

JAERI-M  
5297

A542Class 1 鋼および溶接部の性能試験

1973年6月

藤村 理人・古平 恒夫・薄田 寛<sup>\*</sup>・安藤 智純<sup>\*</sup>

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

A542 Class 1 鋼板および溶接部の性能試験

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

藤村 理人・古平 恒夫

薄田 寛\*・安藤 智純\*

(1973年5月24日受理)

高温ガス実験炉の建設にあたって、圧力容器に使用する鋼材を選定することは重要な課題となっている。軽水炉では圧力容器鋼材として、日本およびアメリカでは、ASTM A533C $\ell$ 1鋼を、ヨーロッパではA508C $\ell$ 2鋼を現在使用している。高温ガス炉においても、鋼製圧力容器を採用するときは、これらの鋼材が候補になるが、軽水炉より設計温度が約100℃高く、450~500℃であることと、さらに、構造安全性を一段と高めるために、高強度のA542C $\ell$ 1鋼の使用を考えることは技術開発の進展方向に合致している。

しかしながら、新鋼種を圧力部材として採用する場合は、十分な確性試験を必要とする。本研究はその第1次試験の報告である。なお、本成果は軽水炉圧力容器鋼材に対する応用も十分考慮できる。

---

\* 三菱重工株式会社神戸研究所材料研究室

Performance Tests of A542 Class 1 Heavy  
Section Steel and its Weld for Nuclear Vessels

Tadato FUJIMURA, Tsuneo KODAIRA, Hiroshi SUSUKIDA\*  
and Tomozumi ANDO\*

Division of Reactor Safety, Tokai, JAERI  
( Received May 24, 1973 )

With increase in size of a nuclear pressure vessel, integrity of the vessel materials assumes special importance. In the high-temperature gas cooled experimental reactor, being planned in the JAERI, the design temperatures of pressure components are 450 to 500°C, about 100 deg.C higher than those in light-water cooled reactors. Under this condition, ASTM A542 C&.1 steel is the most useful, considering fabrication of the vessel.

This material, however, is not with much experiences for nuclear use, though used plentifully in the chemical industry. The results of performance tests on the following are described:

- 1) Manufacture of the material,
- 2) welding performance, and
- 3) mechanical and metallurgical characteristics.

\* Kobe Technical Institute, Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

## 目 次

1. まえがき	1
2. 試験の概要	1
2.1 試験の目的	1
2.2 試験の内容	1
2.3 試験の日程	3
3. 試験要領	4
3.1 供試鋼板	4
3.2 溶接材料	4
3.3 溶接施工	4
3.4 溶接施工検査	4
4. 試験結果	7
4.1 化学分析	7
4.2 引張試験	8
4.3 衝撃試験	8
4.4 WOL 試験	8
4.5 WOL 試験の破面観察	14
4.6 かたさ試験	14
4.7 マクロ組織試験	14
4.8 ミクロ組織試験	14
4.9 清浄度，結晶粒度の測定	14
5. 試験結果の考察	24
5.1 供試材について	24
5.2 溶接材料および溶接施工について	28
5.3 供試材の性能について	28
5.4 溶接継手の性能について	28
5.5 照射ぜい化について	30
6. まとめ	34
付録 供試材注文仕様書	35

## 1. ま え が き

原子炉の核熱エネルギーの効率的利用開発を目的とした多目的高温ガス実験炉の炉容器材料としては $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼板が候補材となつている。

本材料において完全焼なまし、あるいは焼ならし・焼もどしを施工した比較的低い強度の鋼材はASTM A387 GrDとして規定されており、従来から火力発電用および石油化学用として広く使用されている。

一方、最近では、プラントの大型化による機器、構造の大形化に対処するため、 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼に焼入れ・焼もどし熱処理を施工して高い強度と靱性を確保して板厚の減少を図る容器製作技術の改良に関する開発が進展してきた。

この調質熱処理を施工した $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼板は、アメリカにおいてASTM A542鋼として規格化されている。このうち、A542 Class 1鋼板は、原子炉容器および配管設計コードであるASME Sec IIIのCode Case 1414(1969-4)において原子炉用材料として使用が認められており、図1に示すように常温から高温にわたつて高い許容応力がとることができ

る。しかし、わが国においては、A542 Class 1鋼板での容器製作実績はなく、ようやく鋼板の試作段階を終え、主要性質に関する一部のデータがある程度であり、さらにその溶接性能に関する研究は、未着手であつた。

したがつて、容器の設計、製作に有利であると考えられるA542 Class 1鋼板と多目的高温ガス実験炉の炉容器材料として使用する場合には、本鋼種の材料特性をよく把握し、原子炉特有の使用環境を考慮した諸性質を評価する必要がある。とくに機械的にも冶金的にも不安定と考えられる溶接継手部に対する高温長時間加熱脆化特性、高温強度特性などの研究がそのなかでも重要な課題である。

本研究は以上のような観点から意図したものであり、本報告書は実際の厚肉容器製作時の加工履歴を模倣して作製したA542 Class 1鋼板の母材および溶接部の確性試験結果をとりまとめたものである。

## 2. 試 験 の 概 要

### 2.1 試験の目的

板厚100mmのA542 Class 1鋼板の母材の均質性とその溶接部の機械的、冶金的性質および溶接条件の検討を行ない、今後の各種試験に対する基礎データを得ることを試験目的とした。

### 2.2 試験の内容

A542鋼板母材および溶接部の試験内容と試験片個数を表1に示す。

## 1. ま え が き

原子炉の核熱エネルギーの効率的利用開発を目的とした多目的高温ガス実験炉の炉容器材料としては $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼板が候補材となつている。

本材料において完全焼なまし、あるいは焼ならし・焼もどしを施工した比較的低い強度の鋼材はASTM A387 GrDとして規定されており、従来から火力発電用および石油化学用として広く使用されている。

一方、最近では、プラントの大型化による機器、構造の大形化に対処するため、 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼に焼入れ・焼もどし熱処理を施工して高い強度と靱性を確保して板厚の減少を図る容器製作技術の改良に関する開発が進展してきた。

この調質熱処理を施工した $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼板は、アメリカにおいてASTM A542鋼として規格化されている。このうち、A542 Class 1鋼板は、原子炉容器および配管設計コードであるASME Sec IIIのCode Case 1414(1969-4)において原子炉用材料として使用が認められており、図1に示すように常温から高温にわたつて高い許容応力がとることができる。

しかし、わが国においては、A542 Class 1鋼板での容器製作実績はなく、ようやく鋼板の試作段階を終え、主要性質に関する一部のデータがある程度であり、さらにその溶接性能に関する研究は、未着手であつた。

したがつて、容器の設計、製作に有利であると考えられるA542 Class 1鋼板と多目的高温ガス実験炉の炉容器材料として使用する場合には、本鋼種の材料特性をよく把握し、原子炉特有の使用環境を考慮した諸性質を評価する必要がある。とくに機械的にも冶金的にも不安定と考えられる溶接継手部に対する高温長時間加熱脆化特性、高温強度特性などの研究がそのなかでも重要な課題である。

本研究は以上のような観点から意図したものであり、本報告書は実際の厚肉容器製作時の加工履歴を模擬して作製したA542 Class 1鋼板の母材および溶接部の確性試験結果をとりまとめたものである。

## 2. 試 験 の 概 要

### 2.1 試験の目的

板厚100mmのA542 Class 1鋼板の母材の均質性とその溶接部の機械的、冶金的性質および溶接条件の検討を行ない、今後の各種試験に対する基礎データを得ることを試験目的とした。

### 2.2 試験の内容

A542鋼板母材および溶接部の試験内容と試験片個数を表1に示す。

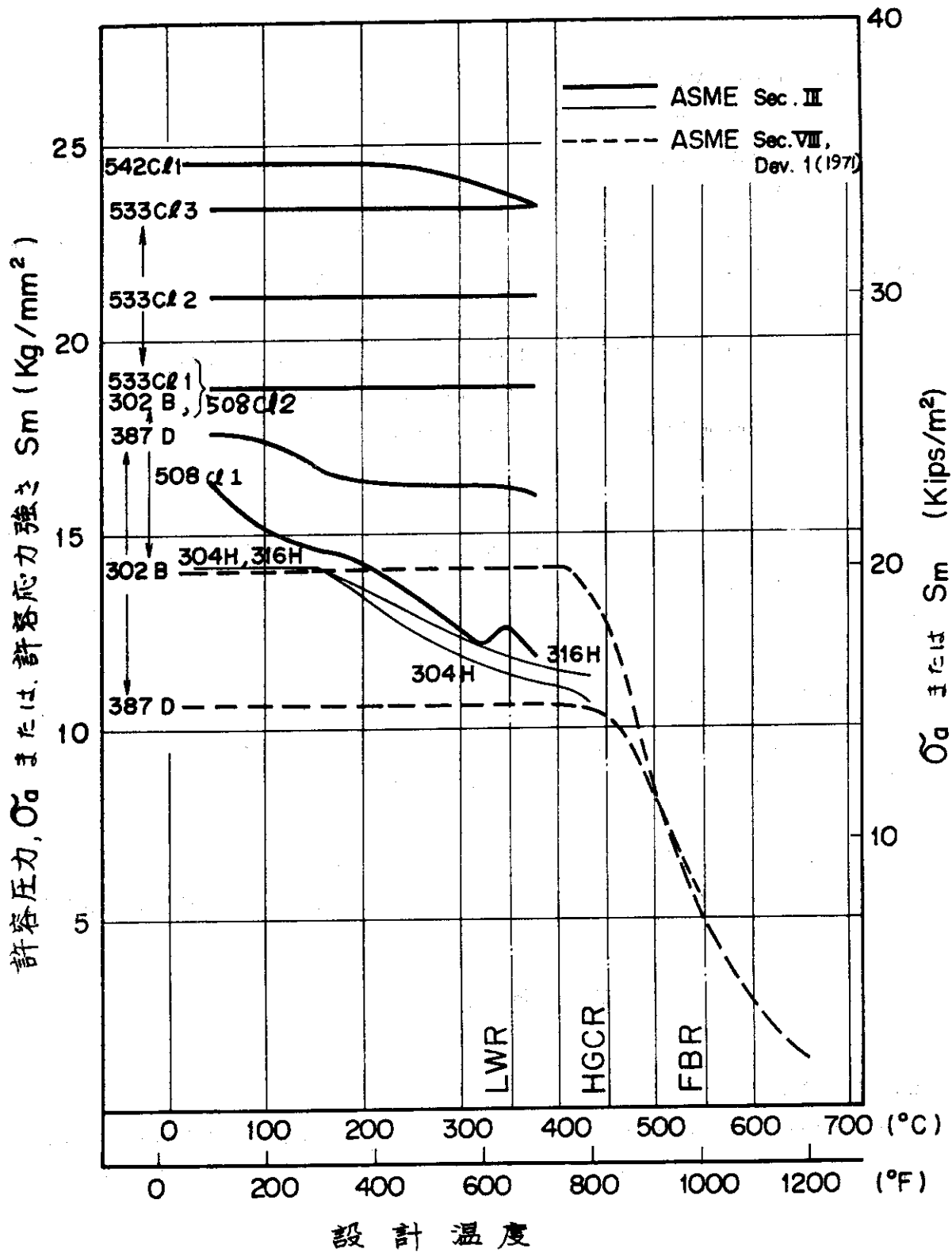


図1 圧力部材料の設計許容応力(応力強さ)



2.3 試験の日程

本研究は表2の日程にて実施した。

表1 試験内容と試験片個数

試料		採取位置	試験片個数							
			引張	衝撃	WOL	かたさ	光頭	電頭	フラクトグラフィー	
母材	圧延方向	表面部	4	40	10	1	1	1	-	
		T/4	4	40	10	1	1	1	0	
		中心部	2	20	10	1	1	1	-	
	直角方向	T/4	2	20	-	-	-	-	-	
	板厚方向	中心部	2	20	-	-	-	-	-	
溶接部	溶接金属	溶接線に平行	T/4	2	20	5	1	1	1	0
	ボンド	圧延方向	T/4	-	20	5	1	1	1	0
	熱影響部	圧延方向	T/4	-	20	5	1	1	1	0
	継手部	溶接線に直角	T/4	2	-	-	-	-	-	-
計			18	200	45	6	6	6		

備考：フラクトグラフィーはWOL試験を利用

表2 試験日程

年月	実施内容
47/2	◦原研と三菱重工との契約
3	◦鋼板購入仕様書作成 発注手続
4	◦溶接材料 発注手続
5	(溶製)
6	(溶製)
7	◦鋼板完成入手
8	◦溶接材料入手
9	◦溶接継手製作
10	(溶製)
11	◦溶接性能試験 (試験片加工) (中性子照射用 長時間加熱用)
12	完成

### 3. 試験要領

#### 3.1 供試鋼板

試験に用いた鋼板は三菱重工(株)の仕様(付録)にもとづき新日本製鉄(株)において実用規模(50トン溶解)で溶製した板厚100mmのASTM A542 Class. 1鋼板である。

製造履歴概要は次のとおりである

- (1) 適用規格 ; ASTM A542 70a Class 1
- (2) 製造寸法 ; 100t × 2000W × 3000ℓ
- (3) 溶製炉 ; 60ton 塩基性エルー式電気炉
- (4) 熱処理 ; 焼入 900°C × 4hr 水冷  
焼もどし 640°C × 2hr 水冷

