

中径シームレス鋼管の直接焼入技術の開発

Development of Direct Quenching Process in Medium Diameter Seamless Pipe Mill

上 野 雄 夫*
Katsuo Ueno

滝 谷 敬一郎**
Keiichiro Takitani

三 村 幸 宏***
Yukihiro Mimura

大島谷 敏 男****
Toshio Ooshimatani

簡 野 豊 治*****
Toyoji Kanno

増 田 敏 一*****
Toshikazu Masuda

Synopsis:

Recent increases in oil and gas prices have posed two problems to steel pipe manufacturers: (1) Pressing demands in the oil country tubular goods market, especially in high grade OCTG, and (2) energy saving in heat treatment. To solve these problems, Kawasaki Steel installed the direct on-line quenching facility in the medium-diameter seamless pipe mill at Chita Works in 1980.

The facility proved to be very successful in the heat treatment of seamless pipes. The characteristics of this process are as follows:

- (1) High quenching intensity by a large volume of low-pressure cooling water
- (2) Axial flow quenching method in both inside and outside of pipe
- (3) Increased maximum available wall thickness of the pipe due to high quenching intensity
- (4) Sound shapes of quenched pipes and good material properties owing to uniform cooling rate
- (5) High productivity and low energy cost

1. 緒 言

原油および天然ガスに代表される化石燃料のひっばくは、従来コスト的に顧みられなかったか酷な条件下にある油井・ガス井の開発を促した。

このため油井用鋼管の需要は増大し、これらの高級油井管は、通常、焼入れ焼戻し熱処理を必要とするため、需要増に応ずるには生産性の高い熱処理設備が必要であった。更に、化石燃料のひっばくは熱処理工程における省エネルギー思想を鉄

鋼企業に徹底させた。

知多製造所中径シームレス工場における直接焼入法の研究は、このような背景のもとに着手され、他に類を見ない低圧大流量を基本とした軸流焼入方法を開発した。

本設備は1980年12月に完成し、その後順調に営業生産を続けている。

2. 鋼管の焼入方法

鋼管の焼入方法は、冷却水の流し方でおよそつ

* 技術研究所第2研究部知多研究室主任研究員
 *** 知多製造所企画部企画開発室主査（課長）
 ***** 知多製造所第2造管部中径シームレス管課（掛長）
 （昭和57年3月25日原稿受付）

** 技術本部企画調整室主査（課長）
 **** 知多製造所企画部企画開発室主査（掛長）
 ***** 知多製造所第2造管部シームレス管技術室

ぎのように大別される (Table 1 参照)。

2-1 スプレー焼入方法

スプレー焼入方法は、噴射ノズルからスプレー状の高圧冷却水を焼入対象面に衝突させ、熱を奪う冷却法で、装置自体が小さく、搬送ローラー等の組み込みが容易なため、搬送焼入が可能で、鋼管に限らず鋼板の焼入にも広く普及している。

鋼管の焼入に適用する場合は、Fig. 1に示すように外面冷却、内面冷却、内外面冷却の3とおり

Table 1 Quenching Methods of Pipe

Spray quenching	External quenching
	Oblique ring quenching
	Tangential ring quenching
	Internal quenching
	Internal and external quenching
Axial flow quenching	Internal quenching (inside axial flow)
	Internal and external quenching
	Agitation and immersion quenching (inside axial and outside agitated)
	Axial and immersion quenching
	Closed system
	Open system

