

350 35kg/mm<sup>2</sup>

Development of a Steel Plant for Pressure Vessels Having Yield Strength over 35kg/mm<sup>2</sup> at 350

(Hiroshi Mori)

(Nobuo Ohashi)

(Akio Kamada)

(Keisuke Hirose)

(Syuzo Ueda)

(Noboru Nishiyama)

(Komei Shimazu)

(Fujio Kuze)

:

Mo

Nb

Al

				Y.S. 44kg/mm <sup>2</sup>	T.S. 60kg/mm <sup>2</sup>	El.
18	350	Y.S. 35kg/mm <sup>2</sup>		VEO 3.2kg m		
			0	424.0kg	mm/mm <sup>2</sup>	
		24.3	60.6kJ/cm			
	550...	620	<sup>3</sup> 450min	S.R.		

Synopsis :

The Al-killed fine grain steel, KHY 35, containing small amounts of Mo, V and Nb and having yield strength over 35kg/mm<sup>2</sup> at 350 has been developed. This steel is suitable for pressure vessels at moderate temperature below "creep range" which are designed in accordance with the ISO standards of high stress. The normalized and tempered steel plate (75mm thick) of an industrial heat shows normal sulfurprint and macro-etched structure and satisfies the specification: the yield strength ( 44kg/mm<sup>2</sup>), the tensile strength ( 60kg/mm<sup>2</sup>) and the elongation ( 18%) at room temperature, and also the yield strength ( 35kg/mm<sup>2</sup>) at 350 in tensile tests, and absorbed energy (

fatigue strengths at R.T. and 350 of base plates and weld joints are also good. Large diameter head plate was formed by hot spinning and it was found good in strength, ductility and toughness.

(c)JFE Steel Corporation, 2003



中・常温圧力容器用 350°C 降伏強度  $\geq 35 \text{kg/mm}^2$ 

## 保証鋼の開発

Development of a Steel Plate for Pressure Vessels Having Yield  
Strength over  $35 \text{kg/mm}^2$  at  $350^\circ\text{C}$ 

森 裕\*

Hiroshi Mori

大橋 延夫\*\*

Nobuo Ohashi

鎌田 晃郎\*\*\*

Akio Kamada

広瀬 圭介\*\*\*\*

Keisuke Hirose

上田 修三\*\*\*

Syuzo Ueda

西山 昇\*\*\*\*\*

Noboru Nishiyama

嶋津 好明\*\*\*\*\*

久世 富士夫\*\*\*\*\*

Komei Shimazu

Fujio Kuze

## Synopsis:

The Al-killed fine grain steel, KHY 35, containing small amounts of Mo, V and Nb and having yield strength over  $35 \text{kg/mm}^2$  at  $350^\circ\text{C}$  has been developed. This steel is suitable for pressure vessels at moderate temperature below "creep range" which are designed in accordance with the ISO standards of high stress.

The normalized and tempered steel plate (75mm thick) of an industrial heat shows normal sulfurprint and macro-etched structure and satisfies the specification: the yield strength ( $\geq 44 \text{kg/mm}^2$ ), the tensile strength ( $\geq 60 \text{kg/mm}^2$ ) and the elongation ( $\geq 18\%$ ) at room temperature, and also the yield strength ( $\geq 35 \text{kg/mm}^2$ ) at  $350^\circ\text{C}$  in tensile tests, and absorbed energy

容器を軽量化する可能性が検討されつつある。容器の軽量化は、本体価格はもちろんのこと、基礎工事費、輸送費などを含めたプラント全体の経済性を高めるには大きな効果があることは明白である。

でのみ1.5とする高応力設計が行われている。

ISOも圧力容器規格の国際標準化を図り、原案DIS 2694 "Pressure Vessels" を作成したが、

る。さてこのためには容器の肉厚を薄くすること、換言すれば高応力設計を行うことが必要であり、またそれを実現するためには使用温度において必要な高強度を保証する鋼材が不可欠である。一方、わが国の圧力容器に関する法令は、

