

ルのロール、ローラに適用され、旧来材質に比しおの約10倍、60倍、の長寿命を得ている。高硬度(HS 95～98)でもろい(抗折力 200～320 kg/mm²)という特異な材質を、使いこなしの結果であるが今後とも使用個所別の材質、形状、冷却方法などの一層緻密な考慮がなされ、旧来材質の50倍という高価な材質に引合う以上の原単位低減、作業軽減が達成されることが期待されている。

(h) ロール加工

最近のロール加工には、既存のロール旋盤に加えて、NC 加工、ならい加工などの自動化された加工方法が積極的に採用され省力化に大きく寄与している。一方、線材圧延の仕上列に用いられているような高硬度 (Hs 80 以上) のロール加工には、前述のバイト切削とは異なる研削加工法が導入され、その代表的なものには西独の N 社、米国の S 社製研削盤が有名である。研削用砥石の成形方法に、前者が、単石ダイヤモンドによるならい成形、後者が、クラッシュ成形を採用し両者を比較すると一長一短あるが、少数カリバーの大量加工をする場合に

は、砥石成形およびロール加工能率のすぐれている後者がよい、両者とも国内で採用され旧来のロール旋盤に比べ2～8倍と飛躍的な加工能率を示し作業合理化、省力化に寄与している。

また、最近注目されている WC ロールの加工は主に電解研削加工法が用いられており、高能率であるため今後とも広く使われるであろう。

4.5 鋼管製造技術の進歩

4.5.1 継目無鋼管

継目無鋼管はボイラ用、化学工業用、油井用、構造用などに加え最近では原子力用の需要も加わり、生産量は着実に増大している。製造技術も品質の向上、生産性の向上に大きな努力を傾け、多くの設備改善、新設備の導入、技術の改良を行なうと同時に省力化も活発に行なわれてきた。

表 4.5.1 各製造方式の工程とその特徴

分 類	方 式	特 徴	製 管 寸 法	適 合 鋼 種 (注)					備 考
			外 径(mm) 肉 厚	炭 素 鋼	低 合 金 鋼	9 % Cr 鋼	ス テ ン レ ス	非 鉄 金 属	
傾 斜 圧 延 方 式	マンネスマン・プラグミル	① 能率が良好で大量生産にも適す。 ② 製造可能寸法、品種が広い。 ③ 低合金鋼、一部ステンレスの製造も可能	27.2φ～381.0φ 3.2 t～	◎	◎	○	△	×	小径は Reducer 仕上げ、二重穿孔は 5 1/2 以上は可能
	マンネスマン・アッセルミル	① 厚肉管製造に特に適す (MAX 50 t) ② 内外面肌が良好 ③ 偏肉率が特に優れている。(7～5%可能)	50.8φ～165.2φ 10 t～50 t	◎	○	×	×	×	
	マンネスマン・マンドレルミル	① 高能率で大量生産に最適 (100 t/hr) ② 内外面肌が良好 ③ 偏肉率が良好 ④ ミルの自動化が比較的容易である。	25.4φ～168.3φ 3.0 t～23 t	◎	○	×	×	×	再熱炉を有する。
	マンネスマン・ピルガーミル	① 大径管の製造が可能 ② 少量多種生産も可能 ③ 内面肌が良好 ④ 管材に対する要求は比較的軽い。 ⑤ インゴットからの直接製管可能	165.2φ～457.0φ	◎	◎	○	△	×	
プレス方式	ユージーン・セジュールネ	① 高合金鋼、加工性の悪い合金の製造も可能 ② 異形管、形鋼の製造可能	25.4φ～280.0φ	○	○	◎	◎	○	
	エルハルト・プッシュベンチ	① 大径厚肉管の製造が可能 ② インゴットからの直接製管可能	210.0φ～ 1,061.0φ	◎	◎	○	△	×	

(注) 適合鋼種 ◎生産能率、品質上適するもの ○やや適するもの △製造上困難か能率品質上好ましくないもの ×製造困難なもの

表 4-5-2 回転炉床式加熱炉諸元

年 次	～昭和43年	昭和43年～
炉床中心径	17.4m	40m
炉床幅	5.5m	5.5m
ゾーン数	4	6
加熱能力	80 t/hr	165 t/hr
加熱鋼片径	110φ～240φ	130φ～185φ
加熱鋼片長さ	～4,900ℓ	～5,000ℓ
燃 料	C重油・Cガス	C重油
燃料原単位	50ℓ/t	55ℓ/t
炉床負荷	300 kg/m ² .hr	235 kg/m ² .hr
熱 効 率	40 %	45 %
操 業 人 員	4 名	2 名

(1) 熱間圧延法の進歩

継目無鋼管製造法は多種にわたるが原理的に①傾斜圧延方式②プレス方式に大別される。各方式による製管法とその特徴を表4-5-1に示す。従来小径管製造に用いていたクランクプレス方式は、マンドレルミルの導入とストレッチレデュサー圧延技術の向上により小径管を高効率に生産する体制が確立され、日本では廃止され欧州もその傾向をたどっている。

(a) 傾斜圧延製管法の進歩

(イ) 加熱炉の大型化、自動化

鋼片の加熱において均一加熱と鋼種ごとの最適温度に加熱することは、良好な品質の鋼管を製造するための不可欠の条件であると同時に加熱能力がミル全体の能力を左右する重要設備である。炉の型式は傾斜炉床式、ウォーキングビーム式もあるが、最近では回転炉床式が主体で最大は炉床中心径40m 加熱能力165 t/hrのものが実動しており、均熱性が大幅向上している。操炉も燃焼自動制御とビレット装入抽出の自動化で作業員は、2名以下となり省力化が著しい。(表4-5-2)

(ロ) ピアサーの技術改良

ピアサーは各種製管法の加工第一工程として重要であり能率、品質(偏肉、中カブレ疵)の向上に多くの改善がなされた。能率面では①穿孔速度の向上(表4-5-3)②アイドルタイムの減少がある。アイドルタイムの減少はスラストブロックの前後進を空圧駆動からGD²の小さいDCモーター2台(Twin drive)で加減速をすみやかに行なう方法とし、最高速度も～6.5m/secに達している。ソ連、ドイツでは穿孔終了と同時に芯金と穿孔材をいっしょにけり出し直ちに次の芯金をけり込んで穿孔をはじめる芯金循環方式を採用しアイドルタイムの減少に成功、240～280本/hrの穿孔を行なっている。この場合主モーターはDC 3,000 kWのTwin driveとなつている。さらに高速穿孔を行なうため傾斜角を17°～20°まであげる高傾斜角穿孔法、穿孔中にビレットを後方から油圧で押していく強制押込穿孔法が開発されつつあり、またガイドシュを固定式から回転式に変えて穿孔効率を著しく向上させた例がドイツにある。

品質の面では均一加熱に加えてピアサーでの穿孔段取

表 4-5-3 穿孔速度の向上

項 目	内 容
ロール大径化	900φ → 1,200φ
ロール回転数の向上	80 rpm → 110 rpm
ロール周速度の向上	4 m/sec → 6 m/sec
ロール傾斜角の増大	6～10° → 9～12°
穿孔速度の向上	6～700mm/sec → 800～1,000mm/sec
モーター馬力	～2000 kW → ～3500 kW

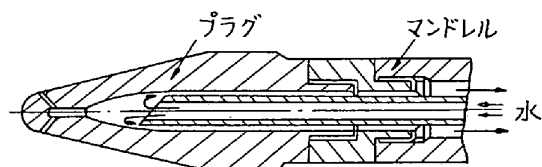


図 4-5-1 マンネスマン・ピアサー用 水冷プラグ概略図

をガイドシュ間隔をせばめると同時にロール出口面角を小さくしてクロズドパスとし、穿孔中の芯金の振れも3ロール式パステディアーの採用で安定し偏肉を抑制している。内面カブレ疵対策もモデルピアサーを用いてテーパー付ビレットの空板穿孔試験や素材の高温ねじり試験で熱間加工性の評価をし、Stichzahlとelongationの積を一定値以下に抑えることによつて疵防止に効果のあることが確かめられている。さらに材質別の適正加工温度管理により18Cr-8Ni、25Cr-20Ni鋼も穿孔されている。また先述の高傾斜角、強制押込穿孔法によつて穿孔の極めて困難なPb入り快削鋼の穿孔も可能なことが確認されている。穿孔速度の向上、穿孔段取の最適化、プラグ材質の改善により穿孔長さも6～8mから、10～11mが現実に穿孔されており、製管能率の向上と歩留りの向上もさることながらプラグミル製管法において、プラグミルの加工度を下げて中筋防止に大きく寄与している。

イギリス、アメリカにおいては3ロールピアサーがすでに稼働しているが、この特徴は穿孔中のビレット内部に引張応力の発生がなく内面カブレ疵が少ないこと、製管可能鋼種の範囲が広いこと、偏肉が少ないことがあげられるが、プラグにかかるスラスト荷重が大きく機械が複雑であること、薄肉穿孔では穿孔終了時に穿孔材後端にフレアリングが出て作業性悪く、寸法範囲(特に肉厚)が制限される欠点がある。ピアサーについての技術開発は今後とも精力的に推進され日本においても高傾斜角、強制押込穿孔法や芯金循環装置の導入、また工具寿命の延長と省力化のためプラグの水冷化(図4-5-1)などは早期に実現されると思われる。

