

Fig. 4. Variation of anodic dissolution current of stainless steels with time at each constant potentials after adding 0.2 NaCl to the electrolyte.

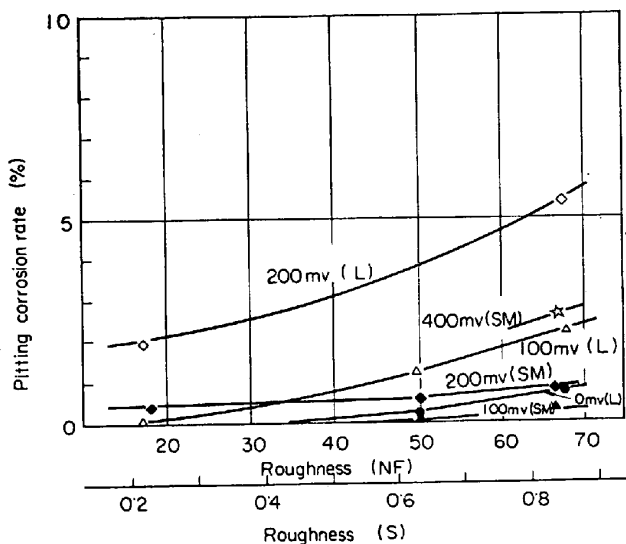


Fig. 5. Effect of roughness on pitting corrosion rate at each constant potentials.

ペンキとステンレスとの境界線に沿って隙間腐食を生じ、これが孔食発生を促進させている。この傾向は表面粗さの大なるものほど隙間を生じやすいため、表面の平滑なものはほとんど内部に孔食の発生が認められるのに対して、これらは境界線に沿って孔食を発生する。

4.4 表面粗さと孔食度

前述のごとく表面粗さの大きなほど孔食感受性は大となり孔食度も著しい。

それぞれの電位に保持した場合の NF 粗さと孔食度の関係を Fig. 5 に示した。

NF 粗度 50 以上、すなわち No. 04 エメリー紙研磨より粗い表面仕上をもつ試験片は孔食感受性が著しく、この傾向は Mo を含まない SUS 28 ステンレス鋼において顕著であった。Fig. 5 に示したように、表面粗さと孔食度の関係は電位が貴になると孔食度も増加するが、表面粗さに対する孔食度の増加の割合は電位に無関係に同様であった。

5. 結 言

表面粗さと孔食感受性について検討した結果つぎの結論を得た。

- 1) 0.1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液中における分極挙動は表面粗さが小さくなるにつれて活性溶解を示さず不動態化域に入り、不動態電流も小さくなる傾向を示した。
- 2) 0.2M NaCl を含む 0.1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液中では SUS 28 ステンレス鋼では表面粗さにより孔食発生電位は変化しないが、Mo を含む SUS 33 ステンレス鋼においては表面粗さが小さくなるほど孔食発生電位は貴の方向に移度し、孔食感受性を減少する傾向を示した。
- 3) 隙間腐食は孔食の発生を促進する。表面粗さの大きなものは隙間腐食を生じやすい。

文 献

- 1) M. A. STREICHER: J. Electrochemical Soc., 103 (1956) 7, p. 375
- 2) N. D. TOMASHOV: Corrosion, 20 (1964) May, p. 166
- 3) F. L. LAQUE: Corrosion Handbook, (1948), p. 413
- 4) 安達: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 663
- 5) W. O. BINDER: Metals Hand book (A. S. M), (1948), p. 557

(170) ボイラ用高張力鋼管 HCS の特性について

住友金属工業, 中央技術研究所  
工博○三好 栄次・行俊 照夫  
〃 鋼管製造所  
小島 浩・川野 和夫

Characteristics of High Strength Boiler Tube (HCS)

Dr. Eiji MIYOSHI, Teruo YUKITOSHI  
Hiroshi KOZIMA and Kazuo KAWANO

1. 結 言

ボイラが高温高圧化するに伴ない、厚肉寸法の鋼管が用いられるようになる。溶接、曲げ加工等の加工性の点からも、鋼管製造技術上の観点からもまた経済的な面からも高温強度の高いボイラ用鋼管の要望が高い。最近高温強度の高い炭素鋼によるボイラ用鋼管 HCS を開発し、実用化し得る段階にいたつたのでその結果を発表する。本報告は HCS のボイラ用材料の材質としての観点から

Table 1. Chemical composition of steels tested.