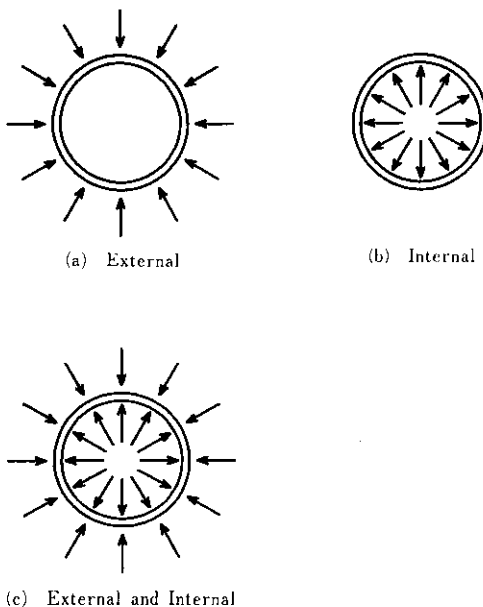


Fig. 1 Three methods of spray type pipe quenching

が考えられる。小中径鋼管では、管内径が小さいため、ノズル付ヘッダーを管内に挿入することが困難で、管の外周上に噴射ノズルを配置した外面焼入が用いられる。この片面焼入は厚肉材には不向きであり、また冷却水との接触面積も後述の浸漬焼入方法に比べて小さいので、処理能力は比較的小さい。

2-2 浸漬焼入方法

管を水槽内に浸漬焼入する方法は、冷却能がすぐれ、構造も簡単であるためとくに最近では新設備に採用されることが多い。管の内面は、水槽端面に設けられた管軸ノズルによって冷却されるため、軸流焼入方法と呼称している。これに対し、同じ軸流焼入方法でも、水槽を設置しないで加熱管の端部に直接内面ノズルを接合させ冷却水を噴射する内面冷却法もあるが、片面冷却でありスプレー焼入方法と同様に高い焼入能は期待できない。

軸流焼入方法には外面側の冷却方法により攪拌浸漬焼入と内外面軸流焼入に分類される (Fig. 2 参照)。

前者は、外面側の冷却能でやや劣るが管のアップセット加工など管の形状によらず長手方向に均一な冷却効果が得られる利点がある。

後者の外面軸流の与え方に二通りの方法が考えられる (Fig. 3 参照)。一つは開水路系で、ノズル圧力を上げて外面軸流の流量を増加することは難しい。他方、閉水路系においては、ノズル圧力により外面軸流の流量調整が可能である。

2-3 焼入方法の選択

直接焼入法は、従来の焼入法が熱間加工後鋼材を常温にまで下げた後、オーステナイト化温度まで再加熱し焼入していたのに対し、熱間圧延後直接に焼入するというものである (Fig. 4 参照)。

したがって、工程の短縮、生産性の向上、省エネルギー等数多くの利点がある反面、温度の管理、焼入後の管の形状、圧延ラインに直結した設備、圧延ラインとの同期性等の問題に十分な考慮がなされなければならない。

