

うした品質管理用の計測が、最近活発に研究されるようになって来た。これらは、オンライン損傷と共に、急速に活用される傾向にあるが、これらについては検査の項を参照されたい。

文 献

- 1) 鉄と鋼, 計測特集号 59 (1973) No. 5
- 2) 製鉄研究 オートメーション特集号 No. 279 (1974)

4.8 二次加工技術の進歩

4.8.1 鋼板加工技術

(1) 厚板の加工

厚板の二次加工技術として、切削、剪断、加熱、溶接などを組み合わせれば、あらゆる形状の構造部材、機械部品を製造することができるが、本稿では主として厚板の成形を中心とした加工様式につき簡単に述べることにする。

(a) ロール成形

(イ) ペンデングロール方式

厚板のプレート、コイルを素材として、主として大径溶接管のための成形法である。古くから実施され、現在も広く活用されている方法で、2本の支持ロールと1本の圧下ロールにより構成されている。鋼管のみならず圧力容器、水力発電所のペンストック、ドラムなど大きな円管曲げにも用いられている。特に最近では、ビーム状

部材の曲げにも用いられ、曲げ半径検出装置と組み合わせて、所定の曲率を持つ製品が作られるようになった。代表的なロール配列を図4.8.1に示すが、斜線をほどこしたロールが矢印方向に動き、成形曲率を変え得ようになっている。(a)、(b)は普通多く用いられる方式であるが、このロール配置では鋼板の端部に曲げ加工を与えることができないので、ロールまたはプレスにより端部に予備曲げを施しておく必要がある。(c)~(h)では端部曲げ加工が可能であるが、(f)~(i)はさらに鋼板の方向を変えることなく両端部に曲げ加工を与える利点がある。一般的にいつてこの方式は、径、板厚に制約はなく、特に図4.8.2のような多層圧力容器にはこの方式が用いられている。しかしロールたわみのため長さは3m~6mが限度である。

(ロ) ステップロール方式

この方式は、通常のロール成形ラインである。成形機、操業技術の進歩により、最大径 20 iN. 板厚 14 mm まで可能であり、厚板のコイル製造と高周波溶接技術の進歩と相まって極めて高能率の造管ができるようになった。

(ハ) ケージロール方式

大径管の成形ロールは大型となるとロール費がかさむ事と、板厚、直径の比 t/D が小さくなると、エッジ座屈による波うちが発生するため外径寸法に制約がある。



図 4.8.3 ケージロール概略図

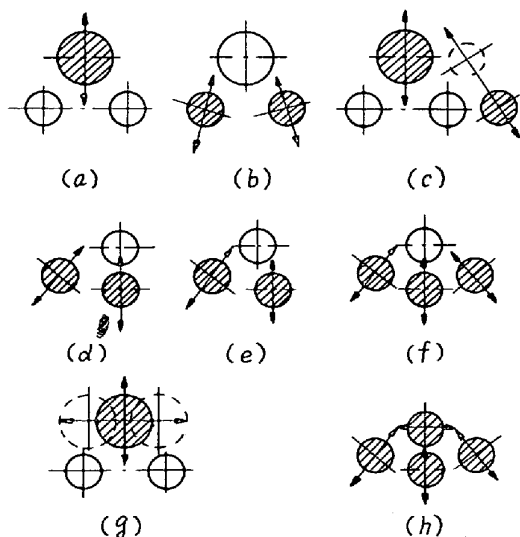


図 4.8.1 ロール配列の形式

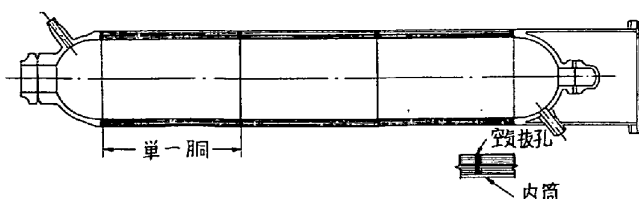
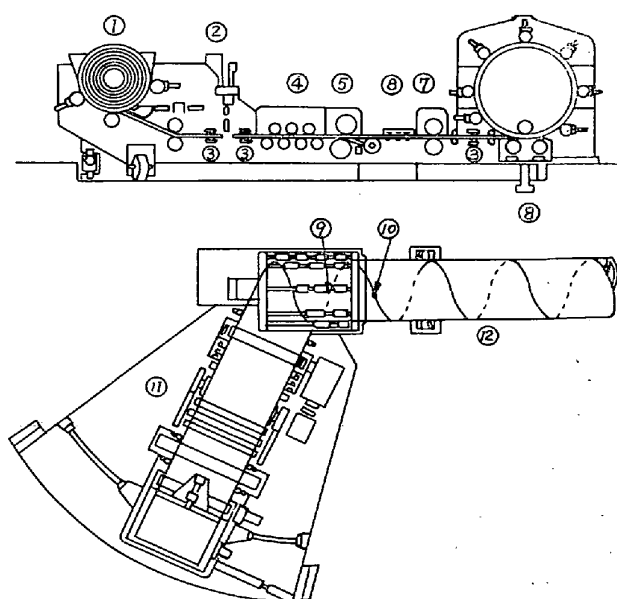
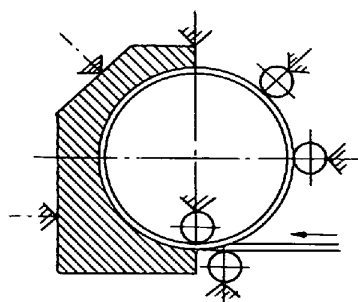


図 4.8.2 多層圧力容器

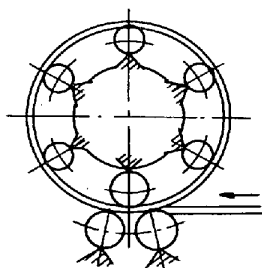


- | | |
|-----------|---------|
| ① アンコイル | ② 突合せ溶接 |
| ③ サイド・ガイド | ④ レベラ |
| ⑤ サイド・トリマ | ⑥ 開先加工 |
| ⑦ ピンチ・ロール | ⑧ 成形 |
| ⑨ 内面溶接 | ⑩ 外面溶接 |
| ⑪ 前処理装置 | ⑫ 出口装置 |

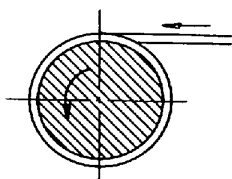
図 4.8.4(1) スパイラル製管機概観



(a) ケーシング法



(b) ベンディング・ロール法



(c) マンドレル法

図 4・8・4(2) スパイラル成形方式

このため、ブレークダウン成形ロールを、図4・8・3のごとくケーシングロールと称する多数個ロールを配列することにより、外径 1,219 mm まで拡大することができるようになった。この方式は、原油、およびガス輸送管を大量に生産する設備であるが、UO方式に比べると設備費も安く、建屋面積も少なく済み、生産能率も大きく注目すべき方法である。しかし鋼板素材長に制限があるため、管端歩留りが低い。わが国では、一基稼動しており、48 in. UO ミルと同等の製管成績を上げている。