Steel No.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Specimen
A	0.20	0.30	1.15	0.011	0.007	0.10	50.8 ϕ × 8t, Bar
B	0.20	0.27	1.23	0.017	0.006	0.10	// // Bar
C	0.21	0.31	1.22	0.014	0.007	0.10	// // Bar
D	0.22	0.27	1.20	0.013	0.007	0.10	// // Bar
E	0.22	0.29	1.37	0.015	0.007	0.10	// // Bar
F	0.20	0.29	1.22	0.018	0.005	0.10	38.1 ϕ × 4t, 50.8 ϕ × 7t, 63.5 ϕ × 12t
G	0.20	0.28	1.22	0.018	0.005	0.10	Bar
Spec.	0.18/0.25	0.10/0.35	≤1.50	≤0.035	≤0.035	≤0.20	

Table 2. Tensile strength and impact properties.

Steel mark	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (kg/mm <sup>2</sup> )	El. (%)	Impact value at 0°C
A	55.8	35.8	58	12.8
B	57.2	35.6	55	11.4
C	58.4	37.3	54	9.2
D	58.0	36.5	54	12.9
E	60.7	35.2	54	9.6
F	57.0	35.2	50	11.0
Spec.	≥52.0	≥30	≥25	

ボイラ用として実用化の可能性を検討するための試験結果をまとめたものである。

2. 試験内容

ボイラ用鋼管の材料として具備すべき性質は常温および高温の強度は当然であるが、このほかに塑性加工性、溶接性および耐食性、耐酸化性がともに満足な状態であればならない。

本鋼は 8 t および 50 t 電気炉により溶製された Table 1 に示す 7 charge の材料により試験した。この中の 1 charge は全試験に先行して溶製した材料で予備的な試験に主として使用し、その後 6 charge を溶製して実用化試験に移った。製管された寸法も Table 1 に併記してある。

製管はすべてで u-gine process 冷間仕上げ 後焼準処理を施してある。本鋼管の溶製にあたっては高温用材料として必要な条件は十分に考慮されていることはいうまでもない。

3. 試験結果

3.1 常温における機械的性質

本鋼の目標としている強度の規格および実際の測定値を Table 2 に示した。引張強さ規格値 52 kg/mm<sup>2</sup> 以上に対して平均値 58 kg/mm<sup>2</sup>、最低 55.6 kg/mm<sup>2</sup> で製造状態では余裕のある強度範囲を示している。この強度は従来の STB 42 級の材料よりも強度的には最低 24% の上昇を示すことになり、肉厚減少が期待される。

衝撃値もまた 0°C で 8.0~13.6 kg-m/cm<sup>2</sup> で標準試験片に換算しても常温では通常の構造材料としては十分である。高温用材料の衝撃性質は使用温度が高いので 0°C においては高い値は必ずしも必要ではない。しかし、ボイラ建設時を考慮すれば溶接時に割れを発生しない程度の靱性を必要とする。本鋼は製造状態においては上記条件は十分満足しているものと判断される。

