

I. 溶接過程における欠陥

Defects in Welding Processes

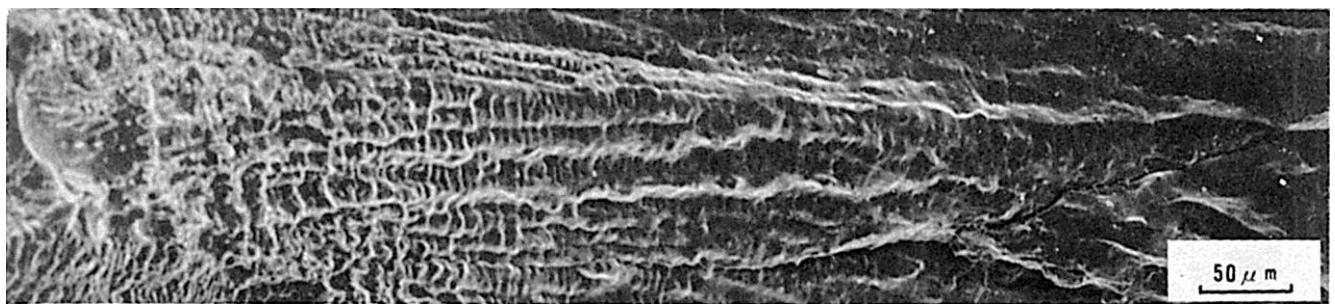
I . 1 高 温 割 れ (Hot Cracks) 概説 (Outline)

高温割れは凝固割れ、液化割れおよび延性低下割れに大別される。以下にそれぞれの破面の特徴を述べる。

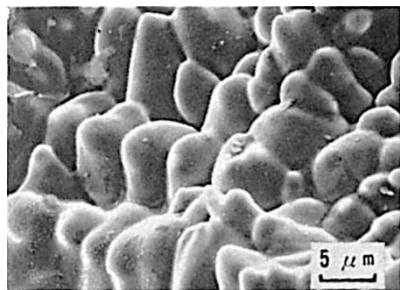
まず凝固割れについて述べると、多くの溶接用鉄鋼材料はセル状樹枝状のサブ組織を形成しながら凝固していくため、セル状樹枝状晶の発達段階のどの位置で、つまり融液が多量に存在する高温側、融液がほとんどない低温側、あるいはこれらの中間、のどの位置で凝固割れが発生するかによって破面は異なった様相を示す。一例としてバレストレイン試験で発生した完全オーステナイト系ステンレス鋼の凝固割れの破面を Fig.1¹⁾ に示す。バレストレイン試験では溶接中に温度分布をもつて溶接長全体にわたって外部ひずみが瞬時に付加されるため、セル状樹枝状晶の発達段階の各位置で凝固割れが発生することになる。したがってセル状樹枝状晶の発達段階と破面の関係を容易に見出すことができる。Fig.1 (a) は高温側（左側）から低温側（右側）にいたる破面のほぼ全景を示したものであり、Fig.1 (b) ~ (d) は細部を拡大したものである。まず高温側ではセル状樹枝状晶の 2 次枝の突起が顕著に見られ、一見してセル状樹枝状晶の境界で割れが発生したことがわかる。低温側へ移行するにつれて 2 次枝の突起はしだいに不明瞭となり、そのため柱状晶の成長方向に平行な 1 次枝間のくぼみが相対的に目立つようになる。さらに低温側へ移行するにつれて、このくぼみも不明瞭になって破面は全体に平坦となる。しかしながら微量の残留融液の存在を示す穴が柱状晶に平行に並んでいるのが見られ (Fig.1 (d))、高倍率の観察ではこれらの穴には介在物が存在していて S, P, O などの元素が検出される。

上記のような破面の推移は、Fig.2 に示すセル状樹枝状晶の発達段階の模式図から理解できるであろう。まず高温側ではセル状樹枝状晶が融液中に突出しており、ついで低温側に移行するにつれて液膜段階を経た後にセル状樹枝状晶どうしが互いに合体するようになる。さらに低温側に移行すると融液はきわめて少なくなるために、粒界あるいはセル状樹枝状晶境界に位置している融液は固相に取り囲まれて散在していることになる。したがって高温側で発生した凝固割れの破面はセル状樹枝状晶の突起の顕著な様相を示す。いっぽう凝固割れが低温側で発生する場合には固相どうしがほとんど合体し終っているために、その破面は概して平坦で所々に少量の残留融液のこん跡のある様相を示す。中間の温度域では、高温側と低温側の遷移状態が見られることになる。

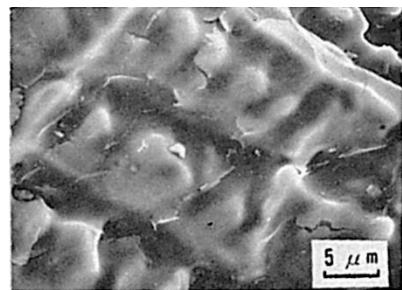
実際の施工で発生する凝固割れとして、例えば電子ビーム溶接部の水平割れではバレストレイン試験時と同様の高温側から低温側にしだいに変化する破面がその短い割れの中に見られることがある。このような場合にはその割れは全長にわたって瞬時に発生したと解釈できる。