(ハ) マンドレルミル製管法の進歩

近代的マンドレルミルは1949年National Tube Co.のLorain工場(米国)に設置されたのがはじまりで、主としてスタンダードパイプの圧延を行なつたが、1966年Thyssen Röhrenwerke AG(西独)が高級鋼管製造用に設置し、能率、品質の高さが再認識され、わが国にも昭和43年以降相次いで3基のミルが設置され大きな効果を

表 4・5・4 最新のマンドレルミル諸元例

会 社 名	S	K	N
型 式	45°×45°	45°×45°	45°×45°
ス タ ン ド 数	8	8	8
モーター No.1 スタンド	700kW×2台	700kW×2台	700kW×1台
2	700 × 2	700 × 3	700 × 1
3	700 × 3	700 × 2	700 × 2
4	700 × 3	700 × 2	700 × 2
5	700 × 3	700 × 2	700 × 2
6	700 × 3	700 × 2	700 × 2
7	700 × 2	700 × 2	700 × 2
8	700 × 1	700 × 1	700 × 1
ロ ー ル 径	605φ~485φ	560φ~480φ	565φ~445φ
ロ ー ル 長	280	305	255
出 口 速 度 (max)	4.55 m/sec	4.56 m/sec	4.2 m/sec
素管径×長さ (最大)	186φ×11m	× 8 m	× 8 m
仕上径×長さ (最大)	158φ×33m	175φ×24m	133φ×25.7m

あげている。(表 4・5・4)。これら最新鋭のミルは各単位設備が徹底的に自動化されて能率の高いことと人員の少ないことが特徴であり、品質面でも本質的にプラグミルに比し内面引掻疵や内面精度、偏肉が良好で小径管の製造面では完全にプラグミルを凌駕してしまつた。これは電気制御技術すなわち SCR やトランジスターを用いた高速応答制御方式が開発されモーター制御が確実迅速に行なえるようになったことと、マンドレルミル圧延理論が確立されこれに基づいたロール孔型設計、ロール回転数設定を行なつてオーバーフィルやアンダーフィルなく圧延出来ると同時に、圧延過渡期でのモーター制御方式も解明されたことが極めて大きく貢献している。

マンドレルにおいてもさらに生産性をあげるため圧延外径の大径化と圧延長さの長尺化が急速に進んでいる。

(表 4・5・5) 大径化、長尺化は圧延技術上は可能であるが、マンドレルバーの大径長尺化、ひいてはミル全体の巨大化につながるの困難であろうと思われる。圧延材質は 5% Cr 鋼までであるが、圧延終了後マンドレルバーストリップングまでの時間がさらに短縮(現在 12 sec 程度)されれば高合金鋼も圧延可能と考えられる。

ロールはグレンロール、アダマイトロールを用いてい

るが、ミル入口で水冷デスケラーを用いたり、軽加工度のスタンドにはチルドスリーブロールを用いた寿命延長も試みられている。マンドレルバーも Cr-Mo-V 鋼や Ni-Cr 鋼を用いているがさらに Cr-Mo-V-Si 鋼などの試用がなされている。

今後の課題としてミル全体の総合自動制御システムの開発、高能率ミルと連結する精整諸設備の抜本的近代化が急がれるところである。

(二) プラグミル製管法の進歩

プラグミルは製管寸法範囲が広く汎用性のある圧延機で継目無鋼管製造には広く用いられてきたが、マンドレルミルの稼働に伴つてストレッチレデューサーとの組み合わせによる小径管の製造をマンドレルミルにゆずり中径管製造が主体となつている。

1961年にカナダに据えつけられたものが最後で、その後新設されたものはない。そして技術改善は主として能率の安定化と人力作業の排除(省力化)に力を注いでおり、2パス目の山返し作業の機械化、圧延材のハンドリングの自動化、プラグ自動抜取装置の設置などが行なわれているが、海外ではさらにプラグの自動交換装置が実用化されるところまで進んでいる。(図 4・5・2)

表 4・5・5 マンドレルミルでの大径化、長尺化

年 代	素 材		仕 上 寸 法		
	外 径	肉 厚	外 径	肉 厚	圧延長さ
～昭和	130φ	8 t	108φ	2.8 t	20m
45年	175φ	30 t	148φ	20 t	25m
昭和	110φ	10 t	90φ	2.8 t	20m
45年～	205φ	35 t	175φ	25 t	33m

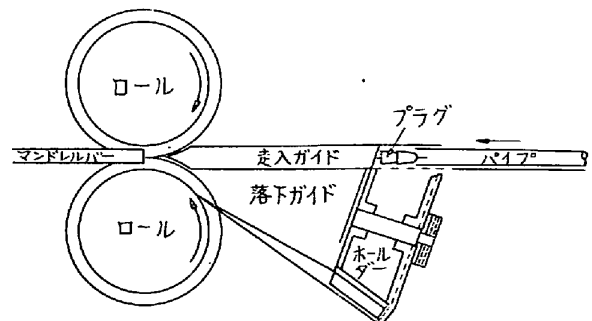


図 4・5・2 プラグミル・プラグ自動交換装置

表 4.5.6 ストレッチレデューサーの進歩

年 次	～昭和43年	～昭和45年	～昭和49年
素 管 径	～5"	～6¼"	～7"
素 管 長 さ	～12m	～25m	～33m
入 口 速 度	～1m/sec	～3m/sec	～3m/sec
出 口 速 度	～5m/sec	～11m/sec	～11m/sec
仕 上 径	34～88.9φ	34～140φ	27.2～140φ
仕 上 長	～60m	～100m	～100m
電 源 容 量	～1,500kVA	～3,600kVA	～5,000kVA
モーター容量	～1,500kW	～6,400kW	～6,400kW

圧延技術では先述のピアサーでの長尺穿孔による中筋防止から、さらに1パスのみで圧延を終える方法で能率をあげている所もある。この場合リーラーでの肉厚圧下は従来より大きくしなければならない。

モーターは AC モーターが普通であるが、DC モーターを用いて鋼種、寸法によつて適正圧延速度をとつて嚙込不良の防止をはかっている例もある。サイザーでの仕上外径は従来は基準外径のみに限つていたが、適当なスタンドで加工を終えたオーバルパイプをロータリーサイザーで真円に仕上げることににより、基準以外の中間的外径のものを精度よく仕上げる技術も開発されている。

(ホ) ストレッチレデューサーの大型化、高速化と技術改善

ストレッチレデューサーは継目無、溶接管両分野で広く用いられ、継目無鋼管分野ではプラグミルやユージンセジュール方式との組み合わせから最近はとくにマンドレルミルとの組み合わせで、その偉力を遺憾なく発揮している。素管の大径化、長尺化にしたがい高性能のものが出現しつつある(表 4.5.6)。

駆動方法は油圧トランスミッション方式、交流直流モーター組み合わせ方式などがあるが、圧延理論の発展とこれを基礎にした管端厚肉部短縮のための技術が解明されて各個直流モーター駆動が一般化している。圧延技術の発展は著しく NEUMANN HANKE の管絞り理論を基礎に塑性解析は着実に進み、ロールキャリバーデザイン、ロール回転数設定法、圧延トルク計算、パススケジュールの最適化が行なわれた。中でもレデューサーの二大欠点である管内面の角張りと管端厚肉化現象の解明にはとくに精力が注がれ、前者にはロール面圧力を均一化したキャリバーの作成とストレッチ分布の改善で肉厚比20%をこす厚肉管の製造を可能ならしめ、後者に対しては積極的に管端部にストレッチを与えて厚肉部長さを短縮する制御技術が確立され、歩留りの著しい向上をみている。

管の表面グレードの向上には、レデューサー入口での水圧デスケラー圧力を 70～100 kg/cm² から 100～170 kg/cm² の高圧のものに替えて格段の向上をみている。

(ヘ) ピルガーミル製管法の能率向上対策

ピルガーミルは大径管の製造が可能で、製管肉厚範囲が広く長尺製管が可能であるが、最大のネックは生産性である。この向上を主眼としてマンドレル交換時間の短縮、フィーダー早送り機構の改善によるアイドルタ

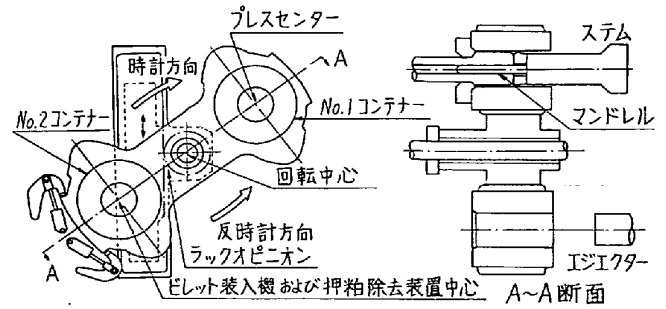


図 4.5.3 ダブルコンテナー

イムの減少、さらには長尺圧延等で能率と歩留りの向上に努力している。

(ト) アッセルミル製管法

→トランスバル型の導入アッセルミルでは圧延中にハウジング回転角を変更できるトランスバル型の導入が大きな進歩である。すなわち圧延終了直前にハウジング回転角を下げて圧延速度の低下と同時に圧延材肉厚を厚くすることにより、フレアリングを防止してかなり薄肉のもの(D/T ≒ 20 特殊の場合35)まで製管範囲が拡大される。また逆にハウジング回転角を上げることににより管端肉厚が薄くなるので、フレアリングが問題とならない厚肉管では次工程のシンキングミルにおける管端増肉現象を相殺して歩留向上に役立っていることである。