スプレー焼入法は処理能力が小さく圧延ラインとの同期性に難点がある。また、軸流焼入でも外面攪拌方式は鋼管の外径が大きくなると攪拌ノズ

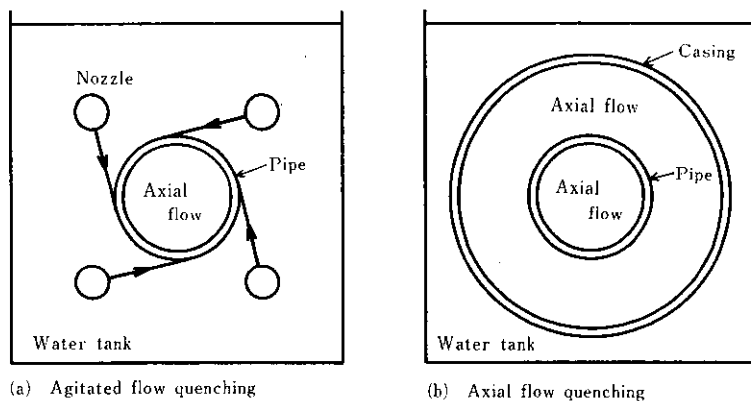


Fig. 2 Two types of immersion type quenching method

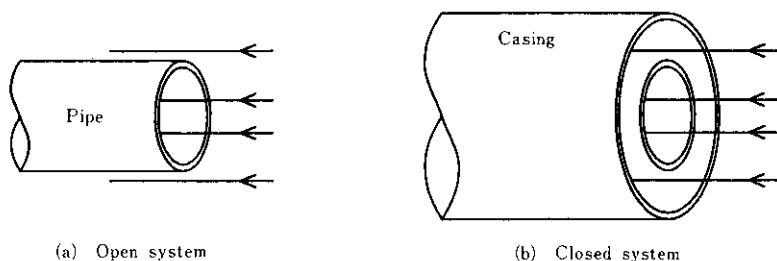


Fig. 3 Two types of water system for axial flow

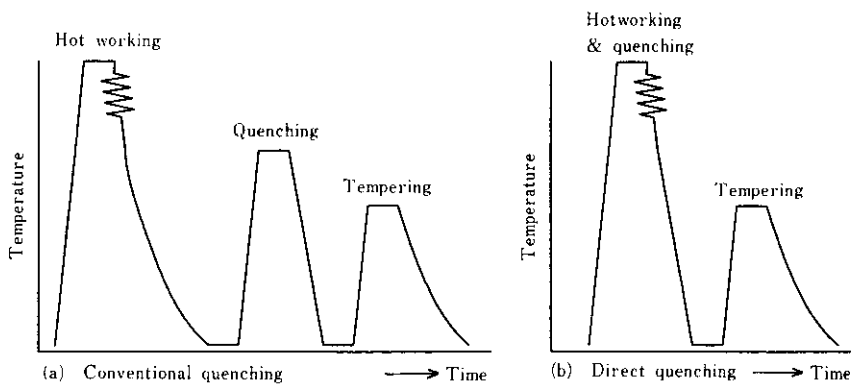


Fig. 4 Heat patterns in manufacturing quenched and tempered pipe

ル数が増すとの観点から、対象を内外面軸流法とした。

3. 軸流焼入方法の開発

内外面軸流浸漬焼入方法の軸流の与え方として、内面のみノズル噴射し外面流は、その巻き込み

によって与える巻き込み軸流方法と、内外面に軸流を与える直接軸流方法 (Fig. 5 参照) を考えた。

この2種類の方法についてパイロットプラントを製作し、実験的にその特徴と適性条件を調査した。

流量は、ダイヤフラム型超小型圧力センサーを用いた総圧および静圧センサーを製作し、その分

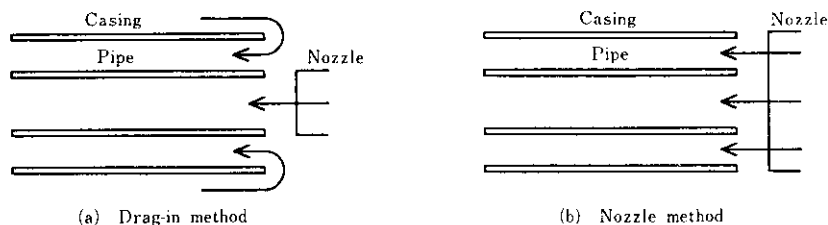


Fig. 5 Two methods for external axial flow in closed system

布を測定した。

巻き込み軸流方式と直接軸流方式の差は、

- (1) 前者は同一流量を得るのに高いノズル圧を要する。
 - (2) 軸流ケース内の流量分布は後者の方が比較的均一である。
- という2点で特徴的であった。

スプレー焼入方法における焼入能が、冷却水の水量および比較的高い領域での水压に依存するのに対し、直接軸流焼入方法では焼入能が主として水量に依存し、低水压領域で十分に性能が発揮されることが確認された。したがって直接軸流方法は高圧ポンプを必要としない利点を有していることがわかった。

次に焼入能は、成分系が0.18%C-1.3%Mnで寸法4½"×16mm×9.7mの鋼管を950°Cで焼入し、硬さを求め、別に同一鋼材で実験的に求めた800°Cから500°Cまでの平均冷却速度と硬さの関係から平均冷却速度分布に換算し、冷却の理論計算結果と照合することにより求めた。Fig. 6に示すように