設計温度における降伏強さに対して1.5を採用し、その小さい方の応力で設計する基準を設けた（昭和52年8月現在未採択）。

このような状況において、わが国でも高応力設計の適用は、

鋼 RHW35/t Rheinstahl社が開発したMo-Ni-Cr 鋼純白口並差鍛造を委員長とするHTV (High

鋼 RHW35/t Rheinstahl社が開発したMo-Ni-Cr 鋼純白口並差鍛造を委員長とするHTV (High

型に下注ぎした。これをユニバーサル式分塊圧延機により分塊圧延後、4重逆転式厚板圧延機を用いクロスローリング法により板厚75mmに圧延し

### 3・1・2 機械的性質

この鋼板について、常温および高温引張試験

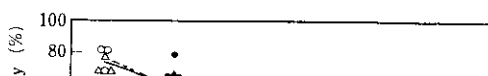
連続炉で930°C×75min→A.C.の焼ならしを、つづいてローラーハース式直火連続炉で650°C×150

島津製作所製10tオートグラフ引張試験機を用い、常温～500°Cの種々の温度で引張試験を行っ

の化学組成 (Table 3 参照) はその後制定された日本溶接協会規格 JMS 35 を満足するものであり

張速度は常温試験では試験開始から終了までクロスヘッド移動速度制御で5mm/min、100°C以上の

が 300°C 近傍では減少傾向はやや緩慢である。一方、T.S.は試験温度の上昇に伴い最初急激に減少

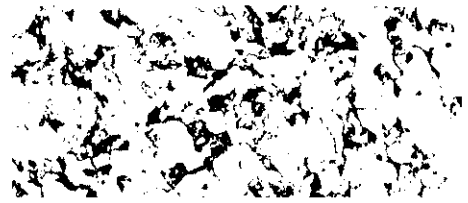


止特性はこの種鋼材としては十分であるといえる。

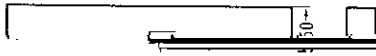
### 3-1-3 組織

#### (1) 顕微鏡組織

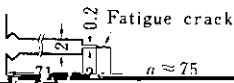
板厚内1/4部および1/2部の顕微鏡組織を観察した結果、いずれもほぼ同様の微細なフェライト、







合にも成立することが認められている<sup>6)</sup>

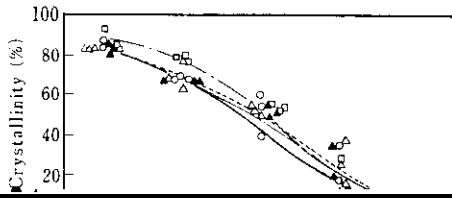


ここで、 $K_{Ic}$  値を用いて鋼板の使用条件と許容欠陥寸法の間係を求めるとつぎのとおりである。

定されている最大仮想欠陥寸法( $a = t/4, 2c = 6a$ ) ピー衝撃試験を行った。試験結果を **Table 8** に示  
 に相当するものである。この欠陥寸法は ASME 準時効による脆化は認められず、準時効

Fig. 8 母材の超音波探傷検査の標準値と比べると、その脆化は認められず、準時効による脆化は認められず、準時効

積で150倍、Sec. XIの超音波探傷試験のそれに比 暫定規格 (PMS35の規格) 十分満足する靱性を示  
 べると面積で10倍の大きさを有するもので、きわ した。  
 めて安全側の評価を与えるものである。Fig. 8よ つづいて、種々の条件でS.R.処理を施した母材



微であり、いずれのS.R.処理材も $v_{Trs}$ が+2°C以下の高い靱性を示した。

### 3-3 溶接性試験

溶接硬化性および溶接われ感受性をWFSにて

さらに、溶接部の応力除去焼鈍時のわれ感受性を明らかにするために、Fig.13に示す再熱われ試験を行った結果をTable 9に示す。歪付加ビード80パスで表面および断面われ率とも0であり、再

た。試験結果をTable 11に示す。被覆アーク溶接継手およびサブマージアーク溶接継手（入熱量45および61kJ/cm）のas weld. 材および(550°、590°、620°C)×450min S.R.材の常温および350°Cにおけ