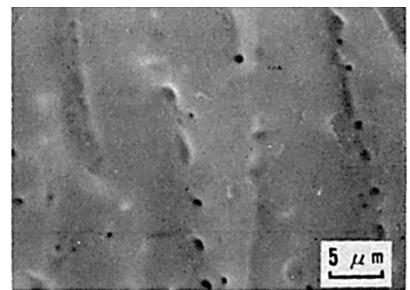
(a) 凝固割れ破面のほぼ全景



(b) 高温側の拡大



(c) 中温域の拡大



(d) 低温側の拡大

Fig.1 バレストレイン試験で発生した完全オーステナイト系ステンレス鋼の凝固割れの破面

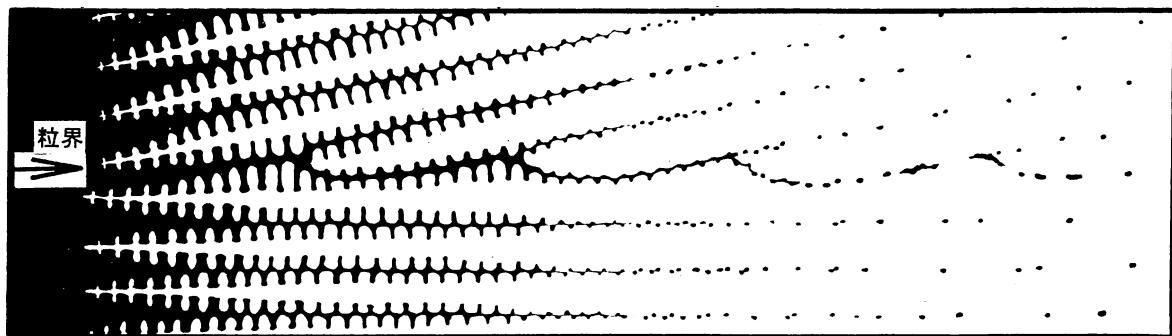


Fig.2 セル状樹枝状晶の発達段階の模式図

いっぽう一般によく発生する凝固割れではほとんどその全長において高温側の破面、すなわちセル状樹枝状晶の突起の顕著な破面が見られることが多い。このような場合にはいったん発生した割れが熱源の移動に追随して高温側の温度域を伝ばしていったと解釈できる。こういづた場合でも、割れの停止した付近の極めて狭い領域では低温側の破面が見られることが多い。

凝固割れの低温側の破面と、それ以下の温度で他の原因で発生した粒界破面とは一般にはつぎのように識別できる。(i) 凝固割れの破面はなめらかな印象を与えていることが多く、また破面上にはテア・ライン(ヘア・ライン)のような鋭利な塑性変形のこん跡が一般に見

られない。 (ii) 一般の粒界破面上の介在物の周囲はディンプル状、すなわちネッキング (necking) によって生じた稜線が周囲を取巻いていることが多いが、凝固割れの破面では介在物の周囲はディンプル状になっていない。また凝固割れの破面では介在物の形状はくずれたものが多い。

なお種々の材料についてバレストトレイン試験を行なった結果によれば、凝固中の相変態が破面に影響を及ぼすことがわかっている²⁾³⁾。たとえばオーステナイト系ステンレス鋼SUS304 では凝固途上で起きるオーステナイト相とフェライト相の包共晶反応のために、割れの多くはこの温度まで停止する。このため破面はセル状樹枝状の凹凸のみとなり平坦な破面は一般には見られない。

つぎに、なし形ビート割れは広義には凝固割れに含まれることが多いが、狭義にはこれは引き巣と同様に最終凝固部における溶融金属の不足によって発生するものとされている。その破面では凝固割れの高温側の破面と同様にセル状樹枝状晶の突起が一般によく見られる。そのため、なし形ビート割れと凝固割れの区別は破面のみでは難しいようであるが、凝固割れが隣接するセル状樹枝状晶が互いに接するようになってからあるいは接する寸前に発生することを考えるならば、凝固割れとなし形ビート割れの区別は一般にはつぎのように考えるのが妥当であろう。すなわち割れの両側の破面をマッチングさせたとき、一方の破面の凸部が他方の破面の凹部にほぼ対応している場合は凝固割れ、対応していない場合はひけ巣的ななし形ビート割れと解釈できるのであろう。

つぎに液化割れの破面として、完全オーステナイト系ステンレス鋼の熱影響部に発生した例を Fig.3 に示す。破面は粒界破面になっているが、融液が存在している状態で割れが発生するため、破面は丸味を帯びているのが特徴である。液化割れ破面についての系統だった研究はとくになされていないために、割れの発生温度と破面の関係についてはよく分っていないが、液化量の多い高温側ではセル状樹枝状晶的な突起の見られる場合がある。このような突起は Fig.3 でも一部に見られる。またステンレス鋼などで柱状晶組織をもつ溶接金属においてつぎのパスによる再加熱時に液化割れが発生した場合には、液化割れの破面もしばしば柱状晶の方向性をもった粒界破面になる。しかしながら一般の鋼においては再加熱時の相変態の影響によって柱状晶の方向性は失なわれることが多いようである。

延性低下割れは溶接金属あるいは熱影響部において凝固割れや液化割れよりも低い温度で発生するものであり、溶接金属では凝固後の冷却中に発生する場合とつぎのパスによる再加熱時に発生する場合がある。延性低下割れは一般に炭化物等の粒界への析出や不純物元素の粒界偏析によって発生すると考えられている。そのため破面は粒界破面になるが、粒界破面上には融液の存在を示すこん跡はもはや認められず、また液化割れのような破面の丸みも見られない。延性低下割れの破面については系統だった研究はなされていないが、

析出状況によっては粒界延性破面の見られる場合がある。一例として完全オーステナイト系ステンレス鋼の溶接金属において凝固後冷却中に発生した延性低下割れの破面を Fig.4¹⁾ に示す。Fig.4 (a)において左端と右上端は強制破断部であり、延性低下割れ部は鋭い稜線をもつ粒界破面になっている。Fig.4 (b)は破面の一部を拡大したものであり、黒いつぶ状の穴からはCrとCが多く検出されたため、この部分には炭化物が析出しているものと考えられる。

なお肉眼的には高温割れの破面はいずれも程度の差はある酸化していることが多い、また割れが柱状晶に沿っている場合は柱状晶の方向性が肉眼でも見られる。したがって酸化しているかどうかということと、柱状晶の方向性が認められるかどうかということは、肉眼的に破面を大まかに推定するうえで重要な要素である。しかし割れが表面に開口していない場合には破面は銀白に輝いた金属色を示すために、この場合には柱状晶による方向性のみで高温割れかあるいは他の原因による割れかを識別することは難しい。

参考文献

- 1) F. Matsuda, et al : Trans. JWRI, Vol.7 (1978), No.1, P.59.
- 2) F. Matsuda, et al : Trans. JWRI, Vol.8 (1979), No.1, P.105.
- 3) F. Matsuda, et al : Trans. JWRI, Vol.8 (1979), N 0.1, P.155.

