
加工性に優れた薄鋼管用高張力熱延鋼板の製造

Production of Hot-rolled Steel Sheet for High Strength Steel Pipe with Good Cold Formability

青柳 信男(Nobuo Aoyagi) 上野 宏昭(Hiroaki Ueno) 高橋 功(Isao Takahashi)
篠崎 正利(Masatoshi Shinozaki) 西田 稔(Minoru Nishida)

要旨：

自動車や二輪車，さらに各種機械構造物に適した高張力薄鋼管を開発し，二輪車のフレームやハンドルなどに実用化した。この鋼板と鋼管は以下のような特徴がある。(1) 低 C(0.05%) の Ti 添加析出強化鋼である。(2) 低 C 設計で電縫溶接部の硬化が少ない。このため軟化熱処理することなく切削性や加工性に優れている。(3) 溶接継手部を含めて強度と疲労特性に優れている。(4) 従来の高張力鋼管と比較して，熱処理省略や合金添加量が少なく安価である。また作業性や生産性の向上が期待できる。本報告は，成分決定の実験結果と開発鋼および鋼管の材料特性についてまとめた。

Synopsis：

High strength steel sheet for high strength steel pipe which is used for automobiles, motorcycles and various structures has been developed. The high strength steel pipe has been practically used for frames and handlepipes of motorcycles in place of Cr-Mo steel seamless pipe. Characteristics of the newly developed steel sheet and steel pipe are as follows: (1) The steel is a low C and Ti bearing steel. (2) Hardening due to electrical resistance welding of pipe is little because of low C content, and the pipe shows good machinability and excellent formability without heat treatment for softening. (3) Mechanical strength and fatigue properties of the pipe are also better than those of STKS 1C (Cr-Mo steel seamless pipe). (4) The pipe is less expensive than conventional high strength pipe, because heat treatment is not necessary and alloy content is low. This leads to higher productivity at the users of this pipe.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

青柳 信男^{*2} 上野 宏昭^{*3} 高橋 功^{*4} 篠崎 正利^{*5} 西田 稔^{*6}

Production of Hot-rolled Steel Sheet for High Strength Steel Pipe with Good Cold Formability

Nobuo Aoyagi, Hiroaki Ueno, Isao Takahashi, Masatoshi Shinozaki, Minoru Nishida

要旨

自動車や二輪車、さらに各種機械構造物に適した高張力薄鋼管を開発し、二輪車のフレームやハンドルなどに実用化した。

この鋼板と鋼管は以下のような特徴がある。

- (1) 低C (0.05%) の Ti 添加析出強化鋼である。
- (2) 低C設計で電縫溶接部の硬化が少ない。このため軟化熱処理することなく切削性や加工性に優れている。
- (3) 溶接継手部を含めて強度と疲労特性に優れている。
- (4) 従来の高張力鋼管と比較して、熱処理省略や合金添加量が少なく安価である。また作業性や生産性の向上が期待できる。

本報告は、成分決定の実験結果と開発鋼および鋼管の材料特性についてまとめた。

Synopsis:

High strength steel sheet for high strength steel pipe which is used for automobiles, motorcycles and various structures has been developed. The high strength steel pipe has been practically used for frames and handlepipes of motorcycles in place of Cr-Mo steel seamless pipe.

Characteristics of the newly developed steel sheet and steel pipe are as follows:

- (1) The steel is a low C and Ti bearing steel.
- (2) Hardening due to electrical resistance welding of pipe is little because of low C content, and the pipe shows good machinability and excellent formability without heat treatment for softening.
- (3) Mechanical strength and fatigue properties of the pipe are also better than those of STKS 1C (Cr-Mo steel seamless pipe).
- (4) The pipe is less expensive than conventional high strength pipe, because heat treatment is not necessary and alloy content is low. This leads to higher productivity at the users of this pipe.

1 緒 言

最近、自動車の軽量化と燃費向上の観点から高張力鋼板の使用が積極的に進められている。乗用車の重量に占める高張力鋼板の割合は10%を超えるものがあり、使用部位もホワイトボディからシャーシ、ホイールなど足廻り部品へと拡大してきた^{1,2)}。さらに管材や軸材の多い自動車部品では、その鋼管の高張力化や棒鋼、鋳鋼、鍛鋼品などから鋼管への代替による軽量化とコストダウンも課題の1つと言われている^{3,4)}。

一方、二輪車のフレームや各種部品は多くの鋼管が使用されている。おもに機械構造用炭素鋼鋼管 (JIS G 3445: STKM) と構造用合金鋼鋼管 [JIS G 3441: STKS (現 SCM)] である。これら従来の高張力鋼管は、C 量や Cr, Mo などの合金元素が多い高 C 当量設計の鋼であるために溶接部の硬さが高く、へん平、拡張、などの加工性に難点があり、切削性も劣る。このため造管後に熱処理が不可欠であり、溶接組立後も再熱処理が必要となる場合がある。その結果、熱処理や酸洗などの工数の増加と合金元素による製造コストの増加をきたしている。このような事情は自動車用鋼管、自転車用鋼管、家具用鋼管などにおいても同様と考えられる。

以上の背景から、STKM や STKS から代替可能な強度を有し、かつ熱処理することなく加工性、切削性および疲労強度特性に優れ

た高張力鋼管の開発を試みた。この結果、0.05% C-1.3% Mn-0.06% Ti を基本組成とする低C系析出強化型の鋼成分とすることにより、上記目的に沿った 50~60 kgf/mm² 級の高張力鋼管の開発に成功した。なお、これらはすでに二輪車のフレームやハンドル管などに実用化している。

本報では、研究開発を行った際の化学成分の検討結果と開発鋼および鋼管の材料特性について示す。

2 化学成分の検討

2.1 実験方法

2.1.1 供試材

供試鋼の化学成分と板厚を Table 1 に示す。連続鋳造スラブを1300°C に加熱後抽出して粗圧延したあと、仕上7スタンドからなるホットストリップミルで所定の板厚に圧延した。この薄鋼板をスリットカットしたあと Table 2 に示す造管条件で 19.1~22.2 mmφ に造管したものを供試材とした。Table 1 の厚さ 1.8 mm の冷延材は、従来使用されていた STKM 18A で固溶強化型鋼である。