#### 3.2 溶接材料

試験に用いた溶接材料は三菱重工(株)の仕様にもとづき(株)神戸製鋼所で製造した次の材料である。

- (1) ワイヤ ; US-542 (ワイヤ径 4mmφ)
- (2) フラックス ; MF-28 (粒度 4.8 × D)
- (3) 手溶接材料 ; CMA-116 (棒径 5mmφ)

#### 3.3 溶接施工

供試材の溶接施工は、三菱重工(株)において実施したものであり、その内容は次のとおりである。

- (1) 溶接試験材の板取りは図2に示す。
- (2) 溶接開先形状は図3に示す。
- (3) 溶接施工条件を表3に示す。
- (4) 溶接後熱処理条件を図4に示す。

#### 3.4 溶接施工検査

溶接施工検査結果は次のとおりである。

- (1) 開先面マグナフラックス検査結果 : 良好
- (2) 開先合せ検査 : 良好 (ゲージ検査)
- (3) 裏はつりマグナフラックス検査 : 良好
- (4) 放射線結果 : 良好 (JIS Z3104, 1級合格)

本溶接材料は手溶接、自動溶接とも ASTM A-533Gr B Class 1 用溶接材料(手 : BL-9b 自 : US-56B × MF-27) と全く同じ溶接性を有しアークの安定性、ビードのぬれ性、ビード表面のなめらかさ、スラグのはく離性、プロ・ホール、スラグ巻込みなど溶接

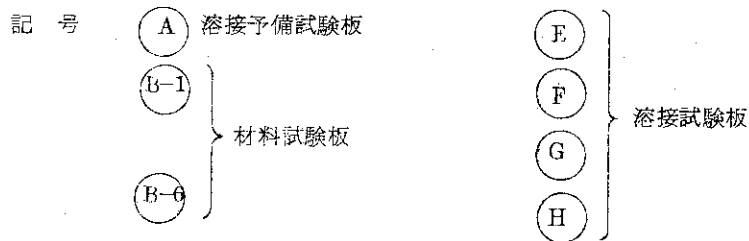
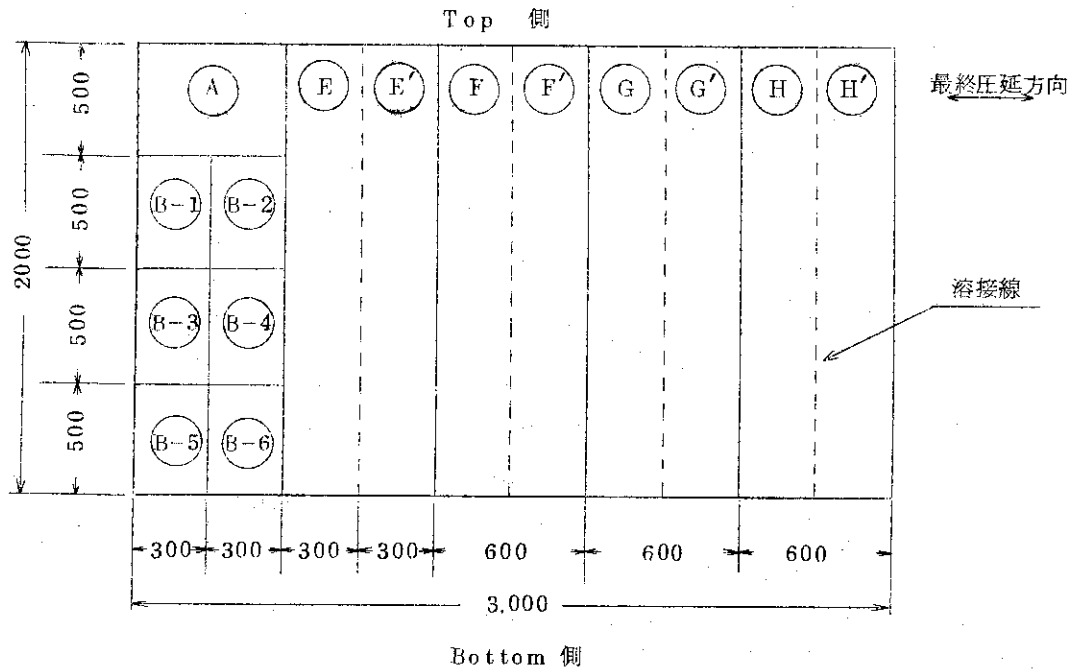


図2 試験材の板取り

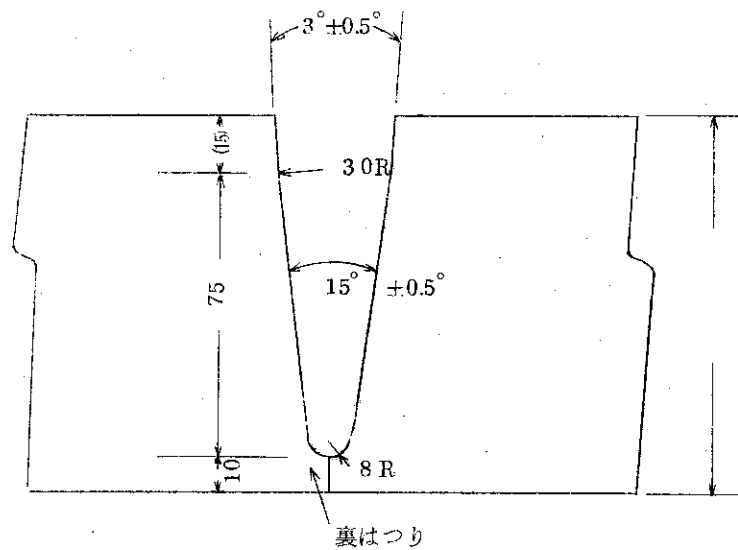


図3 溶接開先形状

施工上何ら問題はなかった。

表3 溶接条件

	自動溶接	手溶接
溶接電流 (Amp)	530~600	200~220
// 電圧 (Volt)	30	20~25
// 速度 (cm/min)	30(初層部30~50)	-
溶接材料チャージNo.	A-58 / A-60 / 2GD022883	240501
予熱温度 (°C)	200°C 以上	
層間温度 (°C)	200°C ~ 250°C	

予熱は溶接後熱処理まで保持

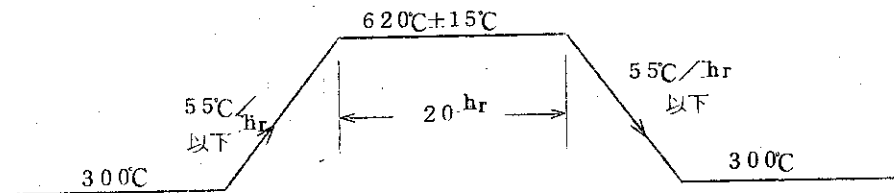


図4 溶接後熱処理条件

## 4. 試 験 結 果

## 4.1 化学分析

母材および溶接部のチェック分析を行ない、その結果を表4に示した。

これによると母材の成分は、ASTM A542 Class 1の規定値に合格し、溶接金属もこれに相応する成分であつた。

なお、母材成分のうちC量は0.16%を示したが、これはJIS G0321の分析許容変動値(上限0.01%)内に入っている。また、溶接金属のCu量は、母材に比べて高いが、これは溶接ワイヤーのCuコーティングから入つたものである。

表4 チェック分析結果

		母 材		溶 接 金 属 T/4部
		供試材, T/4部	ASTM規定値	
供 試 材 の 化 学 成 分 ( 重 量 %)	C	0.16	<0.15	0.10
	Si	0.37	<0.50	0.23
	Mn	0.42	0.27~0.63	0.61
	P	0.007	<0.035	0.014
	S	0.008	<0.035	0.012
	Cr	2.17	1.88~2.62	2.49
	Mo	1.01	0.85~1.15	0.99
	Cu	0.04	-	0.11
	V	0.010	-	0.010
	Ti	0.007	-	<0.02
	Co	0.014	-	0.014
	Sb	0.004	-	0.002
	As	0.009	-	0.010
	Sn	<0.005	-	<0.005
	Al	0.013	-	0.005
	B	0.0004	-	0.0004
O <sub>2</sub>	0.003	-	-	
H <sub>2</sub>	0.00003	-	-	
N	0.007	-	-	

#### 4.2 引張試験

母材および溶接部の各位置から採取した試験片(図5)につき引張試験を行ない、その結果を表5に示した。図6は引張性質に及ぼす採取位置の影響を示す。また写真1に引張試験後の破断状況の代表を示した。

これによると母材の表面部、 $T/4$ 部、中心部ならびに溶接金属、継手部の引張性質は、ASTMおよび仕様書の規定値に合格した。

母材中心部の引張強さ、耐力が $T/4$ 部、表面部に比べて若干低い、これは質量効果の影響と考える。また、溶接金属の引張強さ、耐力が母材に比べて若干低い、これは主として $C$ 量が低いことによるものと考えられる。

#### 4.3 衝撃試験結果

母材および溶接部の各位置から採取したVノッチシャビー衝撃試験片につき $50^{\circ}C$ から $-196^{\circ}C$ の範囲で試験を行ない、その結果を遷移曲線として図7~9にそれぞれ示した。表6および、図10は吸収エネルギーおよび遷移曲線から求めたぜい性破壊遷移温度 $Tr_{35}$ ,  $Tr_s$ ,  $Tr_{35}$ に及ぼす採取位置の影響を示す。また写真2は衝撃試験後の破面状況の代表例を示した。

これらの結果によると母材および溶接各部の吸収エネルギーは $4^{\circ}C$ で約 $1.7\text{ kg}\cdot\text{m}$ 以上、 $-12^{\circ}C$ で約 $1.3\text{ kg}\cdot\text{m}$ 以上を示し、仕様書規定値を十分に満足する結果であった。

なお、採取位置の影響は、母材では表面部と $T/4$ 部では大差なく、これらに比べて中心部は吸収エネルギーは低い。また、溶接部では熱影響部→ボンド→溶接金属の順に吸収エネルギーの低いことが判明した。

#### 4.4 WOL試験

母材および溶接部の各位置から採取したWOL試験(1CT形)片につき $0^{\circ}C$ から $-19.6^{\circ}C$ の範囲で試験を行ない、破壊応力 $\sigma_N$ 、破壊靱性 $K_Q$ 、 $K_{IC}$ の温度依存性を図11および図12に示した。写真3はWOL試験後の破面状況の代表例を示す。

WOL試験からの破壊応力 $\sigma_N$ および破壊靱性 $K_Q$ は次式によつて求めた。また $K_{IC}$ は $K_Q$ がASTM E399にもとづき $a \& B \geq 2.5 \left(\frac{K_Q}{\sigma_y}\right)^2$ を満足するものとした。

$$\sigma_N = \frac{P}{BH} \left\{ \frac{6(a+0.5h)}{h} + 1 \right\}$$

$$K_Q = \left( \frac{P_Q}{BW^{1/2}} \right) \left\{ 29.6 \left( \frac{a}{W} \right)^{1/2} - 185.5 \left( \frac{a}{W} \right)^{3/2} \right. \\ \left. + 655.7 \left( \frac{a}{W} \right)^{5/2} - 1017.0 \left( \frac{a}{W} \right)^{7/2} + 638.9 \left( \frac{a}{W} \right)^{9/2} \right\}$$

ここに  $P$  : 破断荷重 (kg)

$P_Q$  : ASTM E399に定義される荷重 (kg)

$B$  : 試験片厚さ (mm)

$h$  : き裂先端から試験片端部までの距離 (mm)

$a$  : き裂長さ (mm)

W : 試験片の長さ (mm)  
 K<sub>q</sub> : 公称破壊靱性 (kg/mm<sup>3/2</sup>)  
 K<sub>1c</sub> : 有効破壊靱性 (kg/mm<sup>3/2</sup>)  
 σ<sub>y</sub> : 降伏強さ (kg/mm<sup>2</sup>)

試験結果によると母材と熱影響部の破壊性は同程度の高い値 (-100℃で300kg/mm<sup>3/2</sup>以上)を示したのに対し、ボンド、溶接金属の破壊靱性 (-100℃で約200kg/mm<sup>3/2</sup>)は劣っており、前記衝撃性質と同様の傾向が示された。

表5 引張試験結果 (JIS 10号引張試験片)

試料	試験片採取位置			試験温度 ℃	0.2%耐力 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び %	絞り %	破断位置
	採取個所	採取方向	採取位置						
母材	Top	圧延方向	表面部	室温	64.8	78.4	25.5	75.3	A
				(18)	65.0	78.4	25.5	76.1	〃
				室温*2	64.5	78.4	24.0	75.4	〃
			(16)	64.7	78.6	24.5	75.4	〃	
			T/4	室温	65.1	78.6	25.0	77.0	〃
				(18)	65.3	78.7	24.5	76.1	〃
		室温*3		65.0	79.2	24.5	75.4	〃	
		(16)	66.1	79.1	24.0	75.4	〃		
		中心部	室温	61.9	76.4	24.0	75.4	〃	
			(18)	62.0	78.5	24.0	74.7	〃	
		直角方向	T/4	室温	64.5	78.5	24.0	74.7	〃
				(18)	66.2	79.6	24.5	74.7	〃
*1 板厚方向	中心部	室温	64.3	78.6	20.7	60.5	〃		
		(18)	64.3	78.5	19.6	55.3	〃		
Bottom	直角方向	T/4	室温	64.0	77.5	24	-	-	
ASTM 規定値	直角方向	T/4	室温	≥59.8	73.8 87.9	≥14	-	-	
溶接部	溶接金属	T/4	室温	62.9	74.3	21.0	68.6	B	
			(18)	64.0	74.4	23.5	67.6	〃	
		断手部	室温	64.5	74.9	18.5	68.6	A	
			(18)	64.3	74.8	18.5	66.8	〃	
	仕様書 規定値	-	T/4	室温	≥59.8	73.8 87.9	≥14	-	-

