

## (62) HT80 鋼の被覆アーク溶接熱影響部の SR 割れの破面

— 突合せ継手試験 —

(62) Fracture Surface of Reheat Cracking in HAZ of HT80 Steel  
by Shielded Metal-Arc Welding

— Reheat Cracking Test by Butt Joint —

## 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 HT80 (板厚 25mm).

溶接材料 (Welding material) : 高張力鋼用被覆アーク溶接棒 D8016 (径 4, 5mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
母 材	0.11	0.26	0.85	0.015	0.009	0.24	0.80	0.58	0.48	0.06
溶着金属(分析例)	0.06	0.49	1.38	0.010	0.006	—	2.52	0.20	0.46	—

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母 材	87.3	82.5	24	24.2 at 0°C
溶着金属(測定例)	86.7	79.7	23	9.4 at -20°C

## 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 被覆アーク溶接 (Shielded metal-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

溶接棒の乾燥条件	予熱・層間温度 (°C)	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法
350°C × 1hr	150	24~26	4φ : 170 5φ : 220	150	5層 10 パス

## 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 突合せ継手作成 (試験ビート溶接→拘束ビート溶接)

→溶接後熱処理→磁気探傷<sup>(1)</sup>試験片形状 (Specimen configuration)      | 文献(1)参照  
試験条件 (Test condition) : 600°C × 1hr 炉冷      |

試験結果 (Test result) : 拘束パス数 10 で、われ率 68% (試験ビート長に対する割れ長さの割合)

(1)金沢ら : 溶学誌, Vol.44(1975), No.10, P.13

## 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

SR 割れ感受性は、高張力鋼のなかでは強度が高い鋼材ほど高くなる。ここに示した SR 割れは HT80 の溶接継手での例である。

Fig.1 は、突合せ試験片の試験ビートの余盛を除去した後のボンド部に沿った割れを カラー・チェック (Colorcheck) で現出させたものである。きわめて明瞭な割れである。

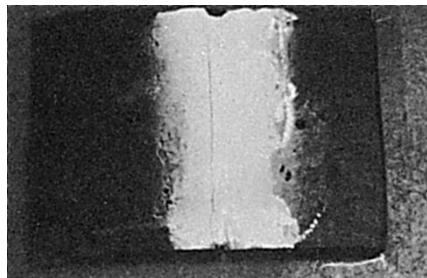


Fig.1 染色浸透検査結果

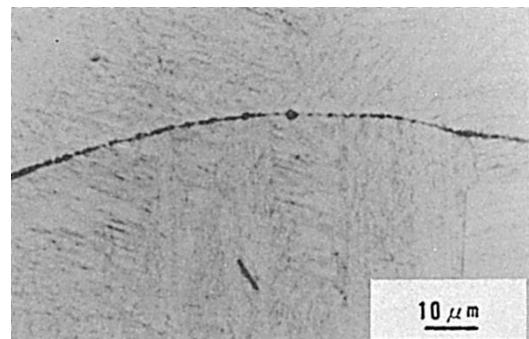


Fig.4 SR 割れ先端のミクロ組織

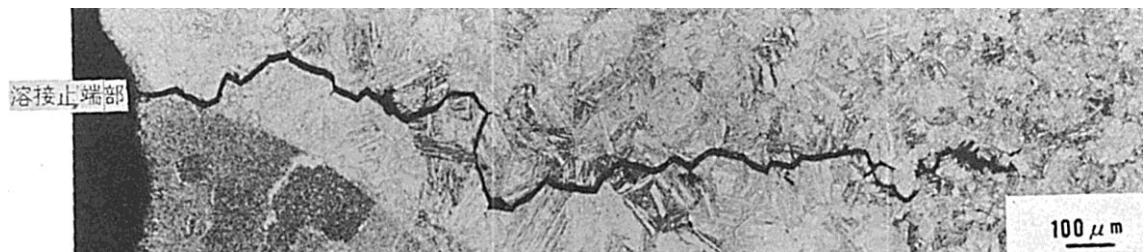


Fig.2 SR 割れのミクロ組織

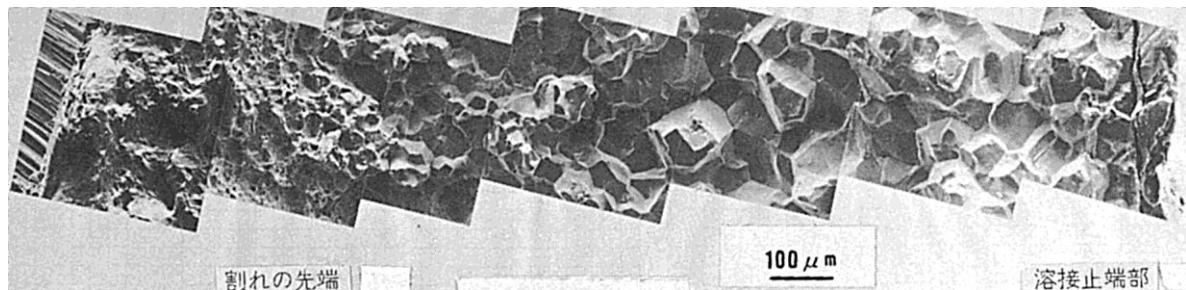


Fig.3 Fig.2 に示した SR 割れのミクロ破面

Fig.2 は、試験片断面部での割れの形態を示すもので、ビートの止端部から、熱影響部の旧オーステナイト粒界に沿った典型的な粒界割れである。割れは粗粒部を伝ばして、細粒部で停止している。ミクロ組織は下部ベイナイトである。

Fig.3 は、Fig.2 の破面で、粗粒部を伝ばし細粒部で停止している様子が破面からもわかる。全体が典型的な粒界破面である。

Fig.4 は、割れ先端部のミクロ組織である。付加応力方向に直角な粒界上に空洞が多数生成し、それらが連なって割れの前駆段階を形成していることがわかる。

## (63) HT80 鋼の電子ビーム溶接熱影響部の SR 割れの破面

## — 電子ビーム溶接試験 —

(63) Fracture Surface of Reheat Cracking in HAZ of HT80 Steel  
by Electron Beam Welding

## — Electron Beam Welding Test —

## 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 HT80 (板厚 50mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	V
母 材	0.16	0.10	0.62	0.010	0.006	0.21	0.95	0.48	0.03

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母 材	87.2	81.4	23.0	23.7 at -40°C

## 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 横向き電子ビーム溶接 (Electron beam welding)

溶接条件 (Welding condition)

加 速 電 圧 (kV)	ビ 一 ム 電 流 (mA)	a <sub>b</sub> 値	溶 接 速 度 (mm/min)
50	300	0.8	600

## 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 電子ビーム溶接試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 300mm 長 × 80mm 幅 × 50mm 厚

試験条件 (Test condition) : 600°C × 9hrs 炉冷

## 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 に電子ビーム溶接ボンド部に発生した SR 割れのミクロ組織を示す。HT80 は SR 割れ感受性の高い鋼種として知られており、特に外的拘束を与えなくとも、溶接時の残留応力が存在する状況で応力除去焼なましを行なうことにより、このような割れが発生する。溶接ボンド部粗粒域の旧オーステナイト粒界を伝ばした割れであり、電子ビーム溶接部は溶接ボンド部が板厚方向に一直線であるため、板厚を貫通した割れとなる。