2.1.2 実験条件

(1) 引張試験

JIS 11 号引張試験片を用い、つかみ部には芯金を入れて引張試

*1 昭和59年8月6日原稿受付

*2 水島製鉄所管理部薄板管理室

*3 水島製鉄所管理部薄板管理室主任 (課長)

*4 東京本社技術本部技術管理部付主査 (課長) 日本鉄鋼協会勤務

*5 技術研究所第3研究部薄板研究室主任研究員 (課長)

*6 千葉製鉄所熱間圧延部熱延技術室主任 (部長補)

Table 1 Chemical composition of steel used

(wt %)

TS grade (kgf/mm ²)	Steel No.	t (mm)	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Nb	V	Cr	C _{eq} ^{*)}
60	A	1.6	0.04	0.03	1.26	0.015	0.003	0.025	0.061				0.251
	B	1.6	0.05	0.55	1.25	0.019	0.003	0.028	0.060				0.281
	C	1.6	0.08	0.19	1.33	0.013	0.002	0.010		0.049			0.309
	D	1.8	0.06	1.03	1.42	0.021	0.002	0.050				1.00	0.540
	E	1.8	0.13	0.27	1.36	0.019	0.006	0.036		0.031	0.038		0.368
	F	1.8	0.11	0.26	1.32	0.019	0.007	0.030		0.026	0.076		0.346
	G	1.6	0.11	0.38	1.48	0.025	0.005	0.045		0.038			0.372
	H	1.8	0.11	0.30	1.42	0.014	0.003	0.028		0.030			0.359
	I	1.8	0.11	0.53	1.49	0.023	0.005	0.034		0.052			0.380
	J	1.6	0.13	0.30	1.34	0.018	0.003	0.029		0.035			0.363
50	K	1.6	0.05	0.51	0.88	0.020	0.003	0.025	0.035				0.218
	L	1.8 ^{*)}	0.18	0.48	1.41	0.017	0.007	0.023					0.435

*) Cold (STKM 18A)

**) $C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

Table 2 Condition of electric resistance weld

Speed (m/min)	Voltage (V)	Amperage (A)	Upset (mm)
100-120	9-10	20-22	1.0

験を実施した。

(2) 電縫溶接部の硬さ試験

電縫溶接部を含むC断面の板厚 $1/4t$ 部をビッカース硬さ計(荷重 1 kgf) で測定した。

(3) 90° 偏平試験

パイプの長さ 100 mm とし溶接部が曲げ変形を受けるように Fig. 1 に示す要領で圧縮し、割れが発生したときの高さを測定し、これを評点化した。評点は下記の5段階評価とした。実用上問題になるのは評点 2 と 3 のものである。

- 0 : 密着曲げ ($H=2t$) で良好なもの
- 0.5: 密着曲げで毛割れが認められるもの
- 1 : 密着曲げで小割れが認められるもの
- 2 : $D/2$ から密着間で割れ発生
- 3 : $D/2$ までに割れ発生

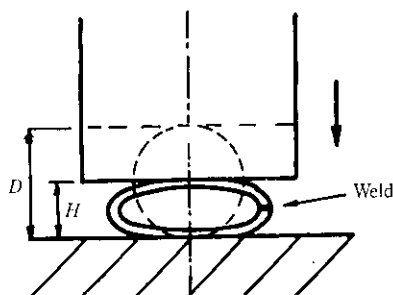


Fig. 1 90° flattening test method

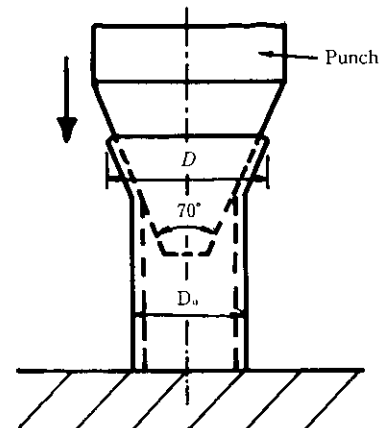


Fig. 2 Flare forming test method

(4) 押し拡げ試験

パイプ長さを 40 mm とし、Fig. 2 に示す要領で押し拡げ、管端部にネッキングが発生したとき停止した。評価は、元径 (D_0) に対する試験後の径 (D) の比 (D/D_0) で行った。

2.2 実験結果と考察

2.2.1 溶接部の硬さと化学成分の影響

従来製造されていた STKM 18A の電縫溶接部の硬さを Fig. 3 に示す。この素材は C, Si, Mn の固溶強化型冷延鋼板であり、溶接部の最高硬さは HV 500 前後と非常に高い。この状態では切削性や加工性が劣るため軟化焼鈍が必要であり、 $700^{\circ}\text{C} \times 3\text{min}$ の軟化焼鈍により溶接部の最高硬さは約 HV 230 まで低下する。しかし同時に母材部の硬さも低下し、パイプの引張強度も低下するため、この固溶強化型成分系では 60 kgf/mm^2 を超える高張力鋼管の製造が困難である。

Fig. 4 は析出強化型鋼の C 量と C 当量を変化させた場合の溶接部硬さを示したものであり、C 量と C 当量が減少すると電縫溶接部の

硬さは低くなることがわかる。また0.04% Cのsteel Aは溶接部と母材部の硬さの差が少なく均一なものが得られている。このときの最高硬さは冷延素材 STKM 18A の軟化焼鈍材と大差なく、鋼管の引張強さは 67 kgf/mm^2 と高く、電縫溶接部の硬化が少ない 60 kgf/mm^2 級の鋼管製造が可能であることを示している。

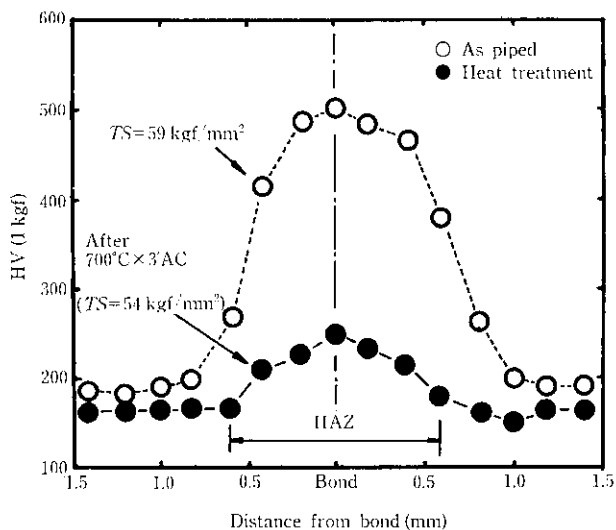


Fig. 3 Hardness profile of welded portion in solid solution hardening type STKM 18A (steel: L)

