

ハイグレード ERW ラインパイプ API 5L X80 の 製造技術と品質特性*

川崎製鉄技報
19 (1987) 3, 175-180

Manufacturing Techniques and Characteristics of High Grade ERW Line Pipe API 5L X80



深井 真
Makoto Fukai

水島製鉄所 管理部薄
板管理室 主査(課長
補)



唐沢 順市
Junichi Karasawa

知多製造所 技術生産
管理部技術管理室 主
査(掛長)



塩谷 修
Osamu Shiotani

知多製造所 技術生産
管理部技術管理室



小川 洋三
Yozo Ogawa

水島製鉄所 薄板圧延
部薄板技術室 主査(課
長)



森田 正彦
Masahiko Morita

鉄鋼研究所 水島研究
部第3研究室 主任研
究員(課長補)



杉江 善典
Yoshinori Sugie

知多製造所 製造部鋼
管技術室 主査(掛長)

1 緒 言

石油あるいは天然ガス輸送用ラインパイプへの要求は、近年ますます高度化しており、輸送効率向上に対応した大径化、厚肉化、高強度化、さらには寒冷地使用のための高靱性化などの性能が求められるようになった。また、API 5L でも 1985 年 5 月に X80 が規格化されるなど、高級化指向が強くなってきた。

従来、このような要求に対しては UOE 鋼管が向けられていたが、最近ではメジャーオイル各社をはじめ多くの需要家で電縫鋼管(ERW 鋼管)の使用比率が高まってきている。これはホットコイルの品質が向上したことや、溶接技術の進歩によって溶接部の品質が向上したことにより ERW 鋼管の信頼性が高まったこと、および ERW 鋼管の製造コストが UOE 鋼管に比較して安価であることによるものである。

以上のような背景をふまえ、当社知多製造所の 26 in 中径電縫管

要旨

知多製造所 26 in 中径電縫管ミルにて API 5L X80 の開発を進めてきた。開発を進めるにあたっての課題は靱性にすぐれた高強度厚肉コイルの製造および溶接部の靱性特性の向上である。ホットストリップミルでの新制御圧延技術の開発およびエッジミリング、シールド造管技術の開発により母材部、溶接部の靱性改善をはかった結果、 $26''\phi \times 0.574''t$ ($660.4 \text{ mm}\phi \times 14.57 \text{ mm}t$) のパイプ品質は、シャルビー破面遷移温度が母材部、溶接部とも -32°C 以下を達成し極めて良好な靱性特性であり、X80 規格を十分満足するものが得られた。本報はこの製造技術と製品品質について述べたものである。

Synopsis:

Kawasaki Steel has been exploring technology for API 5L X80 by 26'' ϕ ERW pipe mill at Chita Works. It is the most important to develop the high-strength, large-thickness hot rolled coil with excellent toughness and to improve the toughness of welded seam. By adoption of the new controlled-rolling method, edge miller machine and gas-shielded welding technology, Kawasaki Steel has made the development of API 5L X80 ERW line pipe 26'' $\phi \times 0.574''t$ with excellent toughness, whose $\sqrt{T_{rs}}$ of the Charpy impact test is under -32°C . This paper describes the details of the pipe manufacturing process and the properties obtained.

ミルにおいてハイグレードラインパイプ API 5L X80 の開発を進めてきた。本報告ではこの状況とパイプ特性について述べる。

2 製造技術

2.1 高強度高靱性厚肉ホットコイルの製造技術

API 5L X80 の規格値を Table 1 に示す。X80 は強度特性に加え、シャルビー衝撃特性についての規定があり、これが X70 以下と異なる点である。一方、UOE 鋼管から ERW 鋼管への代替を推進する上での課題の一つは、ホットコイルの厚肉化を進めることである。したがって、X80 グレード ERW 鋼管の開発にあたっては、高強度化と厚肉化に対応したホットコイルの製造技術の開発が重要な課題である。

高強度高靱性ホットコイルを製造するには、徹底した細粒組織化および析出強化技術が必要である。当社ではすでに報告¹⁾したように X70 グレードホットコイルの製造技術として、化学成分、スラブ加熱温度、圧延温度、圧下率などを最適化する制御圧延技術を確立