Fig.2, Fig.3 は上述の SR 割れ破面であり、結晶粒の変形をほとんど伴わない粒界破面となっている。ただし破面上に、わずかに塑性変形の跡が見られる。

電子ビーム溶接法は従来のアーク溶接法に比べて溶接入熱量が小さいため、溶接ボンド部粗粒域の旧オーステナイト粒径が小さい。したがって SR 割れ破面の粒径も約 50μm であり、従来のアーク溶接法 (約 100~150μm) の場合に比べて小さい。

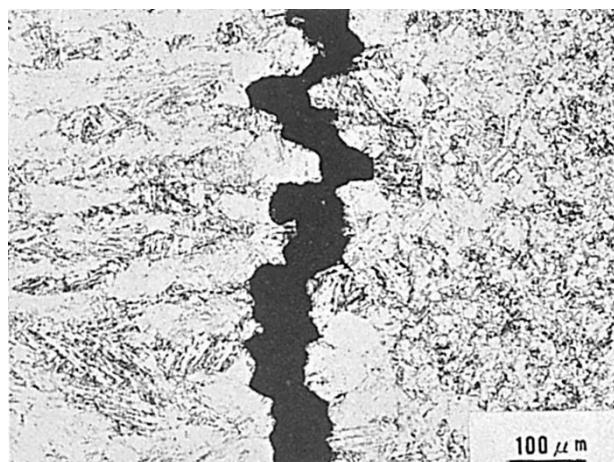


Fig.1 電子ビーム溶接ボンド部に発生した SR 割れの  
ミクロ組織

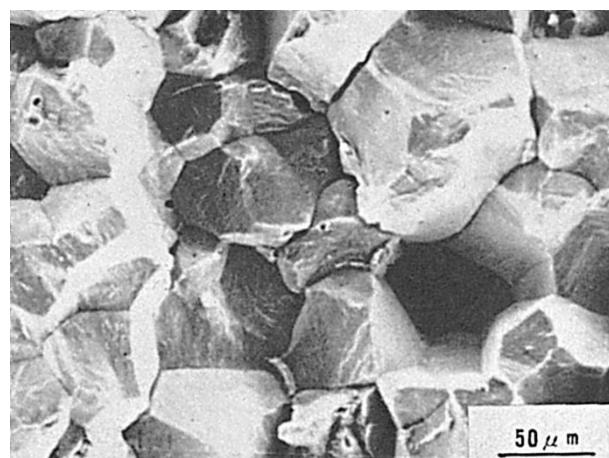


Fig.2 電子ビーム溶接ボンド部に発生した SR 割れの  
ミクロ破面

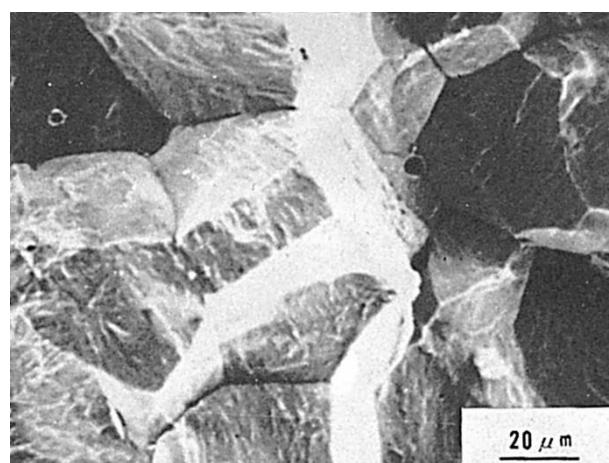


Fig.3 Fig.2 の左部の拡大ミクロ破面

## (64) 圧力容器用低合金鋼の被覆アーク溶接熱影響部の SR 割れの 破面

— 円筒形拘束割れ試験 —

(64) Fracture Surface of Reheat Cracking in HAZ of Mn-Cr-Mo-V Steel  
by Shielded Metal-Arc Welding

— Cylinder Type Restraint Cracking Test —

### 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 圧力容器用 Mn-Cr-Mo-V 鋼材 BS1501-271B (板厚 100mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
母 材	0.17	0.20	1.29	0.012	0.006	0.55	0.56	0.23	0.048
溶 着 金 属	0.07	0.54	1.24	0.012	0.006	0.38	—	0.54	—

### 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 被覆アーク溶接 (Shielded metal-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開先形状	溶接棒の乾燥条件	予熱温度(℃)	アーク電圧(V)	溶接電流(A)	溶接速度(mm/min)	積層方法
V 形	350℃×1hr	250	24	140	100	1層1パス

### 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 円筒形拘束割れ試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 図 1 参照

試験条件 (Test condition) : 600℃×1hr

### 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 に円筒形拘束 SR 割れ試験方法を示す。割れは熱影響部粗粒域に切欠きを導入した試験片を 600℃で 1hr 加熱した後に発生したもので、Fig.2 に撮影個所を示す。Fig.3～5 から明らかなように、破面は SR 割れに特有な粒界破面を呈している。

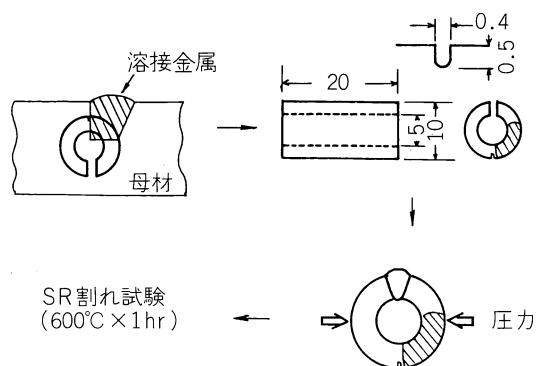


Fig.1 円筒形拘束割れ試験

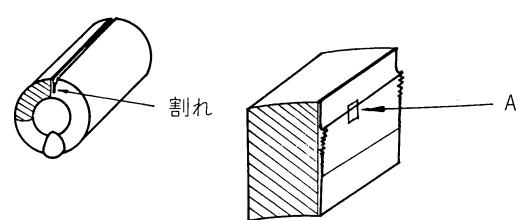


Fig.2 撮影箇所 (A部)