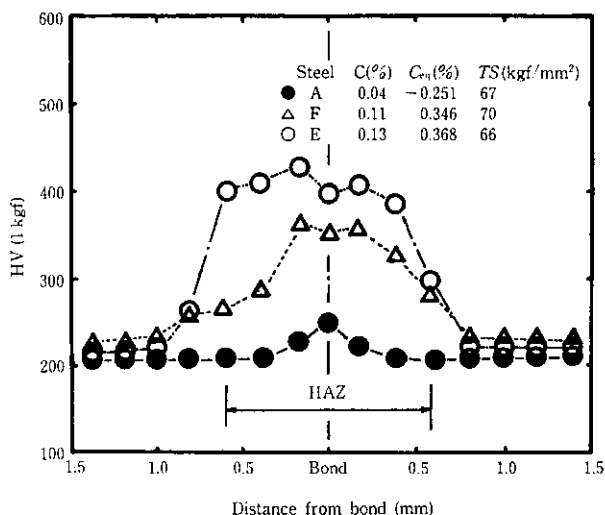


Fig. 4 Effect of C contents and C_{eq} on hardness profile of welded portion

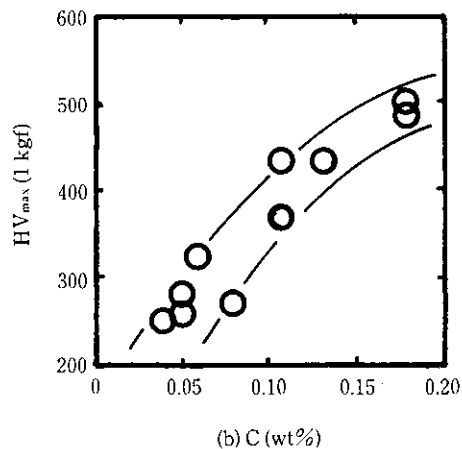
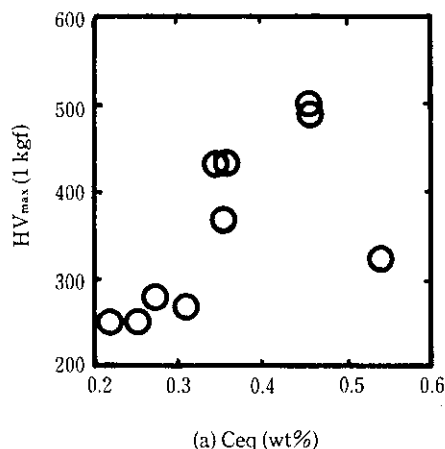


Fig. 5 Effect of C_{eq} and C contents on maximum hardness of welded portion

Fig. 5にC量およびC当量と溶接部の最高硬さとの関係を示す。溶接部の硬さに影響する成分としてはC量そのものの効果ももっとも大きいことがわかる。このことはCrなどの合金を含んだ高C当量材でもC量を低くすることにより、溶接部の硬化を比較的小さくすることが可能であることを示唆している。

溶接部の硬さがC量と強い相関を示す理由は、薄肉電縫管であるため入熱が少なく溶接後の冷却速度が速く、マルテンサイト相を含む組織が生成することと関連している。溶接部の組織例をPhoto 1に示す。C量が0.11%と高いsteel Fではほぼ全体がラス状マルテ

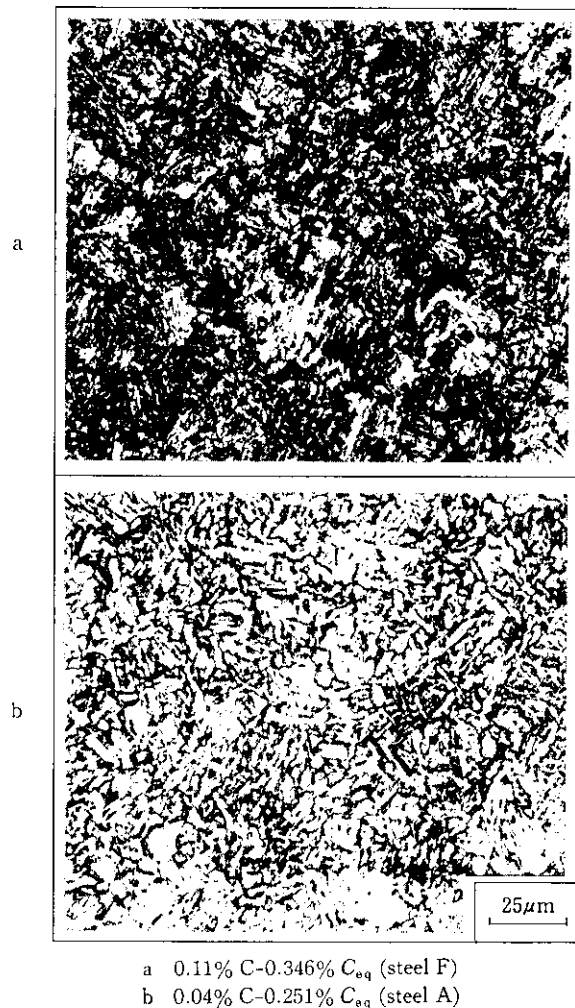


Photo 1 Microstructures of welded portion

ンサイト組織を呈している。このような場合、溶接部の硬さはマルテンサイト相の硬さに依存し、この硬さを左右する因子はC量である。C量とマルテンサイト相の硬さの関係は、たとえば0.20% Cの場合約HV 500、0.10% Cの場合約HV 350程度であることが知られているが⁵⁾、今回の調査結果と一致している。