* 昭和62年4月20日原稿受付

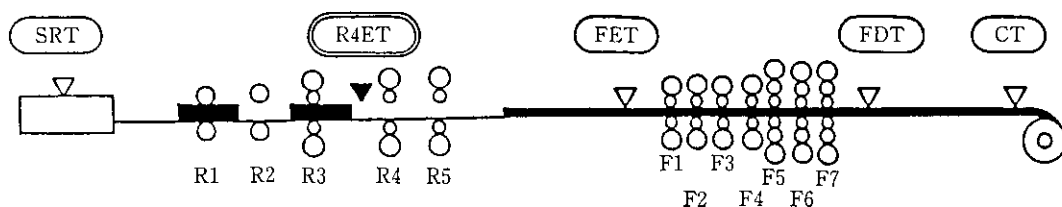


Fig. 1 Layout of hot strip mill (SRT, slab reheating temperature; R4ET, R4 entry temperature; FET, finisher entry temperature; FDT, finisher delivery temperature; CT, coiling temperature)

Table 1 API 5L X80 requirement

Chemical requirement	$C \leq 0.18\%$ $Mn \leq 1.80\%$ $P \leq 0.030\%$ $S \leq 0.018\%$
Tensile requirement	$YS \geq 80 \text{ ksi } (56.2 \text{ kgf/mm}^2)$ $TS = 90 \sim 120 \text{ ksi } (63.3 \sim 84.4 \text{ kgf/mm}^2)$
Toughness requirement at 32°F (0°C) (base metal)	Absorbed energy: All heat ave. $\geq 50 \text{ ft} \cdot \text{lb } (6.9 \text{ kg} \cdot \text{m})$ Ave. from one heat $\geq 20 \text{ ft} \cdot \text{lb } (2.8 \text{ kg} \cdot \text{m})$ Shear area: All heat ave. $\geq 70\%$ Ave. from one heat $\geq 40\%$

Table 2 Chemical composition of API 5L X65

(wt %)					
C	Si	Mn	P	S	Others
0.07	0.30	1.20	0.008	0.001	Al, Nb, V, Ti

Table 3 Hot rolling conditions of API 5L X65

CR Process	Thickness of hot strip (mm)	SRT (°C)	FDT (°C)	CT (°C)	Reduction in austenite non-recrystallization region (%)
New	15.88	1 200	740	510	79.6
Conventional	15.88	1 200	750	510	66.2

している。しかし、ホットストリップにおいて厚肉化を図ろうとすると、強靱化に重要な未再結晶域における圧下率の確保が困難となり、靱性の面で不利となる。また高強度化するほど靱性の劣化を伴う。そのため X80 グレード厚肉ホットコイルの製造においては従来の制御圧延技術をさらに拡大して厚肉化、高強度化によっても靱性劣化を生じない新しい制御圧延法の開発が必要となる。

そこで靱性にすぐれたホットコイルの製造技術を開発することを目的として、上記制御圧延技術に加え、粗圧延工程にまで制御圧延を拡大した新制御圧延技術を開発した²⁾。Fig. 1 に新制御圧延を行うミルラインの概念を示す。この方法の特徴はスラブ加熱温度 (SRT)、仕上圧延開始温度 (FET)、仕上圧延終了温度 (FDT)、巻取り温度 (CT) をコントロールする従来制御圧延方法に加え、粗 4 号ミル圧延開始温度 (R4ET) を制御して、粗 4 号ミル (R4)、5 号ミル (R5) での圧延を未再結晶域で行い制御圧延効果を大きくしてよりすぐれた微細組織を得る点にある。

