ることとした．

試験結果を Table 6 に示す．この結果より HCS は H20 に Table 6 比べて耐酸化性は優れてこそあれ，劣

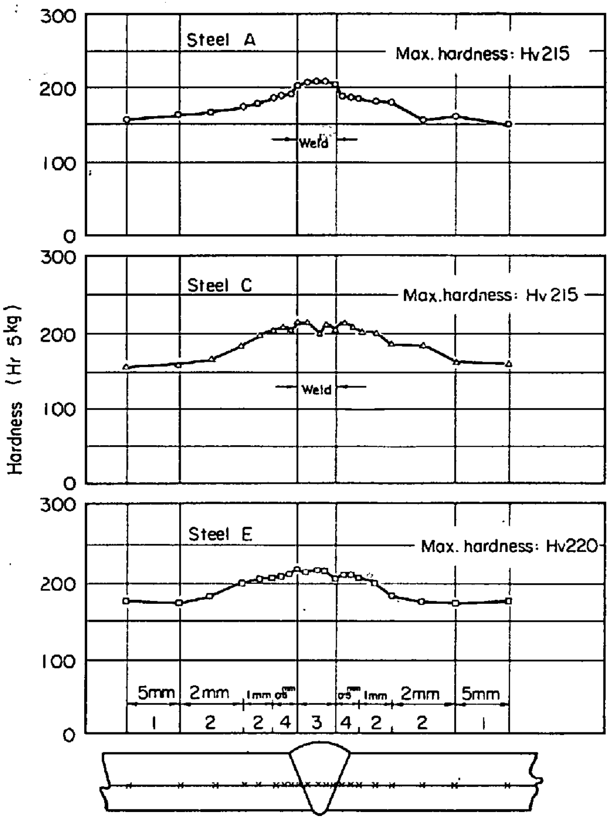

Fig. 3. Hardness distribution on weld joint. (As weld)

Table 5. Results of corrosion test.

S \ T	Reduction of corrosin mg/cm² 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/cm²)		
	C	Si	Mn	450	500	550
HCS H2O	0·20 0·20	0·28 0·27	1·22 0·61	5·26 5·52	5·64 5·93	14·4 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/mm² 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ままである．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 本について確性試験を実施し，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，押シヒロゲ）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/mm² 以上で規格値 52 kg/mm² 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

Table 1. Results of practical tests.

Item		Results	Spec.
Steel quality test	Chemical analysis	C : 0·19～0·22, Si : 0·27～0·32, Mn : 1·14～1·28 $C_{eq.}\left(C+\frac{Mn}{6}+\frac{Si}{24}\right)$: 0·403～0·443	C : 0·18/0·25 Si : 0·10/0·35 Mn : ≦1·50
	Micro-cleanness	A : 0·008～0·059; B : 0～0·008; C : 0·006～0·063; A+B+C : 0·048～0·084	
	Austenite grain sige	No. 4·3～5·1	
Mechanical properties	Hardness	80·2～84·7 HrB	
	Charpy impact value	0°C : 14·8～18·9 kg-m/cm², 20°C : 15·0～18·2 kg-m/cm²	
	Tensile property	T.S. : 53·1～57·4 kg/mm², Y.S. : 33·2～37·7 kg/mm², El. : 48～55%	T.S.≧52 kg/mm², Y.S.≧30 kg/mm², El.≧25%
Practical test	Flat test	$H=(1+0{\cdot}07)t/(0{\cdot}07+t/D)$: 31·8～35·6	
	Flare test	Diameter ratio : 1·44～1.74	≧1·20