(注) \*1) : JIS 準 4号 (8φ) 引張試験片 \*2) : 試験片採取位置 S' (下図参照)  
 \*3) : 試験片採取位置 Q' (下図参照)

試験片採取位置

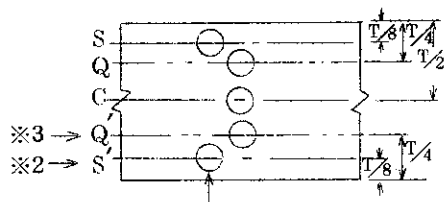


表6 Vシャルピ衝撃試験結果

試料	試験片採取位置			吸収エネルギー (kg-m)		ぜい性破壊遷移温度 (°C)		
	採取個所	採取方向	採取位置	4°C	-12°C	Tr <sub>35</sub>	Tr <sub>3</sub>	Te <sub>35</sub>
母材	Top	圧延方向	表面部	26.9	26.1	-113	-81	-92
			T/4部	26.7	27.4	-98	-80	-86
			中心部	27.4	26.6	-62	-38	-51
			T/4部	26.4	26.7	-98	-80	-86
			表面部	26.1	25.9	-113	-81	-92
		直角方向	T/4部	25.4	24.8	-78	-47	-73
		板厚方向	中心部	7.7	2.9	-6	+15	0
溶接部	—	溶接線に 平行	溶接金属 (T/4部)	16.7	15.8	-31	-21	-25
			ボンド (T/4部)	16.8	12.9	-69	-31	-44
		圧延方向	熱影響部 (T/4部)	22.9	25.0	-143	-87	-128
仕様書規定値			T/4部	24.8	24.8*	-	-	-

注) \*: 目標値



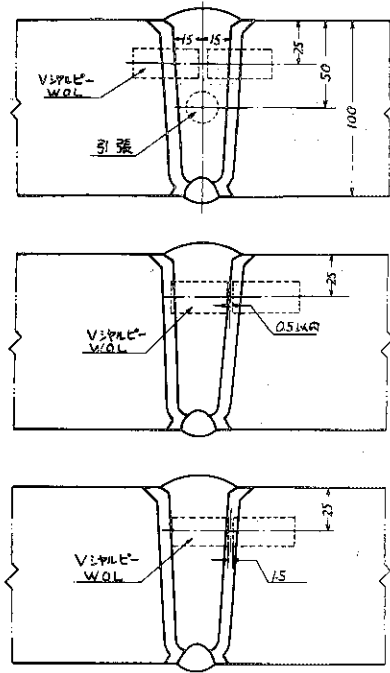


図5 溶接部からの試験片採取要領

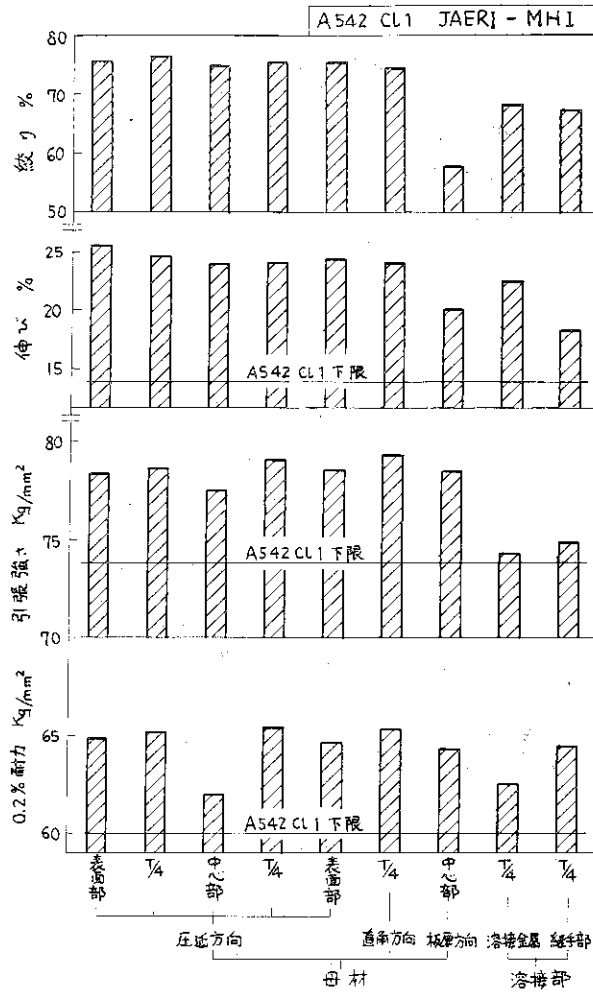
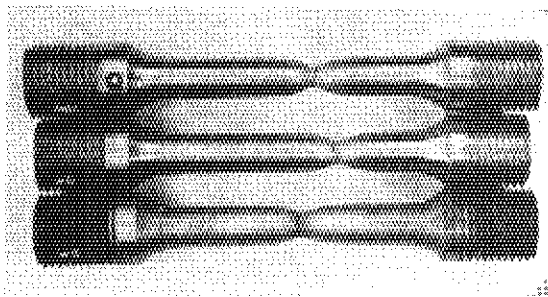
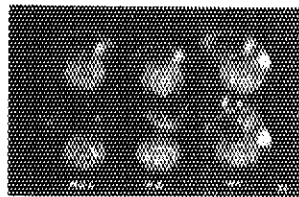


図6 引張性質に及ぼす採取位置の影響



母材圧延方向  
T/4  
溶接金属  
溶接線に平行  
T/4  
溶接継手部  
溶接線に直角  
T/4



母材 (圧延方向) T/4  
溶接金属部 (溶接線に平行) T/4  
継手部 (溶接線に直角) T/4

写真1 引張試験後の破断状況の一例 (×1)

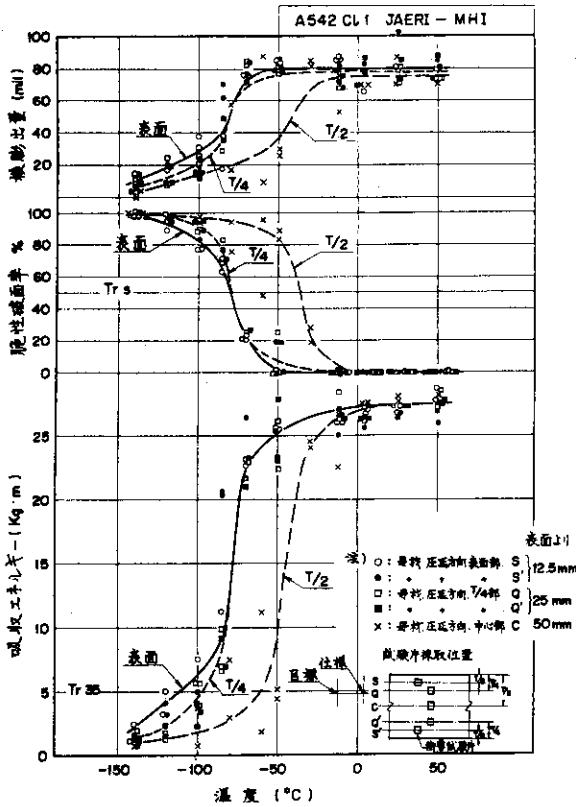


図7 母材（圧延方向）の衝撃遷移曲線

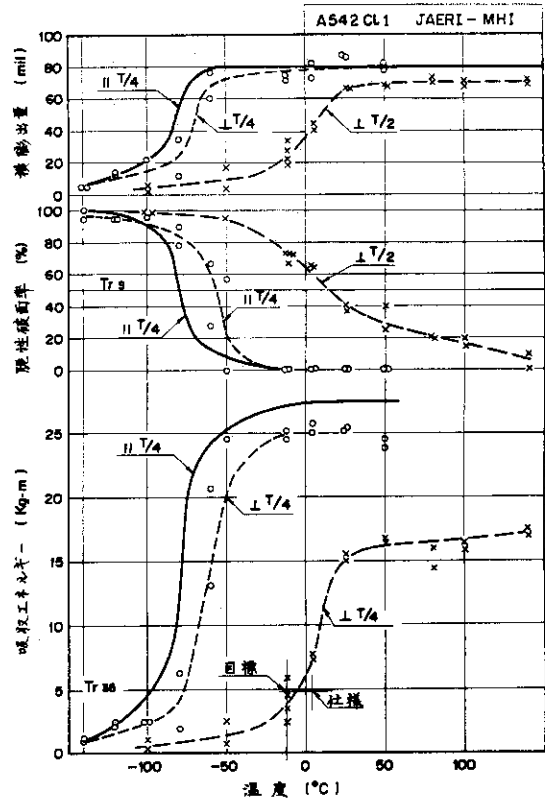


図8 母材（圧延，直角，板厚方向）の衝撃遷移曲線

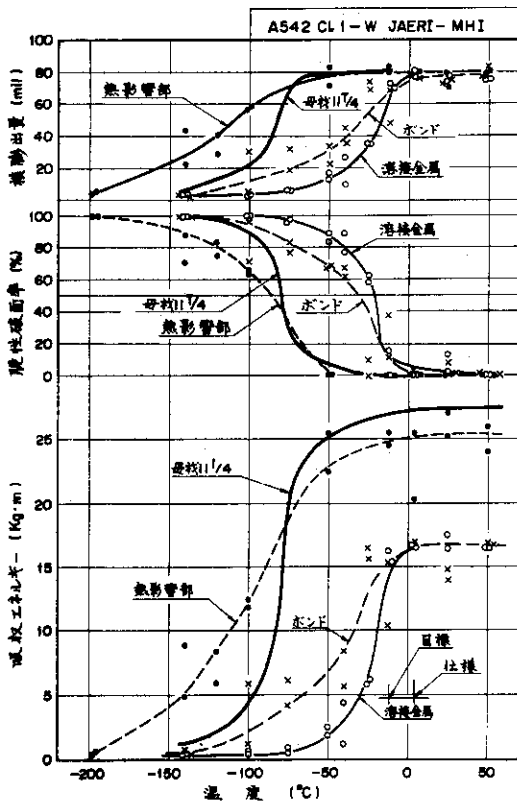


図9 溶接部の衝撃遷移曲線

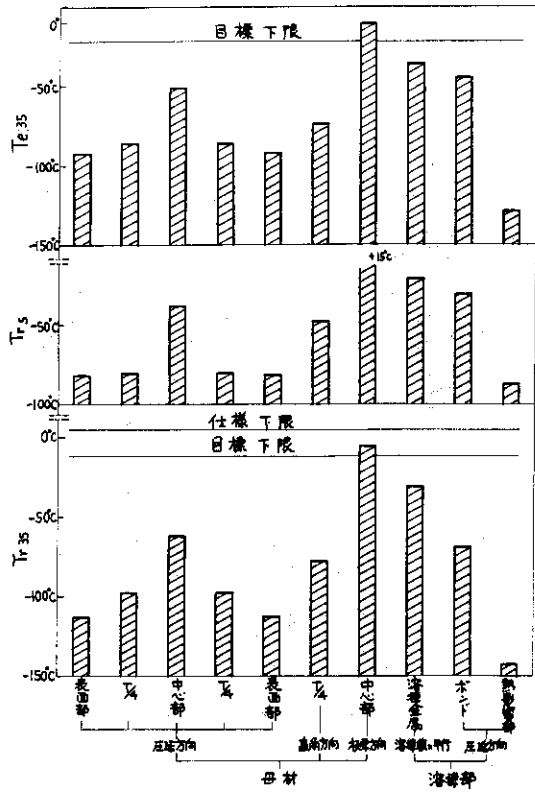


図10 衝撃性質に及ぼす採取位置の影響

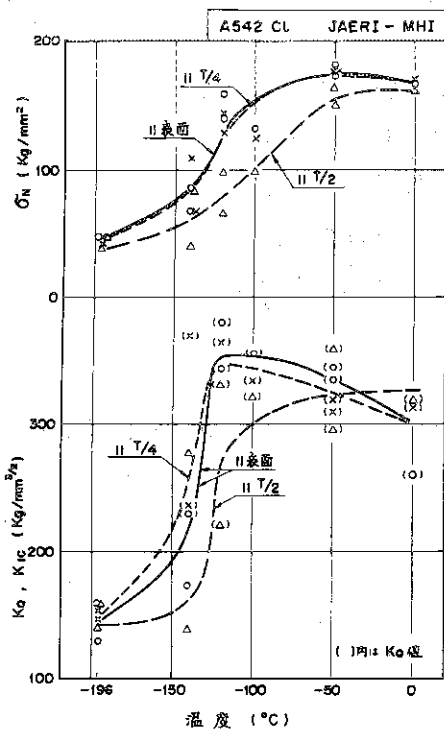


図 11 母材のWOL試験結果

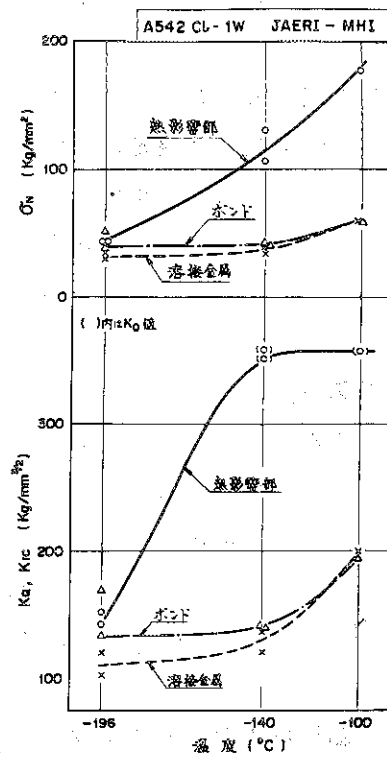


図 12 溶接部のWOL試験結果

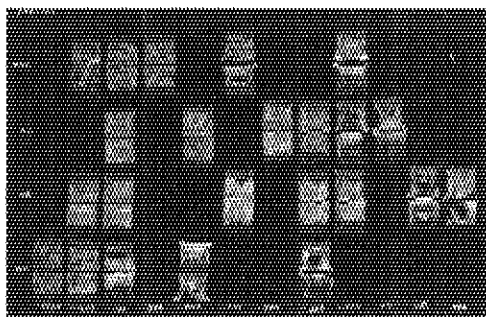
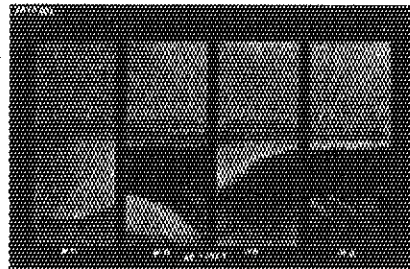