まずはじめに新制御圧延法による靱性改善効果について示す。Table 2 に示す X65 グレードの供試鋼を用いて、Table 3 に示す

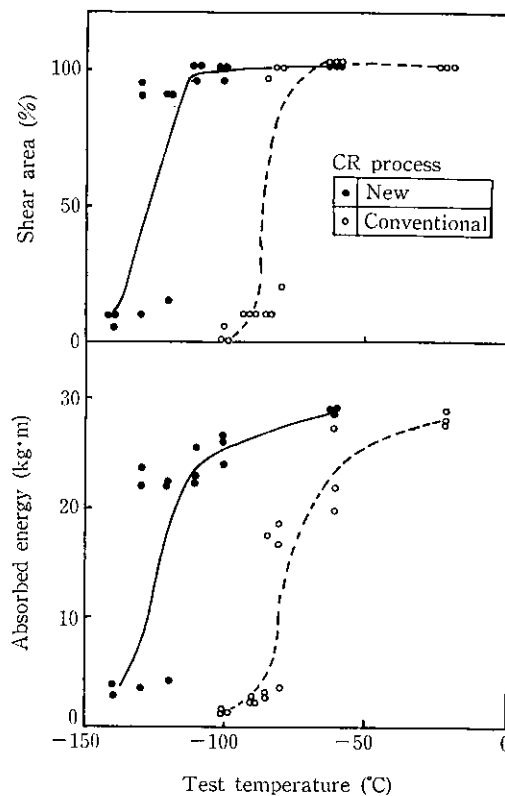


Fig. 2 Comparison of Charpy impact toughness of hot coils between the new and conventional CR processes (Test direction, C; specimen size, 10 mm × 10 mm)

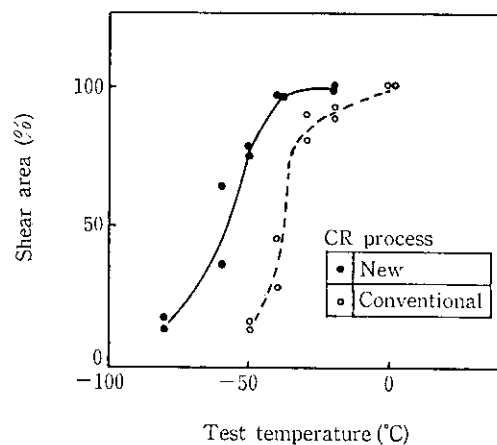


Fig. 3 Comparison of DWTT of hot coils between the new and conventional CR processes (Test direction, C)

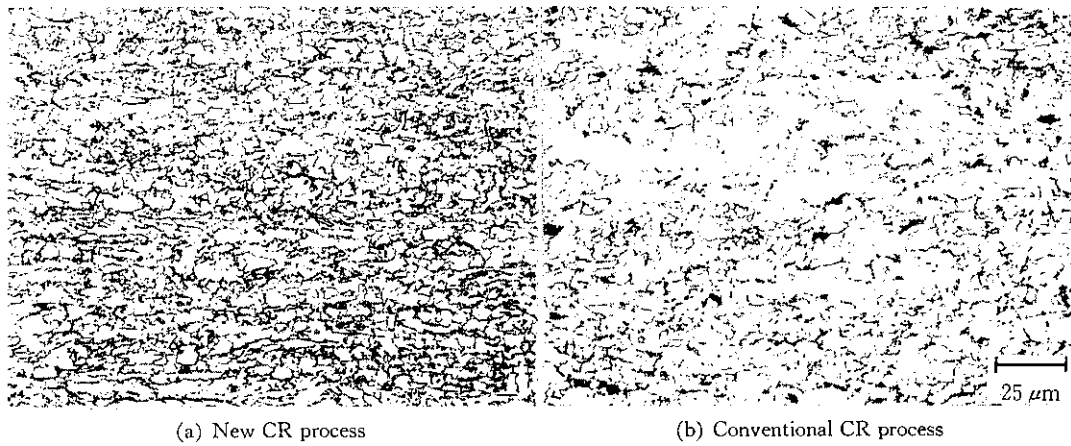


Photo 1 Comparison of microstructure of hot coils between the new and conventional CR processes (API 5L X65, $t=15.88$ mm)