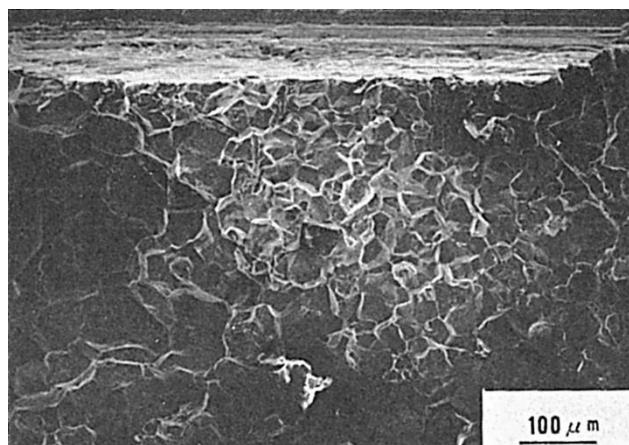


Fig.3 マクロ破面

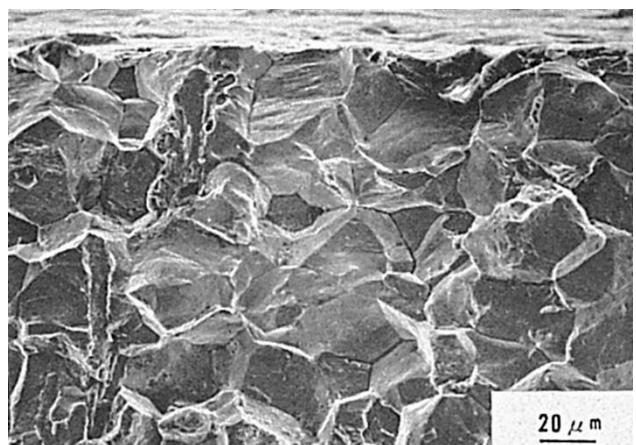


Fig.4 Fig.3 中央部のミクロ破面

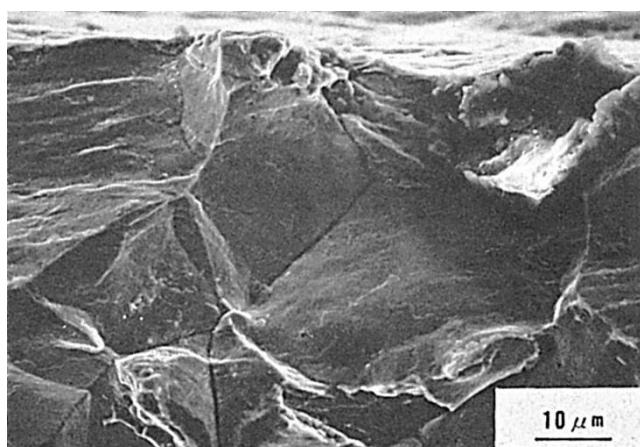


Fig.5 Fig.4 上部のミクロ破面

## (65) 1Cr-0.5Mo 鋼の被覆アーク溶接熱影響部の SR 割れの破面

— 斜め y 形自拘束割れ試験片による SR 割れ試験 —

(65) Fracture Surface of Reheat Cracking in HAZ of 1Cr-0.5Mo Steel  
by Shielded Metal-Arc Welding

— Reheat Cracking Test by Self-Restraint Test Specimen with y-Groove —

## 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 壓力容器用 1Cr-0.5Mo 鋼材 ASTM A387 Grade 12 Class 2 (板厚 70mm).

溶接材料 (Welding material) : Cr-Mo 鋼被覆アーク溶接棒 DT2316 (径 4mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ni	Sb	As	Sn	V	Al
母 材 (分析例)	0.16	0.25	0.61	0.010	0.007	0.14	1.03	0.51	0.15	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004

機械的性質 (Mechanical property)

	引 張 強 さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母 材(測定例)	50	32	15 at 15°C

## 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 被覆アーク溶接 (Shielded metal-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開先形状	溶接棒の乾燥条件	予熱温度(°C)	アーク電圧(V)	溶接電流(A)	溶接速度(mm/min)	積層方法
y 形	350°C × 1hr	270	25	170	150	1 層 1 パス

## 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 斜め y 形自拘束試験片による SR 割れ試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 200mm 長 × 150mm 幅 × 20mm 厚

試験条件 (Test condition) : 600°C へ約 3hrs で加熱, 600°C に到達後直ちに炉冷

## 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

前記の溶接条件で試験ビートをおいた Fig.1 の試験片を約 3hrs で 600°C に加熱し, 600°C に達すると同時に炉冷した. SR 割れは Fig.2 に示すように, ルート部の溶融境界線に近接した HAZ に発生し, ビート表面側へと進展している. Fig.3 は Fig.2 の AA'BB' 領域について, ルート部からビート表面側へかけて連続的に破面を観察した結果である. Fig.3 にみるように破面はほぼ全面にわたって粒界破壊の様相を呈しており, SR 割れの明確な特徴が認められる. また, 破面が粗大な粒界破面より構成されていることから, SR 割れが HAZ の粗粒域の粒界で発生し, 粗大粒界を伝はしたことは明らかである.

Fig.4 は上記の SR 割れ破面を拡大したものである. 空気中で応力除去焼なましの加熱過程に相当する後熱処理を行なったため, 破面はほぼ全面酸化皮膜でおおわれている.

Fig.5 は酸化皮膜の拡大組織写真である.

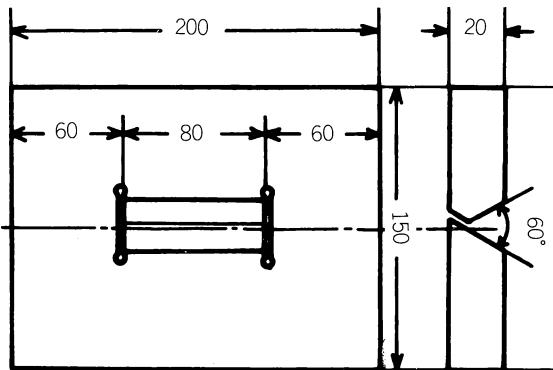


Fig.1 Y形 SR割れ試験片の形状、寸法  
(ルートギャップ; 2mm)

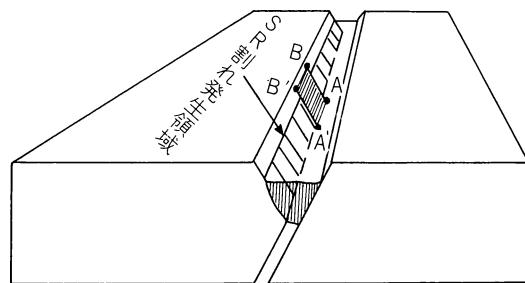


Fig.2 SR割れ発生領域の模式図・割れ破面観察領域  
AA'B'B領域(試験片長手方向中央部)

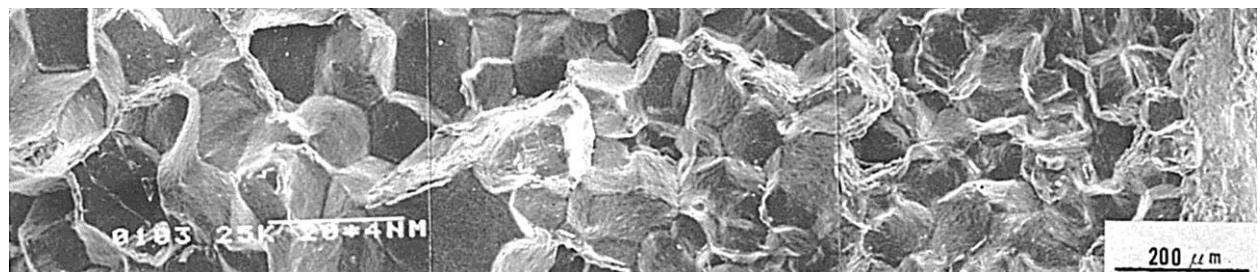


Fig.3 ルート部 (AA'側) からビード表面側 (BB'側) へかけての割れ破面 ルート部(A-A'側)