写真2 Vシャルピ衝撃試験後の破面状況 (×1)

母材  
圧延方向  
T/4  
溶接金属  
ボンド  
熱影響部



破壊部  
疲労き裂

溶接金属線に平行 (↑)  
ボンド圧延方向 (↑)  
熱影響部圧延方向 (↑)  
母材圧延方向 (↑)

写真3 WOL試験後の破面状況 (1CT形, 試験温度 -196°C)

#### 4.5 WOL試験片破面のフラクトグラフィ

WOL試験後の代表例について、その破面の電子顕微鏡観察を行ない、その結果を写真4～7に示した。

これによる人工疲労き裂部には、ストライエーションが、脆性破面部にはリバーパターンが認められた。また、被疲労き裂先端にはストレッチドエリアが認められ、試験温度が低温になるに従い、その面積(巾)が小さくなり、 $-196^{\circ}\text{C}$ では被疲労き裂先端から直接にリバーパターンが認められた。溶接金属、ボンドのストレッチドエリアは母材、熱影響部のものに比べて巾が狭く、破壊靱性値 $K_{I0}$ または $K_{IC}$ の小さいこととよく対応した結果が認められた。

#### 4.6 かたさ試験

母材および溶接部のかたさをピッカース硬度計(荷重20kg)によつて測定し、その結果を図13に示す。また板厚の $\frac{1}{4}$ 部については溶接金属から母材にいたる連続かたさをマイクロピッカース硬度計によつて測定した。

これによると母材および溶接部とも板厚内外部の硬度差は少なく、またボンド部の最高かたさは $H_v 275$ 程度であり、この種 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼としては通常の値であつた。

#### 4.7 マクロ組織およびサルファプリント

溶接部を含む横断面のマクロ組織およびサルファプリントを写真8, 9にそれぞれ示す。

これによれば、溶接部には気泡、ワレその他の欠陥は認められず良好である。また硫黄の著るしい偏析も認められない。

#### 4.8 ミクロ組織

母材および溶接部のミクロ組織を光学顕微鏡と電子顕微鏡で観察し、その結果を写真10に示した。

母材および溶接部ともこの種 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼として特有のベイナチックな組織を呈し異常は認められなかつた。

個々の特徴は、母材は微細な炭化物が均一に分布した焼もどしベイナイト組織である。溶接金属は柱状晶であるが、フェライトバンドなどの欠点は認められない。溶接により高温から急冷されたボンド部はやゝ粗粒であるが、 $A_{C1} \sim A_{C3}$ 変態点近傍に再加熱された熱影響部は結晶粒が非常に細くなつている。

#### 4.9 清浄度と結晶粒度の測定

供試材母材の非金属介在物の分布とオーステナイト結晶粒度をJIS法によつて測定し、その結果を表7に示した。また、写真11に非金属介在物の代表例を写真12にオーステナイト結晶粒度の代表例をそれぞれ示した。

これらの結果によると非金属介在物清浄度は、0.05%以下であり、この種低合金鋼のものとしては良好なものである。また、オーステナイト結晶粒度は $\lambda 6.5$ 前後の細粒であつた。

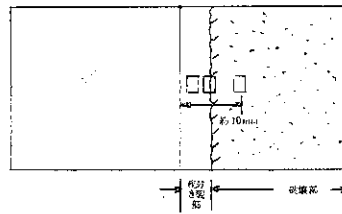
表7 非金属介在物清浄度およびオーステナイト結晶粒度試験結果

試料		非金属介在物清浄度(%)				オーステナイト*
		A系	B系	C系	A+B+C	結晶粒度
母材	表面部	0.013	0	0.021	0.033	6.5
	T/4	0.008	0	0.021	0.029	6.5
	中心部	0.029	0	0.017	0.046	6.6

注) \*印: JIS 浸炭法(925°C × 6hr・F・C)

切断法, 10視野の平均値

写真撮影位置



母材

試料		試験温度	
		-100℃	-196℃
母材	疲労き裂部		
	境界		
	破壊部		

写真4 WOL試験後(母材)のフラクトグラフィ(×3,000)

熱影響部

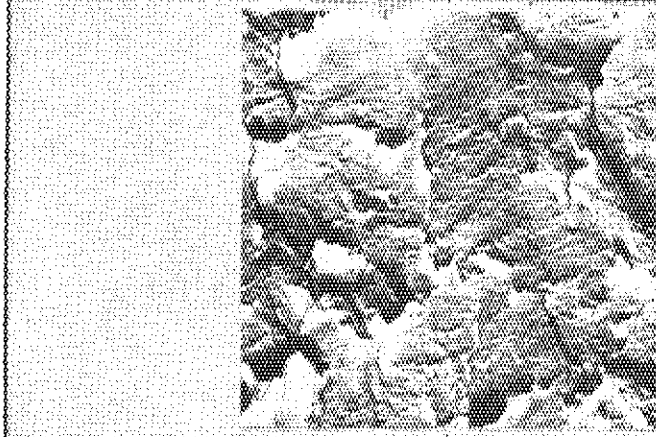
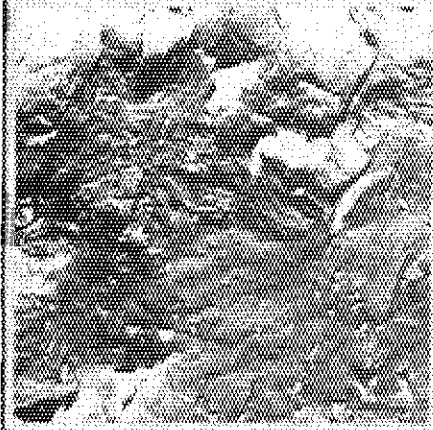

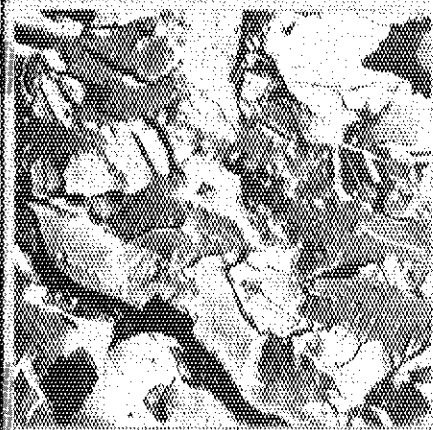

試験温度			
		-100℃	-196℃
熱影響部	疲労き裂部		
	境界		
	破壊部		

写真5 WOL試験後(熱影響部)のフラクトグラフィ(×3,000)

ボンド

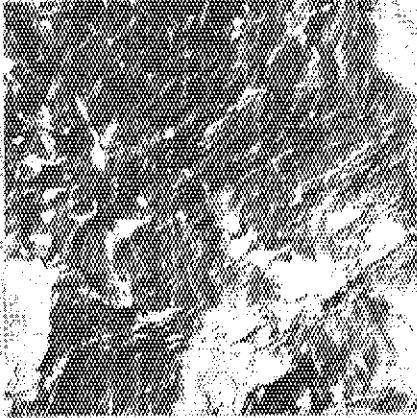
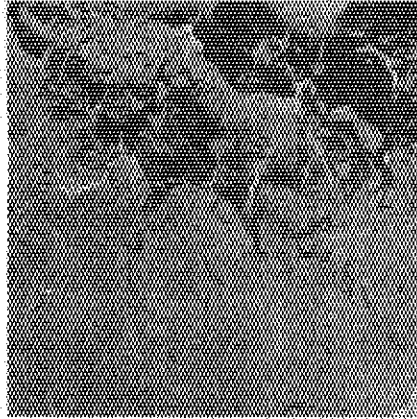



試験温度			
		-100℃	-196℃
水 ン ド	疲労き裂部		
	境界		
	破壊部		

写真6 WOL試験後(ボンド)のフラクトグラフィ(×3,000)



溶接金属

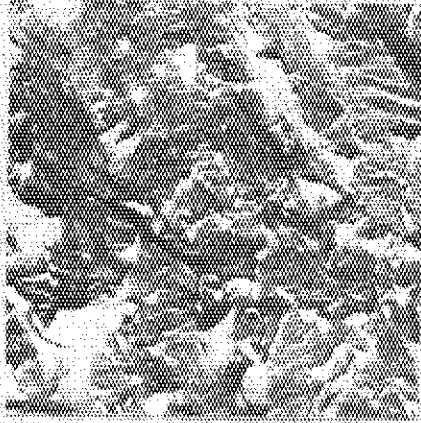
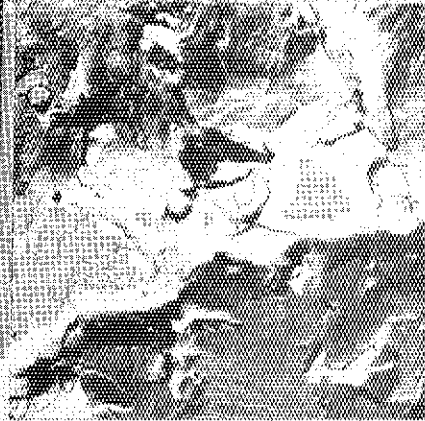


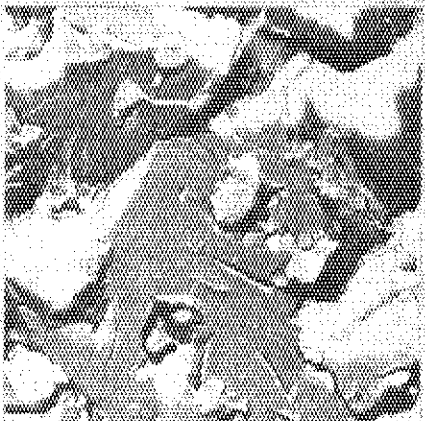
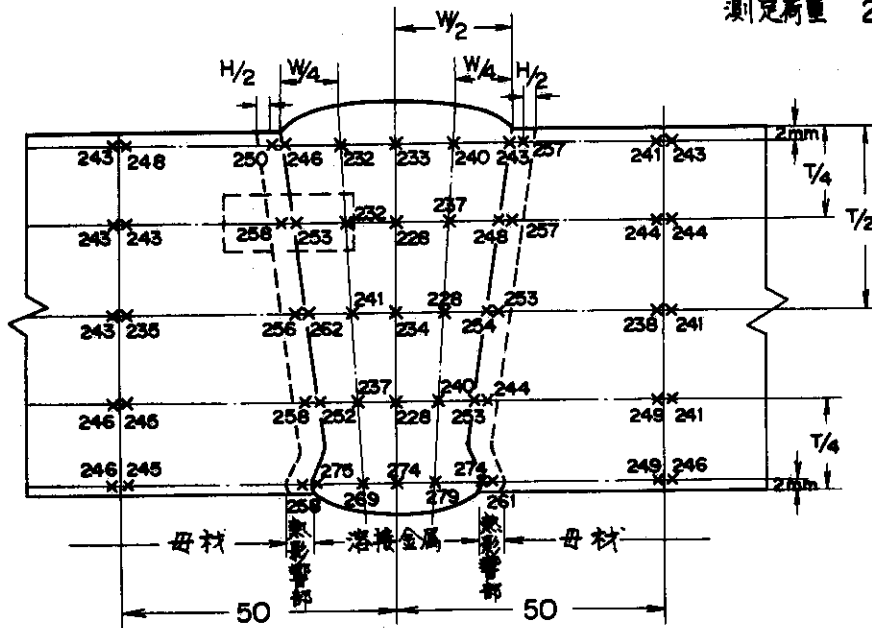
試験温度			
		-100°C	-196°C
溶接金属	疲労き裂部		
	境界		
	破壊部		

写真7 WOL試験後(溶接金属)のフラクトグラフィ(×3,000)