圧延条件で新制御圧延法 (New CR process) と従来制御圧延法 (Conventional CR process) により 15.88 mm 厚のホットコイルを製造した。これらのホットコイルの靱性特性比較を Fig. 2 および 3 に、ミクロ組織比較を Photo 1 に示す。新制御圧延法によりシャルピー vT_{rs} が約 40°C, DWTT 85% FATT が約 15°C 向上する。これは未再結晶域での圧下率が従来制御圧延法では約 66% しかとれないのに対し、新制御圧延法では約 80% と大きくなり、Photo 1 に示すように結晶粒の微細化度合が大きくなるためである。このように新制御圧延法は厚肉材の靱性特性に対して極めて有効な圧延方法であることがわかる。

2.2 溶接部靱性改善の造管技術

従来より当社の電縫管ミルでは溶接部の信頼性向上対策として溶接入熱制御³⁾、スパーク検出器³⁾などを適用し、高度の溶接部品質を保ってきた。さらに、エッジミリング設備⁴⁾の導入、シールド造管技術⁵⁾、シームアニーラー溶接部追従装置⁶⁾などの技術開発を行い、一層の品質改善をはかった。

Table 4 に溶接部シャルピー特性について、エッジミリング方式とロータリーシャー方式 (サイドトリマー) でエッジトリミングされた場合の比較を示す。エッジミリングは Photo 2 に示すように剪断面のダレや肉欠けがなく滑らかな機械加工面が得られるので、溶接時の接合状態が良好となりシャルピー特性が向上する。Fig. 4 にシールド造管設備の概要を示す。不活性ガス雰囲気下で溶接することにより酸化生成物が防止でき、Fig. 5 に示すように溶接部シャルピー特性が向上する。シームアニーラーは Fig. 6 に示すような 4 台の誘導加熱コイルで構成され、温度制御、ギャップ制御、シーム追従制御などシーム部を正確にかつ安定した温度で熱処理する機能を有する。

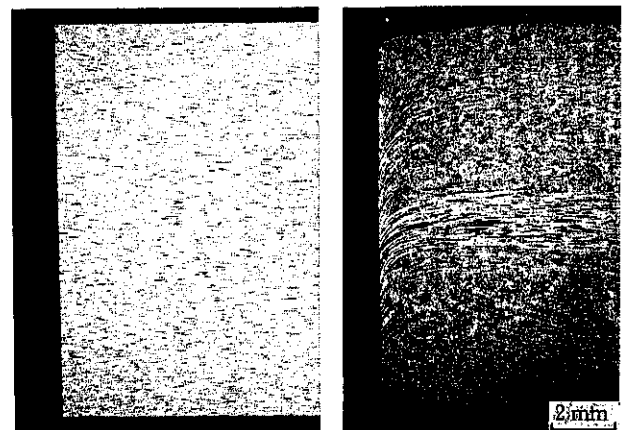


Photo 2 Metal-flow of trimmed edge of coil

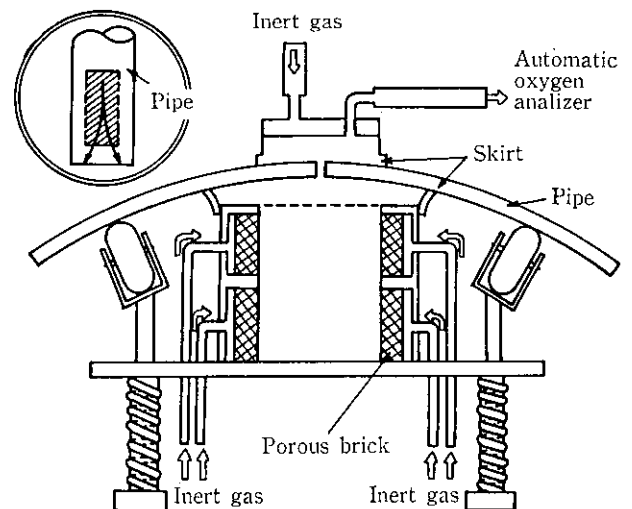


Fig. 4 Gas-shielded welding

Table 4 Effect of edge trimming methods on Charpy absorbed energy of welded seams*1

Edge trimming method	Test piece number	Ave. absorbed energy (kg·m)	Standard deviation (kg·m)
Edge miller	30	9.7	4.66
Side trimmer	51	8.7	4.92