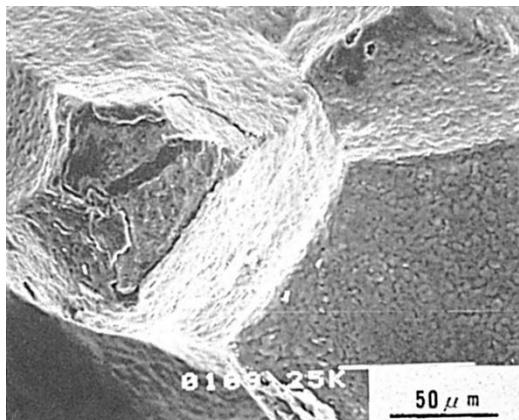


Fig.4 割れのミクロ破面

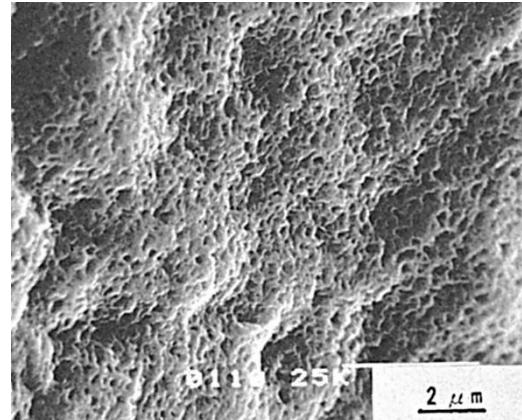


Fig.5 割れのミクロ破面

## (66) 2½Cr-1Mo 鋼の被覆アーク溶接熱影響部の SR 割れの破面

— 斜め y 形自拘束割れ試験片による SR 割れ試験 —

(66) Fracture Surface of Reheat Cracking in HAZ of 2½ Cr-1Mo Steel  
by Shielded Metal-Arc Welding

— Reheat Cracking Test by Self-Restraint Test Specimen with y-Groove —

## 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 圧力容器用 2½Cr-1Mo 鋼材 ASTM A387 Grade 22  
(板厚 50mm).

溶接材料 (Welding material) : Cr-Mo 鋼被覆アーク溶接棒 DT2416 (径 4.0mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
母 材	0.13	0.16	0.56	—	—	0.09	2.4	1.06
溶着 金 属(分析例)	0.07	0.40	0.70	0.012	0.006	—	2. 3	1. 02

## 機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)	熱処理
母 材(測定値)	66	55	28	5.6 at 0°C	—
溶着金属(測定値)	59	53	17	— at —°C	690°C × 1hr の SR

## 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 被覆アーク溶接 (Shielded metal-arc welding)

## 溶接条件 (Welding condition)

開 先 形 状	溶 接 棒 の 乾 燥 条 件	予 熱 温 度 (°C)	溶 接 電 流 (A)	溶 接 速 度 (mm/min)	積 層 方 法
y 形	350°C × 1hr	250~300	170	150	1層 1パス

## 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 斜め y 形自拘束試験片による SR 割れ試験

試験片形状 (Specimen configuration) : Fig.1 参照

試験条件 (Test condition) : 700°C × 10hrs 炉冷

## 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 は試験片作成に用いた斜め y 形溶接割れ試験片の形状を示す。溶接時には低温割れ発生防止のため、十分予熱を行ない、溶接後は予熱温度を保持して、連続的に応力除去焼鈍を行なった。その後、拘束溶接を除去して、裏面より、溶接線を中心に曲げて、Fig.2 に示すマクロ破面を有する試験片を作成した。Fig.3 にマクロ破面のスケッチ図を示す。マクロ破面には溶接後熱処理による酸化スケールが認められ、その表面は比較的凹凸が多く見られる。Fig.4, 5 と 6 は割れ破面の A 部を拡大したミクロ破面である。破面は旧オーステナイト粒界に沿って発生した粒界破面である。

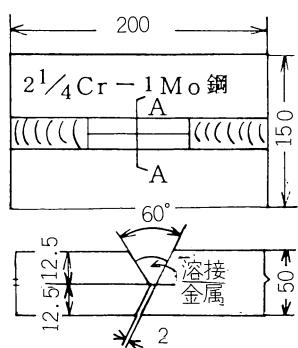


Fig.1 試験片形状

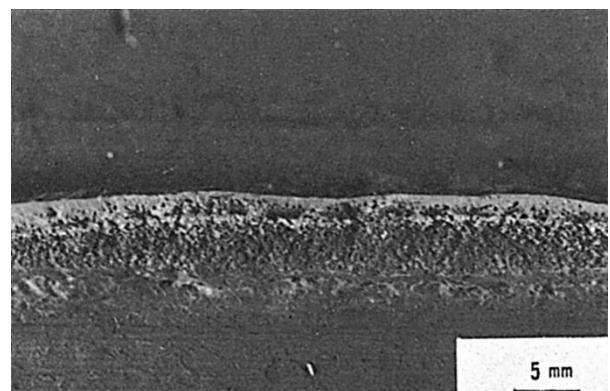


Fig.2 マクロ破面

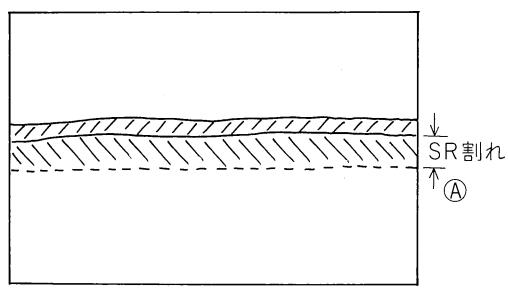


Fig.3 Fig.2 のマクロ破面のスケッチ

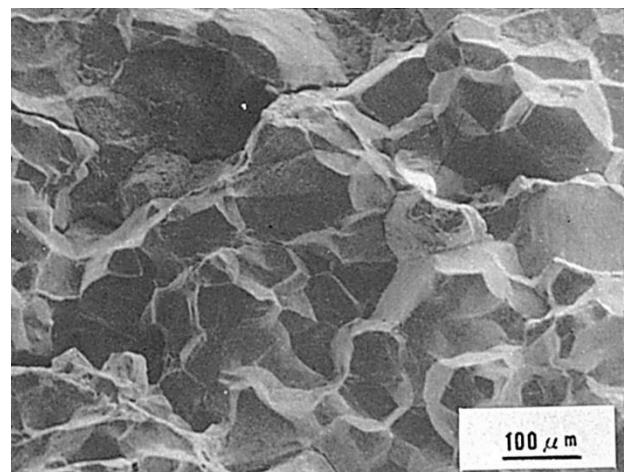


Fig.4 Fig.3Ⓐ部のミクロ破面

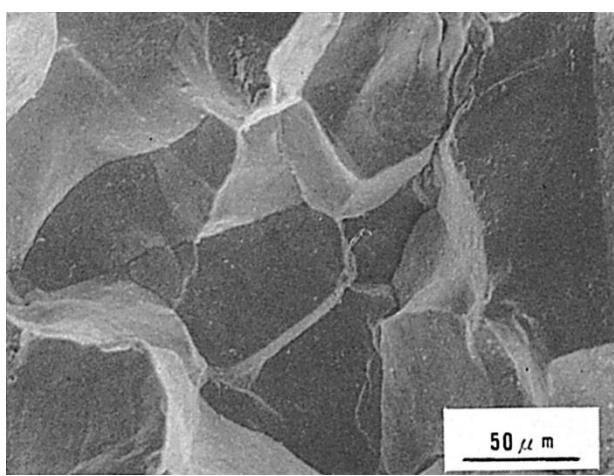


Fig.5 Fig.3Ⓐ部のミクロ破面

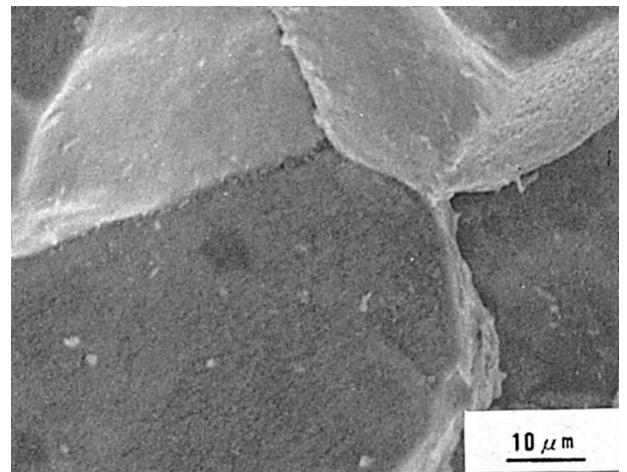


Fig.6 Fig.5 の中央部の拡大

## (67) 2½Cr-1Mo 鋼のエレクトロスラグ溶接金属の SR 割れの破面

— 斜め y 形自拘束割れ試験片による SR 割れ試験 —

(67) Fracture Surface of Reheat Cracking in Electroslag Weld Metal  
of 2½ Cr-1Mo Steel