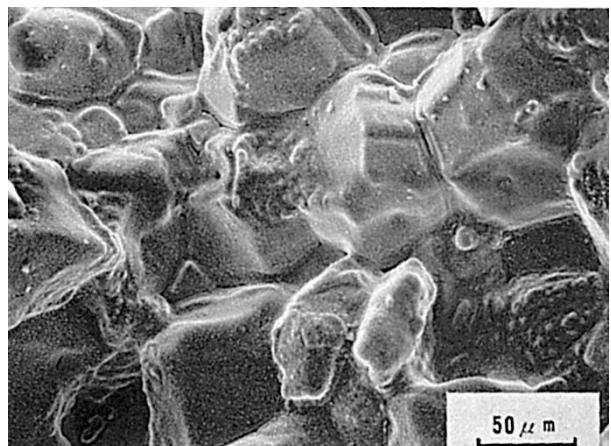
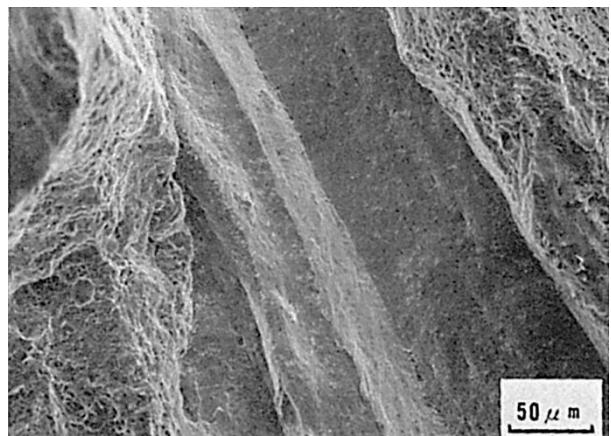
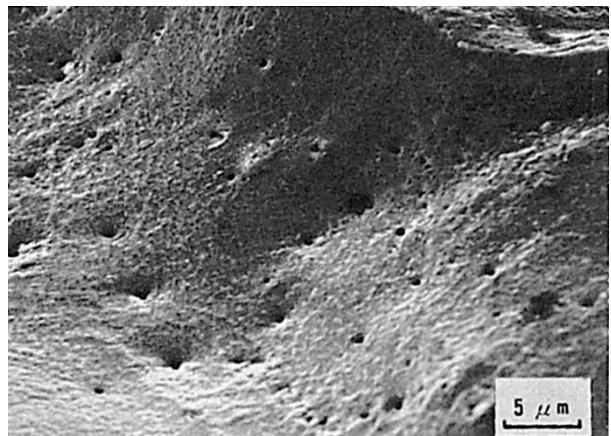


Fig.3 完全オーステナイト系ステンレス鋼に発生した液化割れの破面



(a) 低倍率



(b) 高倍率

Fig.4 完全オーステナイト系ステンレス鋼の溶接金属で発生した延性低下割れの破面

(1) 軟鋼の片面サブマージアーク溶接時に発生した終端割れの破面

(1) Fracture Surface of End Crack in Submerged-Arc Welding of Mild Steel

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 船体用圧延鋼材 NK KAS (板厚 45mm) .

溶接材料 (Welding material) : サブマージアーク溶接用材料 AWS F76-EL8 相当 (径
4.8 および 6.4mm) .

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

	C	Si	Mn	P	S
母 材 (分析例)	0.17	0.40	1.0	0.014	0.015
溶 着 金 属(分析例)	0.10	0.35	1.05	0.011	0.009

機械的性質 (Mechanical property)

	引 張 強 さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母 材(規 格)	41~50	≥22	— at — °C
溶 着 金 属(測定例)	49	—	6.8 at 0 °C

溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 3 電極片面サブマージアーク溶接 (Tandem submerged-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開 先 形 状	フラックスの 乾 燥 条 件	アーケ電圧 (V)	溶 接 電 流 (A)	溶 接 速 度 (mm/min)	積 層 方 法
Y 形	(200~300°C) ×1 hr	35~52	1,300~1,500	350	1 層 1 パス

試 験 (Test)

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

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 は割れ破面作製のために行なった片面サブマージアーク溶接の要領を示したものである。割れは Fig.2 に示すように、溶接終端部よりやや内部に入った部分で発生する。Fig.3 は溶接部横断面のマクロ組織を示したものであり、割れは溶接金属の柱状晶会合部で発生している。Fig.4 は強制破壊して得たマクロ破面を示したものである。割れの破面は比較的平坦であり、テンパー・カラー (Temper color) の着色はほとんど認められない。