A542 Cl-1W JAERI-MHI

測定荷重 20 Kg



	範囲	平均
母材	235 ~ 248	243
溶接金属部	228 ~ 277	242
ボンド	243 ~ 274	256
熱影響部	244 ~ 261	256

T/4部のマイクロビッカスかたさ試験結果

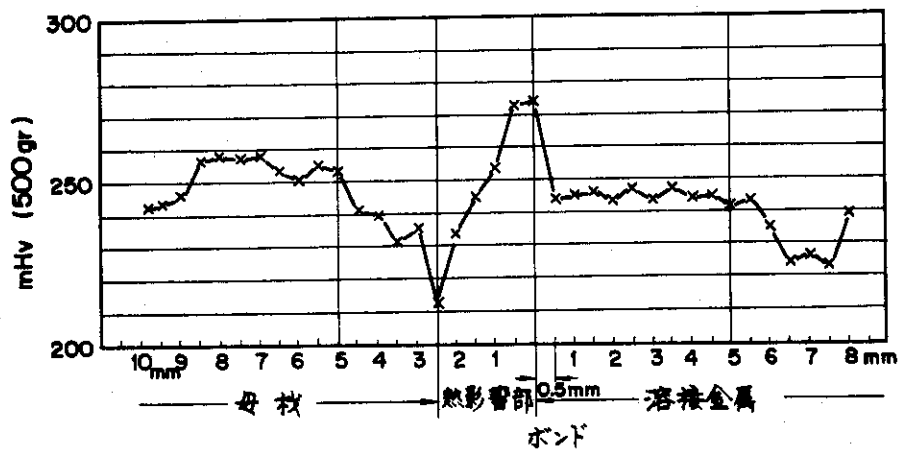


図 13 溶接部のかたさ測定結果

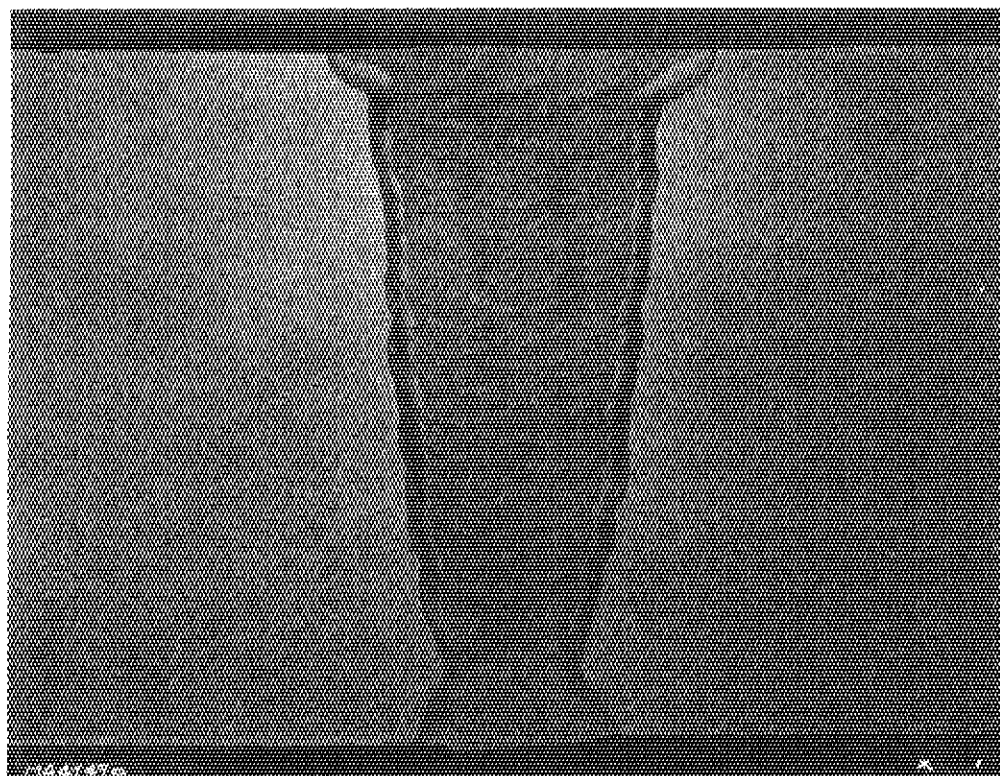
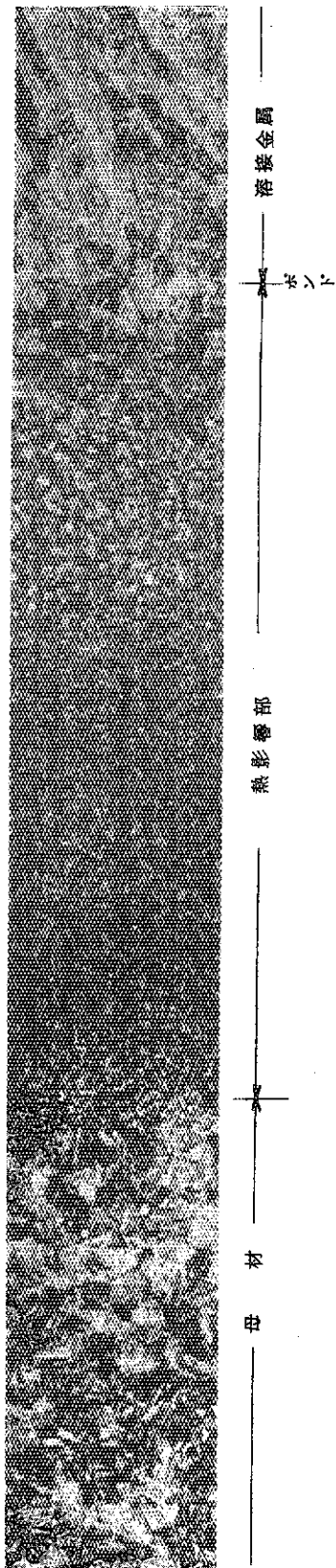
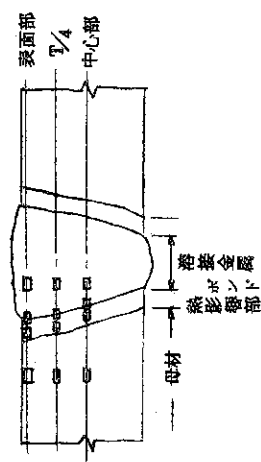


写真8 マクロ組織 (×1)



写真9 サルファプリント (×1)

写真撮影位置



	母材		熱影響部		溶接部		溶接金属	
	×100	×500	×100	×500	×100	×500	×100	×500
表面部								
T/4								
中心部								

写真10 ミクロ組織

母材 T/4 (A系)



写真11 非金属介在物清浄度の代表例

母材 T/4 (Go=6.5)

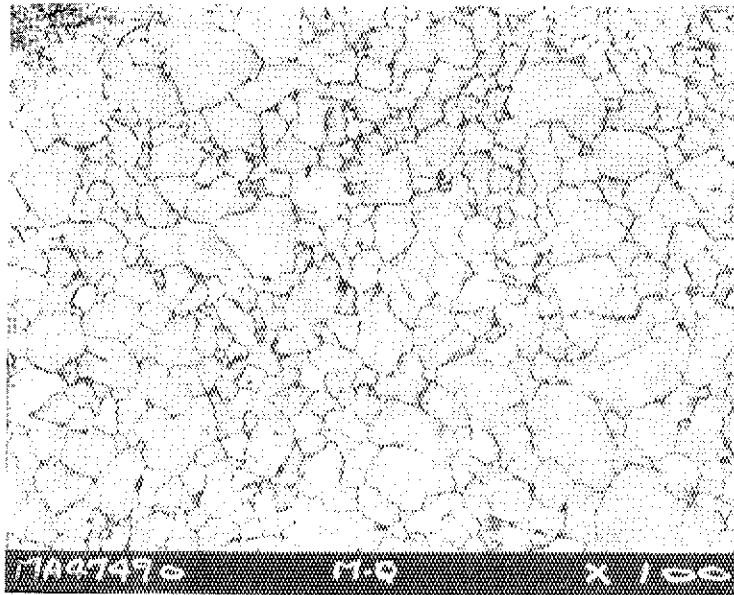


写真12 オーステナイト結晶粒度の代表例(浸炭法)

## 5. 試験結果の考察

### 5.1 供試材について

板厚100mmのA542 Class 1鋼板の母材および溶接部の機械的性質，冶金的性状の試験結果をのべたが，これらについて，考察を行なうと次のとおりである。

わが国では，A542 Class 1鋼板の溶製は，試作段階を脱し，材料性能が明らかとなつたが，それによる容器製作の実績はない。したがつて今回の供試材の製作目標性能としては，ASTMのみならず実機への適用を考慮して原子力発電用コードであるASME Sec. III (1971) およびASME Code Case 1414 に準拠して設定した。（詳細は付録として添付した鋼板注文仕様書を参照）

本鋼種は，図14に示すように現用の圧力容器用鋼板としては，比較的良好な焼入性を有するが，厚肉材となると質量効果を生ずる。

図15は試作したA542鋼C $\phi$ 1材の得られた機械的性と化学成分をA533鋼と比較して示したものである。

図16は2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼の強度と靱性の関係を示すものであるが，強度増加とともに靱性が低下し，今回の目標性質を得ることの困難性が伺える。

そこで供試材製造においては，特に化学成分と熱処理条件の選定に留意し，調質処理による高強度とそれと相反する靱性の向上とのバランスを図つた。すなわち，化学成分的には規格上：限值（とくにC量）を狙い，同一熱処理条件では最高の強度が得られるようにし，また靱性改善のためにはP，Sなどの不純物を極力低くし，さらにクリープ特性に悪影響を及ぼさない程度にA $\phi$ を添加して結晶粒の微細化を図つた。一方，熱処理条件としては，その強度と靱性に大きな影響を及ぼす焼入時の冷却速度，焼もどしおよび溶接後熱処理時のテンパリング・パラメータなどを実際の製造履歴を考慮して選定した。

図17は供試材の焼入冷却曲線のCCT図上の位置を示すものであり，図18はその冷却速度を従来の数多くの低合金鋼のデータと比較したものである。また図19は，この種A542鋼の強度，靱性に及ぼす焼入冷却速度の影響を示す例であり，今回の供試材の冷却速度を記入した。