— Reheat Cracking Test by Self-Restraint Test Specimen —

## 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 圧力容器用 2½Cr-1Mo 鋼材 ASTM A387 Grade 22  
(板厚 65mm).

溶接材料 (Welding material) : ワイヤ : 2½Cr-1Mo 系ワイヤ (径 3.2mm).

フラックス : カルシウム硅酸塩系 (IIW)

## 化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
母 材	0.12	0.21	0.46	0.013	0.004	2.37	1.03
溶着金属	0.12	0.26	0.80	0.007	0.006	2.38	1.03

## 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : エレクトロスラグ溶接 (Electroslag welding)

## 溶接条件 (Welding condition)

電 流 (A)	電 壓 (V)	上 進 速 度 (mm/min)
530	45	15

## 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : エレクトロスラグ溶接金属から切り出した斜め y 形自拘束割れ試験片による SR 割れ試験

試験溶接 (Test welding) : Cr-Mo 鋼被覆アーク溶接棒 DT2416 (入熱 18kJ/cm, 予熱温度 200~250°C, 後熱温度 300°C)

試験条件 (Test condition) : 625°C ~ 110°C/hr で加熱し, 4hrs 保持後炉冷

## 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Cr-Mo 鋼に韌性向上を目的として微量元素を加えることによる SR 割れ感受性への影響を調査した。SR 割れ試験には、エレクトロスラグ溶接金属に他のインターナルが溶接された後の応力除去熱処理を想定し、Fig.1 に示す斜め y 開先再熱割れ試験片を用いた。

この試験において、試験片ルート部近傍に発生した割れ位置のスケッチを Fig.2 に示す。この割れはよく知られているように粒界で発生している (Fig.3)。この SR 割れを防止するには、インターナル取付時のすみ肉溶接の止端部形状をなめらかにするのが有効である。

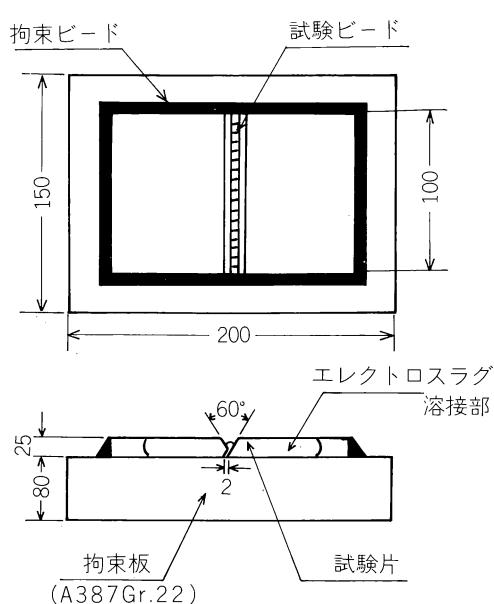
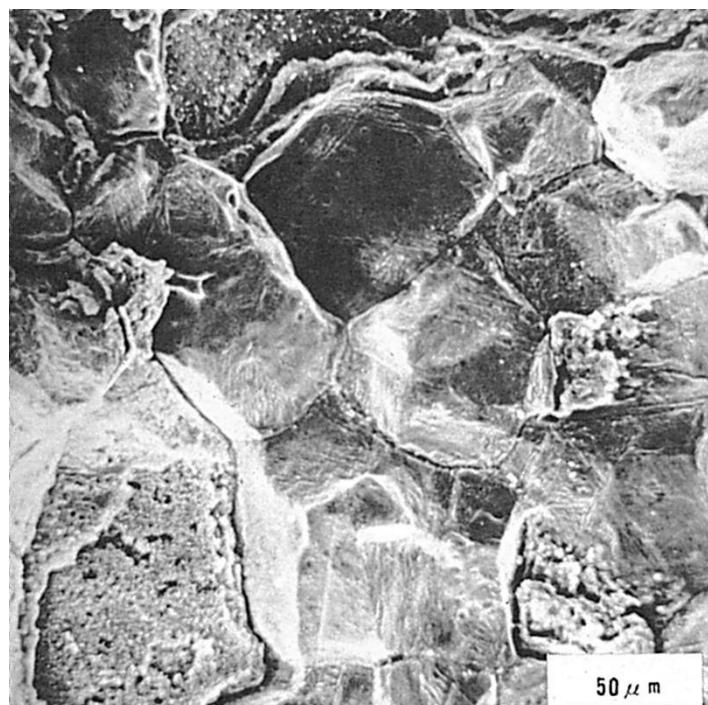


Fig.1 SR割れ試験法



(a) 一般例

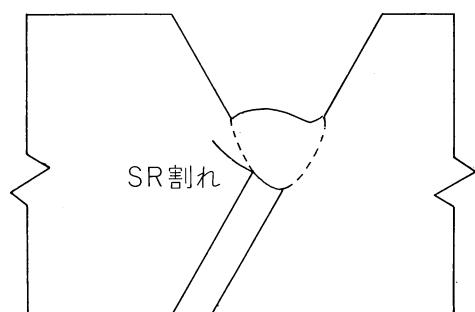
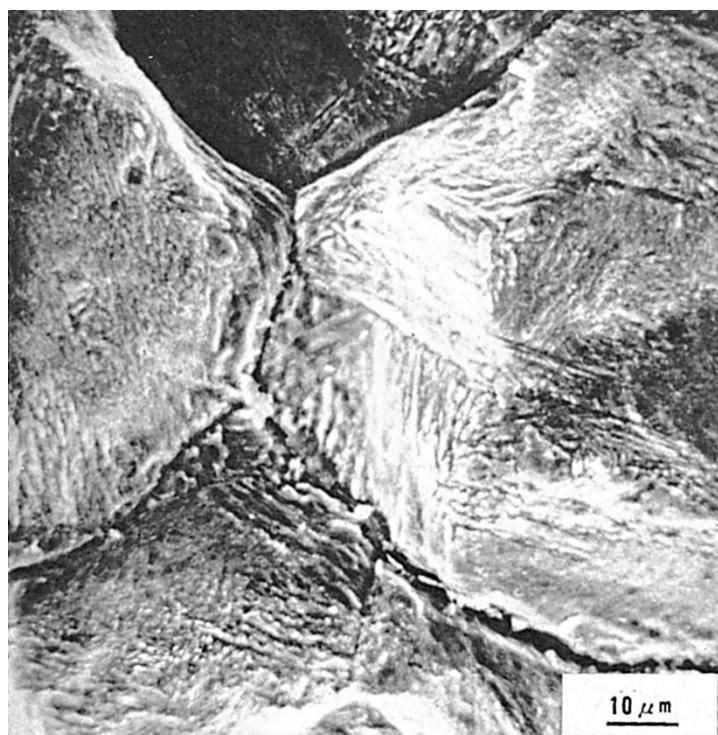