一方、C量が0.04%と低いPhoto 1のsteel Aの場合、初析フェライトとベイナイトを主とし少量のマルテンサイト相を含む組織となっている。このため溶接部の硬化量は著しく少ない。Fig. 5(b)においてC量が0.08%以下の低C鋼で最高硬さが急激に低下する傾向を示すのは、このようにマルテンサイト量が少なく、主としてフェライトとベイナイト組織となることによるものである。すなわち溶接部硬さとC量の関係は、高C量域ではマルテンサイト相の硬さ変化、低C量域では、これに加えてマルテンサイト相比率の変化によることがわかる。このようにC量の低減は、溶接部の硬化量を抑制するうえで極めて有効である。

2.2.2 偏平試驗結果

偏平試験値におよぼすC当量と引張強さの関係を Fig. 6 に示すが、偏平試験値と強度およびC当量の間には相関は認められない。しかし Fig. 7 に示すようにC量とは相関が認められ、C量が増加すると偏平試験値は劣化する。この原因は溶接部の硬さが偏平試験値に大きく影響することによるものである。

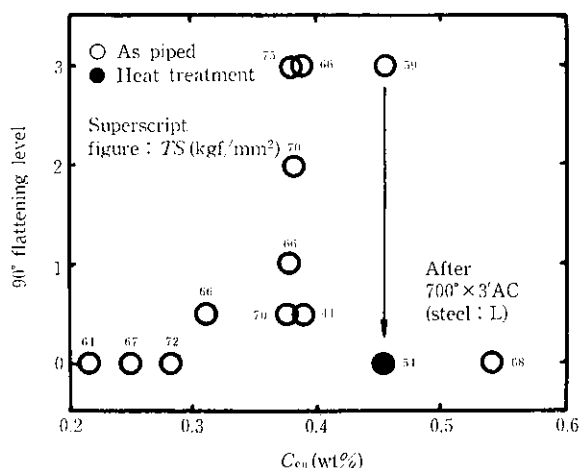


Fig. 6 Effect of C_{eq} and TS on 90° flattening properties

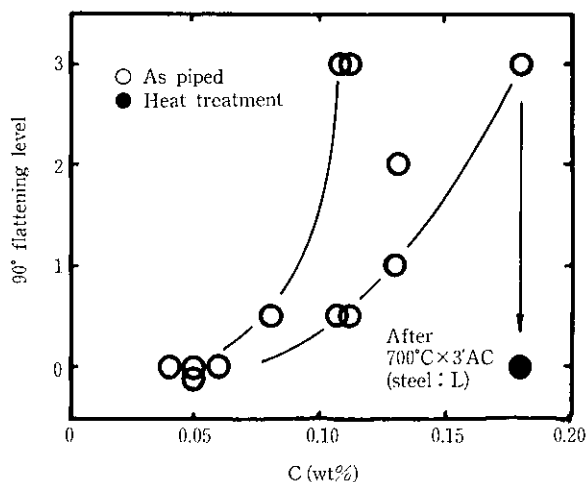


Fig. 7 Effect of C contents on 90° flattening properties

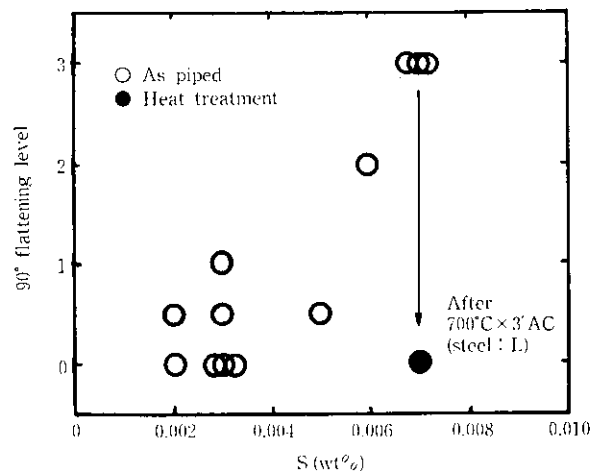


Fig. 8 Effect of S contents on 90° flattening properties

電縫溶接部は、アップセット加工によりメタルフローが立上っているため、偏平試験時にはあたかも母材部の板厚方向引張試験と同様の变形形態となり割れを発生しやすい。板厚方向の引張延性にはとくに鋼中の硫化物系介在物が有害である。したがって偏平試験値にS量の影響が考えられ、Fig. 8 に示すようにS量の低いものほど良好な結果を示している。しかし Table 1 から明らかなようにS量が低いものはC量も低く、溶接部の硬さも低かった。C量とS量がともに高い STKM18A が、軟化焼鈍により良好な偏平試験値を示していることから、S量よりもC量と溶接部の硬さの方が偏平試験値に大きく影響していることがわかる。

2.2.3 押し拡げ試験結果

押し拡げ率におよぼす C 量と Ti 添加有無の影響を Fig. 9 に示す。C 量によって押し拡げ率は大きく変化し、C 量が増加すると溶接部の硬さが高くなり押し拡げ率を低下させる。Ti 添加による最大の効果は、Ti による析出強化能が大きいために低 C 量の成分設計が可能で、溶接部の硬化が少ないことにある。今回開発した低 C-Ti 系の鋼では Fig. 10 にも示すように同一強度レベルで比較して、良好な押し拡げ率を示すことがわかる。

押し上げ率は管端の伸びフランジ特性を示すものであり、S 量の影響が考えられる。Fig. 11 に押し上げ率におよぼす S 量の影響を示すが、S 量が増加すると押し上げ率は低下する。同一 S レベルで比較して Ti 添加鋼は優れた押し上げ率を示す。軟化焼鈍した