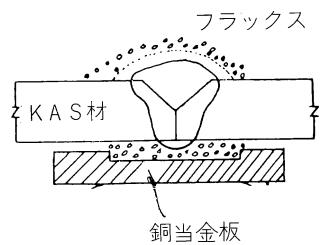


Fig.1 溶接方法

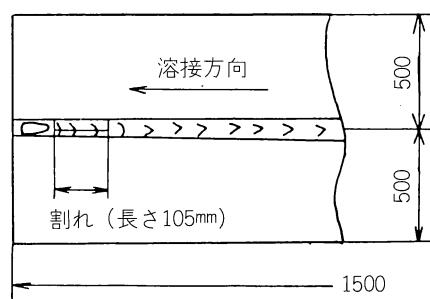


Fig.2 割れの発生位置

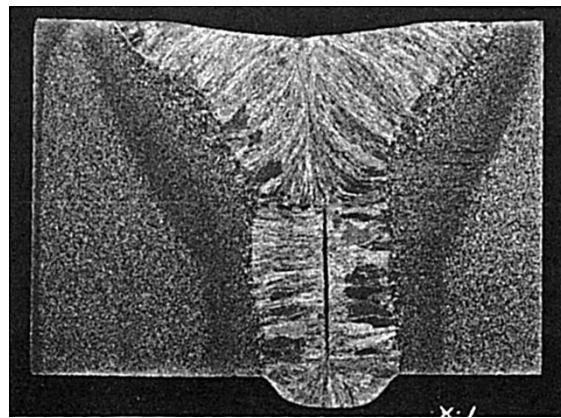


Fig.3 横断面マクロ組織

Fig.5 はマクロ破面のスケッチ図である。Fig.6 は A 部を拡大したミクロ破面であり、Fig.7 と 8 は B 部を拡大したミクロ破面である。割れ破面はいずれもセル状樹枝状晶の凹凸を示しており、液膜が存在していたと思われるなめらかな丸みをおびた様子が見られる。

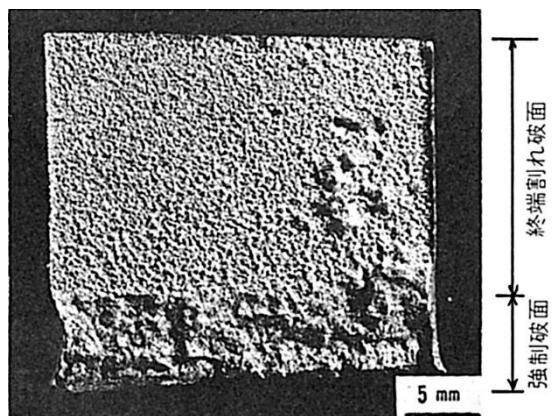


Fig.4 マクロ破面

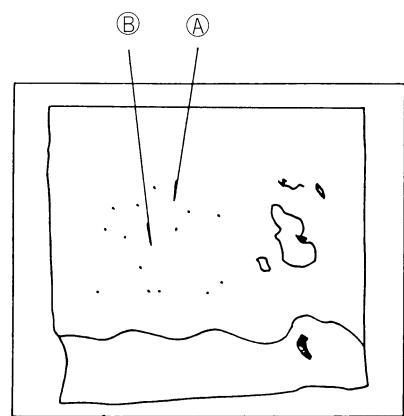


Fig.5 Fig.4 のマクロ破面のスケッチ

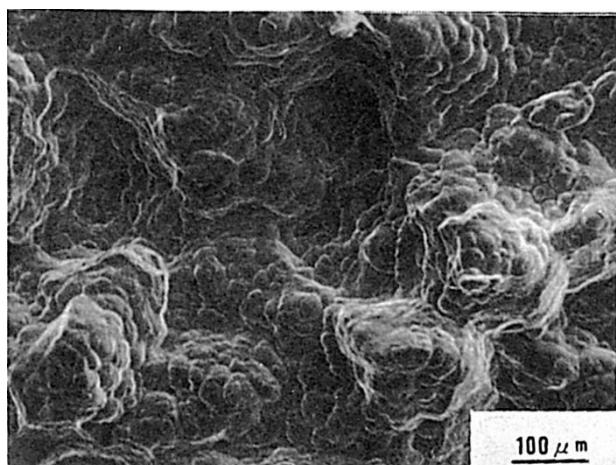


Fig.6 A部のミクロ破面

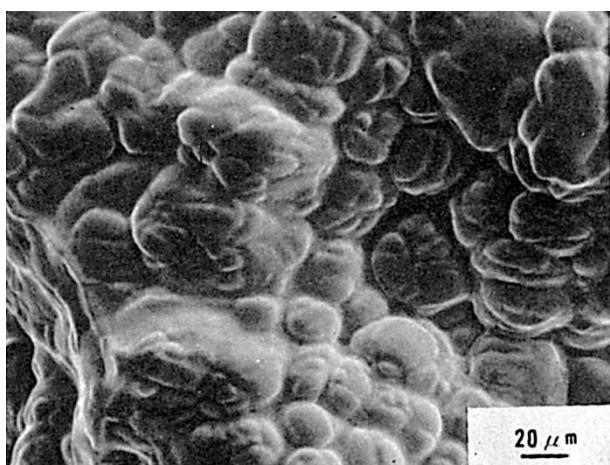


Fig.7 B部のミクロ破面

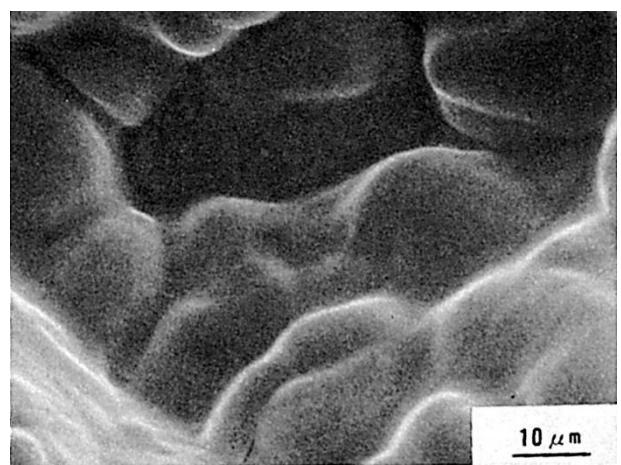


Fig.8 B部のミクロ破面

(2) 軟鋼のシーム溶接開始時に発生した凝固割れの破面

(2) Fracture Surface of Solidification Crack Occurred at Start
of Seam Welding of Mild Steel

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 熱間圧延軟鋼板 SPHC (板厚 1.6mm).