(二) スパイラル成形

近年急速に発展してきた製管法で、溶接技術の進歩にとともに、鋼管杭から A. P. I (American Petroleum Institute) 規格に合格する油送管まで製造できるようになった。直線溶接管では管径に応じた板幅を持つ鋼板を使用する必要があるが、図4・8・4に示すごとく、スパイラル溶接管では板幅が同一でも、成形角度の変換により管径を変える大きな特徴がある。

また熱延コイルの板厚増加(最大 19mm)にとともに、管厚製造範囲の拡大が可能になった。わが国最大のミルは、外径 100 in.、板厚 24.5mm で昭和50年前半に稼動に入ろうとしている。成形方式を大別するとケーシング法、ベンディング法、マンドレル法、の三種があるが、マンドレル法を除き、いずれも材料は外力により成形部に

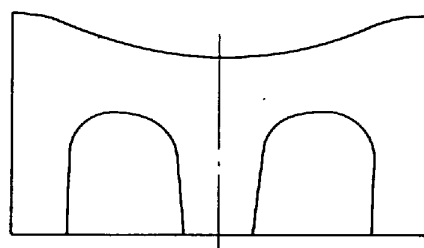
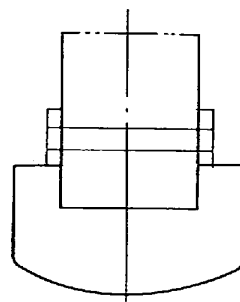


図 4・8・5 円筒曲げ加工用金型

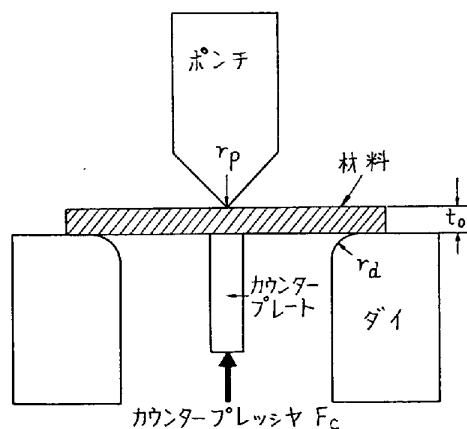


図 4・8・6 カウンタープレッシング方式による曲げ

押しこまれ成形される。新しいミルは、これら成形法の内ベンディング法が主流を占めるようになって来た。

(b) プレス成形

厚板のプレス加工は、複雑な形状寸法の成品であれば、型の製作費、プレス加工力が増大するなどの問題があるが、円弧、V、U、半球型のごとき単純な形状ならば、プレス工法として最適といえよう。

(イ) 厚板のプレス曲げ加工

構造部材の曲げ成形には、専らプレス曲げ加工が用いられているが、正確な金型を使つたプレス工法は、インシャルコストは別として、ランニングコストは安く、マプロには最適な成形法であるといえる。とくに冷間プレス加工の場合は、NC制御と組み合わせられ、高精度な品質が保証でき、量産によるコストダウン、外観の美しさ、および板厚減小の僅小など、他の加工法には見られ

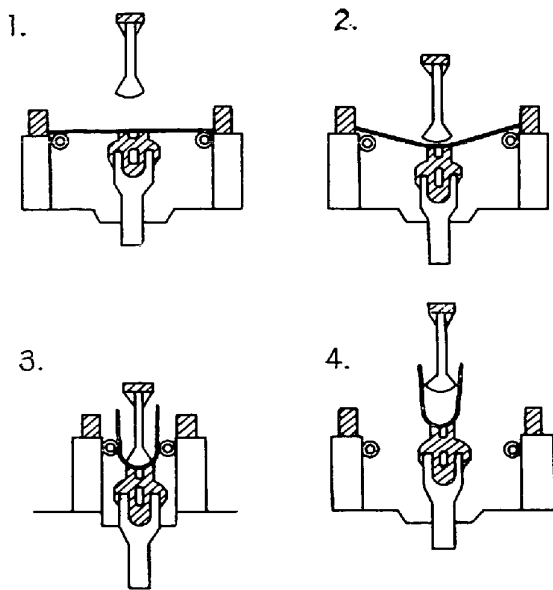


図 4-8-7 U-プレス成形過程

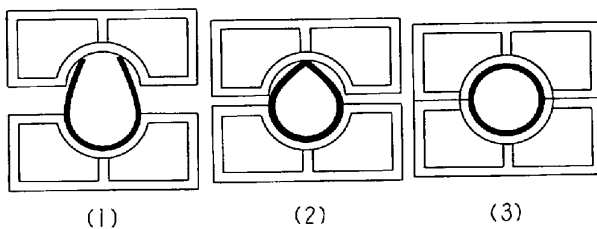


図 4-8-8 O-プレス成形過程

ない、幾多の特性を有している。

厚板の曲げ加工の要点は、いかに有効に曲げのみに集中することで、できるだけ単純な方法を取ることにつきるが、精度が要求されれば、当然型による底つきプレスを行なわなければならない、必然的にプレス容量は増大することになる。そのため、ボイラドラムのごとき板厚の大きいものでは、図 4-8-5 に示すごとく局部的に順次成形する方法が取られ、プレス金型も汎用性をもたせ加工内半径に応じて数種に分類して行なっている。厚板は薄板と異なり、スプリングバックが非常に少ないのでこのようなことが可能となる。また厚板の V 曲げの場合に、図 4-8-6 のようなカウンタープレッシャを与え、静水圧的な 3 次元応力を付加することにより、形状、加工限を向上させる新しい試みがなされつつある。次に UO プレス方式があるが、直線大径溶接鋼管の成形工程である。石油、天然ガス輸送のチャンピオンとして、世界各国で力を注いでいる製管法でわが国でもすでに 3 基稼動している。寸法も大型化し、新たに建設中のミル 2 基は、いずれも最大外径 62 in. までできるようになつている。成形工程は、U プレス、O プレスに分けられ、U プレスは、図 4-8-7 のごとく、材料を押しつけて、U 型に成形するが、底曲率、形状についてはあまり厳密ではなく、次工程の O プレスで形状を決める。したがって本質的には、エアーバンド法であるため、プレス容量は少なくすむ。O プレスは、図 4-8-8 のごとく、上下二つの半円型の金型があり、あらかじめ定められた圧力を U 形の材料に加

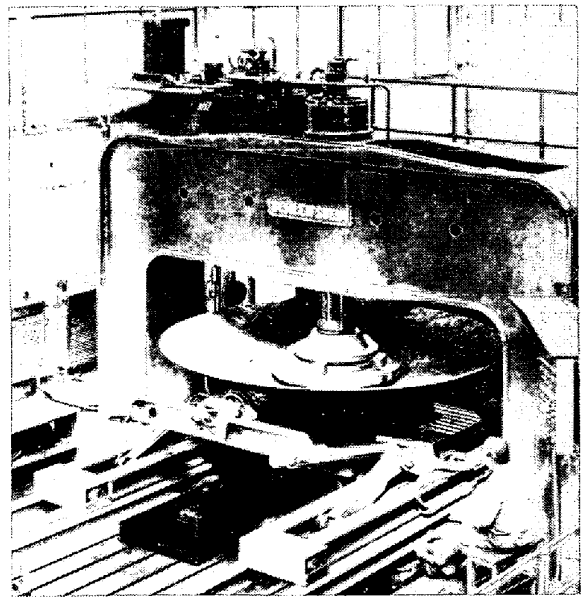
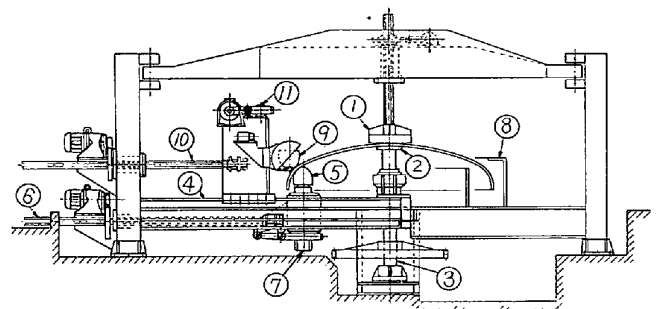