Welding	Welding			Diameter	Welding	Arc	Welding	Heat-	Preheating	Welding pass
	rod name	Chemical design	Pass No.	(mm)	method	condition	method	input	and inter-	

表曲げおよび裏曲げの自由曲げ試験 (試片厚さ 30 規格 3.2kg・m以上) を行った。またそれらの  $0.1\sigma_{E_{1.00}}$

景 44.6kI/cm のもののみ) を行った。as weld 材 (上) を十分満足する高い値を示した。

Table 13 Results of 3mm U-notch Charpy impact tests at 20°C of welded joints

1.1/cmのサブマージアーク溶接も行われ、組立ては両面がより、プラックの非欠点状態にあり

2.1.1 材の硬さの最高値は、 $Hv\ 900$  以上で、これは、 $550^{\circ}\text{C}$  以上で溶接熱による硬化が、 $550^{\circ}\text{C}$

314であり、 $550^{\circ}\sim 620^{\circ}\text{C}$  S.R.材のそれは  $Hv\ 295\sim$  における低サイクル疲労特性を調べた。溶接継手



結果を ASME Sec. VIII Div. 2, TRD301, BS5500 の各規格に示される疲労設計曲線と比較して Fig.17

た。鏡板の寸法および熱間加工条件を Table 15 および Fig. 18 に示す。

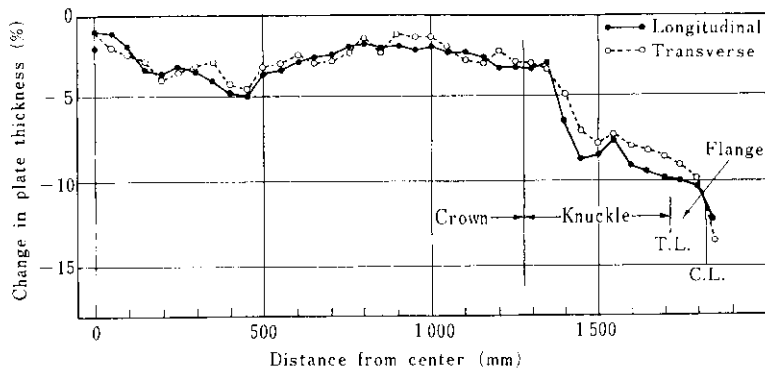


Fig. 19 Change in plate thickness by head-plate-forming

(9) 常温における引張試験結果

(10) 加工後の引張試験結果

常温における引張試験では、Table 16に示すように、加工のままではクラウン部にみられるようにやや低いY.S.を示すことがあるが、加工後S.R.処理を行なうとY.S.は上昇し、クラウン部、ナック

加工のままおよび加工後S.R.処理を施したクラウン部、ナックル部およびフランジ部について衝撃試験を行った結果をTable 16に示す。これらの試験結果は母材の規格値と比較して、母材の規格値を上まわ

Table 17 Results of high temperature tensile tests of formed head plate at high temperature of 350°C

以上に記述したとおり、KHY 35厚鋼板は中・常  
温圧力容器用鋼として良好な母材性能をもち、加

る<sup>3)</sup>。

終わりに、本研究の遂行にあたり終始御指導を

工性および溶接性に優れ、そのうえ経済性をも兼  
備した鋼材であることが明らかになった。

賜りましたHTY委員会委員長千葉大学鶴戸口英善  
教授に深甚の謝意を表します。また研究結果の

なお本報では実績を紹介しなかったが、HTY  
委員会のメンバーであるバブコック日立(株)、日立

討議に参加いただき、有益な御助言を賜りました  
HTY委員会委員各位に深く感謝します。さらに

扱による溶接材料と独自の溶接施工条件のもとで  
溶接継手を作製し、接性能の調本が行われ、KHY

鏡板加工性試験について多大の御尽力をいただき  
ました(株)北海鉄工所濱田晋作氏に厚く御礼申し上げます。