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

	C	Si	Mn	P	S
母 材	0.045	tr.	0.23	0.013	0.020

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm ²)	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm ²)	伸び (%)
母 材	30.1	37.7	43.2

溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 重ねシーム溶接 (Seam welding)

溶接条件 (Welding condition)

溶接電流 (A)	電極加圧力 (kgf)	重ね代 (mm)	溶接速度 (m/min)	通電形式
23,800	1,190	2.3	13	連続

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 はシーム溶接の開始部での溶接のスケッチである, 開始部では一般に入熱および圧潰が増大する. Fig.2 は開始部の横断面マクロ組織であり, 板厚方向に割れの発生していることが認められる. Fig.3 は試験片を強制破壊して得た低倍率のミクロ破面である. A部分が内在していた割れの部分であり, 溶接方向から判断して Fig.3 の右側の方が最高到達温度の低い部分と考えられる. Fig.4 は Fig.3 の A 部を拡大したものでありセル状樹枝状晶の突起が見られる. これから割れの生因は, 始端部では単位溶接長当たりの加圧力が高く, かつ重ね代が小さいため溶接部に引き裂き力が作用して溶融部が分離したものと考えられた.

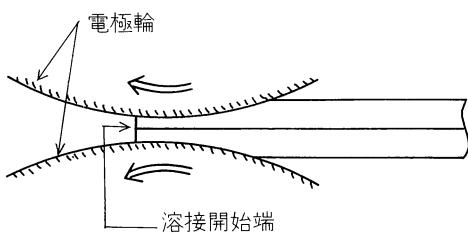


Fig.1 溶接状態のスケッチ

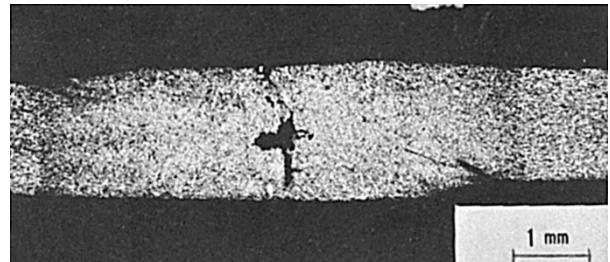


Fig.2 溶接部横断面のマクロ組織

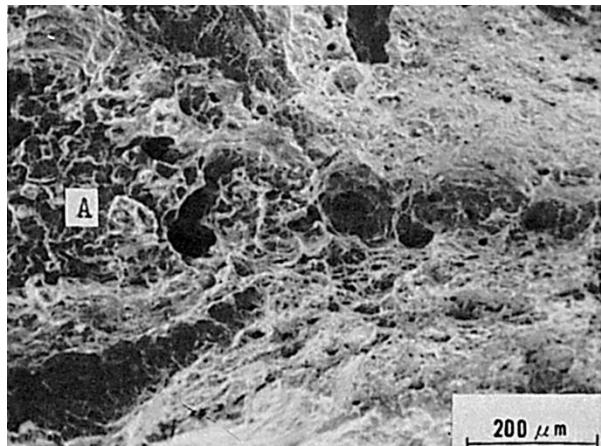


Fig.3 割れ(A)付近の低倍率のミクロ破面

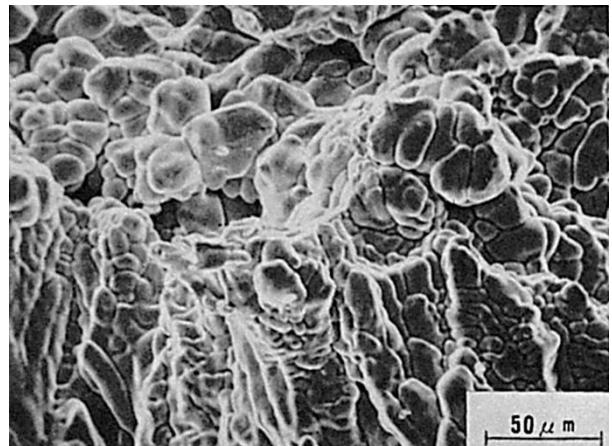


Fig.4 Fig.3 の A 部のミクロ破面

(3) SS41 鋼の電子ビーム溶接時に発生した凝固割れの破面

— ビード・オン・プレート試験 —

(3) Fracture Surface of Solidification Crack in Electron Beam Welding of SS41 Steel

— Bead-on-Plate Test —

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 一般構造用圧延鋼材 SS41 (板厚 19mm).

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

	C	Si	Mn	P	S	O	N
母 材	0.18	0.06	0.92	0.021	0.028	0.0062	0.0084

機械的性質 (Mechanical property)

	引 張 強 さ (kgf/mm ²)	降 伏 点 (0.2%耐力) (kgf/mm ²)
母 材(規格値)	41.0~52.0	≥24.0

溶 接 (Welding)

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

溶接条件 (Welding condition)

加 速 電 壓 (kV)	ビ ー ム 電 流 (mA)	a _b 値	溶 接 速 度 (mm/min)	真 空 度 (Torr.)
150	30	0.6	600	≤5×10 ⁻⁴

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : ビード・オン・プレート試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 200mm 長×75mm 幅×19mm 厚

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 に溶接金属の側面からの X 線透過写真を示す。溶接金属内に多数の微細な割れが発生している。Fig.2 は溶接金属の横断面のマクロ組織の代表例を示したものである。割れは柱状晶の粒界に沿って生じている。Fig.3 と Fig.4 にミクロ破面の代表例を示す。セル状樹枝状晶の突起が顕著に見られる。Fig.5 は凝固割れ先端部の主要な成分元素を X 線マイクロアナライザーで分析した結果を示したものであり、S, P, O などの低融点共晶生成物に結びつく元素が検出される場合が多い。