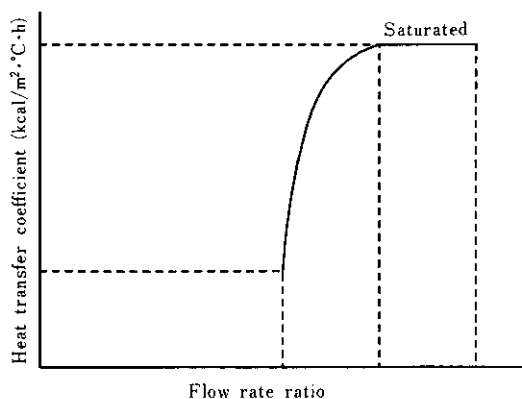


Fig. 6 Schematic relation between heat transfer coefficient and flow rate

焼入能は流量が増加するに従って増加するが、やがて飽和することが確認された。長手方向には、噴射ノズルから離れるに従って冷却能が低下する。しかし、調質型油井管の100%マルテンサイト生成臨界冷却速度を得るのに十分な焼入能を有しており、全長に均一な焼入が行われることを実験で確認した。

4. 中径シームレス管直接焼入設備および操業

以上の検討により、閉管路系直接軸流焼入設備を、中径シームレス管直接焼入用に建設し、1981年1月から順調に稼動を続けている。

4.1 製造可能範囲

設備の主な能力はTable 2に示すように、公称150t/時・外径7"~16⅝"と中径サイズを網羅し、公称最大厚30mmである。なお、板厚の最大値は鋼管の用途、仕様および化学成分により異なる。

4.2 直接焼入鋼管の製造工程

直接焼入装置は、中径シームレス工場圧延ラインの最終ラインに位置し (Fig. 7 参照)、鋼管はサ

Table 2 Specification of the direct quenching equipment

Pipe dimensions	Outside diameter: 7 to 16⅝ (177.8 to 425.5mm) Length: 18 to 54 ft (5.5 to 16.5m) Wall thickness: Max. 1⅝ (30mm)
Quenching method	Internal and external axial flow quenching
Productive capacity	150t (165 st. tons)/h

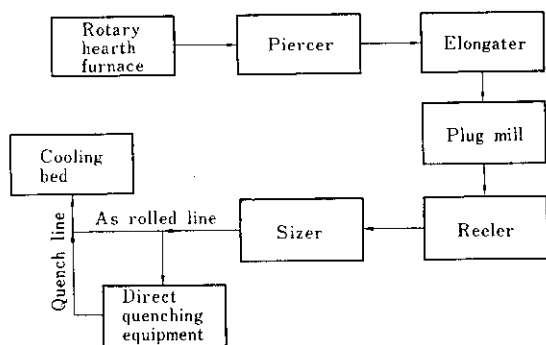


Fig. 7 Flow chart of medium diameter seamless pipe mill

イジングミルにて形状調整圧延後、直接焼入される。

直接焼入対象鋼管と圧延のままの鋼管とは、サイジングミル出側で分岐する。Fig. 8には直接焼入装置の動作を示している。圧延ライン上の鋼管はアライニングラインに搬送されキックインアームにて焼入ケーシング内に投入される。この時、上ケーシングは開いた状態にあり投入後閉じクランプされる。クランプと同時に内外面ノズルから噴射が開始される。所定時間噴射された後下ケーシングの下降が開始される。ある角度まで下ケーシングが下降すると鋼管はケーシング内から水槽の底に水中を落下し、リフトにて持ち上げられ搬送ラインに載せられる。鋼管は更にチェーンコンベアーラインを経てクーリングベッドに移動し圧延のままのラインに合流する。

焼入鋼管は更に焼戻し熱処理、仕上ラインを経て製品となる。

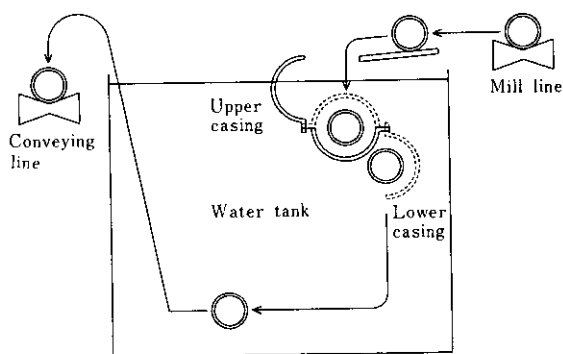


Fig. 8 Motion of pipe in the direct quenching equipment

4.3 冷却水

低圧大容量の冷却水を安定して供給するため3台のポンプおよび高架タンクを設置している。

噴射水量の制御には、制御性・応答性にすぐれかつウォーターハンマーに対しても十分な強度を有するKR弁（川鉄式回転制御弁）を開発した。

内外面軸流の噴射水量およびタイミングは、それぞれ別々に設定できる。

噴射流量は2レベル（Fig. 9参照）に設定している。低流量はベース流と呼んでおり、鋼管内の空気抜き、KR弁のウォーターハンマー防止、高流量への切換に極めて重要な役割を果たしている。