また，母材は溶接施工において溶接後熱処理を施工されるが，仕様の溶接後熱処理歴をうけた後において図20に示すように満足な機械的性質が得られている。

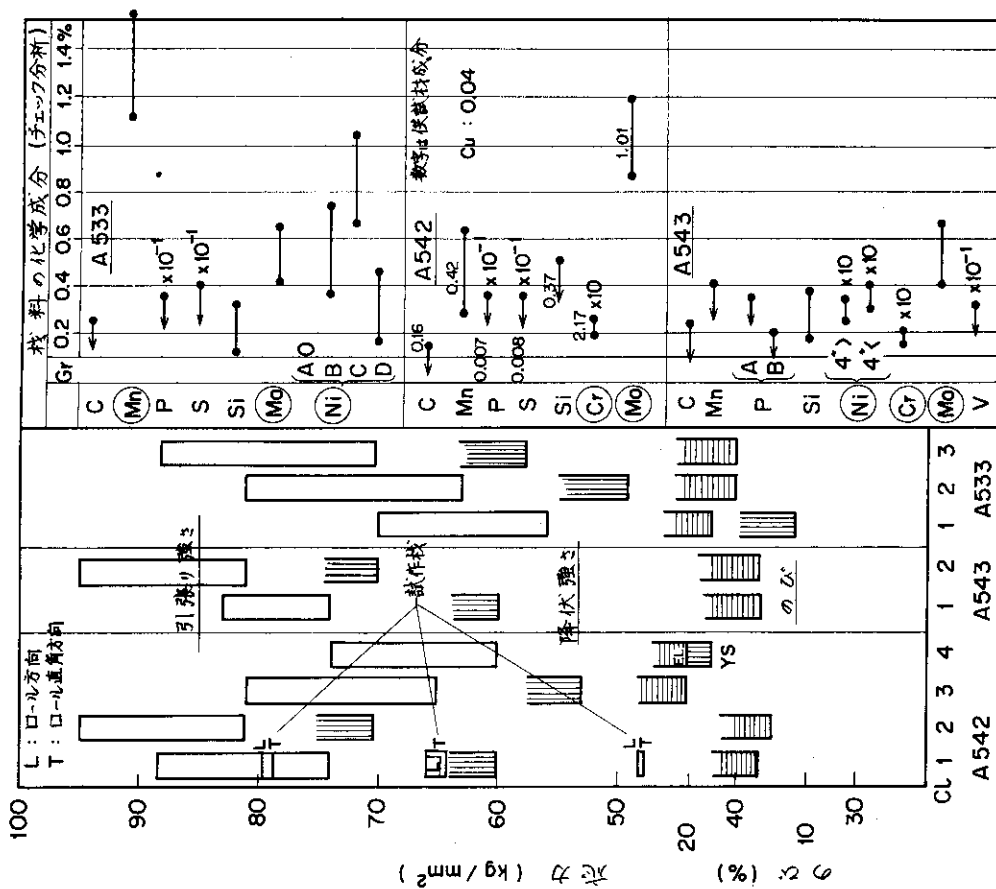


図 15 供試 A542C01 鋼の機械的性質と化学成分

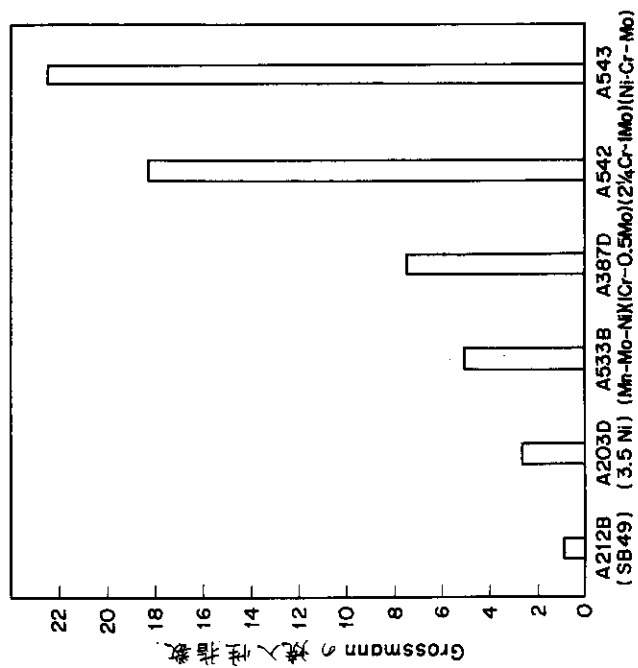


図 14 各種圧力容器用鋼板の焼入性指数の比較

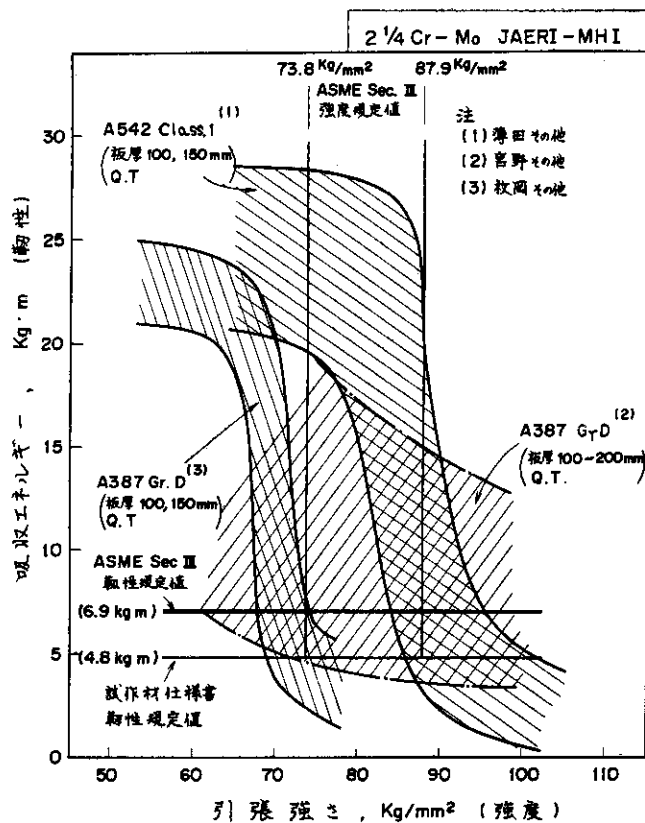


図 16 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼板の引張強さと衝撃値の関係

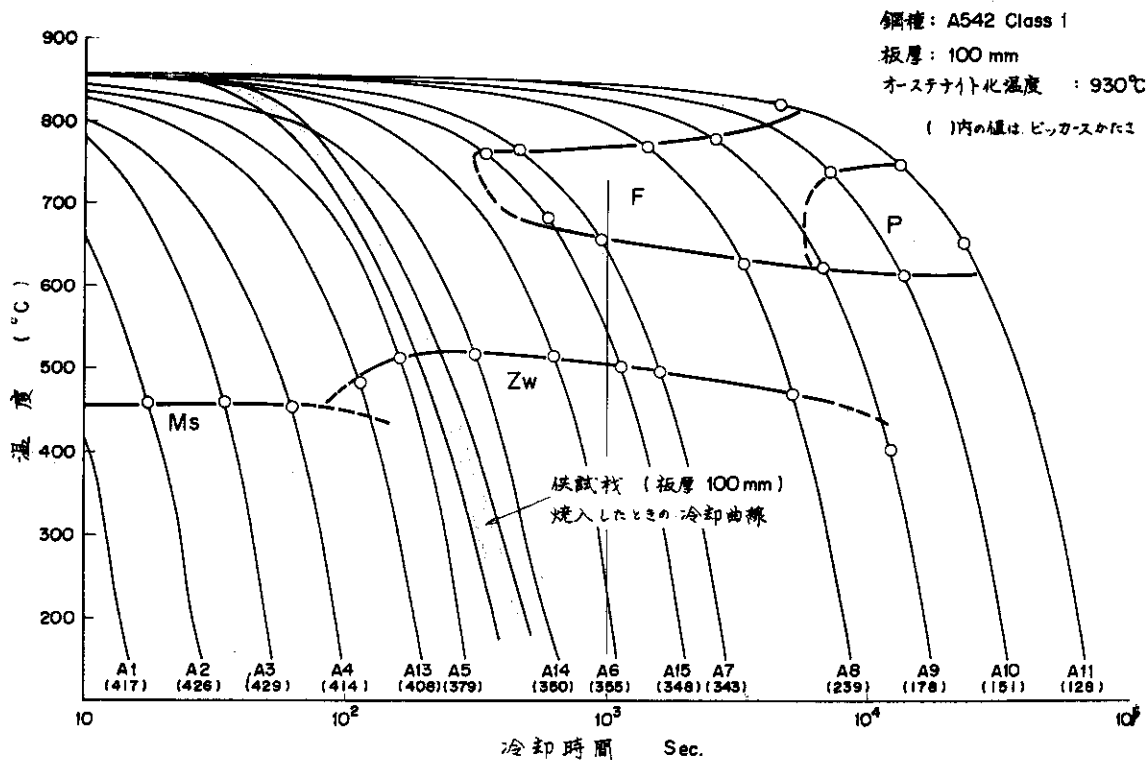


図 17 供試材の熱処理用 CTT 図と焼入冷却曲線



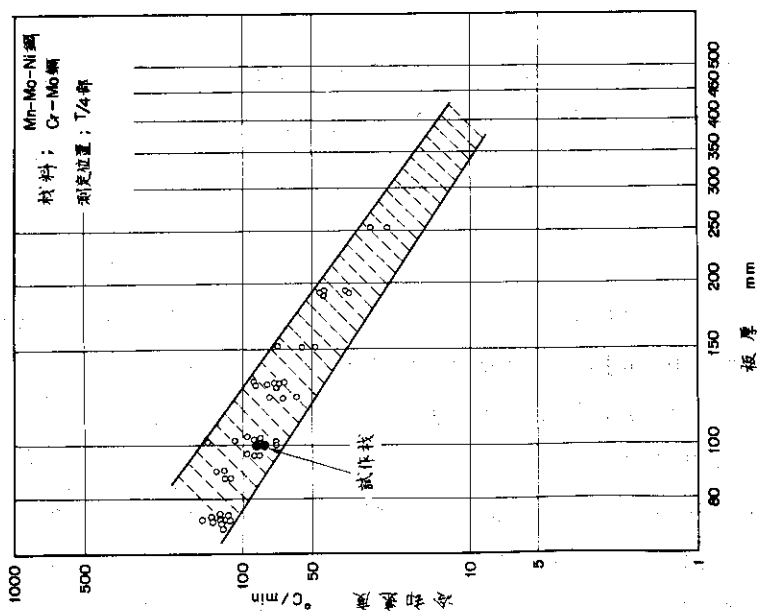


図18 板厚と冷却速度の関係

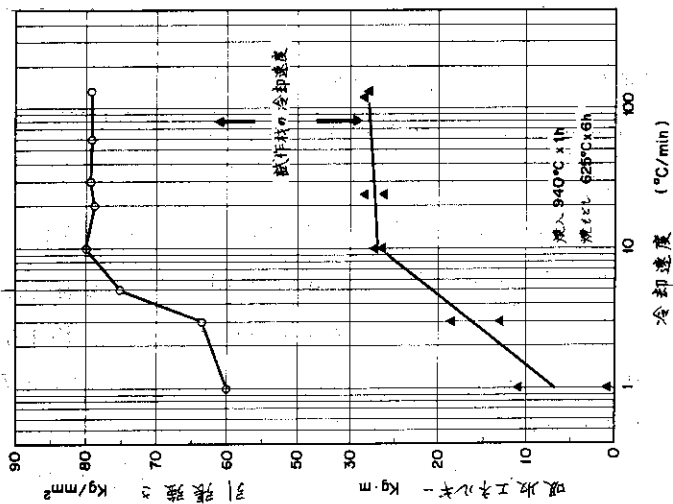


図19 A542鋼板の引張強さ, じん性と冷却速度の関係

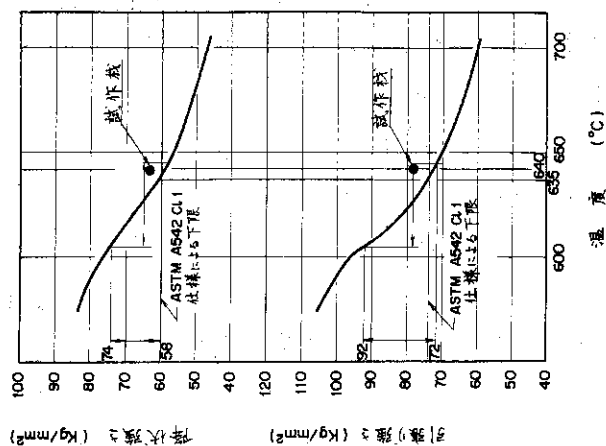


図20 焼きもどし温度と降伏強さおよび引張り強さとの関係

## 5.2 溶接材料および溶接施工について

$2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼の溶接材料としては、現在強度  $53\text{ kg/mm}^2$  級の A387GrD 鋼に対するものはあるが、強度  $74\text{ kg/mm}^2$  級の A542 Class 1 鋼に対するものは開発されていなく、したがってその溶接継手性能に関するデータは全く認められない。

今回の試験に用いた溶接材料は、上記 A387GrD 鋼のものをベースとして、これに強度、靱性の向上を図るため成分的に C, Si, Cr, その他微量成分として Al, Ti などを添加したものである。また溶接施工では溶接欠陥の防止と初期の目標性質を得るため、予熱温度、溶接電流、電圧、溶接速度、溶接後熱処理条件に注意した。とくに溶接入熱量の増加は靱性低下に、後熱処理は強度低下に影響するので予備実験を行ない、その条件を設定した。

本溶接材料のアークの安全性、スラグのはく離性などの作業性は何ら問題なく、従来の A387GrD, A533GrB 材のものと同じであり、放射線検査によつてもワレ、プロホールなどの欠陥は認められなかつた。

## 5.3 供試材の性能について

前項の配慮によつて製作した供試材の各種性質は、表 8 に示すように目標値を十分満足するとともに、1972 年 Summer Addende で改訂された新 ASME の原子力材料に関する靱性要求値にも合格する良好な成績であつた。

また、供試材の性質を従来からボイラ、化工機などで使用実績のある A387GrD 鋼板ならびに現在軽水炉用原子炉容器として広く使用されている A533GrB 鋼板の成績と比較すると図 21 のようになる。これによると供試材の引張強さは、A387GrD に比べて約  $10\text{ kg/mm}^2$ 、A533GrB に比べて約  $15\text{ kg/mm}^2$  高く、また供試材の吸収エネルギーは A387GrD および A533GrB の両者に比べて約  $20\text{ kg-m}$  高い値であつた。

図 22 には供試材の靱性に及ぼす方向性、板厚内外部の差を、この種厚肉鋼板のそれと比較して示すものであるが、供試材の差異は小さく他のものに比べて優れた均質性を有していることが判る。

供試材に対する以上のようなすぐれた性質は、前項に記述しれ適切な成分と熱処理条件によるものであり、このことは金属組織的に板厚内外部とも炭化物が微細に分布した焼もどしベイナイト組織を呈し、非金属介在物が少なく、すぐれた清浄度を示していることから理解できる。

## 5.4 溶接継手の性能について

溶接各部の引張性質、衝撃性質を表 8 に示したが、目標値を満足するとともに、ASME Sec. III の 1972 年 Summer Addenda に十分合格することがうかがえる。

母材の成績と比較すると溶接金属および継手部の引張強さは約  $4\text{ kg/mm}^2$  低い値である。また、衝撃吸収エネルギーは、母材のそれと比べて熱影響部は同等かそれ以上の高い値であつたが、ボンド部と溶接金属は、吸収エネルギーは低く、遷移温度は高い結果であつた。これは金属組織的には、熱影響部は結晶粒が微細化しているのに対しボンド部は粗粒であり、溶接金属部は柱状晶であることにそれぞれ対応している。このように溶接金属およびボンド部の衝撃特性が母材に比べて劣るのは、この種、厚肉調質鋼としての特徴であり、その改善が望まれるわ

表 8 供試材の引張性質と衝撃性質

試料	試験片採取位置		引張性質		吸収エネルギー (Kg-m)			横膨出量 21°C (mil)	
	採取位置	採取方向	$\sigma_T$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_B$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	E· $\ell$ (%)	4°C	-12°C		21°C
母材	表面部		64.8	78.5	24.9	26.5	26.0	27.4	80
			65.4	78.9	24.5	26.5	27.0	27.4	78
	中心部		62.0	77.5	24.0	27.4	26.6	27.4	72
			65.4	79.1	24.3	25.4	24.8	25.0	76
溶接部	溶接金属	T/4部	63.5	74.4	22.3	16.7	15.6	16.8	41
			-	-	-	16.8	12.4	16.8	58
	ボンド	T/4部	-	-	-	22.9	25.0	25.3	80
			熱影響部	-	-	-	-	-	-
仕様書規定値	T/4部		$\geq 59.8$	$\geq 14$	$\geq 4.8$	$\geq 4.8$	-	-	
ASME規格	T/4部		$\geq 59.8$	$\geq 14$	-	-	$\geq 6.9$ ( $\geq 50\text{ft-lb}$ )	$\geq 35$	