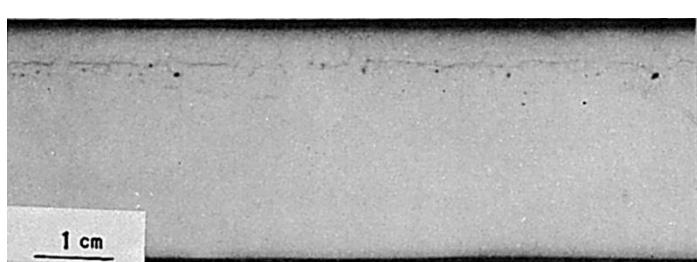


Fig.1 溶接部のX線透過写真

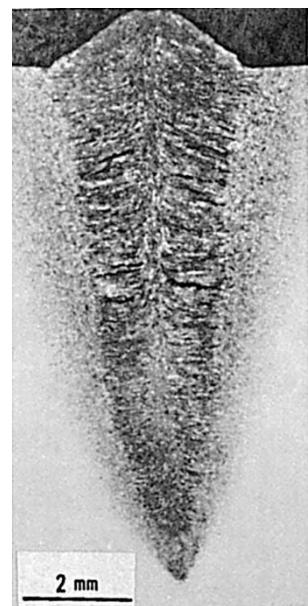


Fig.2 溶接部横断面マクロ組織

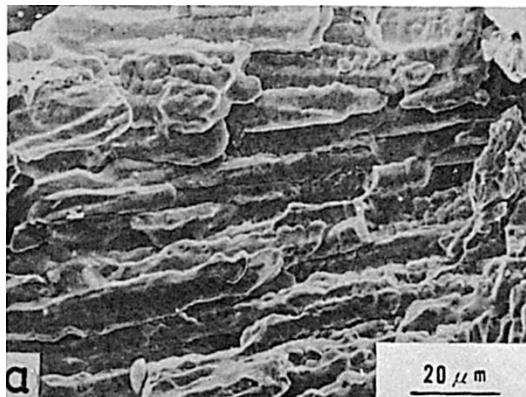


Fig.3 凝固割れのミクロ破面

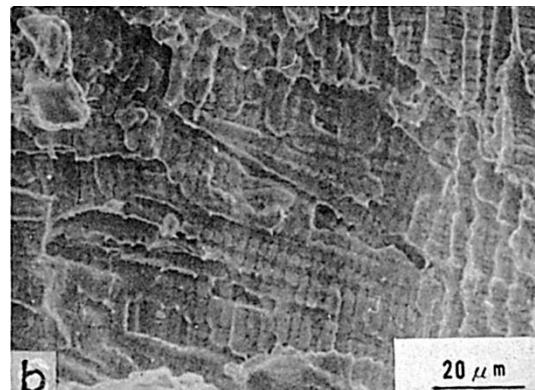


Fig.4 凝固割れのミクロ破面

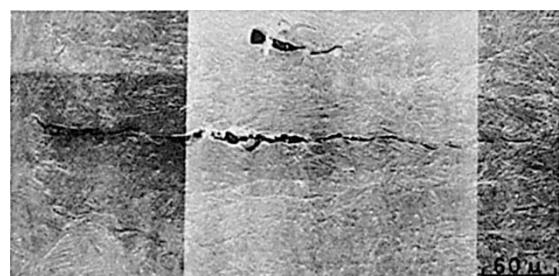


Fig.5 X線マイクロアナライザによる割れ近傍の元素分析結果



(4) SM41 鋼の炭酸ガスアーク溶接時に発生した 凝固割れの破面（その1）

—V溝単層溶接試験—

(4) Fracture Surface of Solidification Crack in Carbon-Dioxide Arc Welding of SM41 Steel (I)

—V-Groove Single Pass Welding Test—

材 料 (Material)

母材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM41 (板厚 25mm) .

溶接材料 (Welding material) : 炭酸ガスアーク溶接用鋼ワイヤ YCW1 (径 1.6mm).

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

	C	Si	Mn	P	S
母材	0.22	0.40	0.93	0.024	0.017
溶着金属(分析例)	0.09	0.46	1.09	0.013	0.012

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm ²)	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm ²)	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母材	45	27	32	— at — °C
溶着金属(測定例)	57	46	31	12 at 20 °C

溶接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 炭酸ガスアーク溶接 (Carbon-dioxide arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開先形状	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法
40° V形	40~42	450~500	500~550	1層1パス

試験 (Test)

試験方法 (Test method) : V溝単層溶接試験

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

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

V溝単層溶接の試験片形状を Fig.1 に示す。Fig.2 は炭酸ガスアーク溶接で単層溶接した溶接部横断面のマクロ組織であり、割れは溶接金属中央に生じている。Fig.3 は強制破断して得たマクロ破面を示したものであり、Fig.4 はそのスケッチで、斜線部が割れ破面である。Fig.3 のマクロ破面にはテンパー・カラー (Temper color) の付着が見られ、表面形状は比較的平滑な様相を示している。Fig.5, 6 と 7 は Fig.4 の割れ破面の A 部を順次高倍率で拡大したミクロ破面であり、セル状樹枝状晶の突起を示す凹凸が見られる。またその表面は液膜が存在していたと思われるなめらかな丸みをおびており、典型的な凝固割れの様相を示している。