*1 API 5L X65, $24''\phi \times 0.375''t$, test temperature -46°C , test direction C, specimen size 10 mm $\times$ 7.5 mm

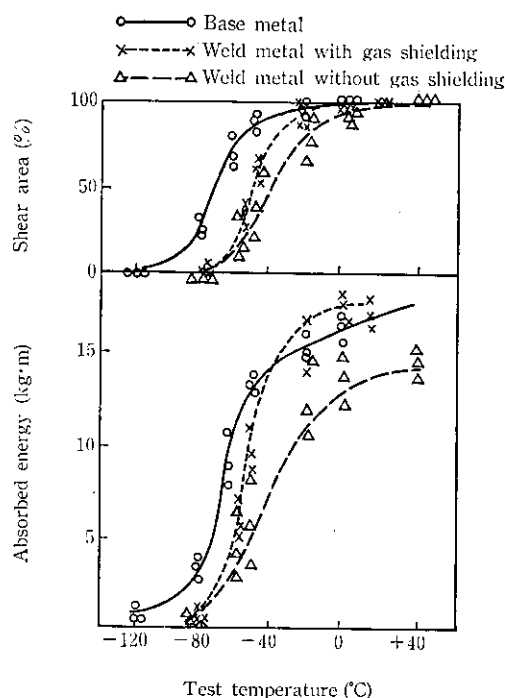


Fig. 5 Effect of gas shielded welding on Charpy impact toughness of seam (API 5L X65, $24''\phi \times 0.375''t$, test direction C, specimen size 10 mm $\times$ 7.5 mm)

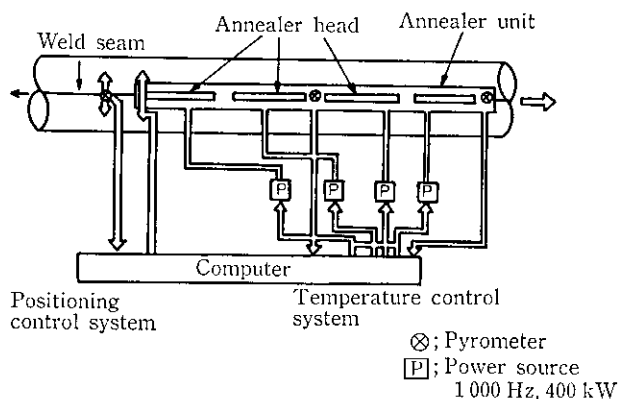


Fig. 6 Automatic control system of seam annealer

3 API 5L X80 ERW 鋼管の品質特性

3.1 製造条件

API 5L X80 ERW 鋼管の製造例としてパイプサイズ $26''\phi \times 0.574''t$ ($660.4 \text{ mm}\phi \times 14.57 \text{ mm}t$) の結果について記述する。化学成分は Table 5 に示す 0.07% C-1.50% Mn-Nb-V-Ti 系であり、Table 6 に示す熱延条件で $14.57 \text{ mm} \times 2.077 \text{ mm}$ のホットコイルに圧延した。ホットコイルの靱性向上のため新制御圧延法を採用した。コイルは 26 in 中径電縫管ミルにて Table 7 に示す条件で造管した。溶接部靱性向上のためエッジミラーによるトリミングを行い、ガスシールド造管、シームアニール制御を適用した。

Table 5 Dimensions and chemical compositions of API 5L X80

Dimensions		Chemical compositions (wt %)					
Hot coil	Pipe	C	Si	Mn	P	S	Others
14.57 mm × 2 077 mm	$26''\phi$ $\times 0.574''t$ (660.4 mm ϕ $\times 14.57$ mm t)	0.07	0.34	1.50	0.017	0.001	Al, Nb, V, Ti

Table 6 Hot rolling conditions of API 5L X80 ($14.57 \text{ mm} \times 2.077 \text{ mm}$)

CR process	SRT (°C)	FDT (°C)	CT (°C)	Reduction in austenite non-recrystallization region (%)
New	1 260	720	500	79.2

Table 7 Pipe making conditions of API 5L X80 ($26''\phi \times 0.574''t$)