Fig.2 SR割れの発生位置



(b) (a)の中央部の拡大

Fig.3 SR割れのミクロ破面

## (68) 2½Cr-1Mo 鋼の TIG 溶接金属の SR 割れの破面

— リングはめ込み式割れ試験 —

(68) Fracture Surface of Reheat Cracking in Weld Metal of 2½ Cr-1Mo Steel  
by TIG Arc Welding

— Ring Type Restraint Weld Cracking Test —

## 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 壓力容器用 2½Cr-1Mo 鋼材 ASTM A387 Grade22 (板厚 25mm).

溶接材料 (Welding material) : 2½Cr-1Mo 鋼用ワイヤ (径 2.4mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
母 材	0.15	0.19	0.55	0.01	0.006	2.42	1.01
溶着金属(分析例)	0.08	0.32	0.71	—	—	2.26	1.04

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)	熱処理
母 材(測定値)	66	55	28	5.6 at 0°C	—
溶着金属(測定値)	67	53	25	29 at 20°C	690°C × 1hr の SR

## 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : TIG 溶接 (TIG arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開先形状	予熱温度 (°C)	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法
Fig. 1 参照	250	10~11	150	100	1層 1パス

## 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : リングはめ込み式割れ試験

試験片形状 (Specimen configuration) : Fig.1 参照

試験条件 (Test condition) : 625°C × 5hrs 炉冷

## 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 は試験片作成に用いたリングはめ込み式割れ試験の形状を示す。溶接は TIG 溶接を用いて、内外の溶接を同時に行ない、溶接後応力除去焼鈍を行なった。溶接部断面のマクロ組織を Fig.2 に、またミクロ組織を Fig.3 に示す。割れは切欠き部より発生して溶接金属を進展しており、大部分は粒界に沿った割れである。Fig.4 は強制的に破壊して得られたマクロ破面を示し、そのスケッチ図を Fig.5 に示す。マクロ破面の表面には、溶接後熱処理による酸化スケールが付着し、凹凸も見られる。Fig.5 のスケッチ図の A 部を拡大したミクロ破面を Fig.6 に示し、これをさらに拡大したものが Fig.7 である。ミクロ破面は粒界破面が見られるが、酸化が著しいため詳細な観察は困難である。

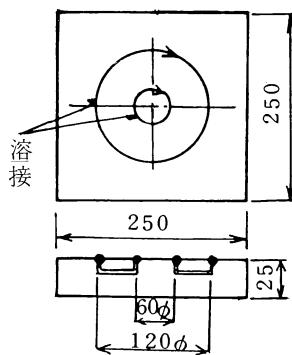


Fig.1 試験片形状

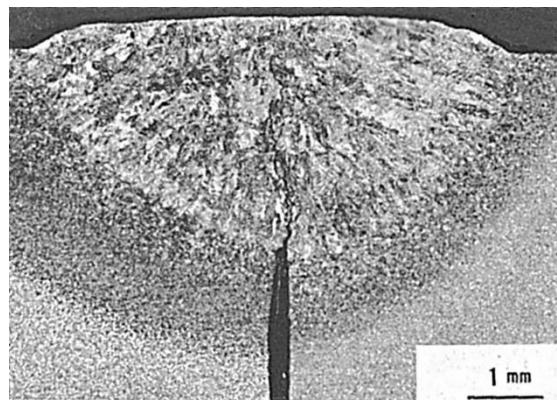


Fig.2 マクロ組織



Fig.3 ミクロ組織

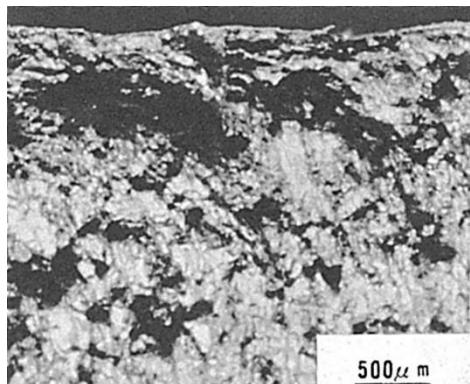


Fig.4 マクロ破面

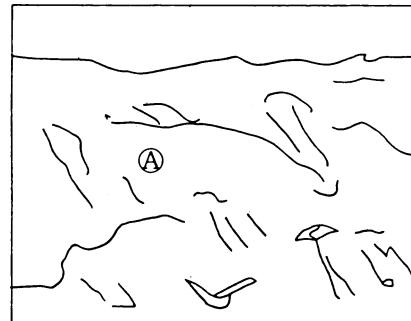


Fig.5 マクロ破面のスケッチ

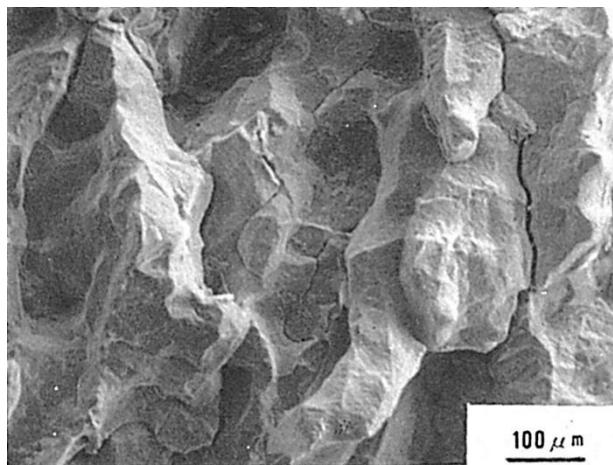


Fig.6 Fig.5(A)部のミクロ破面

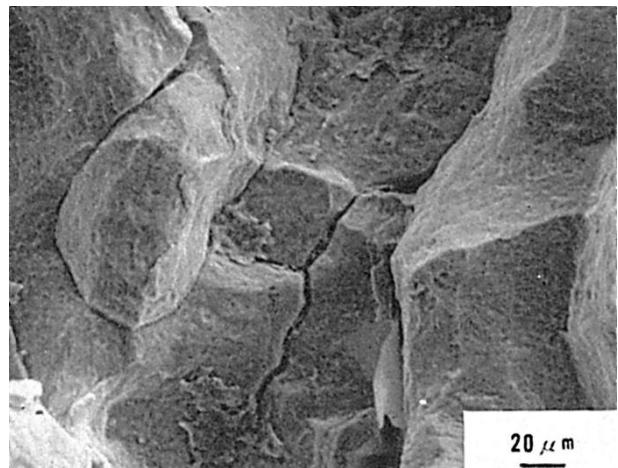


Fig.7 Fig.6 の中央部の拡大

## (69) 圧力容器用低合金鋼の肉盛溶接部のアンダークラッド・クラッキングの破面

— MRT 試験 —

(69) Fracture Surface of Underclad Cracking of A508 Class 2 Steel

— Mitsubishi Restraint Cracking Test —

### 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 圧力容器用 Mn-Mo-Ni 鋼材 ASTM A508 Class 2 (板厚 50mm).

溶接材料 (Welding material) : ステンレス鋼帶状電極肉盛材料 YB304L-F (50mm 幅 × 0.4mm 厚).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
母 材	0.19	0.27	0.69	0.008	0.008	0.85	0.45	0.66	<0.005
溶着金属(分析例)	0.038	0.55	1.73	0.023	0.011	9.96	20.02	—	—