管が焼入水槽に投入されてから噴射開始までの時間は、素管の軸流ケーシング内位置固定までのタイミングに合わせて決められている。焼入に必要な噴射継続時間は伝熱計算により決められたが、更に別途開発された水温測定システムによっても確認されている。

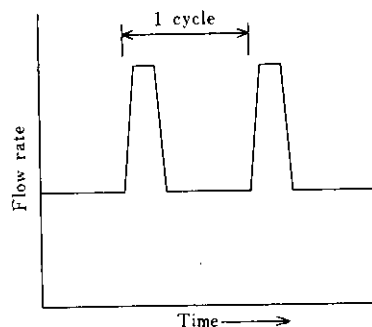


Fig. 9 Schematic flow rate pattern

水温測定システムは直径2.5mm程のサーミスタを用いた水温センサーをケース排水口に取付けて冷却水の温度変化を検知し出力するものである。冷却水の温度上昇、および流量から冷却水に伝達された熱量を算出し、鋼管の冷却状態を推定した結果をFig. 10に示す。

4.4 鋼管の温度管理

焼入温度の管理は鋼管の品質上極めて重要な要素で、本設備でも次の点で配慮されている。

(1) サイザーミルにおけるロール冷却水が管端から浸入することを防ぐため、管端通過時には1時

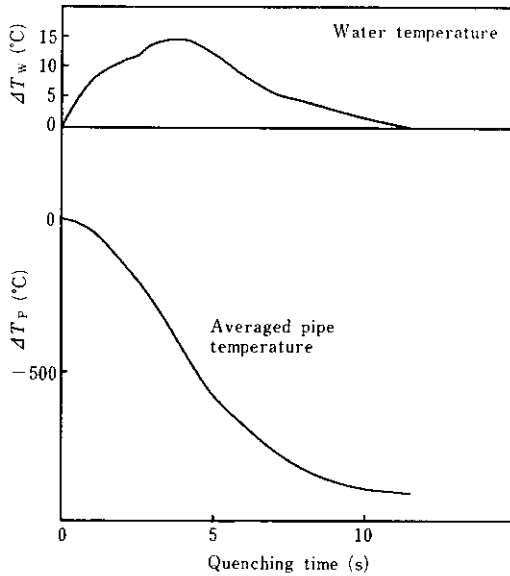


Fig. 10 Variation of water temperature and conjectured pipe temperature during quenching

的に冷却水を止める。

(2) パイプが静止する場所では、接触する支持部による部分冷却を防止するため断熱材のライニングを施す。

また、2色温度計によって温度を監視し、プロセスコンピュータにファイルして個別管理を行っている。

4.5 焼割れ、置割れの防止

焼割れは、焼入時のマルテンサイト変態による急激な膨張と鋼材の延性に関係するものであり、また置割れは焼入後に生ずる遅れ破壊で拡散性水素が主要因とされている。前者に対しては炭素量を減ずることにより膨張量を小さく延性を増すことが可能である。また、後者に対しては、主に鋼材中の水素量を低減することにより防止できる。

現在炭素量の上限を設け、全鋼種に脱ガス処理を施すことにより、両種の割れは発生していない。

4.6 管の曲がり

管の曲がりは形状の内最も重要視されているが、前述の低噴射流量によるスムーズな空気抜きおよび流量調整による全国的均一な冷却が行われ、曲がり量は小さい。

5. 直接焼入法による製品の品質

直接焼入法による油井鋼管の品質を紹介する。

5.1 焼入硬さ

油井用材料としては厚物に属するカップリング素管 (API5A -N 80 相当：肉厚 20.4mm) の冷却水排水側における焼入のままの硬さ分布を Fig. 11 に示す。焼入深さは肉厚中央部にまで達しており、3章で述べた排出側における焼入能はノズル側に比べ低下はしているものの、油井用鋼管の焼入には十分な値を示していることが確認される。