次に、曲げ加工後の靱性を考慮して歪時効試験を実施

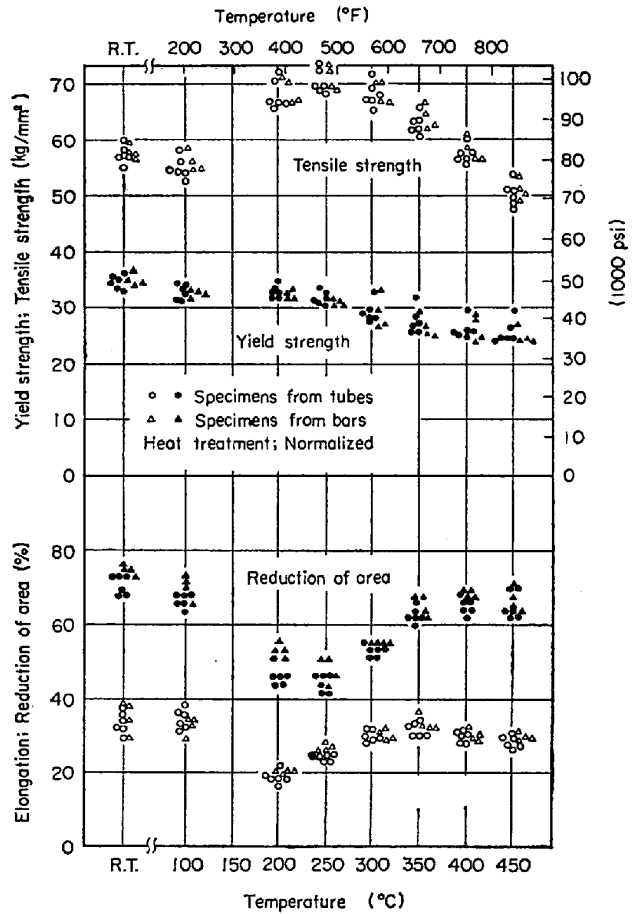


Fig. 1. Elevated-temperature tensile properties of carbon steel. (HCS)

した。10% 引張加工後 250°C で 1 hr 加熱した後衝撃試験により判断した。この結果 vTr 15 は -64°C から +12°C に上昇する。vTr S は Sub-Size の試験片であるので十分ではないが 10°C から 50°C に上昇する。これらの値は従来から使用されている低炭素鋼のボイラ用鋼管とほぼ同程度であつて実用上はさしつかえないものと判断される。

3.2 高温強度

3.2.1 高温引張強さ

試験片は鋼管より採取された 6ϕ × G. L. 40 mm の寸法のもので試験結果を Fig. 1 に示す。引張速度はいずれも 1 mm/min (Cross head speed) である。試験結果では 100°C で僅かに低下するが、200°C ~ 400°C で引張強さは青熱脆性に対応して上昇する。0.2% 耐力

は温度とともに漸減する。

3.2.2 クリープ破断強度

素材より採取された丸棒 (20 mm φ) および鋼管より採取された試験片 (寸法 6 mm φ × G. L. 30 mm) により実施した。試験は現在 13000hr まで実施し、なお継続中であるが現在までの結果を Fig. 2 に示す。これらの結果から単純に内外挿したクリープ破断強度は Table 3 に示す通りである。

この試験結果から本鋼の 450°C の設計応力として 6.9 kg/mm<sup>2</sup> が、また、400°C では 13.8 kg/mm<sup>2</sup> が期待される。これは高温強度としては従来の STB42 の 5.8 kg/mm<sup>2</sup>, 9.0 kg/mm<sup>2</sup> に比べて約 20% の強度上昇が得られることになる。前記常温の性質と考えあわせても本鋼は従来の STB42 に比べて各温度において強度的に少なくとも 20% の上昇を示し、鋼管の肉厚としては使用条件によつて異なるが、10~15% の減少が期待さ

Table 3. Creep rupture strength. (kg/mm<sup>2</sup>)

	400°C			450°C		
	1000hr	10000hr	100000hr	1000hr	10000hr	100000hr
Average	40.0	30.5	23.0	25.1	17.1	11.7
Minimum	37.5	28.5	21.4	22.6	15.5	10.5

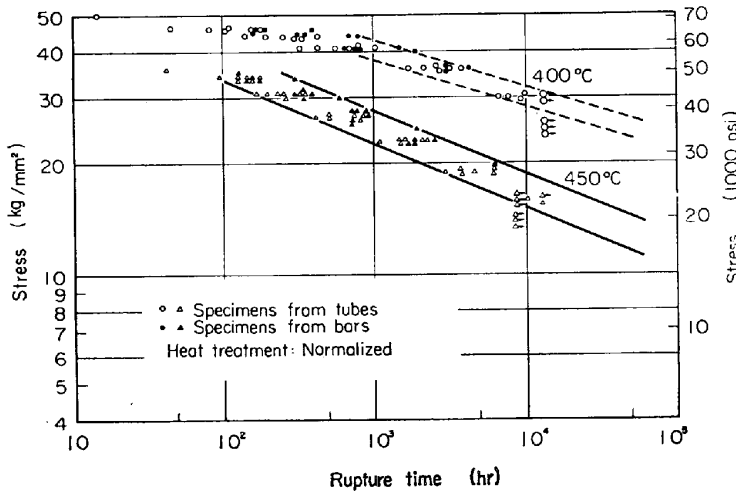


Fig. 2. Rupture stress-time curves of carbon steel. (HCS)