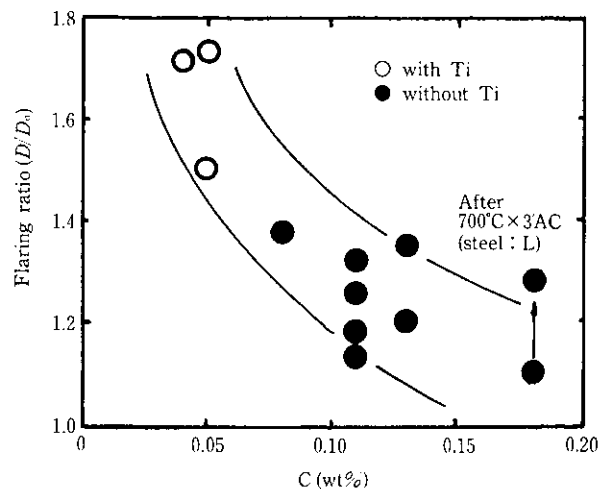


Fig. 9 Effect of C contents and Ti-addition on flare forming

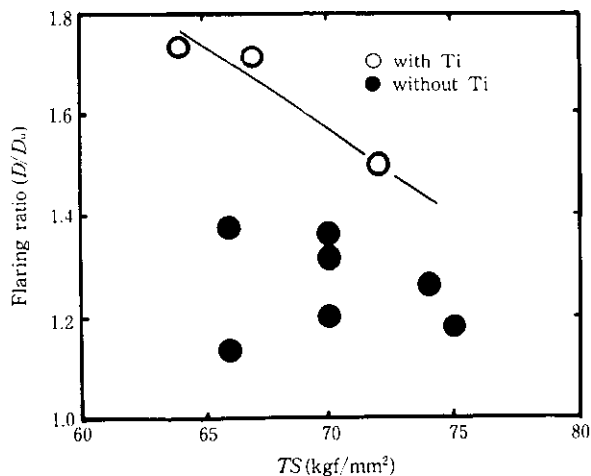


Fig. 10 Effect of TS and Ti-addition on flare forming

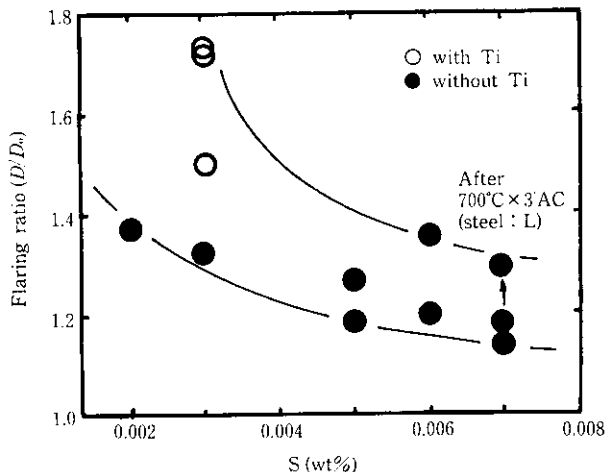


Fig. 11 Effect of S contents and Ti-addition on flare forming

STKM 18A の溶接部硬さは、Ti 添加の低C材と同一レベルであり、そしてそのパイプの引張強度は Ti 添加の低C材よりも低いにもかかわらず、押し拡げ率は Ti 添加鋼よりも低い。これは STKM 18A の S 量が高いためであり、押し拡げ率には溶接部の硬さとともに S 量の影響が大きいことを示している。

このように Ti 添加鋼は、Nb, V などの析出強化成分より析出強化能が大きく、かつ添加量を増加してもその効果が期待できるため低 C、低 C 当量の成分設計が可能である。また Ti 添加によって、硫化物の形態制御効果も期待できるため、押し拡げ加工に対して最適な成分設計であると考えられる。

3 低 C-Ti 系鋼管素材の特性と鋼管の特性

実験結果から高張力鋼管素材としては、拡張特性向上のため低 S 量の Ti 添加低 C 鋼が好ましいことを明らかにした。そしてこれまでに二輪車のフレーム、ハンドル、ヘッドパイプなどへ実用化してきた。以下に開発鋼管の素材および鋼管の特性について示す。

3.1 鋼管素材の成分設計と材料特性

実用化した成分と材料特性を Table 3 に示す。0.05% C-Mn 鋼に Ti を添加した 50~60 kgf/mm² 級の熱延高張力薄鋼板である。

Fig. 12 に 60 kgf/mm² 級の引張強さ実績例を示す。これは板厚 1.4 mm~1.7 mm での製造結果であり、60 kgf/mm² 級の高張力薄鋼板を安定して製造できることがわかる。

Fig. 13 は伸びフランジ特性を表すサイドベンド伸び値⁷⁾と引張強度の関係を示す。本開発鋼は一般の鋼板に比較して優れた伸びフランジ性を示す。例えば 60 kgf/mm² 級の素材の場合、従来の 35 kgf/mm² 級と同等の良好な伸びフランジ特性を示し、圧延方向と圧延直角方向の差も非常に少ないものが得られる。

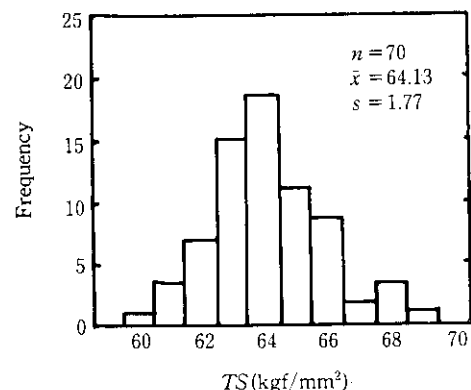
Fig. 12 Histogram of TS in 60 kgf/mm² grade high strength hot-rolled steel ($t=1.4\sim1.7$ mm)

Table 3 Chemical compositions and mechanical properties of hot-rolled high strength steel with 1.6 mm thickness

TS grade (kgf/mm ²)	Chemical composition (wt %)							Mechanical property								
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Direction	<i>YP</i> (kgf/mm ²)	<i>TS</i> (kgf/mm ²)	<i>El</i> (%)	Bend (R=Ot)	<i>NEI</i> * (%)	<i>SEI</i> ** (%)	$\bar{n}$	$\bar{r}$
50	0.05	0.03	0.95	0.015	0.003	0.025	0.044	L	46.9	54.4	29	Good	12	45	0.134	1.04
								C	47.9	55.3	28	"	11	48		
55	0.04	0.04	1.07	0.016	0.003	0.023	0.052	L	50.5	56.8	27	"	11	42	0.127	1.05
								C	51.4	58.1	25	"	10	37		
60	0.05	0.04	1.26	0.017	0.003	0.025	0.061	L	54.1	61.6	25	"	11	35	0.123	0.99
								C	58.3	63.5	26	"	10	30		