(b) 押出製管法の進歩

熱間押出による管の製造はピレットの加工や工具に費用がかかり、また生産性が低いと普通鋼管の大量生産には適さない、しかし加工法が主として圧縮変形加工であつて、変形能の悪いステンレス鋼やチタン、ジルコニウムなどの非金属製品やロール圧延法でできない寸法の管や異形鋼の製造には非常に有効である。

(イ) ユージンセジュール法での生産性の向上策

開発初期は 1,000～2,000 t 級のプレスが主体で 5～10 t/hr であつたが、プレスの大型化が進められ 3,000 t 級以上のものが主体となつてきた。これにより能率は 15～20 t/hr と向上したが、さらにコンテナーボアの大型化により押出成品重量と寸法の拡大によつて石油化学工業用鋼管あるいは原子力用鋼管の分野にますます有効な方法として認識されつつある。また押出ピッチ増大のためダブルコンテナー方式が採用され 70～80 本/hr であつたものが 100～120 本/hr となつている。(図 4.5.3)

一方大型プレスとストレッチレデューサーとの組み合わせでより小径サイズに至るまで大径ピレットを使用して能率よく生産する体制が試みられたが、普通鋼に対してはやはりマンネスマン方式には匹敵せず、今後はあまり採用されないものと思われる。

(ロ) 異形鋼管、特殊金属の押出し

異形鋼管の製造はユージン押出し技術の工業化で開拓された特殊分野である。異形管の代表はボイラのエコノマイザーや水壁管に用いられるヒレ付管である。この他六角管や時計枠素材の押出しなどが実施されているが、中実型鋼も小量生産では圧延鋼材に比し経済的であつて例えばフォークリフトマスト材、矢板継手などが生産されている。(図 4.5.4)

原子力用や特殊化学工業用などの特殊金属管は他の製

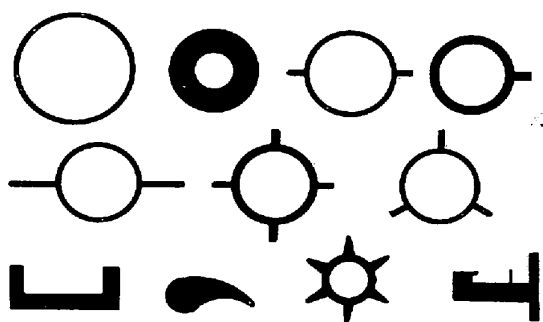


図 4-5-4 押出製品の例

管法では極めて加工困難であり、ユージン法にのみたよっている。すなわち原子発電で蒸気発生装置に用いられる Ni-Cr 合金 (Inconel 600) などや Ni-Fe-Cr 合金 (Incoloy 800 など) の押出し、超耐熱用 Cr-Ni-Co-W-Fe 合の押出し、燃料被覆管に用いられる Zircaloy の押出し金、また弗化ウラン分離用の遠心分離筒素材のマルエージング鋼の押出しやクラッドパイプの押出しが行なわれている。とくに Zircaloy の押出しは酸化ガスの吸収防止と管表面肌の確保のため加熱はアルゴン雰囲気中で行ない、材料内外面を 3~5 mm 厚の銅で被覆して押出し、その後酸洗にて銅を除去する方法をとっている。また化学工業用として耐孔食性にすぐれた二相ステンレス鋼 (Sandvik 3 RE 60 など) や析出硬化型ステンレス鋼 (17-4 pH) の押出しも行なわれている。表 4-5-7、表 4-5-8 に原子力発電に用いられる鋼管種類と適用材料例を示した。

(ハ) エルハルト・プッシュベンチ法の改善

大径厚肉管の製造法としてボイラ主蒸気管や化学工業用圧力容器を製作するが偏肉が大きく、押抜途中や押抜後機械加工を必要とし、生産性が低いことが致命的欠陥といえる。このため横プレス押抜時にダイスおよびマンドレルに硼砂、食塩、黒鉛、その他の潤滑剤を用いて摩擦力を減じ、減面率を大きくして押抜回数を減ずる方法など地道な努力は行なわれているが、とくに目立つた改善は見られない。

(c) 管材品質向上と管材処理の合理化

管材品質の向上および管材処理の合理化は、各種製管法の能率と歩留りの向上に重要な役割を果たしてきた。とくに製造コストに占める管材コストは 60~70% と極めて高く、その原価低減は大きな命題である。DH 法、RH 法、Witten 法などで代表される真空脱ガス処理をはじめとする製鋼、分塊、圧延の技術の進歩により製管歩留および品質は著しく向上した。さらに普通鋼、低合金鋼においては管材の皮削り代の減少、黒皮管材の使用が可能となり、管材の外削工程が削減できて歩留りの向上とともに原価低減に役立っている。

一方、連続鋳造材の適用もすでに実用化され、パロレック社の回転 CC 法が国内でも稼働し、普通鋼、低合金鋼で量産され好成績を収めている。また管材検査も目視検査や蛍光磁粉探傷が行なわれていたが、疵の定量的検出可能でかつ高速自動探傷の出来る自動磁気探傷設備が実動に入り、検査-手入がオンライン化されている。

(2) 冷間加工法の発展

表 4-5-7 原子力用鋼管および合金管の使用状況

管 種	材 料	要求性質
蒸気管	普通鋼	
燃料被覆管	⇒ ステンレス鋼	常温 } 強度
加熱器管	⇒ ジルカロイ	高温 }
	⇒ 高合金鋼	
配管熱交		
炉内構造用	⇒ ステンレス鋼	⇒ 一般耐食性
炉心管	⇒ ジルカロイ	
燃料被覆管		
廃棄物処理装置	⇒ 特殊高合金	⇒ 耐酸性
	(カーペンター 20 cb ₃)	
蒸気発生装置	⇒ インコネル	⇒ 耐応力
	⇒ インコロイ	⇒ 腐食割れ性
格納容器		
貫通孔鋼管	⇒ 低温用炭素鋼	⇒ 耐衝撃性
燃料被覆管	⇒ ジルカロイ	
高温 Na 配管	⇒ ステンレス鋼	⇒ 長時間組織性質安定性
熱交過熱器管	⇒ 高合金鋼	
燃料被覆管		
ポイズン管	⇒ ステンレス鋼	⇒ 耐放射脆化性
ラッパ管	⇒ ジルカロイ	

(a) 冷間抽伸機の高性能化と省力化

最新の抽伸機は小径管を主体とした製品の長尺化と抽伸作業の高効率化をはかるため、長尺、多本引き、高速化の傾向にある。表 4-5-9 に最近の抽伸機の性能を示す。

特異なものとしてチェーン式で引抜き力 600 t のものも出現している。

これら能力の向上のためには工具形状の改善 (フローティングプラグの採用) や潤滑処理の改善があり、また受注品のロット集約や工程管理の適正化が大きな役割を果たしていることも見逃せない。省力化としてプッシャーまたはピンチロールによる材料装入の機械化、材料転出の機械化などを折込み、さらに口絞-伸-曲り直しの一連作業をオンライン化した工場も実動している。酸洗処理も硫酸を用いたオープン槽が多かったが、最近環境改善、処理時間短縮、表面程度の向上、省力化を目的として塩酸を用いたオートクレーブ自動酸洗、表面処理装置が実動に入っている。

潤滑処理はリン酸亜鉛+ナトリウム石鹸、または、蔞酸亜鉛+ナトリウム石鹸 (いずれも反応型) が多いが最近非反応型のカルシウム石鹸が用いられはじめている。とくに最近の小径長尺抽伸における内面潤滑の均一性は重要な課題であつて、さらに検討が必要である。

抽伸におけるダイス力、プラグ力を軽減するのに超音波振動 (20~30 kHz) を与える方法が開発され、国内ではプラグに超音波振動を与える系が実用化された。その結果ダイス力は 10~20%、プラグ力は 90% 減少し、断面減少率を増大させることができると同時に工具寿命が延長し、しかも抽伸後の管表面が美しく疵や材料切れを