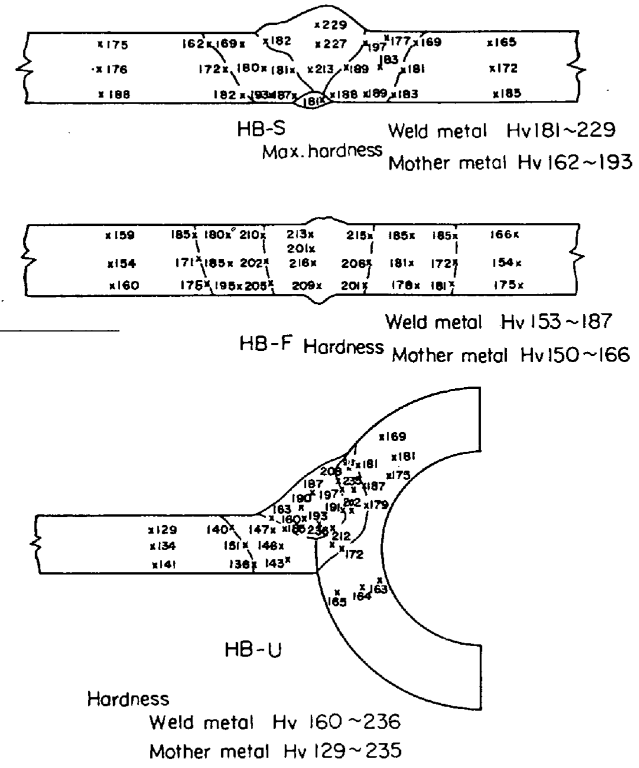

Fig. 1. Hardness test in weld joint.

Table 2. Results of hot bend test.

Bend method	Bend angle	El. (%) G. L. = 12 mm	Results
Face bend	180°	61·2	O.K.
Root face bend	180°	65·4	O.K.

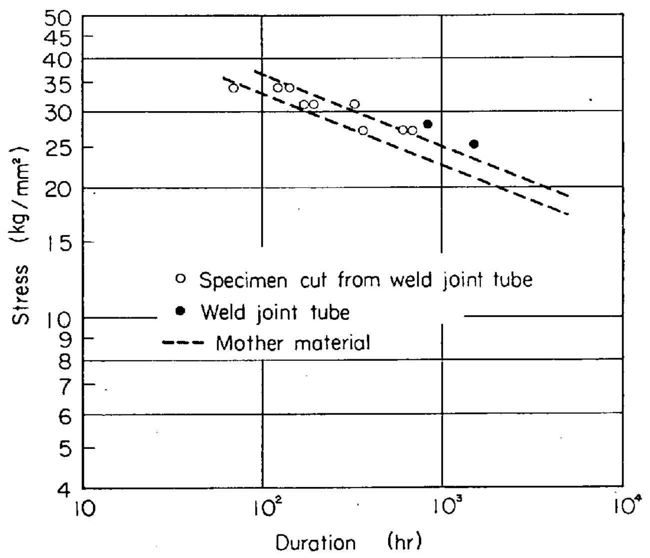

Fig. 2. Rupture stress-time curves. (450°C)

た．前者では 4 チャージの鋼管（50·8ϕ×8 t）各 2 本について芯金を用い，曲げ半径を 1·5 d の 180° 曲げを行ない，後者については 1 チャージの鋼管について芯金なしで圧縮側を約 900°C に加熱し，加熱後ただちにベンダーにて曲げ半径 67 mmR で加工を行なつた．加工後曲げ部の内外面をダイチェックにより疵の有無を検査した．

いずれも曲げ部内外に欠陥も認められず良好な曲げ性質を示した．また，曲げ加工部の寸法測定，カタサ，マクロおよびミクロ組織の各試験結果からも実用に適することが分つた．

2·3 溶接性

溶接材としては管を突合せ溶接したものおよびフイン（SS 41）を溶接したものの 2 種類を使用し溶接を行なつた．突合せ溶接としては手溶接（ただし 1 層目は TIG 溶

Table 3. Tensile properties of weld joint.

Weld method	Test temperature (°C)	Y.S. (kg/mm²)	T.S. (kg/mm²)	El.(%) G.L.=50mm	Fracture position
Manual welding (HS2-A)	R.T. 450	37·3 28·9	58·8 49·7	23·8 20·5	Mother material 〃
Flash-butt welding	R.T. 450	39·2 26·2	60·0 49·8	19·5 20·0	〃 〃

Table 4. Bend-results of weld joint.

Weld method	Bend condition	El.(%) G.L.=12mm	Results
Manual welding (HS2-A)	Face Root face	63·3～69·2 61·8～70·2	Good 〃
Flash-butt welding	Face Back	60·1～61·7 59·1～61·6	〃 〃

Table 5. Charpy impact value of weld joint. (at R.T.)