* Notch tensile elongation

** Side bend elongation

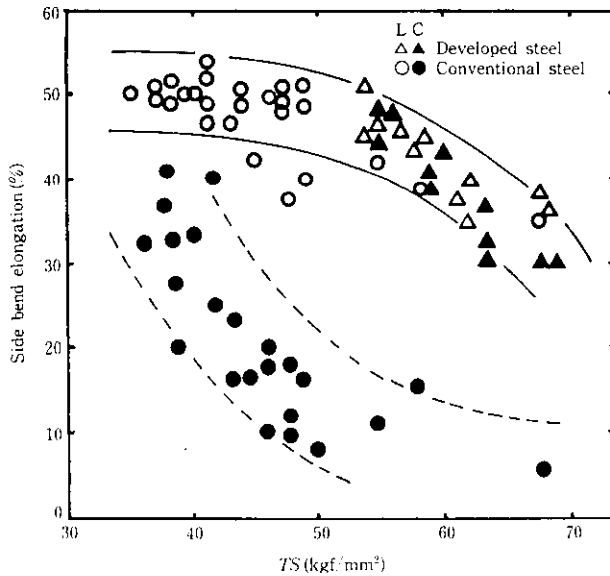


Fig. 13 Relation between TS and stretch flangeability (side bend elongation)

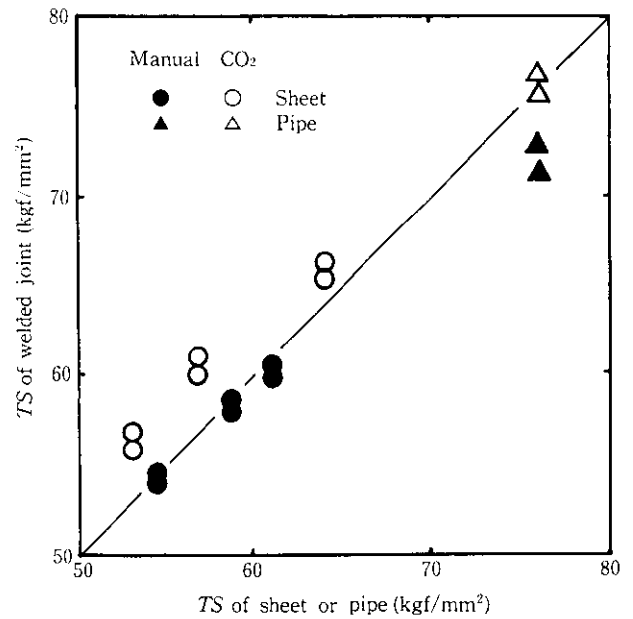


Fig. 14 Relation between TS of sheet or pipe and TS of arc welded joint

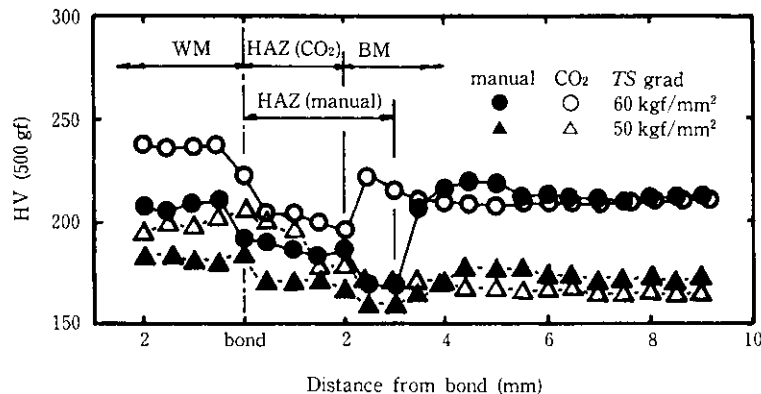


Fig. 15 Hardness profile of manual-arc-welded and CO₂-gas-arc-welded joints

3.2 溶接継手特性

鋼管の使用時は溶接が行われる場合が多い。例えば、二輪車のフレームなどは溶接構造である。今回開発した高張力鋼管素材および鋼管の溶接継手強度は、Fig. 14 に示すように、原板あるいは原管の引張強度と大差なく、実用上なら問題ないことがわかる。しかし、溶接方法が手動アーク溶接の場合、溶接棒径が大きく比較の入熱量も高くなることや、板厚が薄いことが重なって溶接熱影響部の軟化巾が広がり、原板あるいは原管の強度レベルよりも溶接継手の引張強度がわずかに低下することがあり、溶接方法や溶接条件の選択には慎重な配慮が必要となる場合がある。Fig. 15 に溶接部の軟化量と軟化巾を調査した例を示す。入熱が比較的少なくてむガスアーク溶接の方が軟化量、軟化巾とも小さい。この結果、継手の引張強度は Fig. 14 中に示すように母材より継手強度の方が高い値を示す。

3.3 疲労特性

鋼管を素材とする自動車や二輪車の部品に要求される特性には、静的強度、剛性、溶接性、加工性、成形性などがある。このほかに鋼管部品の強度とサイズを決定するうえから必要なものに疲労強度が考えられ、とくに高サイクルにおける溶接継手部の疲労強度が重

要な特性と考えられる。

(1) 鋼板の疲労特性

鋼板の疲労強度は、材料の静的強度に比例することが知られている。高張力鋼管素材と STKM 11A や STKM 13A に使用される軟鋼板の引張疲労試験結果を Fig. 16 に示す。軟鋼板に比較して高張力鋼管素材は高い疲労限を示す。疲労限を素材の引張強度との比で表わすと、 $R=0$ の片振りの場合軟鋼板の 74% に対して