れる。

3.3 溶接性

本鋼の溶接性を調べるため強度的に最高、最低および中間の代表的鋼種として Table 1 の A, C, E の鋼管を用いその溶接継手性能を調べた。溶接条件の詳細はここでは省略するが、溶接法としては被覆アーク溶接で、溶接棒としては HCS 鋼用に開発した HS2-A (住金溶接棒製) を使用した。試験結果を Table 4 に示す。曲げ試験はローラー曲げで、曲げ半径 1.5d である。試験結果は強度的にも曲げ性能も良好であることを示す。

つぎに溶接部における硬度分布および溶接熱影響部の最高硬度を調べた。結果を Fig. 3 に示す。図より認められるように最高硬度も Hv220 程度であり、特に後熱の必要もないものと判断される。ボイラ用鋼管としては最高肉厚でも 12 mm を越えることはまずないので、本鋼は十分溶接性を持っているものと考えられる。

3.4 耐食性

本鋼の高温高圧水に対する耐食性が従来使用されているボイラ用炭素鋼鋼管に比べて特に悪いとも考えられないが、念のため試験を実施した。

試験片は鋼種 F で外径 50.8 mm, 肉厚 7 mm の鋼管より腐食試験片として長さ 40 mm, 巾 10 mm, 厚さ 3 mm の短冊型試験片を採取した。カプセルに封入して、35, 60, 160°C の各温度で 100hr 試験したものと 280°C, 340°C についてはオートクレーブ中で試験したものとある。使用した水はイオン交換水で pH = 5.9 で比液量 55cc/枚である。比較材として従来使用されている STB 35, STB 42, に相当する HCO, H20 を採用した。

試験結果を Table 5 に示す。この結果、数字的には HCS の方が耐食性がよいことになるが、実質的にはこれらの鋼種の差はないものと考えられる。

3.5 耐酸化性試験

ボイラ用鋼管は空気中で加熱されるので高温耐酸化性の必要なことはいうまでもない。鋼種 G について外径 5 mm 長さ 40 mm の丸棒の試験片で酸化試験を実施した。加熱温度は 450°C, 500°C, 550°C とし、加熱時間は 1000 hr である。実際に使用される温度は 450°C 以下の温度であるが、試験時間が短いので加熱温度を上げて加速す

Table 4. Tensile and bend test of weld joints.

Steel No.	Chemical composition (%)			Heat treatment after weld	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Fracture position	Fault in weld metal	Face bend	Root face bend
	C	Si	Mn						
A	0.20	0.30	1.15	as weld	58.7 59.1	* Mother material	none "	O.K. "	O.K. "
C	0.21	0.31	1.22	as weld	63.3 63.6	"	"	"	"
E	0.22	0.29	1.37	as weld	63.7 63.4	"	"	"	"

\* Mather material and heat affected zone

ることとした。

試験結果を Table 6 に示す。この結果より HCS は H2O に Table 6 比べて耐酸化性は優れてこそあれ、劣

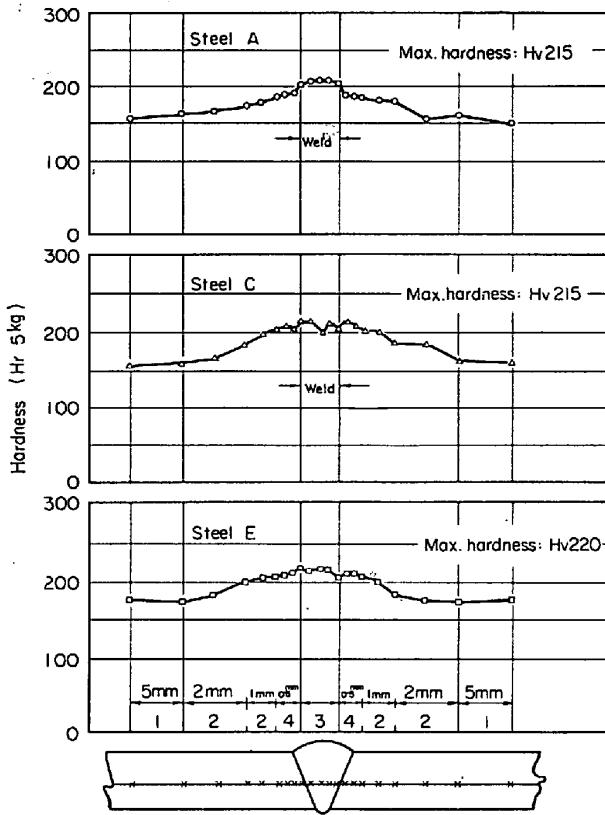


Fig. 3. Hardness distribution on weld joint. (As weld)

Table 5. Results of corrosion test.