表 4.5.8 原子力用銅管の種類と化学成分一覽表

鋼管の種類	使用材料	規格・材質	化 学 成 分								その他	
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo		Cu
蒸気管	炭素鋼	JIS G 3456 STPT 49	≤0.33	0.10 ~0.35	0.30 ~1.00	≤0.035	≤0.035	—	—	—	≤0.20	
	"	JIS G 3455 STS 49	≤0.33	0.10 ~0.35	0.30 ~1.00	≤0.035	≤0.035	—	—	—	≤0.20	
配管・熱交換器管	ステンレス鋼	JIS G 3459 304	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	18.00 ~20.00	8.00 ~11.00	—	—	
	"	" 304 L	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	18.00 ~20.00	9.00 ~13.00	—	—	
蒸気発生器管(PWR)	インコネル 600	ASME SB 163	≤0.05	≤0.5	≤1.0	—	≤0.015	14.0 ~17.0	≥72.0	—	≤0.5	Fe : 6.0~10.0
" (PWR)	インコロイ 800	DIN W.Nr 4876	≤0.03	0.3 ~0.7	0.4 ~1.0	≤0.02	≤0.015	20.0 ~23.0	32.0 ~35.0	—	≤0.75	Ti : ≤0.6, N ₂ : ≤0.03 Al : 0.15~0.45
" (HTGR)	インコロイ 800	ASME SB 163	0.05 ~0.10	≤0.75	0.50 ~1.20	≤0.030	≤0.015	19.0 ~23.0	32.0 ~35.0	—	≤0.75	Ti : 0.2~0.5 Al : 0.2~0.5
格納容器貫通孔鋼管	低温用炭素鋼	ASME SA 333 Gr. 6	≤0.30	≤0.10	0.29 ~1.06	≤0.048	≤0.058	—	—	—	—	
廃棄物処理用鋼管	カーペンター 20Cb3	ASME CASE 1188 Gr. 2	≤0.07	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.035	19.0 ~21.0	30.0 ~38.0	2.00 ~3.00	3.00 ~4.00	Cb : 8 × C ≤1.00
燃料被覆管(FBR)	ステンレス鋼	JIS G 3459 SUS 316	0.035 ~0.064	≤0.75	1.50 ~2.00	≤0.03	≤0.01	17.00 ~18.00	12.00 ~14.00	2.00 ~3.00	≤0.20	B : ≤0.0010 N : ≤0.010, Co : ≤0.1
ポイズン管(BWR)	ステンレス鋼	ASTM A 269 TP 304	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.04	≤0.03	18.00 ~20.00	8.00 ~11.00	—	—	
			Sn	Fe	Cr	Ni	Fe-Cr-Ni	Zr				
燃料被覆管(BWR)	ジルカロイ-2	ASTM B 353 Gr. RA-1	1.20 ~1.70	0.07 ~0.20	0.05 ~0.15	0.03 ~0.08	0.18 ~0.38	bal				
" (PWR)	" -4	ASTM B 353 Gr. RA-2	1.20 ~1.70	0.18 ~0.24	0.07 ~0.13	—	0.28 ~0.37	bal				

表 4-5-9 最近の抽伸機の性能

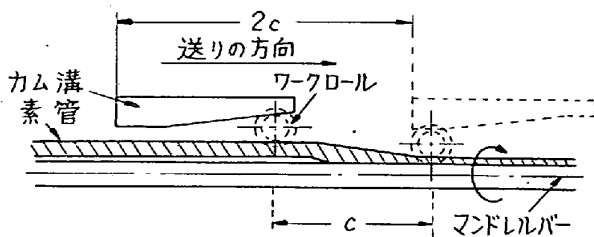
項 目	内 容
引 抜 力	最 大 200 t
引 抜 速 度	最 大 100 m/min
引 抜 長 さ	最 大 36 m
同 時 引 抜 本 数	3 ~ 5 本

おこさない利点があり、今後小径薄肉長尺管の抽伸への適用が拡大されるものと思われる。

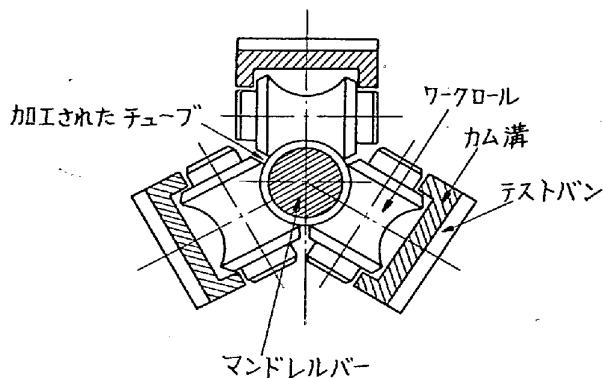
冷間抽伸では丸管のみならず異形管(四角管、六角管)の製作、楕円管の製作、また抽伸を途中でやめることによる段付管の製作、異形ダイスを回転せしめてねじれ管(装飾用)の製造ができることも特徴であろう。

(b) 冷間圧延法の発展

冷間圧延法は圧縮加工であつて被圧延材々質の制限がなく、1回当りの減面率も大きくとれること、仕上表面が美しいなどの利点があり、原子力用合金材料の仕上加工には欠かせないものである。しかしながら生産能率が低いことが欠点である。この改善にはスタンド往復速度の向上(約2倍)同時多本数圧延、ダイス形状の半円周から全円周として有効ストロークの延長を行なっている。コールドピルガー法では $D/T \cong 40$ 程度までが製造できるが、さらに薄肉管はソ連で開発された HPTR が導入されている。これを用いると $D/T \cong 100$ まで可能となつた(図 4-5-5)



(a) 圧延機構



(b) ロール

図 4-5-5 HPTR 圧延機構およびロール

(3) 精整工程の合理化と品質保証体制

熱間、冷間加工法によつて製造されたものも曲り取り管切、手入、検査などの精整工程を経なければならないが、精整工程での合理化は主として運搬の合理化と品質保証のための各種非破壊検査の導入である。

工程の合理化は起重機運搬にたよることなく各機械をオンライン化して曲り取り-管切-検査のオンライン化、熱処理を要する高級品については熱処理-曲り取り-管切-非破壊検査-手入のライン化が行なわれている。

品質保証体制では磁気探傷、浸透探傷、渦流探傷、超音波探傷が用いられ、要求される品質水準を考慮して2種類以上併用することが多い。また材質選別を電磁氣的にまたは蛍光X線を利用して行なう方法が開発されて実用段階に入りつつある。

以上は多くの場合管外面から適用することが多いが原子力用のごとく高品質の保証を要するものは、例えば内挿プローブ方式による内面渦流探傷が、また原子炉燃料被覆管に対しては高周波数(10~12 MHz)の焦点探傷子が使用されて精密探傷を行なっている。

(4) 展 望

最近の継目無鋼管製造技術の発展はめざましく、とくに中小径管ではマンドレルミルという極めて高能率でかつ高品質の管が得られる設備が定着したが、今後油井管を中心として需要の伸びが予想される大径管領域に対してより生産性の高いミルが期待され、マルチスタンドプラグミルやマルチスタンドピルガーミルが検討されるであろう。また個々の機械についても、例えばピアサーの高能率化のため高傾斜角、強制押込穿孔法や芯金循環装置が今後一般化すると考えられ、冷間関係も能率と歩留向上のために非鉄金属で用いられているブルーブロックがすでに欧米では低炭素鋼に適用されており、真剣にその導入が検討されよう。また高級仕上を要するもの、薄肉管などの特殊品にはフローフィニッシャーの適用も考えられる。

また製品々種については世界的にエネルギー源確保のための油井の開発が活発で、しかも従来の陸地での掘さくから海洋油田の開発などに代表される悪環境(深度の増大、腐食性ガス地帯)下で使用可能な高強度、高耐食性の油井管の開発と大量供給体制の確立が必要である。

反面国内における原子力発電は昭和60年度において6,000万kWに拡大する計画があり、炉の型式もPWR, BWRに加えてHTGRの採用が考えられ、ステンレス鋼管ないしは特殊合金管の経済的なベースでの供給体制が必要である。

また石油精製、エチレンプラント、アンモニア合成装置など各種石油化学誘導台装置はますます大容量化しつつあり、プロセス技術の革新により操業条件が高温高压化され、かつ腐食環境も苛酷なものとなり、これに使用される鋼管も大径、厚肉、長尺化の傾向があると同時に材質も多様化されるものと考えられ、さらに高級な耐食用鋼管、高張力鋼管の開発が必要とされるところである。

4.5.2 溶接鋼管

(1) 電気抵抗溶接鋼管、鍛接鋼管

電気抵抗溶接鋼管（以下電縫管という）は従来一般配管などの低グレード管が用途分野であつたが、製造技術の進歩、品質の向上が、産業各分野の要求と相まつて、使用分野が拡大し、一般配管等は鍛接鋼管に分野をゆずり、特殊配管あるいはボイラ鋼管などの高級分野を指向している。この傾向は表 4.5.10 用途別製法比率に示

表 4.5.10 昭和48年度製法別生産比率

		全生産量 千t	生産比率%			
			電縫管	鍛接管	継目管	電弧管
普通鋼	一般配管用	2,456	34.2	60.5	1.2	4.1
	特殊配管用	1,612	31.8		32.3	35.9
	ボイラ・熱交用	170	60.6		39.4	
	油井用	314	9.1		90.9	
	電線管	308	91.6	8.4		
	構造用	2,665	61.6	1.5	2.8	34.1
特殊鋼	その他	1,230	64.7	2.0	24.5	8.8
	炭素鋼	34	10.2		89.8	
	合金鋼	429	0.1		99.7	0.2
	軸受鋼	107				
	ステンレス鋼	91	5.8		72.3	21.9
鋼	高抗張力鋼	101	0.3		2.1	97.6

されている。鍛接管は4インチ（100 A）以下の小径の配管用鋼管の大量生産方式としてわが国では定着している。しかし構造用の小径管には冷間圧延成形がより高い降伏強度を得やすいため電縫管が主体となつている。

(a) 電縫管溶接法の高周波化

わが国の電縫管は昭和9年、低周波溶接法から出発したものであるが、昭和36年に高周波溶接法が導入されて大きく躍進した。高周波溶接法は低周波のステッチおよびバーニングによる速度制限がないので高い溶接速度が得られ、高周波の表皮効果と近接効果によりエッジ突合せ面に熱が集中し温度・突合せ圧力とも高くできる利点がある。さらに鋼帯の脱スケールが不要であるため、低周波溶接法からのみならずガス溶接法からの転換も加えて、電縫管ブームを生じ図 4.5.6 に示すごとく異常とも思える伸びを示した。

高周波化が進むに従つて溶接機の高周波発振機の大容量化が計られるとともに、エントリーから走行切断機までのミルライン全体の増速のための改善が行なわれて、溶接速度は小径ミルにおいて高周波採用当初の最大 60 m/min 程度のものが、最近のミルは最大 150 m/min まで増速されている。