Weld method	Notch position	Impact value (kg-m/cm²)
Manual welding (HS2-A)	Mother material Weld metal Fusion line Heat affected zone	10·4～11·1 7·5～ 8·1 13·6 11·7～13·0
Flash-butt welding	Mother material Weld metal Fusion line Heat affected zone	9·8～11·7 4·2～ 4·7 8·6～ 9·2 10·4～11·7

接，住金溶接棒製 HS 2-A)，およびフラッシュバット溶接を行ないフインの溶接はユニオンメルト自動溶接によつた．それらの溶接方法および溶接条件の詳細はここでは省略する．

供試材としてフラッユバット溶接用に 50·8φ×7 t 鋼管，手溶接およびフイン溶接用には 50·8φ×8 t 鋼管を用いた．溶接材について継手引張，曲げ試験および溶接部のカタサ，衝撃試験を実施し，マクロ，ミクロ組織も調べた．それらの結果をTable 3～5, Fig. 1 に示す．

手溶接およびフラッシュバット溶接継手部の常温および 450°C における引張強サは母材のそれとほぼ同等の値を示し，曲げ延性も良好であり，衝撃値も満足すべきものであつた．また，手溶接部，フラッシュバット溶接部およびフイン溶接部の各部における硬度も最高 Hv 235 程度であり，総じて本鋼は良好な溶接性を有するものと考えられる．

さらに溶接継手について鋼管より採取した試験片のクリープ破断試験および継手鋼管による鋼管ラプチャー試験を行なつた．その結果を Fig. 2 に示す．いずれも破断は母材で生じており，溶接部の良好なることを示している．

4. 結　　言

高張力鋼管をボイラ用として使用するための鋼管の材料について研究を実施し，さらに実用化するための量産性および加工性について検討を行ないその成果の一部について述べた．これら一連の研究の結果その性能を確認することができたので知多火力発電所 3 号缶の節炭器管に採用されることとなつた．今後ともその性状については検討を続ける考えである．

なお最後に当たり，本研究は当社常務取締役住友元夫氏，取締役池島俊雄氏のご指導により遂行され，また三菱重工株式会社技術本部神戸研究所，神戸造船所，高砂製作所の方々の多大のご指導とご協力を得たことを報告し，厚く謝意を表したいと考えます．

---

(173) Si キルド鋼の等温加熱による窒化物析出と高温強度の変化

住友金属工業，中央技術研究所
工博　三好栄次・○岡田隆保・仲山　剛

Nitride Precipitation in Silicon-killed Steel during Isothermal Heating and Its Influence on Creep Strength

Dr. Eiji MIYOSHI, *Takayasu* OKADA and *Tsuyoshi* NAKAYAMA

1. 緒　　言

Si キルド鋼のクリープ強度は 600～700°C における高温加熱によつてかなり低下する．この現象は大型圧力容器の溶接部の応力除去焼鈍に伴う高温強度の低下と関連して注目され，かなり多くの研究が行なわれており[1)～10)]，この強度低下の主な原因は加熱中に Si の窒化物が析出し，鋼中の固溶窒素量が減少するためであることも明かにされている．

しかしながら，これらの研究においてはおもに熱処理と高温強度の関連に検討の重点がおかれ窒化物の析出挙動についてはほとんど追究されていない．Si キルド鋼におけるこのような窒化物の析出は上述の問題とともにさらに一般的に，N の高温強度への効果，たとえばその温度依存性，強化機構などとも関連して重要と考えられるのでその詳細を検討することとした．

本報においては主として，500～700°C の温度域における窒化物の析出挙動，ならびにこれに伴うクリープ強度の変化について述べる．

2. 供試鋼と実験方法

供試鋼は 100 kg 高周波炉で溶製された Si キルド鋼でその化学成分を Table 1 に示す．これを 18 mmφ に鍛伸し，鍛造のままおよび 900°C×1hr 空冷材に 500～700°C の間で 50°C おきに 5000hr までの等温加熱を