒲田 : 日本特許, 昭 34-880T (Oct. 1, 1959).
- 26) 米崎, 蒲田 : 日本特許, 昭 35-8916 (July 11, 1960), U.S. Pat. 3032487 (1962).
- 27) 北村 : 日本特許, 昭 35-8207 (June 30, 1960) U.S. Pat. 2998361 (Aug. 29, 1961).
- 28) 瀬川, 酒井 : 日本特許, 昭 38-6874 (May 23, 1963).
- 29) 井上, 岡田 : 日本特許, 昭 39-7461 (May 15, 1964).
- 30) 米崎, 蒲田, 寺山 : 日本特許, 昭 39-9461 (June 3, 1964).
- 31) 内田, 佐藤 : 日本特許, 昭 36-15155 (Sept. 2, 1961).
- 32) 内田, 柳父, 羽田 : 日本特許, 昭 38-22465 (Oct. 23, 1963).
- 33) M. K. SCHELND'KO : Stahl, 7 (1947), p. 519
- 34) G. BECKER, K. DEAVES, F. STEINBERG : Stahl u. Eisen 61 (1941), p. 289
- 35) B. W. GONSER, I. E. CAMPBELL : J. Electrochem. Soc. 96 (1949) 10, p. 262
- 36) Iron Age, 185 (1960) 6, p. 143
- 37) Chem. Eng., 68 (1961) 6, p. 188
- 38) Metal Finishing, J. 8 (1962) 93, p. 309
- 39) V. BARTELMO : Modern Plastics, 35 (1958) 8
- 40) 北村 : 鉄と鋼, 46 (1960) 14
- 41) K. G. COBURN : J. Metals, 11 (1959) p. 38
- 42) C. A. BEAR, et al. : U.S. Pat., 2887419 (1959).
- 43) F. W. SALT & K. G. LEWIS : British Pat. 884,797 (1961).
- 44) 上田 : 金属表面技術, 8 (1957) 1, p. 1
- 45) Iron Age, (1960), Oct. p. 20