(b) 電縫管の製造可能寸法範囲の拡大

各種産業およびその施設の大型化に伴う鋼管の大径化と、ホットストリップミルの大型化によつて中径管ミルが昭和33年から39年までに次々と設置された。現在20

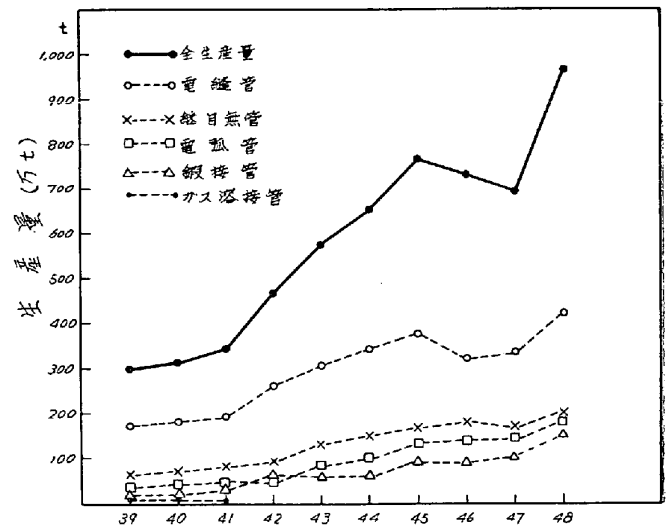
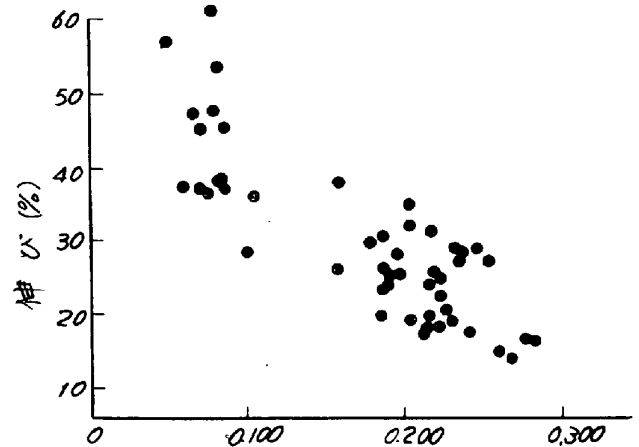
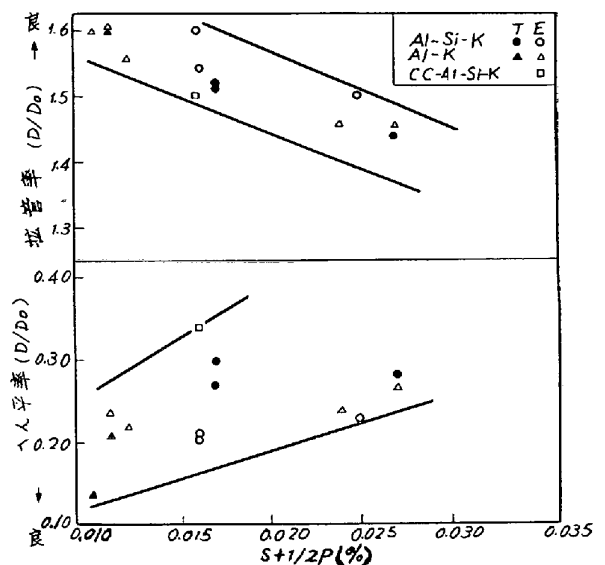


図 4.5.6 わが国における鋼管生産量の推移

図 4.5.7 非金属介在物の量と溶接部伸び
(長谷部他：住友金属 21 (1969) 4, P. 1)図 4.5.8 (S+1/2P) %と拡張率、へん平率の関係
(清水他：製鉄研究 277 (1973) P. 154)

インチミルが最大で、これ以上の外径は UOE あるいはスパイラルなどのアーク溶接管の分野となつている。電縫管は電縫溶接部の品質に注意を要するので品質面および製造コスト面を比較勘案して、現有ホットストリップミルの最大幅 2,200 mm による 26 インチ (660.4 mm) までの大径の電縫管を検討することが今後の課題であろう。

肉厚についてもロール成形技術の進歩によつて製造可能範囲の著しい拡大が行なわれ、最大 t/D (肉厚/直径) は従来のほぼ $1/10$ から $1/7$ まで可能となりこれら厚肉ミルが昭和 40 年以降に数台設置された。反面、最小 t/D は中径ミルの設置当時に著しい進歩を示し、 $1/100$ を割るものまで製造可能となつている。

(c) 電縫管素材の品質向上

従来からも電縫管は寸法精度などについて優れた特性

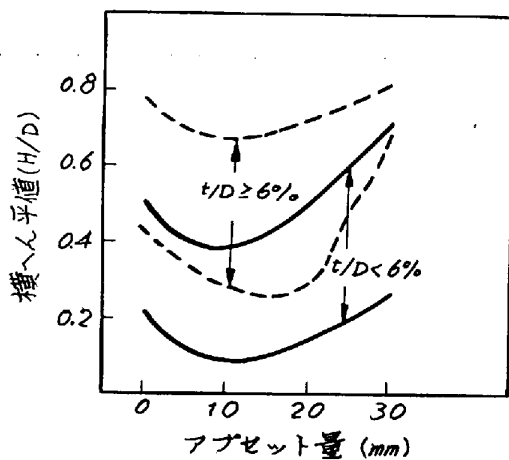


図 4-5-9 アブセツト量と横 (90°) へん平値との関係 (鋼管部会特別報告書)

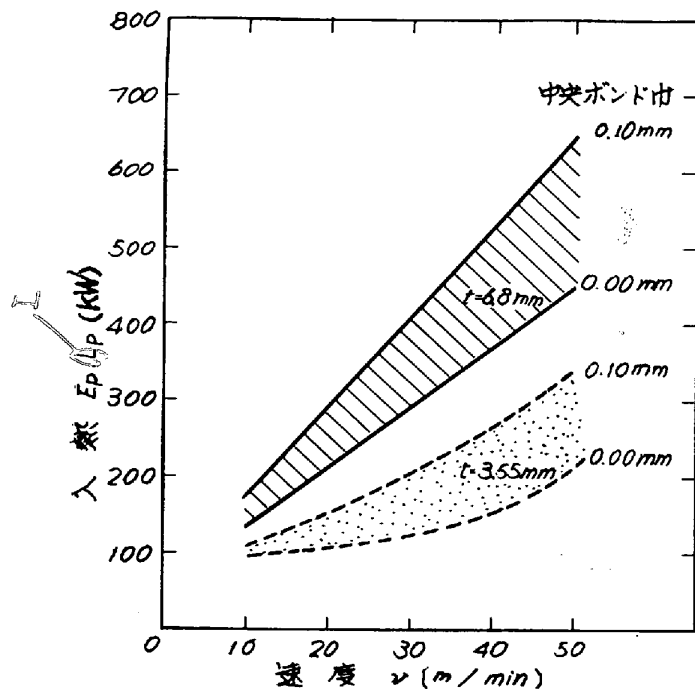


図 4-5-10 溶接速度と入熱の関係
(村木他：製鉄研究 277 (1973) P. 25)

を有していることは認められているところであるが、溶接部については必ずしも満足すべきものではなかつた。そのため溶接部の品質改善を最大の課題として各分野から研究改善が行なわれたが、溶接部の品質は素材に負うところ大で、素材の品質向上に多大の努力が払われた。

電縫溶接部の特性には非金属介在物の影響が大きく、特に A 系介在物は 90° へん平試験において最も割れを起こしやすく、また図 4-5-7 に示すごとく自由曲げ試験においても溶接部伸びを阻害することがほぼ明らかにされ、脱酸方式、方法に改善が行なわれ、用途によつては真空脱ガス処理など特殊処理が行なわれている。

S および P の含有量も図 4-5-8 に示すごとく、へん平・拡張などの溶接部の実用強度におよぼす影響大で、硫化物系介在物および層状組織の形成によるものと考えられている。とくに最近、脱硫技術の進歩によりこの影響を極力抑えることができるようになった。

このほか、品質・コスト面で有利な連鑄材の出現、特にホットストリップをスリットすることなく、介在物の少ないエッジ部をサイドトリムして使用中径電縫管において大きな効果をあげている。

また熱延技術面における寸法の自動制御は電縫管の肉厚精度を向上させ、従来冷間引抜あるいは冷延鋼帯の使用を必要としていた製品の一部に進出するに至っている。なお、高張力鋼分野における Nb, V, Mo などの特殊元素の添加あるいは制御圧延 (Controlled Rolling) の開発も特筆されるべき事項である。