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母 材(測定例)	48.5～65.5	≥25	≥20	— at —℃
溶着金属(測定例)	57	—	42	8.8 at 20℃

### 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : サブマージアーク溶接 (Submerged-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開先形状	フラックスの乾燥条件	予熱・層間温度 (℃)	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	入熱 (kJ/cm)
Fig. 1 参照	300℃×1hr	150～200	28～30	800～850	約 160	約 90

### 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : MRT 試験

試験片形状 (Specimen configuration) : Fig.1 参照

試験条件 (Test condition) : 615℃×24hrs 炉冷

### 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 に試験片作成に用いた MRT 試験の要領を示す。帯状電極サブマージアーク溶接で①を肉盛後、通常のサブマージアーク溶接で②を溶接し、最後に③を帯状電極サブマージアーク溶接した後、応力除去焼鈍を実施した。Fig.2 は割れの発生状況を示したもので、表面から、肉盛溶接金属を削除し、母材の熱影響部を検査した。割れは 1 パスと

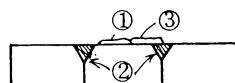
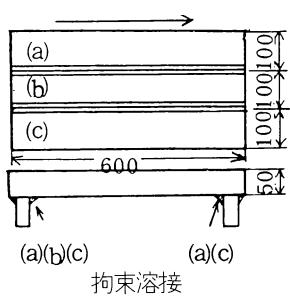


Fig.1 MRT 試験片

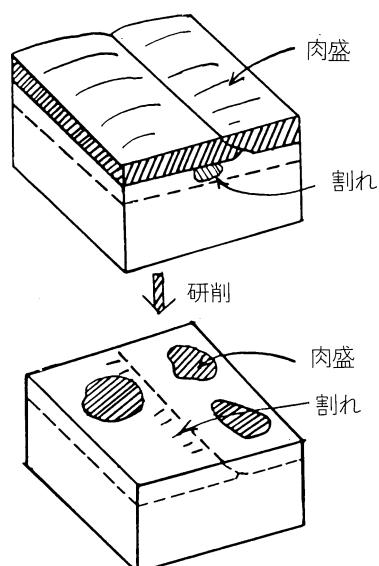


Fig.2 割れの発生位置

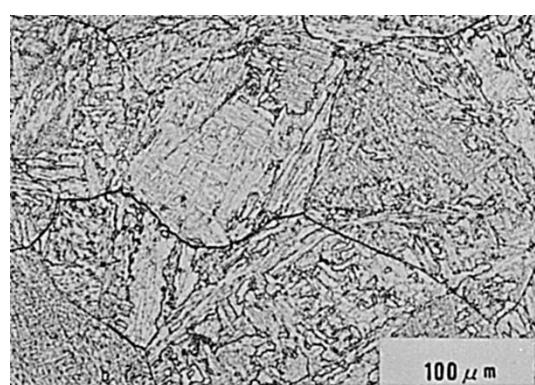


Fig.3 ミクロ写真

2 パス溶接ビートの熱影響部の重なり部に生じ、そのミクロ組織は Fig.3 の通りで、大部分が粒界割れであることを示している。Fig.4 は強制破断して得たマクロ破面を示す。Fig.5 のスケッチ図で、斜線部が割れが発生した場所で、その他は強制破断面である。マクロ破面は金属光沢を有しており、比較的粗い。Fig.6, 7 と 8 は割れ破面の 1 部(A)を拡大したミクロ破面である。破面は旧オーステナイト粒界に沿った粒界破面である。

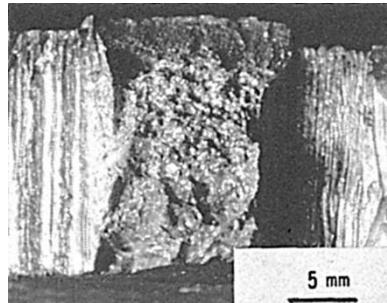


Fig.4 マクロ破面

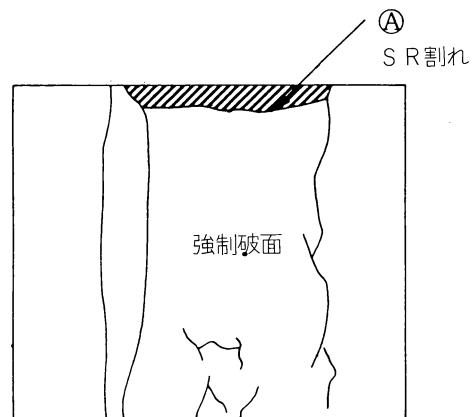


Fig.5 マクロ破面のスケッチ

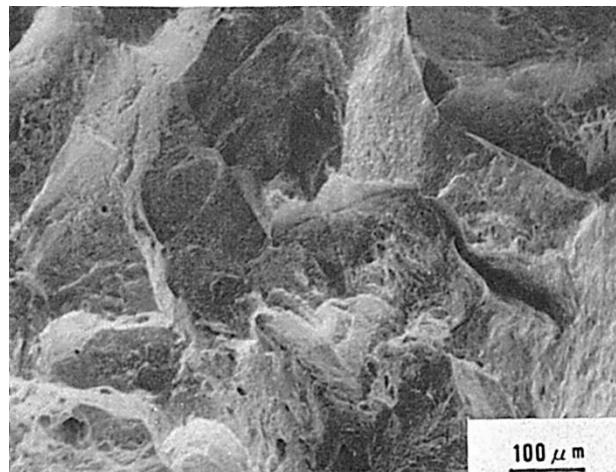


Fig.6 ミクロ破面 (A部)

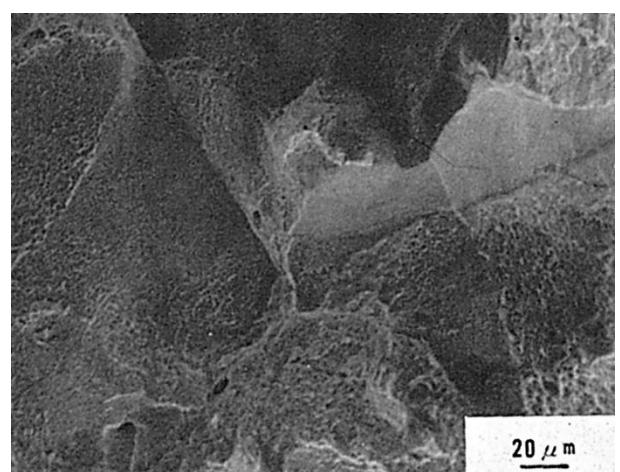


Fig.7 ミクロ破面 (Fig.6 の拡大破面, A部)