Velocity of pipe making (m/min)	16
Current of weld (A)	36.8
Voltage of weld (kV)	14.2
Upset (mm)	10.0
Forming condition (mm)	
Coil width after trimming	2 073
Circumference before No. 1 finpass roll	2 106
Circumference after No. 1 finpass roll	2 092
Circumference after No. 2 finpass roll	2 089
Circumference after No. 3 finpass roll	2 090
Circumference after squeeze roll	2 080

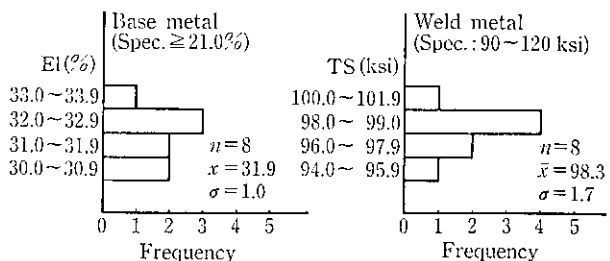
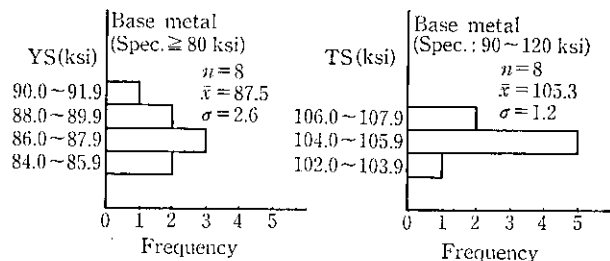


Fig. 7 Tensile properties of API 5L X80 ($26''\phi \times 0.574''t$)

3.2 製品品質

母材および溶接部の引張特性を Fig. 7 に、シャルピー特性を Fig. 8 に示す。いずれも X80 の規格値を十分に満足している。と

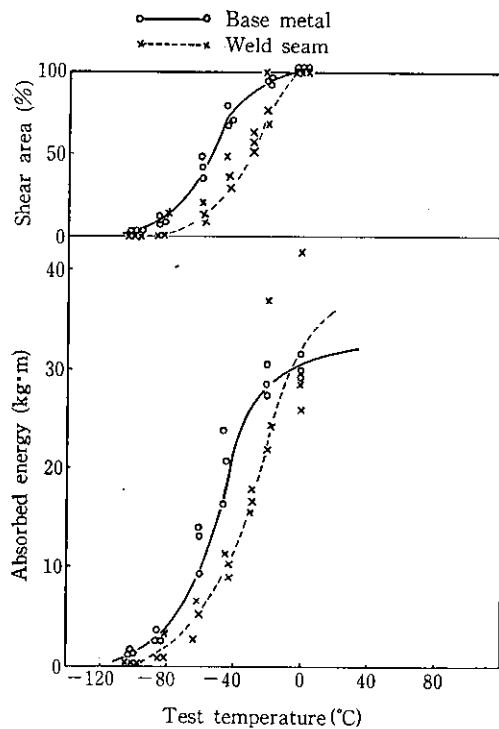


Fig. 8 Charpy impact toughness of API 5L X80 ($26''\phi \times 0.574''t$, test direction C, specimen size 10 mm $\times$ 10 mm)

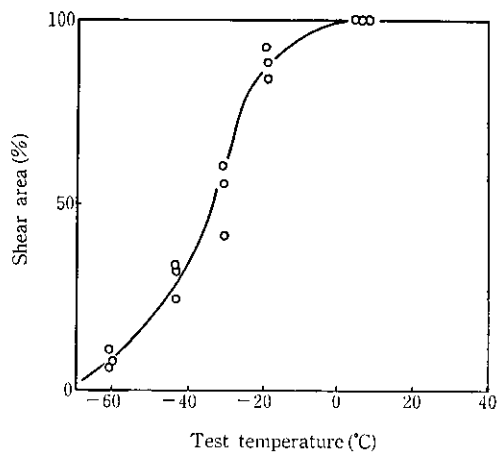


Fig. 9 Drop weight tear test of API 5L X80 ($26''\phi \times 0.574''t$, test direction C)