けであるが、今回の場合は母材の成績が特にすぐれているものであつて、溶接金属の値が決して低いものではない。

図23は、今回の溶接金属の成績を、従来のA387GrD A533 GrBの溶接金属のそれとを比較したものである。これによると、A387 GrD, A533GrBのものに比べて引張強さが約 $10\text{kg}/\text{mm}^2$ 増加しているにもかかわらず吸収エネルギーは約 $5\sim 10\text{kg}\cdot\text{m}$ 高い値であり、今回の溶接材料とその溶接施工条件とが適切であつたことが確認できた。

### 5.5 照射ぜい化について

照射ぜい化については、原研JRR-2を利用して、照射試験が実施されつゝあるが、現在までに得られた照射試験の結果(本試作材ではない)<sup>(8)</sup>によれば、A533 Cl 1鋼と比較して図24に示す。 $1.3 \times 10^{19}\text{n}/\text{cm}^2 (>1\text{MeV})$ の低温照射では、A542鋼の脆性破壊遷移温度が $92^\circ\text{C}$ 上昇したのに対して、A533鋼では $126\sim 158^\circ\text{C}$ 上昇しており、A542鋼の方が照射脆化傾向が小さいことを示している。

図25は、NRLの照射脆化傾向帯におけるA542鋼の位置を示したものであるが、明らかに非敏感材であることを示している。図26は上部だけエネルギーの低下傾向についてBurghardの式をもとに比較したものであるが、その傾向はA533鋼の同程度と考えられる。

図27は、鋼材の強度水準をもとにして、照射ぜい化傾向を示したものである。同じ強度水準の鋼材を比較しても、A542鋼の照射脆化傾向がわかり、Hadsonらのデータからも、強度水準の高いA542鋼の優れた照射特性が首肯できる。このように、強度の高い鋼材が靱性を低下せしめない傾向は、圧力容器鋼材として、きわめて重要な特性である。

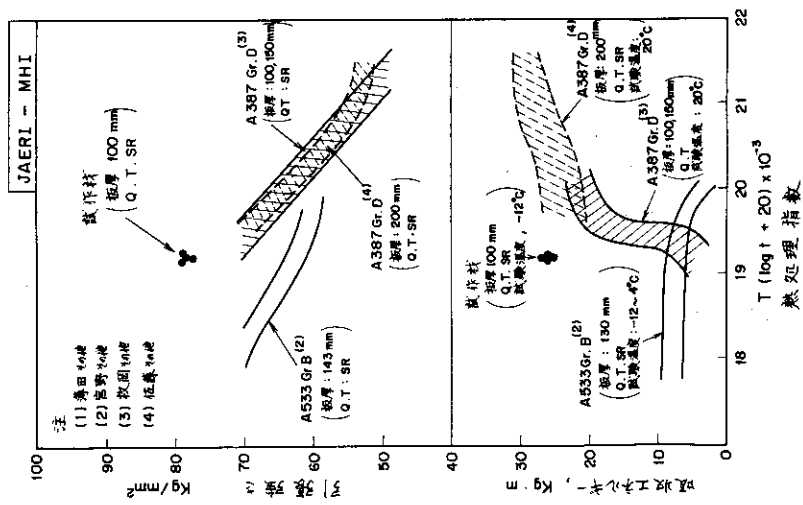


図 21 母材の引張強さ、衝撃値の変化

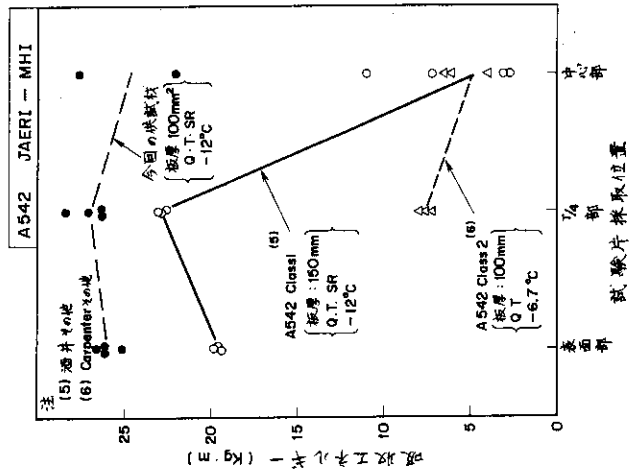


図 22 供試材の試験片採取位置と衝撃値の関係

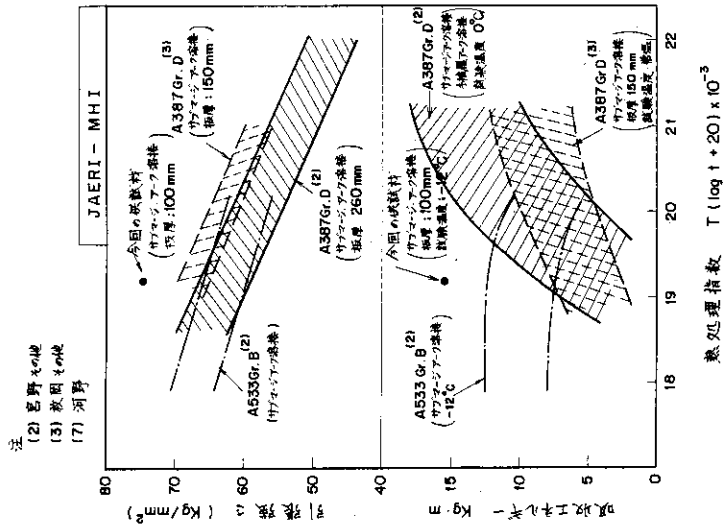


図 23 溶接金属の引張強さ、衝撃値の変化

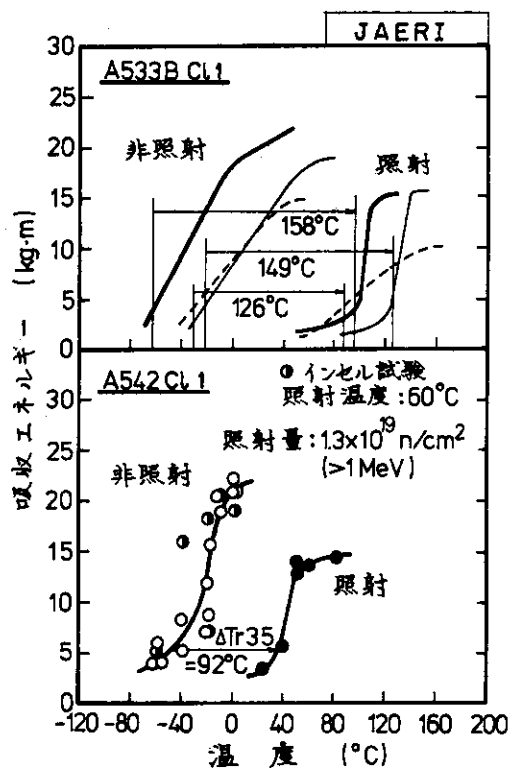


図 24 A533B Cl 1 鋼と A542 Cl 1 鋼の照射ぜい化傾向の比較 (古平他)

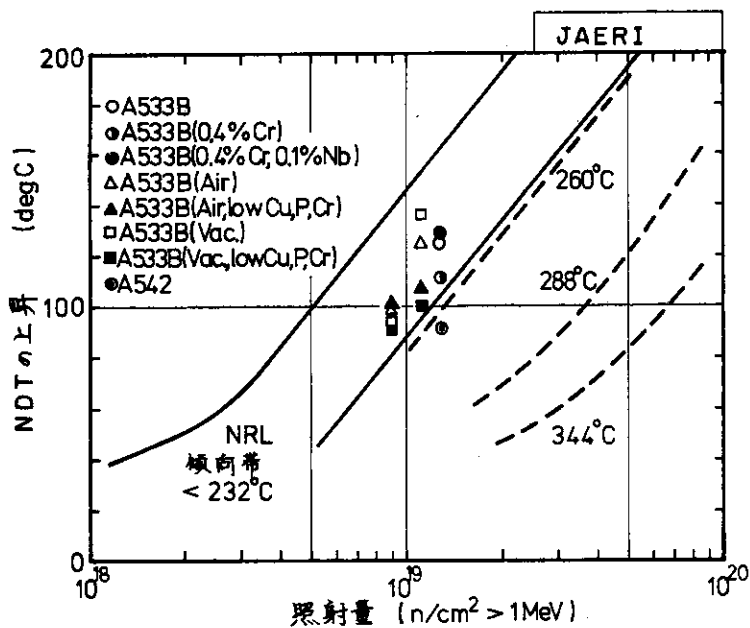


図 25 A533B Cl 1 鋼と A542 Cl 1 鋼における中性子照射による遷移温度の上昇 (古平他)

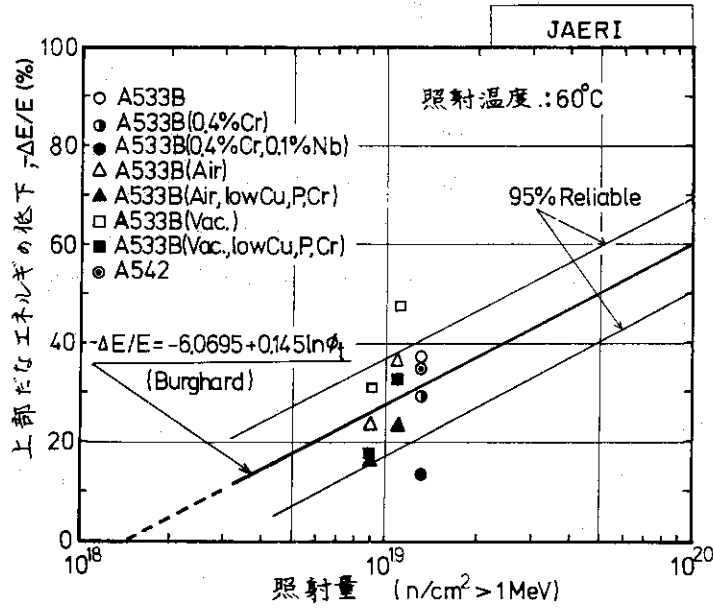


図 26 A533B Cl 1 鋼と A542 Cl 1 鋼における中性子照射による V シャルピー上部棚エネルギーの低下(古平他)

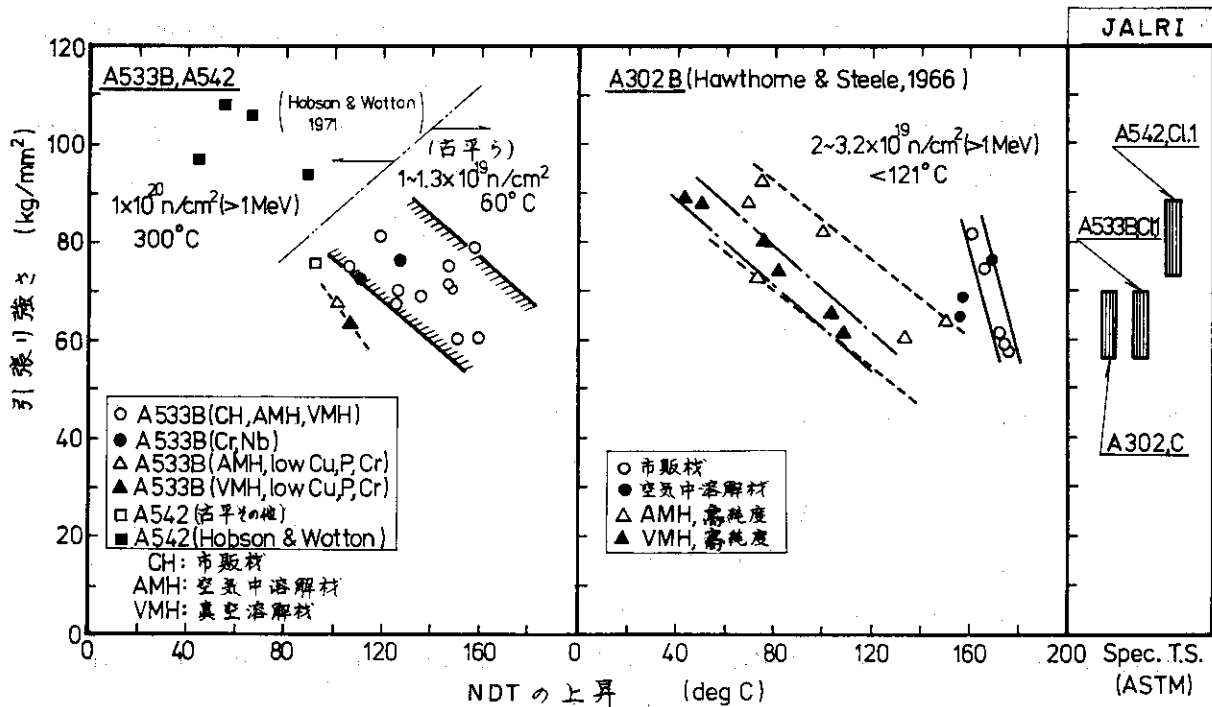


図 27 原子炉圧力容器鋼材の中性子照射による遷移温度の上昇と照射前引張り強さとの関係(古平他)