5.2 引張強さ

API5A -N80およびAPI5A X- P110の引張試験規格値および実績値をそれぞれ Table 3, Fig. 12 に示す。従来焼入法と比較すると Fig. 13 に示すように焼戻し抵抗性が若干高く、より高い焼戻し条件が得られる。

5.3 靱 性

シャルピー遷移曲線を Fig. 14 に示す。破面遷移

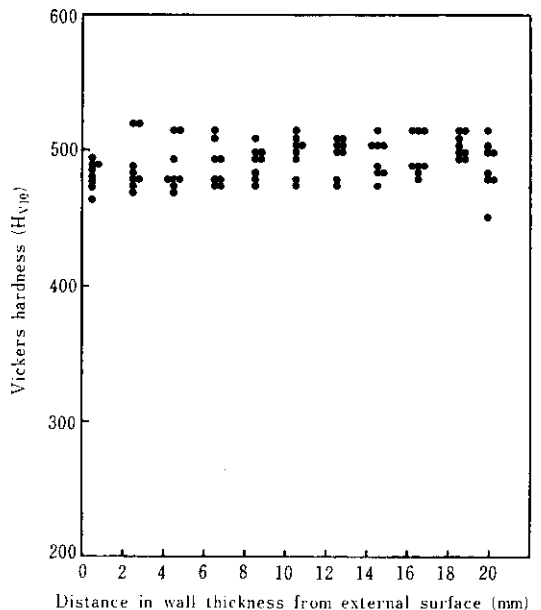


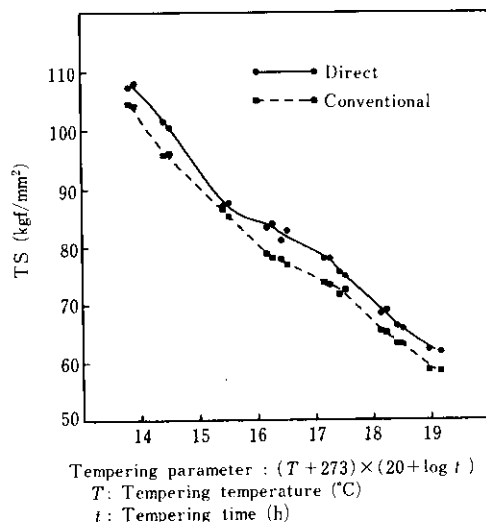
Fig. 11 Hardness distribution of heavy wall coupling pipe (wall thickness : 20.4mm, equivalent to API-N80)

Table 3 Mechanical Specifications of API 5A-N80 and 5AX-P110

Grade	YS psi(kgf/mm ²)	TS psi(kgf/mm ²)	El %
N-80	80 000 ~ 110 000 (56.2~77.3)	Min. 100 000 (70.3)	Min. $625\,000 \times \frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}$
P-110	110 000 ~ 140 000 (77.3~98.4)	Min. 125 000 (87.9)	

A : Cross sectional area (in²)