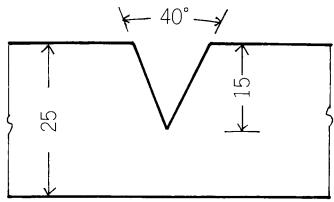


Fig.1 試験片形状

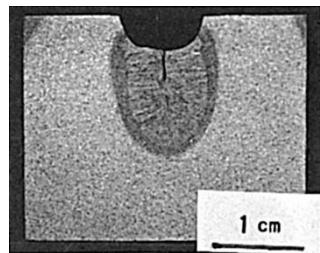


Fig.2 横断面マクロ組織

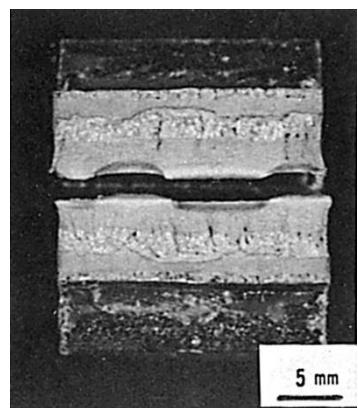


Fig.3 強制破断により得られたマクロ破面

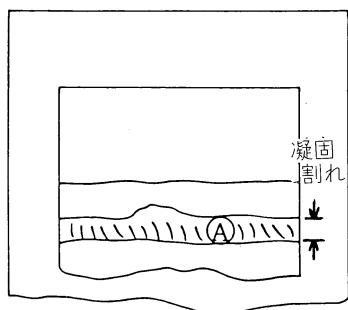


Fig.4 Fig.3 のマクロ断面のスケッチ

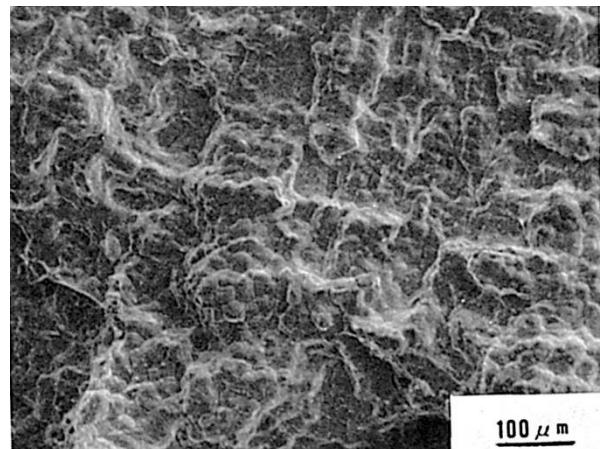


Fig.5 ④部の低倍率のミクロ破面

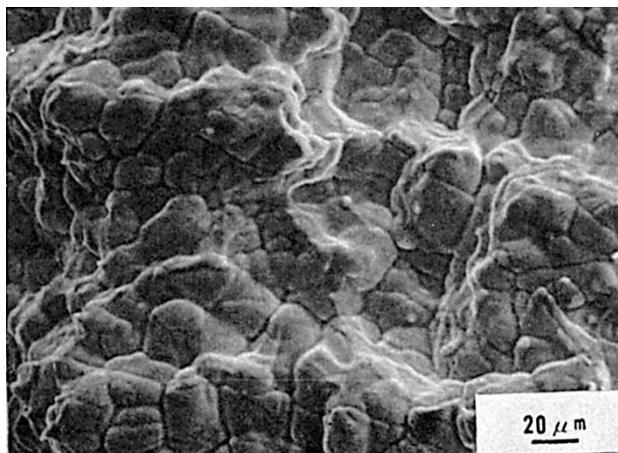


Fig.6 Fig.5 の中央部を拡大したミクロ破面

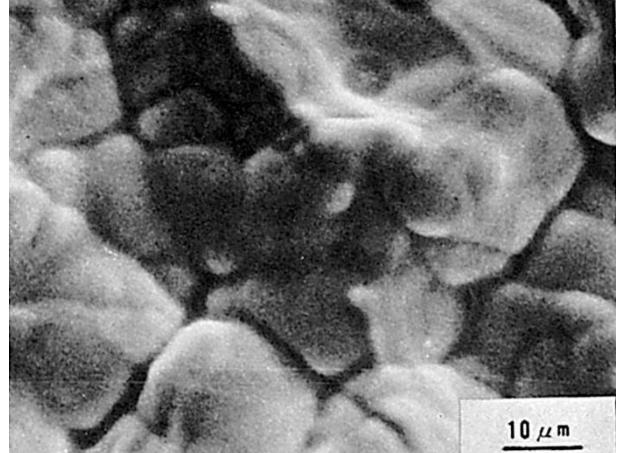


Fig.7 Fig.6 の中央部を拡大したミクロ破面

(5) SM41 鋼の炭酸ガスアーク溶接時に発生した 凝固割れの破面（その 2）

—Y開先突合せ溶接試験—

(5) Fracture Surface of Solidification Crack in Carbon-Dioxide Arc Welding of SM41 Steel (II)

—Single-Vee Groove Butt Welding Test—

材料 (Material)

母材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM41 (板厚 25mm).

溶接材料 (Welding material) : 炭酸ガスアーク溶接用鋼ワイヤ YCW1 (径 1.6mm).

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

	C	Si	Mn	P	S
母材 (分析例)	0.22	0.40	0.93	0.024	0.017
溶着金属 (分析例)	0.09	0.46	1.09	0.013	0.012

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm ²)	降伏点 (0.2%耐力) (kgf/mm ²)	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母材 (測定例)	45	27	32	— at — °C
溶着金属 (測定例)	57	46	31	12 at 0 °C

溶接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 炭酸ガスアーク溶接 (Carbon-dioxide arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開先形状	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法	シールドガス
5° Y形	32~34	350	500~550	1層1パス	100%CO ₂

試験 (Test)