くにシャルピー特性は新制御圧延法、ガスシールド造管法、シームアール制御法などの適用により、母材部、溶接部ともに API で規定されているエネルギー値 $\gamma E_0 \geq 50 \text{ ft} \cdot \text{lb}$ ($6.9 \text{ kg} \cdot \text{m}$) はもとより、破面遷移温度でても -32°C 以下を達成し、極めて良好な靱性を示している。また API 5L SR6 (補足規定) では「 0°C における DWTT 延性破面率 40% 以上」の規定があるが、本製造例では Fig. 9 に示すように 85% FATT が -20°C であり、この規定も十分満足している。Fig. 10 および 11 に新製造法と従来製造法との靱性レベルを比較した結果を示すが、新製造法により製造した X80 の靱性は大幅に向上している。

溶接部硬度は、Fig. 12 に示すように、シームアールの影響により、母材部よりやや低下しているものの、外面、中央、内面とも均一な分布となっている。マクロおよびミクロ組織を Photo 3 に示す。マクロ組織から内外面のビード切削状況およびシームアール

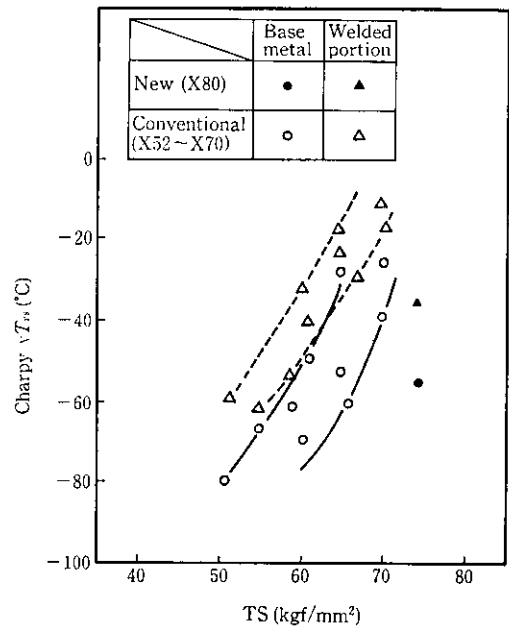


Fig. 10 Effect of new process on $\text{TS}-vT_{rs}$ relation of pipes (API 5L X52~X80, $t=0.500'' \sim 0.625''$, test direction C, specimen size 10 mm $\times$ 10 mm)

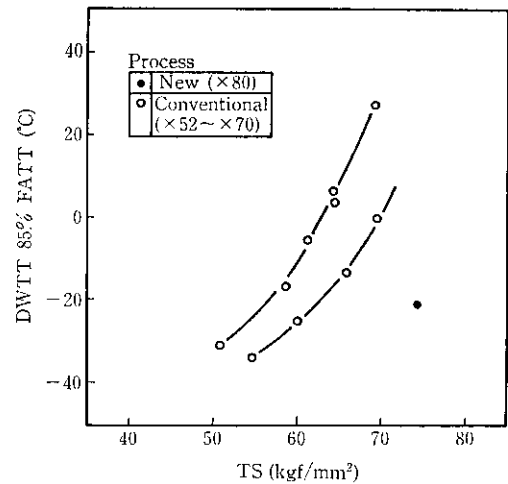


Fig. 11 Effect of new process on $\text{TS}-85\% \text{ FATT}$ relation of pipes (API 5L X52~X80, $t=0.500'' \sim 0.625''$, test direction C)

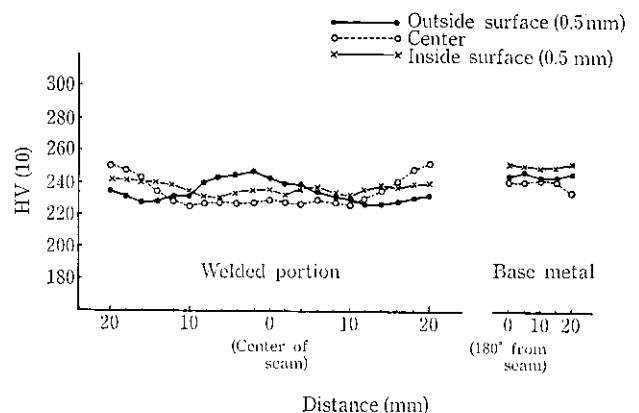


Fig. 12 Hardness properties of API 5L X80 ($26''\phi \times 0.574''t$)