写真 4-8-1 鏡板皿押しプレス



- | | |
|-----------|-----------|
| ① 上ドラム | ② 下ドラム |
| ③ 主軸 | ④ ベッド |
| ⑤ 内ロール | ⑥ 内ロール水平軸 |
| ⑦ 内ロール垂直軸 | ⑧ 加熱炉 |
| ⑨ 外ロール | ⑩ 外ロール水平軸 |
| ⑪ 外ロール垂直軸 | |

図 4-8-9 フランジングマシン

えて O 型に成形する。プレス容量は、鋼板の端曲げを行なつても、最近の大型ミルは、45,000 t 以上である。

(ロ) プレス加工

厚板のプレス加工は、比較的薄物に限定されるボンベ加工と、厚物に用いられるボイラなどの圧力容器の鏡板加工が代表的なものである。ボンベは、絞り、再絞り加工のくりかえしによつて加工されるが、加工はかなりきびしく、絞り成形時の破断、残留応力による破断に注意する事が必要である。

鏡板の加工は、外径と深さの比が、2:1 程度の形状をもつ楕円形、または写真 4-8-1 に示すような 10:1 程度の皿形にプレス加工されることが多いが、半球状の形状もある。この場合、鏡板の寸法によつては容量数千 t に達するプレス機を用いることは珍らしくなく、用途によつては上記の三種類が用いられている。鏡板は、圧力容器に用いられるから、プレス加工時の板厚減少を防ぐ必要があり、この対策としては、厚板が均一に変形するようにポンチ部の潤滑を良くすることが行なわれている。薄板においては、しわの防止が重要な項目であるが、こ

のような厚板には、直径と板厚の比をあまり小さくしない限りあまり問題にはならない。大物部品をプレスするとき、加工力を下げるために熱間 (700~850°C) でプレスする例もあるが、この場合には冷却後の形状の矯正に手間どる問題がある。

(ハ) 厚板のプレス成形性

厚板は、自動車用の比較的薄物を中心として (板厚14 mm 以下)、プレス成形性を考慮した規格があるのみである。これらの鋼板は曲げ加工性、伸びフランジ性を中心としたプレス成形性の向上を計つたものであり、伸びの改善、鋼中第二相粒子の減少などを目標とした鋼種である。これは曲げ加工時に表面に入る割れの生じにくいような性質を目ざしているためである。結果的には、これが他のプレス成形性にも有効であり、破断の発生が少ない材料となる。

高張力鋼板は、伸びが低下するため、一般にプレス成形性は低下するが、合金元素の添加、非金属介在物のコントロールなどの手段により、比較的薄物を対象として、規格化されている。

(c) スピニング成形

主として鏡板の成形を行なう方式として近年盛んになつて来ているが、成形は皿づけ加工をプレスで行ない、次工程でスピニング加工を行なう。図4・8・9にスピニング成形機を示す。スピニングは製品径よりも遙かに小さな内ロールおよび、外ロールによつて成形することを特長としており、プレス工法に比較して、金型費が低廉であり、加工限界も高いので、大型厚肉の多種小量生産には好適である。装置の進歩としては、オートメーション方式、リモートコントロール方式、および自動微い方式の機械が開発されている。

(d) 爆発成形

衝撃エネルギー源としては、火薬、または爆薬を用いる方法、液化ガスまたは圧縮気体を使用する方法、電解液中における大電流放電によつて生じる圧力を利用する方法などがあるが、厚板の場合は、爆薬を用いる方法が一般的である。図4・8・10に鏡板の爆発成形を示す。利点としては、

- (i) スプリングバックが少なく、加工精度がよい
- (ii) 成型型に高級なものを必要としない
- (iii) 複雑な形状の成形が容易にできる

などである。しかし鏡板の成形を例に取るならば、10年の歳月を経ているにもかかわらず一般的な技術とはなっていない。これは衝撃音と振動に対する公害的分野の研究が不十分なためと考えられる。

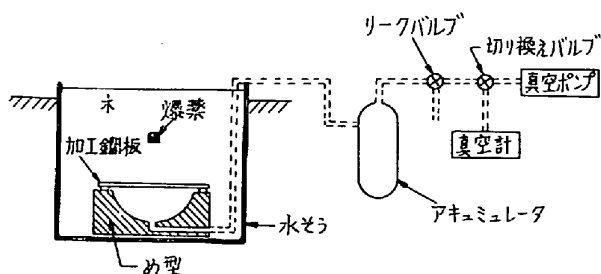


図 4・8・10 鏡板の爆発成形要領

(2) 薄板の加工

二次加工技術としての薄板加工の進歩について、ここではとくに自動車工業との関連を主体として概観してみたい。最近10年間は自動車の大衆化の時代であつたからである。

(a) プレス加工の進歩

(イ) 鋼板のコイル化

内板用のリムド鋼板のノースキンパスのコイル材が昭和35年に採用され、さらに外板用鋼板をキルド材からリムド材に変えるとともにコイル化が進み、ある社の例では昭和36年末でコイル化率は使用鋼板の50%、昭和38年末93%、昭和40年には98%と上昇し、ほとんどコイル材を使用することとなつた。これは鉄鋼メーカー側のコイル材の製造および検査工程の確立と自動車メーカー側のコイル化研究の成果である。

(ロ) プレスのライン化

自動車工場の大規模な近代化は、昭和35年より進み、車体工場は単独ピット方式から連続ピット方式に変わり、複動機械プレスをトップにして数台の単動機械プレスを工程順にならべて一部件のプレス加工を行なうようなプレスラインの形をとるようになった。

(ハ) プレスラインの大形化

高生産性と省力化の要求から昭和38年頃からプレスラインの大形化が進み、500 t × 350 t ラインから 600 t × 400 t ライン、800 t × 500 t ラインへと大形化し、さらに昭和40年には 1,000 t × 600 t 複動プレスおよび 1,000 t 単動プレスによるA級プレスラインもつくられた。大形化を促進させた原因は、車体の大形化、しわ押え圧力の高い張出し加工の採用、内板用のエンボス加工の増加、自動化にともなうダイスペースの大形化などが考えられる。

(ニ) プレスラインの高速化

昭和35年におけるプレスラインの生産速度は6~10 SPM で速いラインでも1時間に400個以下であつたが、昭和40年には10~12 SPM に達した。プレス的高速化をはかるためには加工速度を一定におさえて1サイクル中のアイドルタイムを減少させる必要があり、つぎの3点について実用化が進んだ。第1は2スピードクラッチの採用で加圧ストロークのみを低速で、他のアイドルストロークを高速で作動せしめることにより10~12 SPM にすることができた。第2はリンクモーション機構の採用で、このリンクプレスのスライド下降速度は作業位置付近でクランクプレスのそのわずか30~50%程度であり、作業位置付近でのスライド下降速度を両者等しくとつた場合にはリンクモーション機構の採用により、1サイクルの所要時間を60%近くにまですることができた。第3は湿式クラッチブレーキが国産され、昭和44年には2スピード式が実用化され、ラインプレスの性能向上に役立てられた。