(d) 電縫管溶接技術の進歩

電縫管溶接部の実用強度を支配する一つの要因として、エッジの突合せの安定とくに突合せ形状とアブセツ

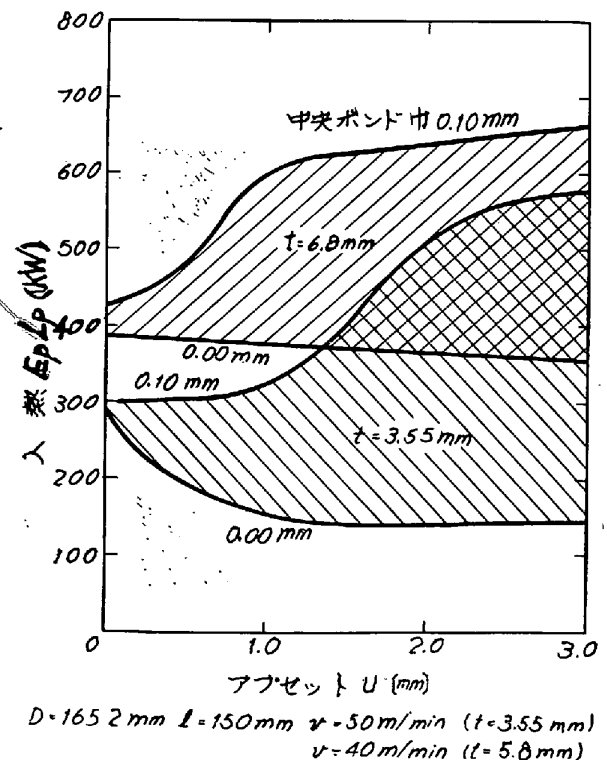


図 4-5-11 アブセツトと入熱の関係
(村木他：製鉄研究 277 (1973) P. 25)

ト量の過大過小は溶接強度の低下を招く。とくに高周波溶接ではこの影響が著しく、図 4・5・9 にも示されているようにへん平試験からも判断され、適正アプセット量があるようである。アプセット量の増加に伴ない溶接部メタルフローの立上がり角度が大きくなり溶接部延性が低下する。またアプセット量が過小の場合圧溶効果が低下するなどが考えられる。

入熱は管理すべき溶接諸条件のなかで最も重要な要因の一つであるが、溶接電力は管外径、肉厚、溶接速度、材質、アプセット量その他種々の要因によつて効率が変わるため、絶対値を基準化することは困難で、しかも要因の相互関係により問題を一層複雑化している。しかし各溶接条件ごとに許容入熱範囲があることは明らかでその一例として図 4・5・10 に入熱と溶接速度、図 4・5・11 に入熱とアプセットの関係を示す。

(e) 電縫管の NDI の進歩

昭和38年に API 規格のラインパイプ溶接部に NDI の適用が規定され、中径管ミルにオフラインの部分水浸式超音波探傷器を設置するようになった。フッククラックなど溶接欠陥を検出対象とし、かなり小さな介在物まで検出されるので結果として前述のとおり素材の品質向上に多大の努力が払われた。中径管に対してはその後水を接触媒体とした流水接触探傷も採用されている。また中径管ミルにおいては鋼帯エッジ部の欠陥探傷がミルコン

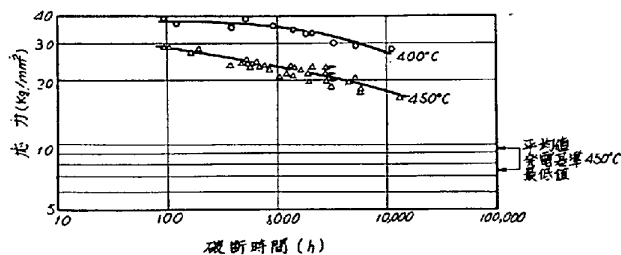


図 4・5・12 STB 42 のグリープ破断時間・応力曲線一例
(志水他：火力発電 23 (1972) 4 P. 59)

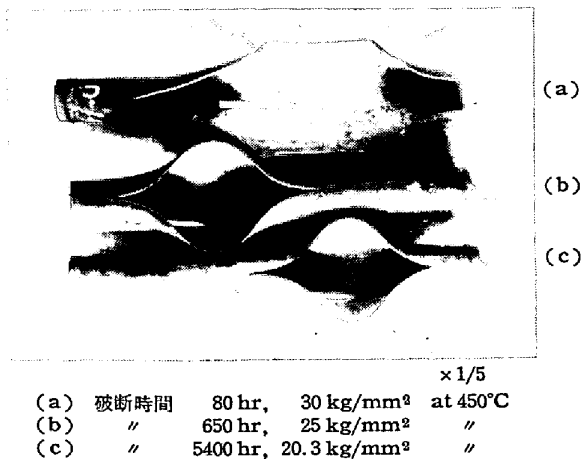


写真 4・5・1 内圧クリープラプチャ破断状況 (白印部が溶接継目部である) (ASME SA 178 Gr. C)

トロールと素材品質へのフィードバックのために行なわれているが将来管母材部の欠陥の探傷も課題となろう。

小径管の超音波探傷は入射点から溶接部までの距離を正しく保つかプローブまたは管を回転させて一回転ごとにエコーのピークを捕える必要がある。このため小径管用には管全体を水槽中に浸して回転させる方法、管を回転送りする方法、プローブ回転法などがある。

また小径管には検査速度の大きい過流探傷も広く使用されている。昭和40年前後から位相解析が発達し、装置の耐久性、調整の単純化など種々の改善が行なわれて取扱いも容易になつてきていることもあり、一般管に広く使用されている。

(f) 電縫管の高級管への進出

中径電縫管ではラインパイプと油井管が高級管分野を代表するものといえよう。電縫ラインパイプは従来 API 規格の 5 Lx-X 46 ないし X 52 までであつたが、最近 X 60 クラスまで生産されている。ラインパイプは使用上の安全問題から高強度のみでなく高靱性を有することが要求される。API ではガスパイプラインにおける脆性亀裂の伝播の防止を目的として DWTT 試験を規定しているが、脆性破壊の発生に対しては溶接部の靱性値が問題である。靱性値としては従来 V シャルピー衝撃値が用いられてきたが、最近 COD など特殊試験の研究が行なわれている。さらに市場の需給状況を反映して電縫油井管が注目されており従来のシームレス鋼管の分野の一部に進出が期待されるであろう。

電縫管の高級管化において最も著しい成果を挙げている

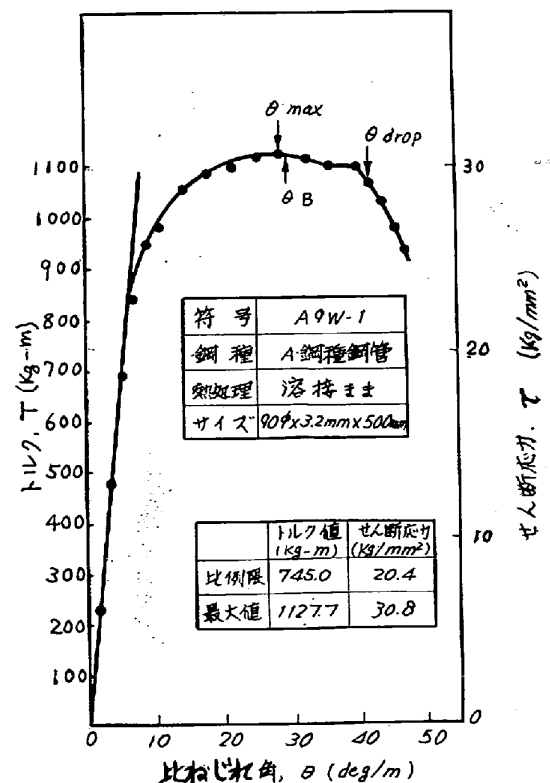


図 4・5・13 静的ねじりトルク-比ねじれ角線
(高島他：製鉄研究 277 (1973) P. 101)

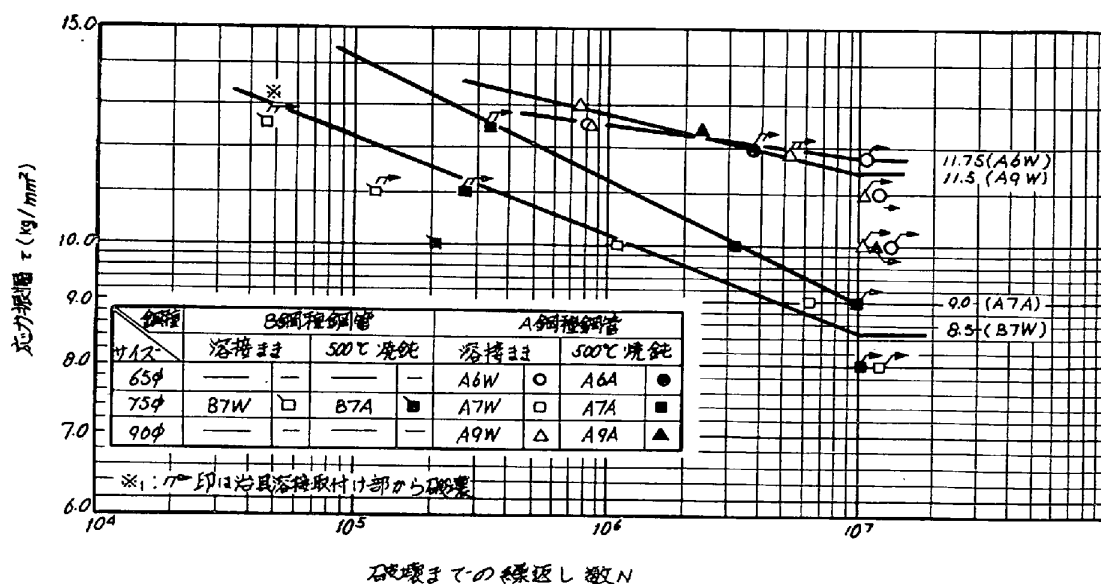


図 4-5-14 電縫鋼管の S—N 線図 (高島他: 製鉄研究 277 (1973) P. 101)