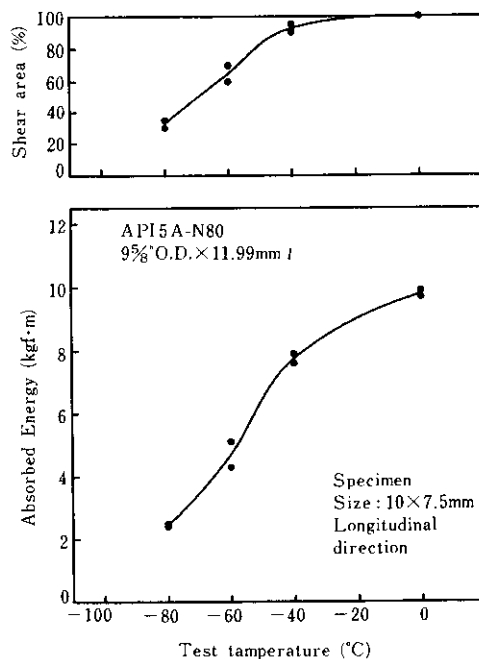
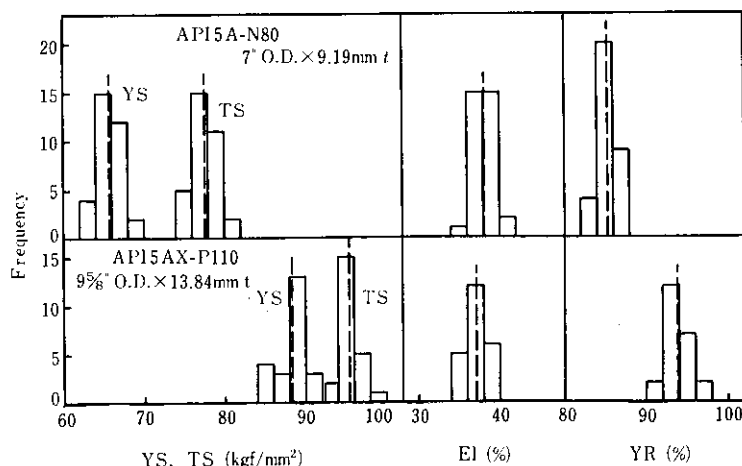
U : Specified minimum TS (psi)

**Fig. 13** Comparison of tempering resistance between direct and conventional quenching method

温度 ($vTrs$) も比較的低温の水準にあり寒冷地仕様に十分耐えられることがわかる。

5.4 圧潰強度

圧潰試験は油井用鋼管のケーシング材料に要求される外面耐圧試験である。API5A - N80およびAPI5AX - P110の試験結果を Fig. 15 に示す。実

**Fig. 14** Charpy full curve of O.C.T.G. by direct quenching**Fig. 12** Tensile properties of O.C.T.G. by direct quenching

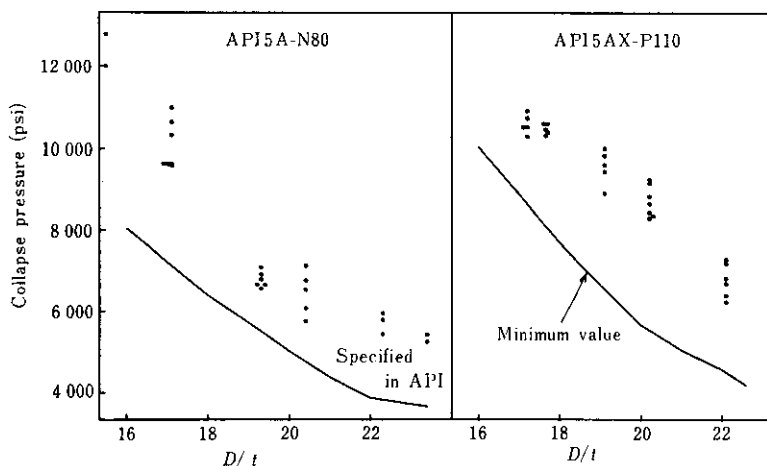


Fig. 15 Results of collapse test

績値は API 規格を十分に満足するものである。

5.5 耐SSCC特性

H_2S , CO_2 の腐食環境下において使用される油井用鋼管はSSCC(硫化水素応力腐食割れ)試験に耐えることが要求される。直接焼入法による鋼管(N-80)のNACE法SSCC試験結果は720時間で限界負荷応力比(破断負荷応力/規格最小降伏応力)が0.9以上あり、優れた特性を示している。

6. まとめ

知多製造所中径シームレス工場に建設した直接焼入設備は、現在順調に稼動している。

本設備は、低圧大流量を基本とした浸漬型内外面軸流焼入法を採用しており、高生産性、高焼入能を特徴としている。また製品の品質は、焼入深さ、引張特性、靱性、圧潰特性、耐SSCC特性など油井管に要求される特性を十分に満足している。