(ホ) クイックダイチエンジ方式

左右移動式、前方移動式、クロス移動式など開発が進み、ダイクランピング装置、マイクロイン칭ング装置、下死点指示装置などと組み合わせたクイックダイチエンジプレスは型交換時間の大幅な短縮をもたらした。普通のプレスで2人で62分かかつた型交換時間はクイックダ

イチエンジ方式の採用により1人で23.5分に変わつた例もあり、プレスラインの近代化に大きく役立てられた。

(へ) プレスラインの自動化

大形プレスラインの自動化はここ10年間に急速に進み、半自動プレスライン、さらに全自動プレスラインへと発展した。非自動化ラインで1時間400個程度(作業員15~30名)の生産が半自動化ラインでは600個(7~13名)に向上し、全自動化ラインでは700個以上(1~3名)に達している。半自動プレスラインではラインの最初の絞り工程におけるプランクのそう入、プレス後の成形品の金型内からの取出し、次のプレスの前までの搬送までを自動化し、第2プレス以後の材料のそう入および各プレスの運転操作は作業者が行なう方式のものであり、現在のプレスラインの主力となつている。

全自動プレスラインはプランクの搬入から成品が完成するまで全ラインが単一機械と同じように完全自動化されたプレスラインで国産第1号は昭和42年に設置され、また、大形全自動プレスラインが昭和44年にソ連に輸出された例もある。

(ト) 大形トランスファプレス

昭和35年には1500tトランスファプレスが国産されており、今後、大形プレスラインの完全自動化とともにトランスファプレスの大形化もますます進むものと考えられる。

以上は自動車工業を中心に考えたが電機産業においても同様な進歩を示し、ストレッチャ・レベリングを含むレベラー技術および精密打抜き、精密せん断技術の進歩が見られる。

(b) ロール成形の進歩

ホットコイルからの電縫鋼管および軽量形鋼の成形はますます発展しつつあるが、最近では表面処理鋼板のロール成形が盛んになつた。これは成形後表面処理を行なうと廃液処理その他の公害問題が生ずるため、プリコート材の使用が増加した。最近10年間の進歩としてはつぎの点があげられよう。

(イ) ロール成形範囲の拡大

ホットコイルの板幅、板厚の増大とともに大形成形機が進歩し、広幅なデッキプレート、キーストンプレートなど建築用品の成形、5mm以上の板厚のシートパイルなど建設用品の成形が進み、電気冷蔵庫外板、電灯用品など電気用のもの、スチール家具などの事務室用品の成形も普及した。

(ロ) ロール成形の連続化

溶接装置との組み合わせは従来からあつたが、その後、パンチングプレスとの組み合わせによる穴明け加工の連続化、成形プレスによる予備成形および最終仕上げ、せん断プレスによる切離なしおよび端部仕上げなどの連続化が進み、また、成形ラインの後の精整ラインの近代化も進歩した。

(ハ) ロール成形の高速化

30m/minが標準速度であつたが、同一断面材を量産する目的から、50~100 m/minに成形速度が上昇し、200 m/minという高速成形機もあらわれた。

(ニ) ロール成形の成形性

成形途中でそり変形を生じないようにするためにダウ

ンヒル法やケージ成形法などの方法が採用されるが、材料面からは素材の引張り一圧縮特性との関係が明らかにされ、パウシンガー効果の少ない材料がそりやすいこと、また、冷間加工をうけるとそりにくくなることが明らかにされた。

以上がロール成形の全般的傾向であるが、今後は単純形状成品の成形には高速成形が、複雑形状成品の成形には速度はあまり大にしないで連続化および自動化が進歩するものと考えられる。

(c) 製缶技術の進歩

昭和39年に米国でアルミ缶のドロー・アンド・アイアン法(わが国では通称DI法と呼ばれる)が開発されて以来、ビール缶その他にアルミ缶のツーピース缶が多量に使用されるようになり、これに刺激をうけてスチール缶にもこの技術が応用されるようになった。この製缶法は打抜かれた円形プランクに深絞りを行ない、場合によっては再絞りを行なつてカップを作つた後、2~3段のアイアニング加工(しごき加工)を加えて肉厚を薄くする方法であるが、従来の缶に比して、底付きであるため上蓋だけをつければよいという利点をもっている。スチール缶のドロー・アンド・アイアン法では、例えば、絞つた段階で肉厚0.0118 inであつたものをしごき加工で肉厚0.0045 in程度に仕上げる。この場合、原板は板厚0.0130 inのブリキ板であるが、ドロー・アンド・アイアン法ではカッピングをした後はポンチを1ストロークさせるだけで底付き缶が仕上げられ、きわめて高速多量の生産が可能となる。現在、しごき加工で減肉される際に生ずる欠陥もなくされて、かなりの生産が行なわれている。図4・8・11にはプランクを供給して、一度に深絞りおよび2回のしごき加工を加える方式を示す。

この方式によれば深絞りによるカッピングの工程を前もつて行なう必要はなくて便利であるが、ストロークはあまり大きくとることは出来ない。しごき加工のストロークを大きくとるためには一般に深絞り工程を別にして

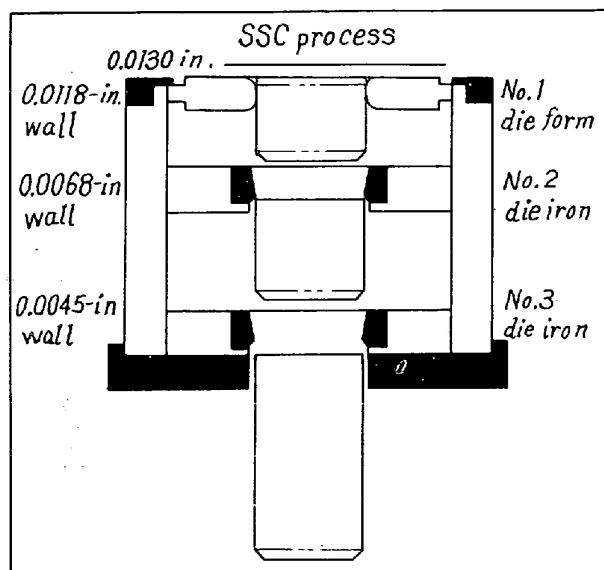


図 4・8・11 ドロー・アンド・アイアン法によるシームレス・スチール・コンテナの加工

いる。

今後とも本製缶技術による Seamless Steel Container (SSC) 加工法の発展が期待される。

4.8.2 線材の加工

わが国の線材の生産量は、昭和44年に米国を超越し、自由諸国で第一位を占めると共に、世界各国に線材および線製品として、大量に輸出されている。

線材の加工技術についても、わが国は世界第一級の技術水準に達しており、海外への技術輸出、プラント輸出も数多く行なわれている。

線材の加工技術は多岐にわたっているので、ここでは代表面な分野について述べるに留めることとする。

(1) 伸線前処理

線材は一般に冷間加工を受ける。この冷間加工を行なうため、熱間圧延により発生した線材の表面スケールを除去する必要がある。スケール除去の方法として、酸による化学的方法と、機械的に行なう方法があるが、最近環境保全の問題より、機械的方法 (Mechanical Descaling 一略して MD) が注目され、各種の設備が開発され実用に供されている。従来MD法の欠点とされていた伸線加工時の潤滑不良の問題については、インラインで線表面に急速に化成被膜を形成させる設備が開発されており、伸線用潤滑剤の性能向上と相まって、酸洗設備を持たない伸線工場も出現している。今後のMD技術の進歩と、圧延工場のスケール管理技術の向上により、MD法の適用範囲は次第に拡大してゆくものと考えられる。