るのがボイラ用鋼管である。ボイラ用鋼管としては低圧ボイラから順次高圧ボイラに採用され、最近では 250 MW クラスの大容量亜臨界圧ボイラまで使用分野を着々と拡大している。ボイラ用鋼管の使用性能の一例として、図 4-5-12 にクリープ試験結果を、写真 4-5-1 に内圧クリープラプチャ破断状況を示す。

自動車、産業機械などの機械構造用鋼管は高い寸法精度と重量軽減を目的とした高強度薄肉化、また加工工数低減を目的とした加工性のよい高強度鋼管が要求されている。これらの諸要求に対して専用ミル化による寸法精度管理の向上、材質の改善などが行なわれてきた。使用性能上の品質改善の一例として図 4-5-13 に自動車プロペラシャフト用鋼管の静的ねじりおよび図 4-5-14 にねじり疲労試験結果を示す。

(g) 鍛接管の生産性の向上

わが国に連続式鍛接管設備が導入されたのは昭和29年であるが、その後昭和39年から45年までの間に6基のミルが設置され、前述のように一般配管は完全に鍛接管の分野となつている。

当初のミルは6スタンドから成つていたが、その後12スタンドのミルが設置され、最近のミルはすべて14スタンドで出口速度も最大 635 m/min となつている。かかるミルの生産性向上は、加熱炉の大型化と排ガス利用の予熱炉の設置、およびホットソーの高速化によるものであるが、これに伴って矯正機、面取機などの精整諸設備の高速高能率化も大きく寄与している。

鍛接管の高い生産性に対応する検査設備として一般に渦流探傷器が採用されているが、最近では熱間渦流探傷器が開発されてミルライン中に設置されるにいたつている。

鍛接管設備は今後自動化の方向に改善が計られるものと考えられる。

(2) サブマージアーク溶接鋼管

呼び口径 16"φ (外径 406.4 mm) 以上の大径溶接鋼管を、冷間成形、サブマージアーク溶接で製造する方法

は、戦後、わが国に取り入れられた種々の製鉄新技術のなかでも、わが国の技術と融和し、飛躍的進歩を示したものの1つに数えられる。

大径溶接鋼管の用途は、石油、天然ガス、その他の流体を輸送するラインパイプと、わが国が開発した鋼管バイル、鋼管矢板に代表される土木建築構造用鋼管とが大部分を占める。とくにラインパイプについては、昭和48年以來のエネルギー危機により、需要地から遠く離れた地域での資源開発が精力的にすすめられ、この輸送手段として長大なパイプラインが相次いで計画されている。これらのプロジェクトの実現性に果すわが国の役割はきわめて大きく、量的質的にわが国の大径溶接管なしではこれらは成立し得ないといわれている。とくに石油、天然ガスの試掘が寒冷地帯におよぶようになると、大径厚肉鋼管への量的要求はますます増加し、かつ材質的には、高張力、高靱性の製品が要求され、わが国の新鋭溶接鋼管設備と、その素材製造技術水準は世界の注目のまとなつている。表 4-5-11 は世界の48インチ以上の寒冷地向厚肉ラインパイプを製造し得るラインパイプミル数を示したものであるが、寸法、材質両面で上記の市場要求を

表 4-5-11 48"φ 以上の大口径ラインパイプ製造可能ミル数 (API 認定ミルのみ)

国 名	ミ ル 数			
	UOE	スパイラル	ケー ジ フォーム	計
日 本	4	1	1	6
ア メ リ カ	0	0	0	1
カ ナ ダ	0	1	0	1
西 独	1	1	0	2
イ タ リ ー	1	1	0	2
計	7	4	1	12

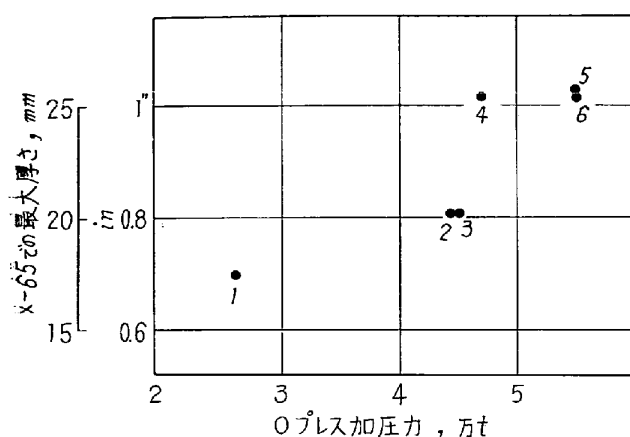


図 4-5-15 Oプレス加圧力とX—65での製造可能最大厚さの関係
(数字は稼動年順を示す)

満足する製品を供給しうるミルは日本を含めてごく限られている。

(a) 製造技術の進歩

(イ) ストレートシーム溶接鋼管

ストレートシーム溶接鋼管の製造方式は、その成形方法によりつぎの3種類に分けられる。

(i) UOE方式

(ii) ケージフォーミング方式

(iii) ベンディングロール方式

ベンディングロール方式は、わが国では主として水道管、压力容器、海洋構造物用として使用されており、ラインパイプ用および構造物鋼管ミルとしては、前2者が採用

表 4-5-12 拡管方式別能率比較
(管長 12 m の場合の本/hr)

代表サイズ	拡管方式	水圧 エキスパンダ	メカニカル エキスパンダ
STPY 41 24" $\phi \times 9.5^{\text{mm}}$		34	28
STPY 41 42" $\phi \times 12.7^{\text{mm}}$		23	25

されている。最近とくに、昭和44年以降、世界で新設されたストレートシーム溶接管工場は、殆んど UOE 方式であり、各種の製造技術は UOE 方式を中心に大きな発展を示した。すなわち、最近の UOE 方式のミルの特長は、大径厚肉のハイグレードの溶接鋼管を製造するため、以下に示す各種の進歩が見られる。

A) エッジプレーナーの採用

厚肉管に対し、両面開先加工、開先精度の向上のためプレーナータイプの端面切削機が開発、使用されている。

B) エッジベンダーの採用とOプレスの大型化

プレス型エッジベンダーの採用によりエッジ部の成形が容易になり、Oプレスの大型化とあいまって厚肉高グレード管の製造が可能となつた。図 4-5-15 は、Oプレスの大きさと製造可能厚さの限界を示す。

C) 自動仮付溶接機と3電極溶接機の採用

溶接技術の改良は、省力化、品質安定、高速化の三方面にわたって行なわれ、全長自動仮付溶接および3電極サブマージアーク溶接機が採用される機運がみられる。

D) メカニカル拡管機の採用

大径厚肉化の傾向に対し、従来一般に採用されていた

表 4-5-13 寒冷地用ラインパイプに要求される機械的性質の変化の例

項 目	アラスカ縦断パイプライン (TAPS*)	カナダ縦断パイプライン (CAGSL**)
流 体	原 油	天 然 ガ ス
寸 法	48" $\phi \times 0.462"$ t および 0.562" t	48" $\phi \times 0.720"$ t および 0.800" t
強 度	X60 および X65	X70
靱 性	2 mm V シャルピー (原板およびパイプL方向) vE-10°C ≥ 50 ft-lb -10°C における延性破面率 $\geq 50\%$ *** (HAZ および DEPO) vEO°C ≥ 30 ft-lb	2 mm V シャルピー (パイプC方向) CV-100 ≥ 68 または 80 ft-lb **** -4°C または -23°C における延性破面率 $\geq 85\%$ (HAZ および DEPO) vE-23°C または vE-4°C ≥ 40 または 50 ft-lb DWT T -23°C または -4°C で延性破面率 $\geq 85\%$
Ceq.	$C + \frac{\text{Mn}}{6} \leq \begin{matrix} 0.42\% (\text{厚さ } 0.5" \text{ 以下}) \\ 0.40\% (\text{厚さ } 0.5" \text{ 以上}) \end{matrix}$	$C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15} \leq 0.40\%$

(注) * 旧称、現 Alyeska ** 暫定仕様 *** 延性破面率 **** 100% 延性破面を示す最低温度における衝撃値
HAZ (熱影響部) DEPO (溶着金属) DWT T (落重試験)

表 4・5・14 冶金因子と各特性値の関係

強 度	——	化学 成分
溶 接 性	——	
破 面 遷 移 温 度 (vTs)	——	制 御 圧 延
シエルフエネルギー (vEs)	——	S %
	——	クロス圧延
	——	介在物の形状制御

水圧式拡張機では、能率向上、内径基準での拡張の要望に対処困難となり、これに対しメカニカル方式が開発されている。表 4・5・12 は、水圧式、メカニカル式拡張機の時間当りの処理本数の比較を示す。

(ロ) スパイラル溶接鋼管

構管用鋼管のうち、とくに鋼管パイプは長尺大径化の要望が強いが、現状では、この方式により最大外径 100 インチの鋼管が、製造可能となつている。管厚も熱延技術の進歩に伴ない、最大 1 インチまで製造可能となつた。スパイラル溶接鋼管製造プロセスの主なる進歩としては、次の 3 点があげられる。

A) エントリー諸設備の進歩

コイル単重の増加、幅、厚さの増大にあわせ、取扱いの自動化、省力化が計画され、ピーラー付きアンコイラー、補助ピンチロール付きアンコイラーなどが開発された。

B) コイル継ぎ、エッジ処理の高速化

高能率で厚肉コイルを処理するため、高速切断方式(プラズマ、ギロチン方式)が採用された。またピーキング防止のため、プレフォーミング装置を取付け、開先加工も従来のバイト方式に代つて、ミールリング方式が開発された。