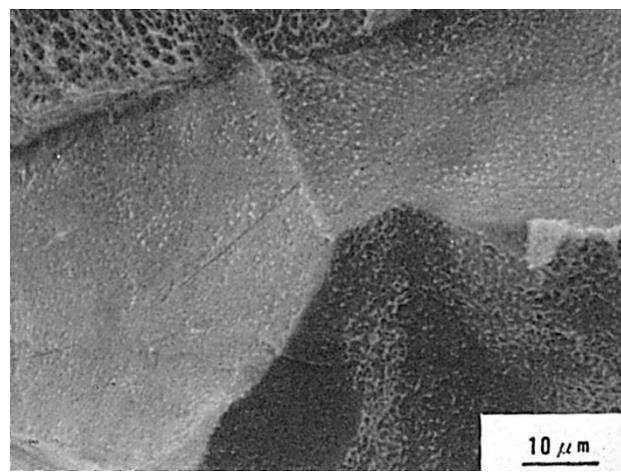


Fig.8 ミクロ破面 (Fig.7 の拡大破面, A部)

## (70) HT100 鋼の肉盛溶接部のアンダークラッド・クラッキングの 破面

### — 肉盛溶接試験 —

(70) Fracture Surface of Underclad Cracking of HT100 Steel

### — Overlay Welding Test —

#### 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 HT100 (板厚 60mm).

溶接材料 (Welding material) : ステンレス鋼帶状電極肉盛材料 KWB-309L (75mm 幅 ×  
0.4mm 厚)

フラックス : KFS-150, 弗化物・塩基性系 (IIW)

#### 化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	B
母 材	0.15	0.25	0.50	0.006	0.005	0.51	1.48	0.60	0.58	0.049	0.054	0.0012
溶着金属	0.03	0.54	1.68	0.020	0.002	—	9.8	19.7	—	—	—	—

#### 機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母 材	105	99	20	16.1 at 25°C

#### 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : エレクトロスラグ肉盛溶接 (Electroslag overlaywelding)

#### 溶接条件 (Welding condition)

開先形状	フラックスの乾燥条件	予熱・層間温度 (°C)	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法
平 板 上	300°C × 1hr	150	28	1250	14	1 層 4 パス

#### 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 肉盛溶接試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 500mm 長 × 450mm 幅 × 60mm 厚

試験条件 (Test condition) : 615°C × 45hrs

#### 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

原子炉反応容器や化学反応容器の内面には耐食性を確保するために, Type308, Type347などのステンレス鋼が内張りされる。内張りの方法としてはステンレス帶状電極を用いた肉盛溶接 (サブマージアーク溶接, 水平エレクトロスラグ溶接) が主流となってい

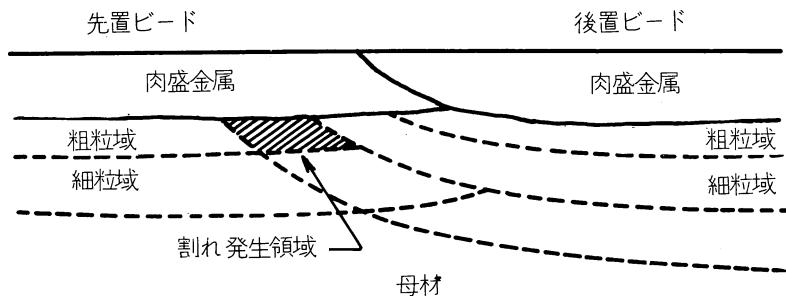


Fig.1 アンダークラッド・クラッキングの発生位置

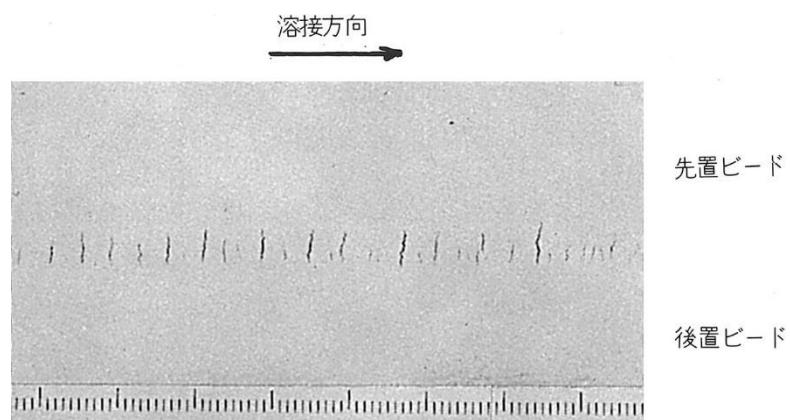


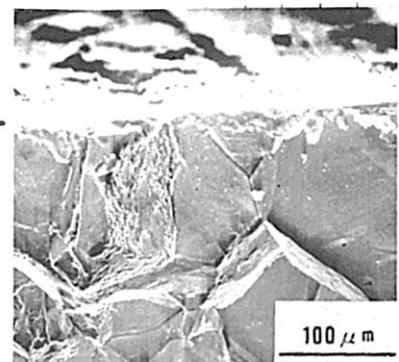
Fig.2 アンダークラッド・クラッキングの磁粉探傷試験結果

る。このような肉盛溶接部は溶接後 600°C 程度の SR が施されるが、鋼種によってはビート重ね部近傍の HAZ に SR 後に微小割れ（アンダークラッド・クラッキング、以下 UCC）が検出されることがある。

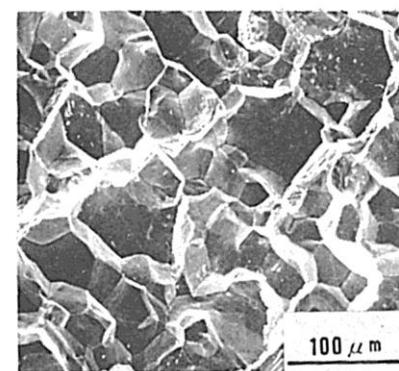
Fig.1 は UCC の発生位置を示したものであり、その位置は先置ビートにより結晶粒が粗大化した HAZ のうち後置隣接ビートによって  $Ac_1$  直下に再加熱された領域である。UCC は一般に AEC (U.S. Atomic Energy Commission) の Regulatory Guide にあるごとく、SR 後に肉盛金属のみを研磨除去し割れを研磨表面に露出させて液体浸透試験あるいは磁粉探傷試験によって検出する。Fig.2 はその一例であるが、割れは溶接方向に対して垂直に伝ばしており、クラッド直下での割れ長さは長いもので 10mm 程度であり、割れ深さは 3mm 程度、開口幅はほとんど 0 である。Fig.3(a) は UCC の断面形状を示したものであり、また Fig.3(b) はその破面をボンドからの距離とともに示したものである。割れは典型的な粒界破面を呈している。UCC の割れ感受性は母材の SR 割れ感受注係数： $\Delta G = [Cr] + 3.3[Mo] + 8.1[V] - 2$ 、および HAZ の結晶粒径と密接な関係があり、また SR 前には上述した UCC 発生位置に高い残留応力が存在していることなどから、UCC は SR 割れの一種であると考えられる。



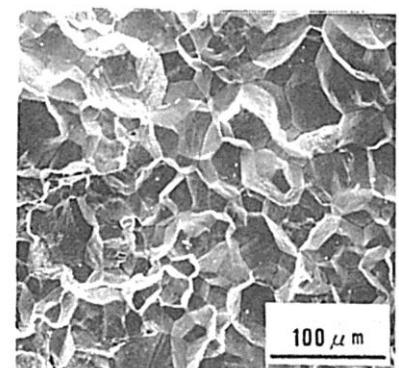
(a) ミクロ組織



ボンド



ボンドから 1mm の位置



ボンドから 1.5mm の位置

(b) ミクロ破面

Fig.3 アンダークラッド・クラッキングのミクロ組織及びミクロ破面