酸洗法によるスケール除去は、抑制剤の進歩により、水素脆性の防止と、酸消費量の低減が計られた。更に、公害防止の必要性和相まって、濃厚廃酸回収設備を設置する工場も増加し、酸消費量は低減しているが、積極的に酸槽と濃厚廃酸回収設備を連結し、一定した酸浴組成を維持し、酸洗い作業条件の安定を計っている工場もある。連続自動酸洗装置の実用化、また熱処理と酸洗をインライン化した設備の普及など労働生産性の向上も著しい。また積極的に酸液を循環させたり、被処理材に振動を与え、酸洗時間の短縮、ならびにコイル内外面の表面品質の均一化を計る方法も開発され、最近の線材の大束化 (2 t コイル) に対処している。

酸洗後の線材の表面被膜については、石灰被膜にかわつて、燐酸塩や硼酸系被膜が広く使用され、潤滑効果の向上により、高速伸線、強加工が可能となつた。

酸洗法の今後の問題は公害防止にあり、廃酸、排水処理と共に、処理設備より発生するスラッジなどの処分をどうするかという点がある。

(2) 伸 線

連続伸線機は、Stationary Coiler および Barcro Block と呼ばれる貯線方式の採用により、製品取出し時に、伸線作業を停止する必要がなくなり、生産性は大きく向上した。伸線速度は、線材の品質安定、超硬合金ダイスの採用、ダイス加工技術の進歩、極圧添加剤を配合した伸線用潤滑剤の発達、回転ダイスの活用、伸線前処理技術の進歩、および伸線機構の進歩により、次第に高速化し、線径 2 mm 前後で 1,000m/min 程度まで可能となつた。

この伸線速度の高速化により、伸線時の線温度の上昇

が大きくなり、特に高炭素鋼々線では時効による靱性の低下の問題がある。これを防止するために、ダイスおよびドラムの冷却の強化が行なわれているが、各ダイスでの減面率を意識的に変更し、加工による発熱を調整し、線温度の上昇を限度以下に押えようとする研究 (Taper Drawing)、更に加工中の鋼線を直接冷却媒体により冷却する方法の研究も行なわれている。

線材製品の多様化につれ、伸線機も大型化し、連続伸線機では高炭素鋼線で母材径 13mm 程度まで、単頭伸線機では母材径 38mm までの伸線が可能となつた。また従来は棒鋼よりドローパーチにより製造されていたミガキ棒鋼についても、線材より引抜き、切断、矯正を連続して行なうコンパインドーマシンが広く普及し、30 mm 径以下のミガキ棒鋼生産の大半を占めるようになった。

生産性向上および大重量コイルの生産のために、太径線ではインバーテッド ブロックや、線の自動取出し装置も広く使用されている。

穴ダイスを使用しない線の加工については、ローラーダイスの使用が丸線および異形線の製造に使用されつつあり、圧延方式では冷間タンデムロールが平線、異形線の加工に使用されているが、工程省略のため熱間タンデムロールを使用しているところもある。

一方特殊な伸線としては、超高压伸線、超音波振動伸線や、静水圧押出加工などの研究が進められており、一部は実用化の域にまで来ているものもある。

(3) 熱処理

高炭素鋼線の熱処理 (パテンティング) は、マッフル式加熱より直火式加熱に変わり、炉の形式も天井バーナーより、炉内温度分布のよいサイドバーナーを有するトンネル型に変わりつつある。バーナーの改良による加熱速度の向上で通線速度も速くなり、炉の容量も大型化し、月産 5,000 t の炉も操業されている。細径の鋼線に対しては、良好な表面品質を得るため、ラジオントチューブ加熱で炉内に保護ガスを送入する炉も実用化されている。

鉛浴槽での被処理鋼線の冷却を促進するため、鉛浴の循環が広く採用され、より均一な鉛浴温度で変態が行なわれるようになり、太径鋼線の品質向上に寄与している。

より優れた組織、機械的性質を得るため、低温と高温の2つの熔融塩槽を使用する DCQ 法、熔融鉛の急速流を使用する方法も開発され、また急速加熱により結晶粒を微細化し、高靱性の鋼線を得ようとする方法も研究されている。

特殊な方法として、線束のまま加熱し、熔融塩中に投入する Batch Patenting 法が太径鋼線で実用化し、細径鋼線ではループ状で加熱し、Jet 気流により急冷するループ法も出現した。

前述のとおり、パテンティングと酸洗をインラインで行なうことはすでに常識化しており、捲取機も横取りから下取り方式に変わり、捲取重量も線材の大束化に対応して、最大 2 t まで処理出来るようになり、作業能率の向上が著しい。

パテンティングに関する今後の問題は、鉛汚染防止のため鉛を使用しない方法の開発と、線材圧延工場で実施されている直接熱処理法が、製品用としてどの範囲まで使用出来るかという点であろう。

冷間圧造用線などの焼鈍については、組織、カタサ、脱炭などの問題から、雰囲気ガスの使用が一般化した。炉の形式もポット炉よりペル型炉に、更には連続炉へと移り変わり、品質の安定、生産性の向上が著しい。

工具鋼、軸受鋼などの特に表面脱炭に問題のある鋼種については、真空焼鈍炉も使用されている。

鋼線を連続的に焼入、焼戻しを行なうオイルテンパードワイヤ（OTワイヤー）については、バネ用として広く使用されるようになり、適用鋼種も炭素鋼から合金鋼に拡大し、強度の上昇と共に、耐熱性も向上し、自動車用弁バネ用として、自動車の高速化に寄与している。バネの冷間成形機的能力向上により、OT線の適用範囲も次第に太径化して行くものと思われる。

(4) 表面被覆

線の表面被覆は、亜鉛などのめつき以外に有機質物質を表面被覆し、耐蝕性以外に美観を持たせたカラー鉄線が、フェンスなどで使用されている。

亜鉛溶融めつきでは、従来の鉄鍋よりセラミック煉瓦を使用し、鍋の寿命を著しく延長出来るトップヒーティング設備が実用化された。防蝕効果の向上のため、Al 溶融めつき線も使用されている。また特殊な方法として、Al 粉末を鋼線の周囲に圧着、焼成する Al 被覆鋼線の製造方法もある。

電気めつきでは、プラスのような合金めつきで、CN 系めつき液より直接電着させる方法にかわり、非 CN 系めつき液を使用し、合金成分を別々に電着させた後、熱拡散により合金を生成させる方法も行なわれている。