## ま と め

多目的高温ガス炉用炉容器材としての候補材であるA542 Class 1鋼板を対象に容器製作時の加工履歴を与えた母材および溶接部について一般的確性試験を行ない、次の結果を得た。

(1) 供試材の母材および溶接部の引張強さは、 $75 \sim 79 \text{ kg/mm}^2$ 、 $-12^\circ\text{C}$ におけるVノッチシャルピー吸収エネルギーは $10 \sim 28 \text{ kg-m}$ が得られ、目標値(引張強さ $73.8 \sim 87.9 \text{ kg/mm}^2$ 、吸収エネルギー $4.8 \text{ kg-m}$ 以上)を十分に満足するとともに、均質性、および健全性も良好であつた。

(2) 供試材A542 Class 1 鋼の母材および溶接部の性質は、従来から使用されてきたA387 GrBおよびA533 GrB材のそれと比べて、引張強さは約 $10 \sim 15 \text{ kg/mm}^2$ 高く、吸収エネルギーは約 $5 \sim 20 \text{ kg-m}$ 高いことが判明し、この種厚肉容器への適用の可能性が認められた。従来の開発研究をもとにして、新しい配慮によつて製作した板厚 $100 \text{ mm}$ のA542 Class 1 鋼板の母材および溶接部の一般的性質は、非常にすぐれていることが確認され、厚肉容器製作の見通しが得られた。

しかし、これを多目的高温ガス炉用容器材として使用するに際しては、さらにこの原子炉特有の使用環境を加味した実験を進める必要がある。

すなわち、高温ガス炉は使用温度が高いため、高温で長時間加熱されたときの組織安定性、中性子照射による機械的性質変化の把握、高温強度と許容応力の検討、低サイクル疲れ特性、腐食特性などは、今後究明しなければならない重要なテーマであると考えられる。

また、上記問題点に関するデータは、A542鋼の本質に関するものではあるが、今回の1供試材のデータがA542鋼のすべてを代表するものでなく、実機への適用にさいしては、さらに多数の実用的チャージ材について実験を行ない、豊富な資料を積みかさねることも必要である。

## 参 考 文 献

- (1) 薄田, 辻 : 鉄と鋼 第57年, 第7号(1971)
- (2) 宮野その他 : 日本製鋼技報 №29(1971)
- (3) 枚岡, 高嶋 : 神鋼技報 Vol.22 №2(1972)
- (4) 佐藤その他 : 川崎製鉄技報第4巻第3号(1972)
- (5) 酒井, 柿本 : 高圧力Vol.6 №6(1968)
- (6) O.R. Carpenter et al; ASME Symposium on Heat-treated Steels for Elevated Temperature Service (1966)
- (7) 河野; 石川島播磨技報, 第12巻第3号(1972)
- (8) 古平その他 : 日本鉄鋼協会春季講演会(1971)



付 録 原子炉用鋼板注文仕様書

1. 適用範囲

本注文書は、当社試験研究所「多目的高温ガス炉用鋼板の構造材料特性に関する研究」に使用する試験材に適用する。

2. 適用規格

鋼材の製造にあつて、本仕様書中に特に規定のない事項は、次の規準に従うこと。

- 1) ASTM A542-70a Class 1  
ASME B.P.V. Code Section III Latest case interpretation and Addenda

3. 注文寸法、数量

1) 注文寸法

厚さ100mm×幅2000mm×長さ3000mm 1枚

重量約4700kg

- 2) 受注者が規格に従つて行なう材料証明のための試験、検査用鋼板は含まない。

4. 製鋼法

鋼板は真空処理を含む実用生産規模で溶製した鋼塊から製造するものとし、その製造履歴を報告のこと。

5. 熱処理

- 1) 鋼材は焼入・焼もどしを行なうものとし、その熱処理条件は製造者が選定し、事前に注文者の承認を得ること。なお、焼入時の冷却速度は半冷速度（焼入温度からその1/2の温度になるまでの平均冷却速度）として70～150℃/minの範囲内にすること。
- 2) 試験材は本体と同時に調質された後、所要寸法を切断し、次の応力除去焼なまし処理を施工のこと。

加熱温度：620±25℃

保持時間：20hr

加熱冷却方法：55℃/hr以下

- 3) 鋼材および試験材の各熱処理時のチャートを提出のこと。

6. 化学成分

レードルおよびチェック分析を行ない次表を満足すること。

化 学 成 分 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Sb	As	Sn	Sol Al	insol Al	B	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N
レードル	≤0.15	≤0.50	0.30/ 0.60	≤0.035	≤0.035	2.00/ 2.50	0.90/ 1.10										
チェック	≤0.15	≤0.50	0.27/ 0.63	≤0.035	≤0.035	1.88/ 2.62	0.85/ 1.15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

(注) \*印は分析結果を報告のこと。

7. 機械的性質

7.1 常温引張性質

引張性質は次表を満足すること。

引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%) GL = 50 mm
7 3.8 / 8 7.9	≥ 59.8	≥ 14

備考：試験時の温度を測定し記入すること。

7.2 高温引張性質

短時間高温引張性質は次表の値を目標とすること。

試験温度 (°C)	降伏強さ (kg/mm <sup>2</sup> )
343	≥ 53
460	≥ 50

7.3 曲げ性質

曲げ試験を次の条件で行ない、曲げ外表面にワレを認めないこと。

曲げ角度：180°

曲げ内側半径：1.75t

7.4 Vシャルピー衝撃試験

Vシャルピー衝撃試験は4°Cと-12°Cで実施のこと。

その吸収エネルギーは、4°Cでは次の値を保証し、-12°Cではこれを目標とすること。

3本の平均値 ≥ 4.8 kg-m

1本の最低値 ≥ 4.2 kg-m

7.5 落重試験

ASTM-E208 に基づく落重試験を行ない、そのNDT温度は、4°C以下を保証し、-12°C以下を目標とすること。

## 7.6 側面曲げ試験

鋼板表面と垂直の面を外側にして、内側半径 20mm の案内にそつて 180° 曲げた場合、外側の曲げ部にワレが生じないこと。

長さ 3 mm をこえる割れが生じた場合および割れの長さの合計が 7 mm をこえる場合は不合格とする。

## 8. 機械試験片の寸法形状、採取位置および数

1) 試験片の寸法形状、採取位置および数は次のとおりとする。

試験片	寸法形状	採取箇所	採取方向	採取位置	個数	備考
引張試験片	JIS 10号	頂部	直角方向	板厚の 1/4 部	1	
		底部	直角方向	板厚の 1/4 部	1	
高温引張試験片	JIS 10号	頂部	直角方向	板厚の 1/4 部	2	
	(クリープ用でも可)	—	—	—	—	
曲げ試験片	JIS 1号	頂部	直角方向	全厚	1	*
		—	—	—	—	
衝撃試験片	JIS 4号	頂部	直角方向	板厚の 1/4 部	3	
		底部	直角方向	板厚の 1/4 部	3	
落重試験片	ASTM	頂部	直角方向	板厚の 1/4 部	NDTT を求める	
	E-208, P-III	—	—	—	のに必要な個数	
側面曲げ試験片	t×10×200	頂部	直角方向	全厚	1	
		底部	直角方向	全厚	1	

(注) \*：全厚が不可能の場合は分割して、それぞれ試験してもよい。

2) 上記の各種試験片は鋼板の焼入端から少なくとも 1 t (t は板厚) 離れた所から採取すること。試験片採取位置は報告のこと。

## 9. 非破壊検査

## 9.1 寸法検査

寸法の許容差は JIS G 3193 による。

## 9.2 外観検査

鋼板の表面はグラインダまたはブラストによりミルスケールを除去し、平滑に仕上げなければならない。

## 9.3 サルフアプリント

サルファプリント検査は鋼塊頂部のスラブ中央とし 1 枚を採取する。

判定はWES規格1級を合格とする。

不合格の場合、その鋼塊についての処置は協議の上決定する。

なお分塊ロールを使用する場合のサルファプリントは鋼塊中央部より600mmを採取し、300mm+300mmに分けること。

#### 9.4 液体浸透探傷試験

鋼板の表裏面および四周端面の検査は、次により行ない有害な欠陥のないことを確認すること。

##### 1) 適用

この要領は液体浸透探傷検査の要領と判定基準について規定する。この要領書では染色浸透探傷法を使用する。

##### 2) 表面状態

錆、スケール、スラグ、スパッターなどはワイヤブラシあるいはグラインダーにより除去すること。

##### 3) 資料

a) エアゾール式あるいはハケ塗り方式とする。ただし洗浄液の適用にはエアプール式、スプレー方式あるいはハケ塗りは使用しない。

b) 乾燥には白ウエスまたは吸湿紙を使用する。

c) 被検面は欠陥指示を正しく評価するために適当な照明を行なう。

##### 4) 探傷剤

硫黄、塩素、素の成分はつぎのとおりとする。

	硫黄	塩素	素
浸透液	10 ppm以下	200 ppm以下	200 ppm以下
洗浄液	10 ppm以下	200 ppm以下	200 ppm以下
現像液	10 ppm以下	200 ppm以下	200 ppm以下

異なつた探傷剤のグループの探傷液は混ぜて使用しない。

##### 5) 温度

探傷剤と部品の温度は15.5℃から51.5℃までの範囲とする。

##### 6) 要領

###### a) 前処理

材料あるいは部品は洗浄液で油、グリースを除去すること。

###### b) 浸透液の適用

浸透液を全面に適用する。スプレーまたは刷毛で適用する。

表面の浸透時間は20分以上のこと。

###### c) 洗浄液の適用

余剰の浸透液は清浄な、乾燥したウエスを使用して拭きとる。ほとんどの浸透液が除去された後、洗浄液を湿した布で注意深く拭いて浸透液を除去する。

###### d) 乾燥

5分間自然乾燥する。

- e) 現像液の適用  
表面が乾燥してから、現像液をスプレーで適用する。  
規定された時間内に適用すること。  
エアゾールあるいはスプレーの場合、表面から約250mm離して適用する。現像液をかけ過ぎないこと。
- f) 目視検査  
現像中に観察し、最終の判定は7～10分の間に行なり。
- g) 検査記録  
検査完了後ただちに記録する。

## 8) 判定基準

- a) すべての指示は、他の方法で欠陥でないことが証明されるか簡単な表面手入れで除去されぬ限り、欠陥と考えなければならない。
- b) 欠陥のある個所は、グラインダーでこれを除去し、完全に除去されたことを再び検査する。グラインダーによつて生じる小さな凹みは必要最小肉厚を割らぬ限り溶接補修する必要はない。しかし欠陥除去部は4:1のテーパでならずこと。

## 9.5 超音波探傷試験

鋼板の全面に対し超音波探傷検査を垂直法により行ない、これに合格すること。

## 1) 探傷時期

鋼板の完成状態とする。鋼板表面は探傷可能なように充分滑らかでスケール等があつてはならない。

## 2) 探傷要領

- a) 探傷個所  
鋼板の全面縦・横100mmピッチで連続スライド探傷とする。
- b) 探傷器  
パルス反射方式を用いる。
- c) 使用周波数
- d) 2～3MHzとする。
- d) 探触子  
探触子の直径は20mmφ以上とする。
- e) 接触媒質  
水またはマシン油とする。
- f) 探傷感度

学振皿型感度標準試験片の以下の感度に相当するものであること。

$t < 40$	$V_{15-2.8} = 40\%$
$40 \leq t \leq 80$	$V_{15-2.8} = 60\%$
$80 < t \leq$	$V_{15-2.8} = 80\%$

ただし  $t$  (mm) は板厚

(注) %表示は飽和型探傷器では  $F_1/B_1 \times 100$

不飽和型では  $F_1 / \text{Full Scale} \times 100$  とする。

### 3) 判定基準

欠陥エコー高さ	判定
50%未満	欠陥波は連続的に現れない時合格
50%以上	欠陥の分布状況発生原因等調査の上協議決定

但し底面エコーが健全部に比較し著しく減衰する範囲が  $50 \text{ mm} \phi$  を越える場合不合格とする。

### 10. 再試験

ASTM-A542の規定にもとづき実施することができる。

ただし衝撃試験、落重試験はASME Section III, Latest case interpretation 1414にもとづく。

### 11. 補修

- 1) 表面庇の手直しなどの補修を行なう場合には、その庇の状況および補修要領などについて事前に注文者に連絡し、その承認を受けなければならない。
- 2) 溶接による補修は行なってはならない。

### 12. 試験・検査の立会

下記については立会するものとする。

- 1) 機械試験
- 2) 超音波探傷検査

### 13. 提出書類

次の成績記録を製品納入と同時に3部提出のこと。

- 1) 鋼材の製造履歴書
- 2) 試験片採取要領書
- 3) 化学分析試験成績書
- 4) 機械試験成績書
- 5) 非破壊検査成績書
- 6) 焼入・焼もどし・応力除去焼なまし時の熱処理チャート

### 14. 保証、その他

当所入荷後製造者の責に帰すべき欠陥が発見された場合は、当所の指定する時期までに代品を無償にて納入し、または補修すること。

本仕様書および添付資料の細部について変更あるときは、その都度協議を行なうものとする。