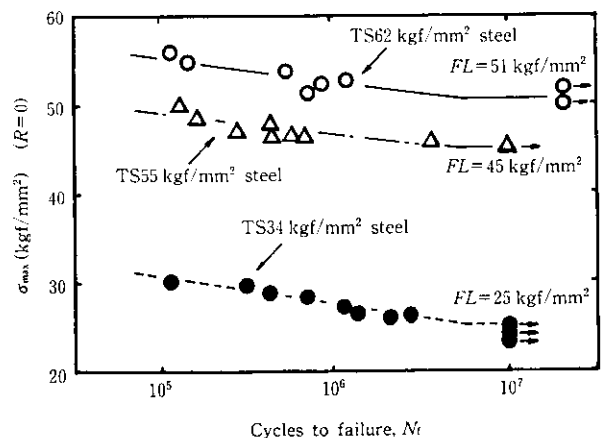


Fig. 16 Fatigue behavior of hot-rolled steel sheet

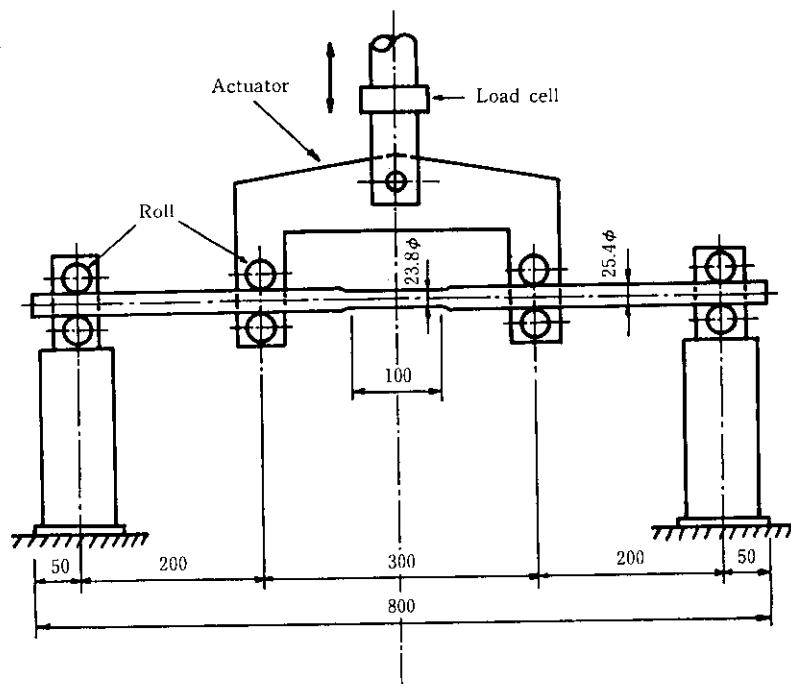


Fig. 17 Bond fatigue test method of pipe

高張力鋼板は 82% と高く優れた特性を有する。

(2) 高張力鋼管の疲労特性

60 kgf/mm² 級の高張力鋼管, およびそれと同一強度レベルを有する STKS 1C のシームレス Cr-Mo 鋼管について 4 点曲げ疲労試験を実施した。試験方法を, Fig. 17 に示す。試験片中央部を切削により小径化し, 剛性が高い鋼管でもクラックが中央部に発生するようにした。試験条件は両振りの荷重制御で行い, 繰返し速度を 8Hz とした。また応力は次式より求めた。

$$\sigma = M/Z = \frac{\frac{F}{2} \cdot a}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}} \quad (1)$$

M : モーメント (kgf·mm)

F : 加振力 (kgf)

D : 外径 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

a : 加振点の距離 (mm)

d : 内径 (mm)

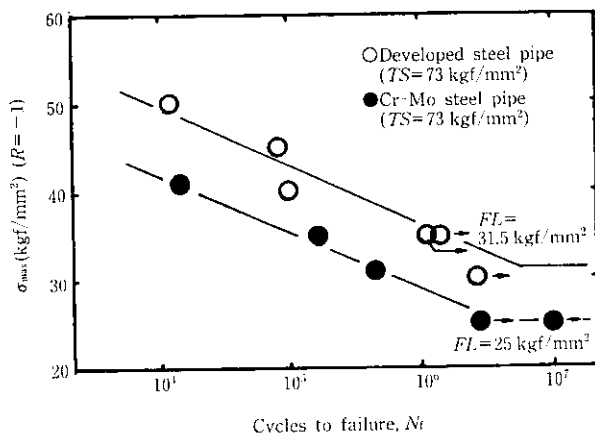


Fig. 18 Fatigue behavior of high strength pipe (pipe size: 1.6 x 25.4 φ)

試験結果を Fig. 18 に示す。高張力鋼管の疲労限は, Cr-Mo 鋼管より高い値を示す。両振りの場合の疲労限を原管の引張強さとの比で表わすと Cr-Mo 鋼管の 37% に対して高張力鋼管は 43% と高く優れた疲労特性を示す。この理由としては, 高張力鋼管の降伏強さが Cr-Mo 鋼管より高いためと考えられる。

(3) 高張力鋼管の T 字溶接継手疲労特性

鋼管の曲げ疲労試験を実施した同一サンプルについて, Fig. 19 に示す T 字溶接継手疲労試験を実施した。試験条件は両振りの荷重制御で繰返し速度は 10 Hz とした。応力は曲げ疲労試験同様次式から求めた。

$$\sigma = M/Z = \frac{W \cdot l}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}} \quad (2)$$

M : モーメント (kgf·mm)

Z : 断面係数 (mm³)

W : 加振力 (kgf)

D : 外径 (mm)

l : 加振点迄の距離 (mm)

d : 内径 (mm)

試験結果を Fig. 20 に示す。高張力鋼管の疲労強度は, 低サイ

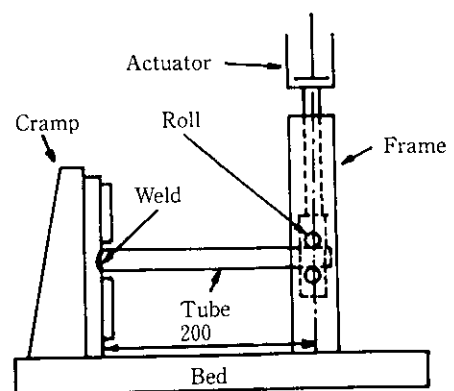


Fig. 19 Fatigue test method of T type welded tube joint

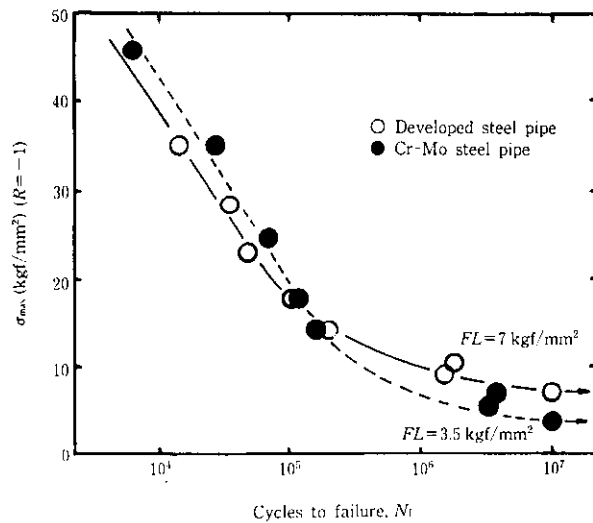


Fig. 20 Fatigue behavior of T type welded pipe joint (pipe size: $1.6 \times 25.4 \phi$)