(5) 冷間圧造

鋼の冷間圧造による部品成形は広く普及し、線材の用

途の大きな分野を占めるようになった。更に塑性加工の研究と加工機械の進歩に伴い、前方押出しと後方押出しを組み合わせることなどにより、ボルト、ナットのような単純な形状から、たとえばボールジョイントのような複雑な形状へ、小物から大物（38mm 径）へ、更に低炭素鋼より合金鋼へと、その適用範囲は次第に拡大し、従来の切削による部品成形に比較して、歩留り向上および生産性向上が著しい。最も単純な圧造である製釘についても、ノーウィスカ方式の製釘機の普及により、材料の節約が計られているとともに、用途の多様化により、頭部形状の変化や、カラーネールなどの新製品が数多く出されている。

冷間圧造では難加工性の材料および複雑な部品成形に対し、温間で圧造する技術も確立されつつある。圧造製品で強度を要求されるものは、圧造後熱処理されていたが、あらかじめ調質された鋼線を圧造して製品化する方法も実用化され、更には温間圧造時の熱を利用して圧造後の製品の強度を持たせようとする研究も発表されている。

(6) その他

昭和40年代の鋼線での最も大きな成果は、関門橋における長大吊橋用ワイヤの純国産技術が確立出来たことであり、近く架設が予定されている本州四国連絡橋などでその成果は示されるであろう。

原子力発電所用に用いられる原子力炉用 PC 鋼線も、ホットストレッチング法を用いることにより、高温での低リラクセーション値を保証出来るようになった。

自動車の高速化に対応して出現したシラアルタイヤに用いられるスチールコードも近年急速に需要が拡大しており、スチールコード用に適した線材の開発により、細線用伸線機、撚線機も高速化の方向に進み、品質の安定生産性の向上が見られる。

弁バネ用鋼線、ステンレス鋼線、軸受鋼線などの表面欠陥の完全除去のため、表面皮削り機械が実用化され、

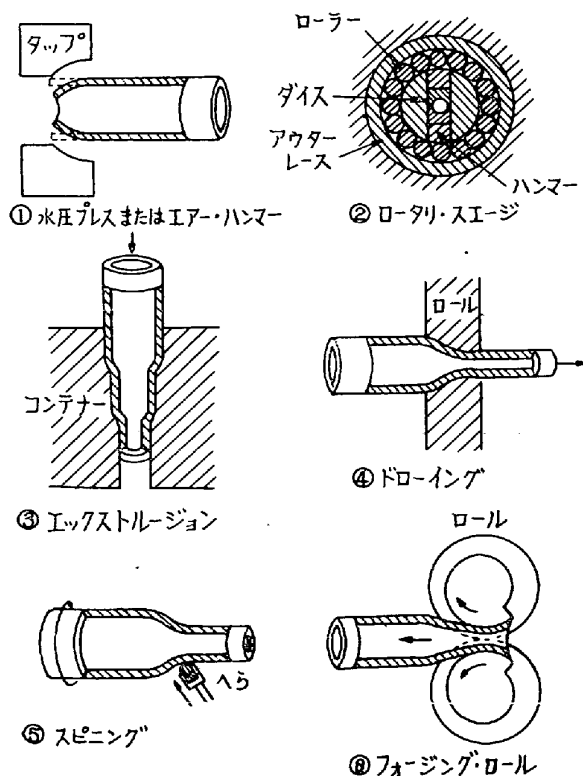


図 4・8・12 スエージ加工方式

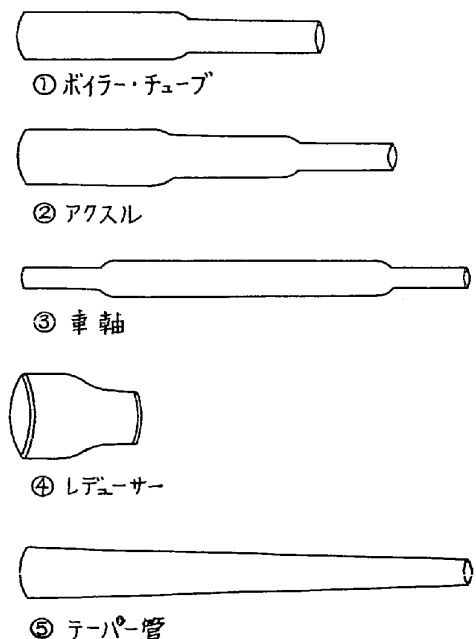


図 4・8・13 管のスエージ加工の例

品質保証に寄与している。更に線全長の表面検査のために渦電流を利用する検査機器も開発され、実際に使用されつつあるが、より信頼性の向上が望まれる。

関連技術の進歩に伴い、硬鋼線についてはより高い抗張力、疲労強度を有し、且つ靱性に富む品質が要求され、一方軟鋼線、機械構造用鋼線については、伸線性、圧造性の特性に加えて、被削性などの相反する特性を兼ね備えた品質が要求されると思われる、これらに対応する新製品、新技術の絶えざる研究が必要とされる。また線材の加工技術、設備についても、無公害、省力化の観点より見直し、工場全体をシステム化した新しい線材加工工場の出現も近いことと思われる。

4・8・3 鋼管の加工

(1) スエージ加工

管端部または管の一部の外径を減らすスエージ加工の方法は①水圧プレスまたはエアハンマーによる方法②ロータリースエージ法③エクストルージョン法④抽伸による方法⑤スピニング⑥フォーミングロール法がある(図4・8・12)これらによつて作られた製品例を図4・8・13に示す。

スエージ加工とは逆に管端を拡げる加工でエキスパンド加工といい、やはり段付管やレデューサーの製造に用いられる。

(2) アプセット加工(図4・8・14)

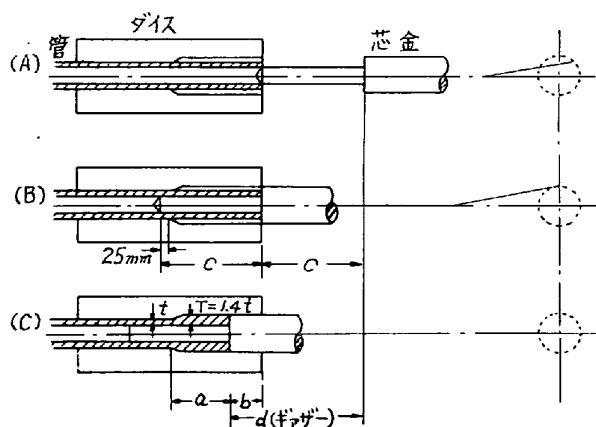


図 4・8・14 アップセットの機構

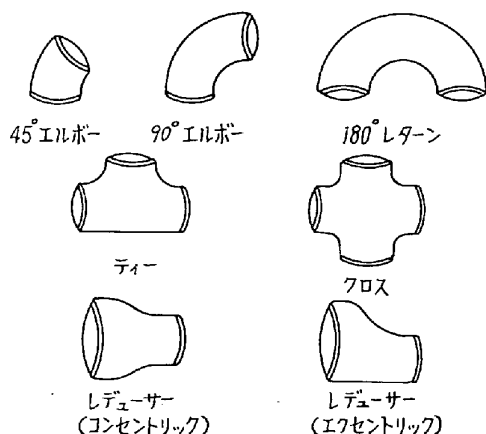


図 4・8・15 熔接継手の種類

油井管など管端をネジ継ぎして用いるときは、ネジ切りによる管有効肉厚の減少をさける目的で管端のアプセット加工を行なう。また管端のフランジ加工にも適用される。アプセット加工は外径アプセット、内径アプセット、内外径アプセットがあり、一般に1工程でできる加工後の肉厚は最初の肉厚の1.7倍程度であり、それ以上必要な場合は2~3工程で仕上げる。