S \ T	Reduction of corrosin mg/cm <sup>2</sup> 100hr				
	35	60	160	280*	340*
HCS	0.383 0.373	0.712 0.655	1.995 2.112	1.085 1.176	0.587 0.619
HCO	0.384 0.366	0.730 0.785	3.668 2.119	1.421 1.446	0.617 0.615
H2O	0.374 0.392	0.873 0.748	2.092 2.385	1.439 1.428	0.637 0.638

\* Test in autoclave  
S: steel T: temp. (°C)

Table 6. Results of metal loss test.

Steel \ T	Chemical composition (%)			Metal loss (mg/cm <sup>2</sup> )		
	C	Si	Mn	450	500	550
HCS	0.20	0.28	1.22	5.26	5.64	14.4
H2O	0.20	0.27	0.61	5.52	5.93	22.9

T: temp. (°C)

るということはないことがわかる。

4. 結 言

HCS について材料強度、靱性、溶接性、化学的性質について検討し、ボイラ用鋼管として使用しうる見とおしが得られたのでこれを実用化すべく、次の開発段階に入ることとした。実用化試験については別途報告する。HCS は常温強度 52 kg/mm<sup>2</sup> で従来のボイラ用炭素鋼管に比べて約 20% 強度が高い材料であつて、ボイラに使用して経済的であり、ボイラ建設上も肉厚を薄くすることにより種々の便益の得られる鋼管となりうることを確認した、本鋼管は現在特許を申請中である。

最後に、本研究に当たつては常務取締役住友元夫氏、取締役池島俊雄氏の指導の下に遂行されたものであることを付言し、あわせて謝意を表する次第である。

(171) ボイラ用高張力鋼管 HCS の実用化について

住友金属工業、中央技術研究所

工博○三好 栄次・行俊 照夫

〃 鋼管製造所

小島 浩・川野 和夫

Utilization of High Strength Boiler Tube (HCS)

Dr. Eiji MIYOSHI, Teruo YUKITOSHI

Hiroshi KOZIMA and Kazuo KAWANO

1. 緒 言

ボイラ用高張力鋼管 HCS のボイラ用材料としての実用性について確信を得たのでさらに大量生産を行ない、量産状態における鋼管の性質および曲げ加工性、溶接性など実際に使用時の問題点の検討を行なつた。本鋼管はいずれも 50 t 電気炉で溶製され、ugine process で製管された。冷間仕上げ後の熱処理は焼ナラシのみである。生産された鋼管は総量 40 t を越えるものであつて、この中から任意に抽出された鋼管 11 本について確信試験を実施し、さらに加工性、溶接性が検討された。

2. 試 験 結 果

2.1 実用試験

上記 11 本について通常のボイラ用鋼管として必要な実用試験を実施した。供試した鋼管は 50.8φ×6.1 t 6 本、50.8φ×6.2 t 1 本、50.8φ×6.6 t 3 本、45φ×6.1 t 1 本で、いずれも最終熱処理として連続光輝焼鈍炉で 900°C 焼ナラシされたものである。これらについて鋼質試験(成分、マクロ、ミクロ組織、サルファプリント、ミクロ清浄度、結晶粒度)、機械的性質(シャルピー衝撃値、カタサ、引張り)および実用試験(ヘン平、押しヒログ)を行なつた。その結果をまとめて Table 1 に示す。

鋼質および実用試験結果は従来のボイラ用炭素鋼と同様であり、引張強サはいずれも 53 kg/mm<sup>2</sup> 以上で規格値 52 kg/mm<sup>2</sup> を満足している。

2.2 曲げ加工試験

曲げ加工試験として冷間および熱間曲げ試験を実施し