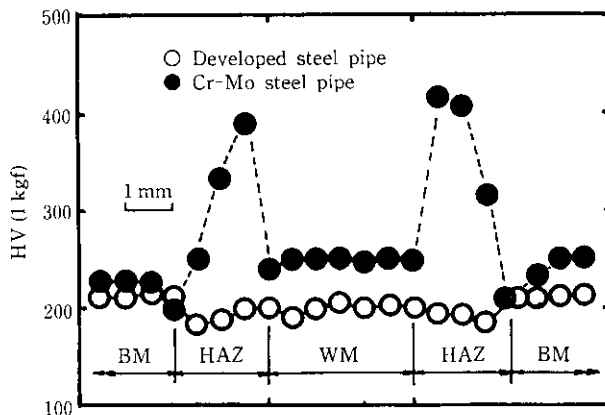


Fig. 21 Hardness profile of arc welded portion

クル側で若干劣るが高サイクル側ではむしろ Cr-Mo 鋼管より優れた結果を示す。疲労限は Cr-Mo 鋼管の 3.5 kgf/mm^2 に対し、高張力鋼管は 7 kgf/mm^2 と 2 倍の値を示す。高張力鋼管に比較して Cr-Mo 鋼管の疲労限が劣る理由としては、Fig. 21 に示すように溶接熱影響部の硬化の影響が考えられる。曲げ応力に対してすみ肉溶接トウ部に応力集中があり、その部分が焼入硬化している Cr-Mo 鋼管は切欠感受性が高くなり、結果として疲労強度が低下したものと考えられる。

3.4 造管加工度による引張強度変化

一般に鋼管の引張特性は板厚 (t) と径 (D) の比 (t/D)、すなわち加工度に依存する。鋼管の引張強さに応じて最適な素材強度を設計するうえで、この加工硬化量を把握しておくことが必要となる。同

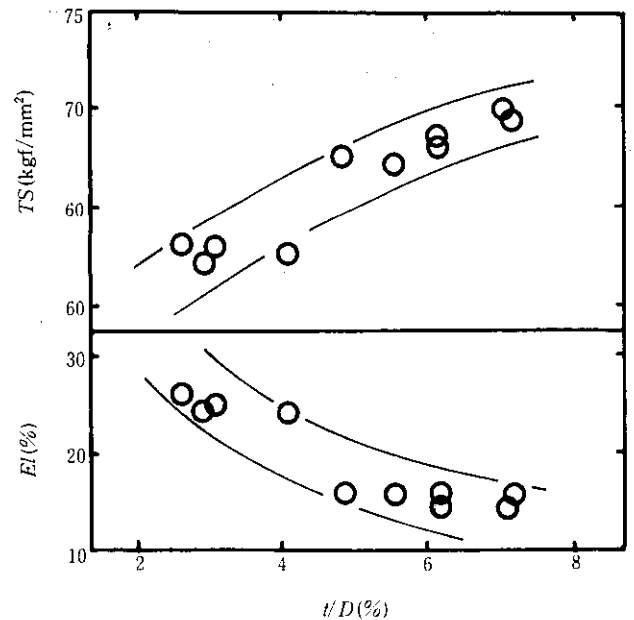


Fig. 22 Relation between t/D ratio and tensile properties of pipe (TS of steel sheet 57 kgf/mm^2)

一コイルの開張鋼でパイプの径を変化させた場合の引張強さと伸びの調査例を Fig. 22 に示す。パイプ径が大きく、薄肉の場合には母板強度に対して造管後の引張強さの上昇は少ないが、 t/D が大きい場合、とくに 6% 以上の t/D では 10 kgf/mm^2 以上の強度上昇があることを示している。このように t/D によっては、素材強度レベルを低くした製造も必要となってくる。

4 結 言

自動車や二輪車用、さらには各種機械構造用への適用を目的に新しい高張力鋼管素材と鋼管を開発した。この鋼板および鋼管の特徴は以下のとおりである。

- (1) Ti の析出強化を利用した低 C、低 C 当量の高張力鋼である。
- (2) 電縫溶接部の硬化が少ないので、熱処理することなく切削性や加工性が優れている。
- (3) 溶接が容易で継手強度に優れ、疲労強度にも優れている。
- (4) 従来の炭素鋼や合金鋼の高張力鋼管に比較して、熱処理が不要で、かつ合金成分が少なく安価である。
- (5) 切削、溶接、加工などにおける生産性の向上が図れる。

おわりに、本研究の造管から貴重なデータ提供まで多くの協力を頂いた日本パイプ製造 (株) 管理本部製品開発・生産管理山田英治部長と市川製造所の西村弘氏に深く感謝致します。また溶接疲労試験について、溶接施工と試験方法について協力を頂いた (株) 本田朝霞研究所の渡辺昌征研究員と石田正雄氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 宮里昭男, 河崎政一: 自動車技術, 37 (1983), 30
- 2) 阿部清治, 三谷外二, 飯塚勝雄, 小堀道和, 池田秀雄, 栗原信哉: 日産技報, 18 (1982), 175
- 3) 木村茂夫: 自動車技術, 35 (1981), 898
- 4) 中村正信: プレス技術, 21 (1983) 3, 18
- 5) J. L. Burns, T. L. Moore and R. S. Archer: Trans. Amer. Soc.

Metals, 26 (1938), 1

- 6) I. Takahashi, T. Kato, T. Tanaka and T. Mori: Toughness Characterization and Specifications for HSLA and Structural Steels, ed. by P. L. Mangonon, (1977), p. [AIME]
- 7) 中島泰臣: 日本特許, 特公昭 50-35439