アプセット加工を行なうものはチュービング、ドリルパイプ、ボーリングロッドなどで、稀にボイラーチューブにも適用されることがある。

(3) 溶接継手の加工

溶接継手には図4・8・15のごとく各種あるが、製造法は加熱しながら芯金の曲がりに沿って押し出す方法、湾曲ダイス中を押し通す方法、スエージ加工による方法がある。(図4・8・16)またティーおよびクロス継手の製作法は図4・8・17のとおりである。

(4) 曲げ加工

冷間曲げ加工は細径管に多く適用され、最も代表的なものはボイラーの給水ヒーターチューブの曲げ加工であろう。曲げの方法としては①プレスベンディング②ロールベンディング③ストレッチベンディング④コンプレッションベンディング⑤ロータリードローベンディング⑥プーストベンディングがある。(図4・8・18)

この中コンプレッションベンディング、ロータリードローベンディングが一般的であるが最近ではプーストベン

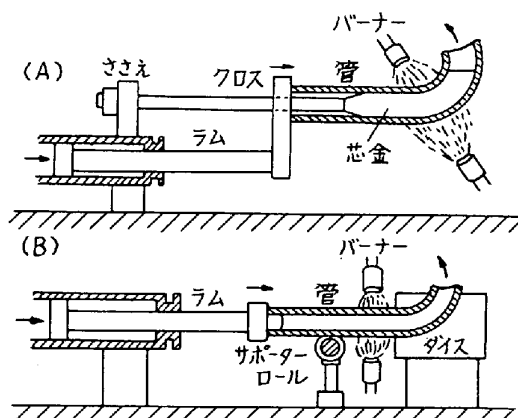


図 4・8・16 ベンド継手の製作法

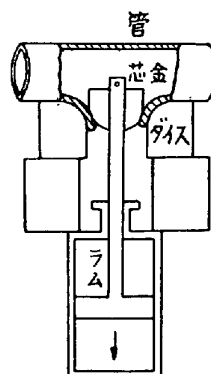


図 4・8・17 ティー継手の製作法

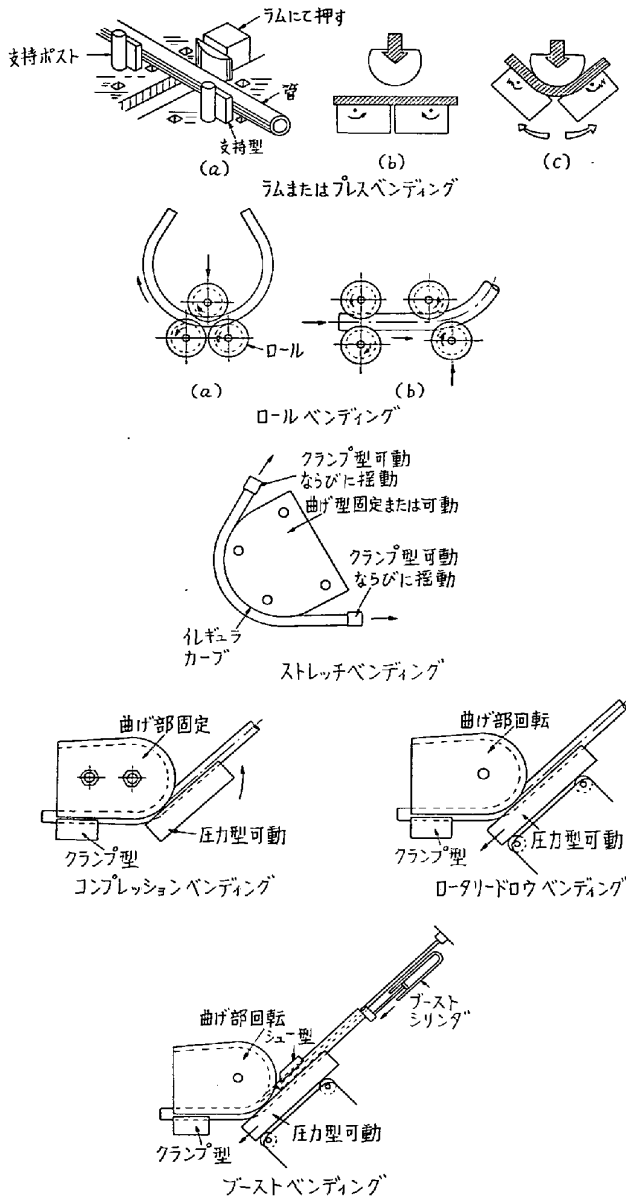


図 4-8-18 曲げ加工法

ディングが広く用いられはじめている。これはドローベンドに更にパイプの後端から適当な圧力を加えてやると曲げ加工の中立軸をちょうど管の中心にもつてくることができ、相当薄肉パイプもしわや楕円を生じないで曲げることができ、曲げ半径も $1.2D$ 位までとることができる。(写真 4-8-2)

(5) フィンチューブ

熱交換器用鋼管ではその効率を高めるために外面にスパイラル状のフィンをつける。

比較的径の大きいもの ($50 \sim 80 \phi$) ではフィンを溶接するが、小径のもの (19ϕ 程度) では転造によつてフィンを形成していくが (写真 4-8-3) 加工がきびしいために内外面の疵のない延性のよい材料が必要である。

(6) 二重管

管の内外面の腐食環境が異なる場合、耐食性を向上させ管の寿命を長くし、しかも適当な強度を有し、熱伝導

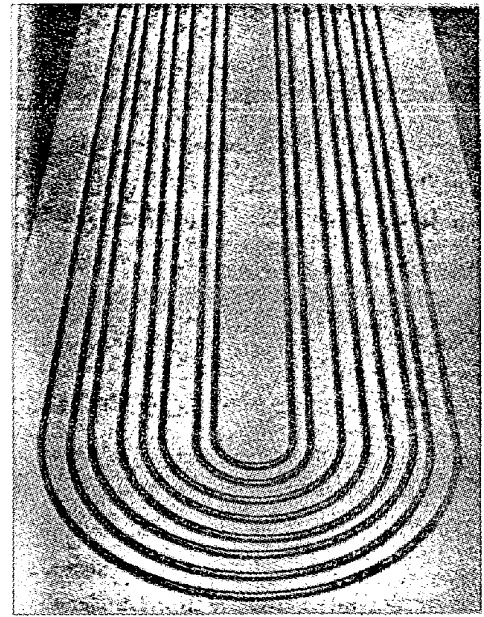


写真 4-8-2 高圧給水加熱管

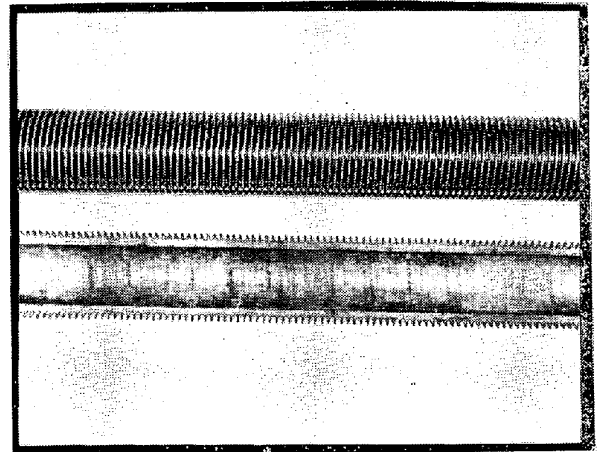


写真 4-8-3 ローフィンチューブ

表 4-8-1 腐食環境と二重管の関係

腐 食 環 境		二 重 管	
外 側	内 側	外 管	内 管
油 ガ ス	海 水	普 通 鋼	アルブラック
油 ガ ス	海 水	ステンレス鋼	アルブラック
水 銀	腐食流体	普 通 鋼	銅
腐食液	腐食流体	ステンレス鋼	銅
油 ガ ス	腐食流体	普 通 鋼	ステンレス鋼
海 水	油 ガ ス	アルブラック	普 通 鋼