C) 溶接速度の向上

ストレートシーム溶接管同様、多電極化がはかられ、一般には 2 電極であるが、3 電極も実際に使用されている。さらに、高能率を得るため、成形ラインでは不活性ガスアーク溶接により仮付溶接のみ行ない、定尺切断後、別ラインでサブマージ溶接を行なう方法も試みられており、実用化段階に入っている。

(b) 素材の進歩

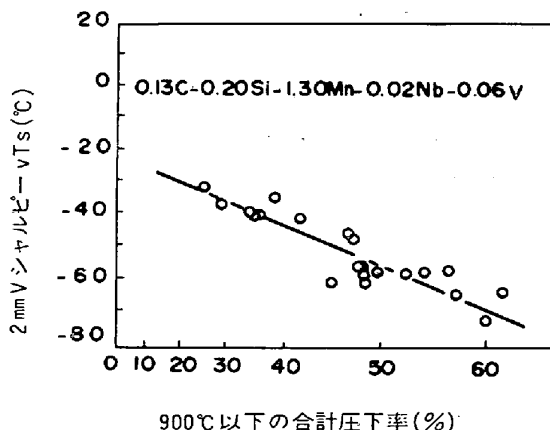


図 4・5・16 制御圧延における 900°C 以下の合計圧下率と vTs の関係

大径溶接鋼管の素材品質水準は、当然、厚板、熱延コイルの各特性値の進歩により決定される。1970年アラスカ縦断パイプライン用 48 インチ鋼管に適用された強度および靱性の仕様は、その後の寒冷地用鋼管のベースとなつた。これと相前後して、米国ではバットル研究所が、一連のフルサイズの破壊テストにもとづく使用状態におけるラインパイプの破壊メカニズムに対する理論を提案し、メジャーがこれを認容するにおよんで、寒冷地向け鋼管の機械的特性値への要求は一層厳しいものとなつた。

表 4・5・13 は、寒冷地向け鋼管仕様の変化の例である。一方、製造技術もこれに対応して急速な進歩を見せた。とくにわが国においては、独自の製鋼、圧延技術開発の成功とあいまって十分これらの要求を満足する鋼管を製造しうることにある。表 4・5・14 は、冶金因子と要求特性値の関係を示す。以下にラインパイプ用鋼管に要求される機械的特性値とその開発状況を示す。

(イ) 高張力化

降伏応力に対する市場の要求は、API, 5 LX, X-60 程度から X65~X70 へと変化して来た。鋼管用素材はパウシンガー効果を考慮する必要があるため、鋼管での要求値より、1 グレード程度強さをあげる必要がある。一般的に X60~X65 に対しては、C-Si-Mn 系に Nb または V を添加し、制御圧延を行なう方式で製造されるがさらに、強度を要求される場合は、Nb+V の組み合わせ成分系が使用され、Cu, Cr, Ni などを添加する場合もある。また、X70 以上の厚板については、低 C-高 Mn-Mo-Nb 系ベイナイト鋼も開発されている。

(ロ) 低温靱性

A) 破面遷移温度 (vTs)

vTs は、適当な成分系の制御圧延によつて保証できる。制御圧延は、強力な新鋭厚板ミルの利点を生じ、開発されたもので、図 4・5・16 に示すように、900°C 以下の温度での合計圧下率が重要な要因となる。この制御圧延の具体的方法に関しても、多くの研究が行なわれ、加熱温度との関係、制御圧延以前の圧延の影響などについて、種々の開発が行なわれた。図 4・5・17 は制御圧延による vTs の変化を示す。

B) シエルフ・エネルギー (Shelf Energy)

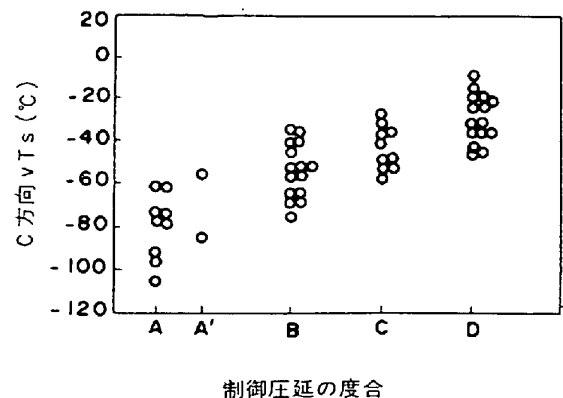


図 4・5・17 X65~70 ラインパイプの制御圧延による vTs の変化

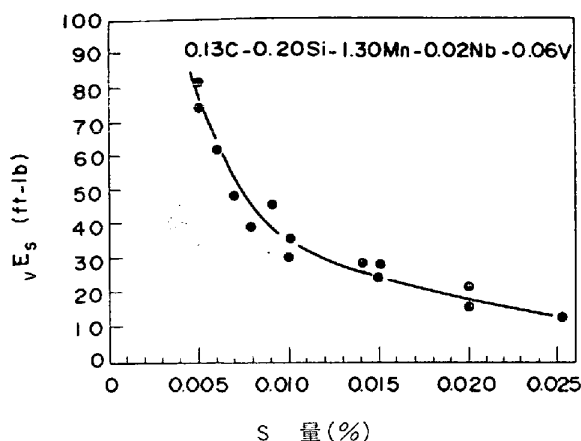


図 4.5.18 低硫化によるC方向シェルフ・エネルギーの改善 ($t = 14 \text{ mm}$, X 65)

高い vEs を得るためには、 MnS 系介在物の減少、形状を変化させ、有害度を減ずることが重要である。図 4.5.18 は、低硫化による vEs の改善状況を示す。低硫ので、化のための溶銑脱硫処理、 MnS の形状コントロールのための REM 添加技術などが大きな進歩を示した。またスパイラル用素材であるホットコイルについても制御圧延の技術が利用され、X70 グレードのラインパイプも実用化されている。表 4.5.15 に最近のラインパイプの機械的性質の例を示す。

(c) 非破壊検査の進歩

大径溶接鋼管の溶接部の信頼性の向上については、非破壊検査機器、とくに超音波探傷機の信頼度の進歩が非常に大きな力となっている、主たる進歩としては、

① 原板自動超音波探傷機の開発

分割探触子による局部流水反射法あるいは、噴流式透過法が開発され、原板の全表面、とくに四周は線密に検査されるようになった。

② 多探触子による溶接部の検査方式の開発

局部流水斜角探傷法により、溶接部全長を走査するも探触子は 4～6 探触子法が採用されている。またこれらの探触子は交互に励振される。探触子を溶接シームの動きにならわせる自動シーム追従装置、接触変動による感度変化も自動ゲインコントロール回路により補償することができる。

X線透過検査については、自動化、能率化のための装置が開発され効果をあげている。

(d) 今後の発展方向

ラインパイプの需要は、急増しているが、寒冷地、海底など、使用環境条件の悪化につれ、ラインパイプに要求される特性値は、さらに厳しくなる事が予想される。すなわち天然ガス輸送に対しては、超高压操業が考えられ、高張力化、大径厚肉化の傾向は強まることが予想される。さらに、LNG、LPG による長距離ラインパイプの可能性を考えに入れると、鋼管への要求は、これまでとは、まったく別な形となる事もありうると思われる。すなわち、今後の要望はつぎのようになろう。

① 極低温用ラインパイプとして、溶接部、熱影響部母材部を含めて、低温域で高靱性を有するラインパイプ

② X70を越える高張力のラインパイプ。

この解決方法としてはつぎの点があげられる。

(イ) 素 材

Ni 系の熱処理 (QT) 鋼が考えられる。すでに普通鋼原板を QT した素材によるラインパイプは実用化されているが、今後は、Ni 材を QT したプレートによるラインパイプ、または、造管後、パイプ QT を行つたラインパイプなどの開発が考えられる。

(ロ) 溶 接 方 法

現在サブマージーク溶接法が溶接管の溶接法の主流であるが、より高い生産性を有し、溶接部、熱影響部の問題解決に有効な新溶接法が開発されなければならない。このため、エレクトロンビーム、プラズマ、ミグなどの溶接法について、溶接鋼管プロセスに応用された場合の機構および特性値に関する研究を行なう必要がある。

表 4.5.15 最近の高性能ラインパイプの機械的性質の例

a. 化学成分 (wt %)

記号	製造法	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	そ の 他
A	制御圧延	0.06	0.32	1.62	0.013	0.005	0.035	—	Cu 0.27, Ni 0.16, Cr 0.27
B	"	0.09	0.28	1.38	0.017	0.003	0.014	0.08	Cu, Cr, Mo < 0.2
C	QT	0.13	0.25	1.25	0.013	0.003	—	0.02	—

b. パイプC方向の機械的性質

記号	寸 法 (直径×厚さ)	YS (Ksi)	TS (Ksi)	El (%)	2 mm V シャルピー		DWT T 50 % SATT*(°C)
					vTs (°C)	シェルフ・エネルギー (ft-lb)	
A	48" × 0.625"	76.5	89.0	42	— 84	139	—45
B	38" × 0.625"	70.5	84.5	39	—110	122	—62
C	48" × 0.550"	76.4	91.7	41	— 92	204	—57

(注) *DWT T (落重試験) における延性破面率が50%を示す試験温度