Macrostructure
of welded seam

Microstructure

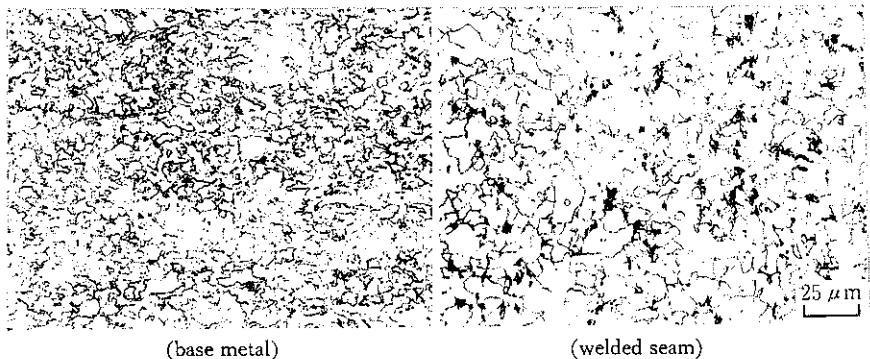


Photo 3 Macro-and micro-structure of API 5L X80 (26"φ×0.574"t)

Table 8 Dimensions of API 5L X80 (26"φ×0.574"t)

	Outside diameter of pipe end (in)	Outside diameter of pipe body (in)	Out of round- ness*1 (%)	Wall thickness (in)
Test piece No.	12	6	12	12
Average	26.018	26.068	0.325	0.578
Standard deviation	0.012	0.009	0.130	0.004
Specification	25.969 -26.094	25.740 -26.260	—	0.528 -0.686

*1 (max. OD-min. OD)/nominal OD

ル状態が良好であることがわかる。またミクロ組織からフェライト結晶粒は粒度 No. 11 以上の微細組織であることが認められる。

寸法形状は Table 8 に示すように API で規定されている公差の

中央値が得られており、かつバラツキも小さい。

4 結 論

26 in 中径電縫管ミルにおいてハイグレード ERW ラインパイプ API 5L X80 の開発を行ってきた結果、以下の成果が得られた。

- (1) 靱性にすぐれた厚肉ホットコイルを製造するために粗圧延工程まで含めた新制御圧延技術を開発した。
- (2) ERW 造管に際してはエッジミリングによるエッジ部形状の改善および溶接入熱制御、スパーク検出、シールド造管、シームアニール制御の適用により、API 5L X80 に十分に適合する靱性を確保する造管技術を確立した。
- (3) 26"φ×0.574"t (660.4 mmφ×14.57 mm t) の材質特性は引張り特性、シャルピー特性とも API 規格を十分満足するものが得られた。さらにシャルピー破面遷移温度は母材部、溶接部とも -32°C 以下が達成されており極めて良好な靱性を示している。

参 考 文 献

- 1) 江口康二郎, 岡本 昇, 大西史博, 深井 真, 滝沢昇一: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 1, 53
- 2) 深井 真, 小川洋三, 岡本 昇, 森田正彦, 塩谷 修, 唐沢順市: 鉄と鋼, 72 (1986) 13, S1467
- 3) 寺田利坦, 平野 豊, 大谷輝夫, 吉本勇三, 横山栄一: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 1, 63
- 4) 西田保夫, 大橋兼廣, 伊藤守正, 南谷昭次郎, 菅原大八, 藤井 勲, 森園 稔: 鉄と鋼, 71 (1985) 12, S1163
- 5) 唐沢順市, 寺田利坦, 平野 豊, 渡辺修三, 吉本勇三, 富永博広, 高田 脩: 鉄と鋼, 69 (1983) 5, S370
- 6) 大出文昭, 新玉幹夫, 近藤広章, 大橋兼廣, 日和佐 淳, 銭場 敬: 川崎製鉄技報, 18 (1986) 2, 88