性がよくて経済的なものとして二重管が有効である。

使用環境と二重管材質は表 4-8-1 のごとくである。製法は外筒となるべき管に内筒材を挿入して冷間でプラグ抽伸を行なうが、軽度の外径リダクションをかける場合と、内径のエクspansionsを与えて密着させる場合

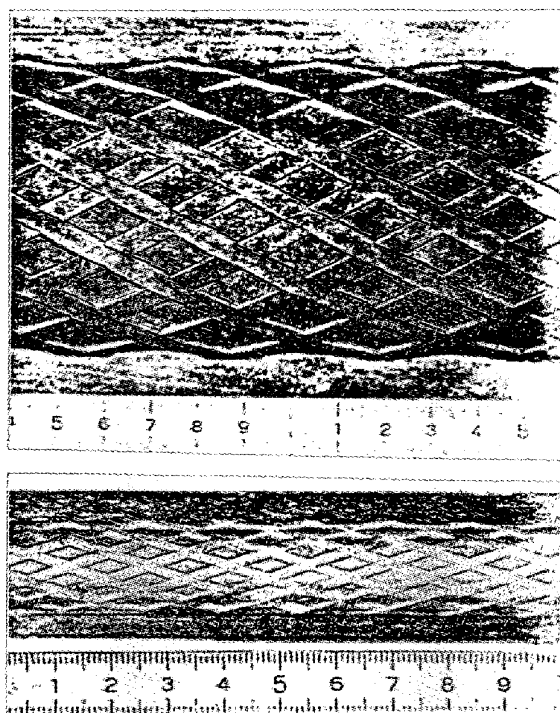


写真 4-8-4 クロスライフル管内面形状

がある。いずれの場合も後に曲げ加工を行なうものが多く、内外管の密着度の均一性が重要である。

管の取付は普通拡管加工を行なうため管端 10~25mm を内管と同じ材質のリングをはめて管端での異種金属接触腐食をさけるよう考慮している。

(7) 表面処理鋼管

耐熱性、耐食性の向上の目的として管表面にのみ異種金属の被覆ないしは合金層を形成せしめるものであつて、Al を溶融メッキしたものは Zn メッキに比べて耐高温酸化性がすぐれており、アルミナイズド鋼管といわれている。また Cr を拡散浸透させて管表面に高 Cr ステンレス鋼の性質を具備させたもので、クロマイズド鋼管として販売されている。

(8) クロスライフル管

貫流ボイラーにおける過熱探傷に対する限界熱負荷を向上させる対策として管内面に菱形の突起物を一様に設けたクロスライフル管が用いられる。これは溝付プラグを回転させながら冷間抽伸を行なつて製作する。(写真 4-8-4)

(9) その他

冷間抽伸を途中止めすることによつて段付管の製造や梅鉢型のダイスを回転させながら冷間抽伸してねじれ管を作ることができる。これらは装飾用に用いられることがある。また角管や楕円管も冷間抽伸で製作できる。

4.9 溶接技術の進歩

溶接技術は、数多くの材料と数多くの溶接法のなかから選定した適材、適法の組み合わせを中心として、溶接構造物をまとめあげるシステム化の技術である。このうち、鉄鋼材料、溶接性などの試験検査法、溶接鋼管製造

技術などについては、本記念特集号の別の個所で記述されているので、ここでは溶接法および施工法の進歩を主体として記述する。

4.9.1 溶接技術の位置づけ

溶接は材料接合部に局所的なエネルギーを与えて冶金的に接合する技術で、船舶、車輛、自動車などの交通機関、建築、橋梁、貯槽、圧力容器、ボイラ、ポンプ、ペンストックなどの構築物、電気機器、生産機械、石油機器、電子機器、家庭用品、事務機器などの機械装置、さらに原子力、太陽エネルギーなどのエネルギー発生プラント開発、宇宙航空開発および海洋開発など、ほとんどのあらゆる構造物の組み立て技術として、溶接が重要な役割を果たしている。

すなわち、溶接は金属加工分野のなかで、構造物の組み立て技術として特有な存在価値を持ち、銲接、ボルト締めなどの機械的接合に対比される冶金的接合技術である。溶接は銲接などに比べて、構造が簡単になり、生産工程上ブロック化が容易で、騒音がなく、材料の節約と工数の節減によつて製作費が安くなり、かつ製作上材料の厚さが無制限であり、その上できあがったものは高い継手効率とすぐれた油密、気密、水密あるいは耐圧性をもっている。近年溶接が必須の技術として重視されるのは、構造物の大型化、高圧化、高温化あるいは低温化、複雑化、材料の種類および寸法形状範囲の拡大と高強度化などに対応して、溶接組み立てにおける経済性や生産性がきわめて高く、かつ工場組み立てにしても現地組み立てにしても、これらの作業環境に対して適応性がよく、機動性に富み、構造物のそれぞれの使用性能を満足し、信頼性が得られるためである。また、人間・社会・経済・産業のニーズに対応して、近年溶接技術が著しく進歩し、溶接用材料や溶接工法の選択の範囲がきわめて広がってきていることもあげられる。

溶接は組み立て技術のほか、材料の製造技術としてクラッドの製造、溶造、溶解精錬にも適用される。さらに、材料や構造物の肉盛、成形あるいは補修にも活用される。

しかし、溶接はその現象による本質的な欠点なども持っている。すなわち、溶接による変形と収縮および応力の発生や材質変化を伴い、また各種の溶接欠陥が発生しやすく応力またはひずみ集中に敏感で、脆性破壊の危険性や疲労特性あるいはクリープ破断特性の低下、耐震性、耐食性などの問題をかかえている。

これら溶接諸現象および継手性能の解明のため、溶接の基礎工学として、溶接冶金学、溶接エネルギー学および溶接力学などが著しく発達している。

4.9.2 溶接法および施工法の進歩

溶接法としては現在約40種にのぼる多種多様な方法が実用されており、これを大別すると下記のように、融接 (fusion welding)、圧接 (pressure welding) およびろう付 (brazing) があり、また溶射 (spraying) や接着 (binding) も含まれる。さらに融接と関係の深い熱的な切断 (thermal cutting) および加工がある。

i) 融接：母材を含めた接合部を溶融して溶接する方法で一般に加圧しないで行なう。この方法にはガス溶