試験方法 (Test method) : Y開先突合せ溶接試験

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

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 に試験片の形状を示す。割れは溶接アークを急に切って、クレータ部に発生させたものである。強制破断して得たマクロ破面には、高温割れ特有のテンパー・カラー (Temper color) が認められ、破面は比較的平滑な様相を示していた。Fig.2 は割れ部の低倍率のミクロ破面であり Fig.3 は Fig.2 のスケッチである。Fig.4 は Fig.3 の A 部を拡大したものである。割れ破面はセル状樹枝状晶の突起による凹凸があり、液膜が存在していたと思われるなめらかな丸みをおびた表面を示している。

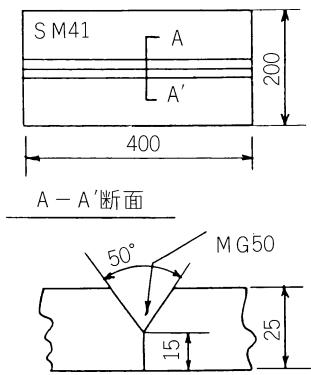


Fig.1 試験片形状

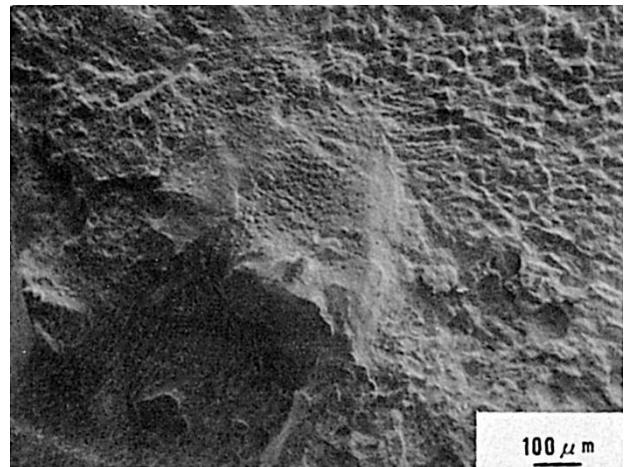


Fig.2 低倍率のミクロ破面



Fig.3 Fig.2 のスケッチ

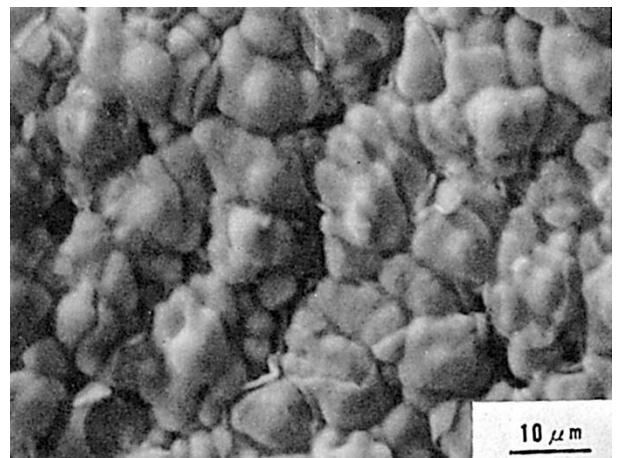


Fig.4 Fig.3 の A 部のミクロ破面

(6) SM41 鋼の横向き炭酸ガスアーク溶接時に発生した なし形ビート割れの破面

—拘束突合せ溶接型割れ試験—

(6) Fracture Surface of Pear-Shaped Bead Crack in Horizontal
Carbon-Dioxide Arc Welding of SM41 Steel

— Restraint Butt Welding Type Cracking Test —

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM41B (板厚 25mm).

溶接材料 (Welding material) : 炭酸ガスアーク溶接用鋼ワイヤ YCW2 (径 1.2mm).

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

	C	Si	Mn	P	S
母 材(規格値)	≤0.20	≤0.35	0.60~1.20	≤0.040	≤0.040
溶着金属	0.10	0.50	1.02	0.012	0.008

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm ²)	降伏点(0.2%耐力) (kgf/mm ²)	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母 材(規格値)	41~52	≥24	≥22	≥2.8 at 0 °C
溶着金属	58.3	48.1	32	15.6 at 0 °C

溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 炭酸ガスアーク溶接 (Carbon-dioxide arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開先形状	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法	シールドガス組成
45° V形	33	330~350	500	1層1パス	60% Ar + 40% CO ₂

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 拘束突合せ溶接型割れ試験

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

試験条件 (Test condition) : 溶接後 48hrs 経過後断面検査

試験結果 (Test result) : 溶接全線に割れ発生 (除スタート部およびクレータ部)

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 は試験片形状を示したものである。Fig.2 は溶接部横断面のマクロ組織を示したもので、溶込み形状はビードののど厚が最大溶込み幅の約 1.7 倍の、いわゆるなし形を呈し、その断面中心部に約 5mm 幅の高温割れが発生していた。Fig.3 は強制破壊して得たマクロ破面を示したものであり、高温割れは断面中央部に平坦ななし地状のうねったバンドとして見られる。Fig.4 および Fig.5 はその高温割れ域の中央部を拡大したミクロ破面を示したもので、高温われ特有のセル状樹枝状晶の丸みをおびた突起が認められる。

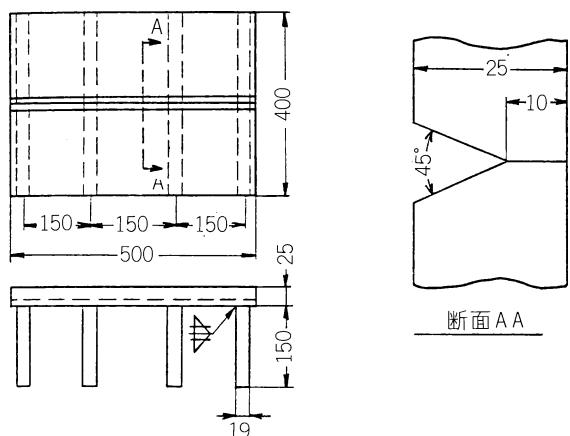


Fig. 1 試験片形状

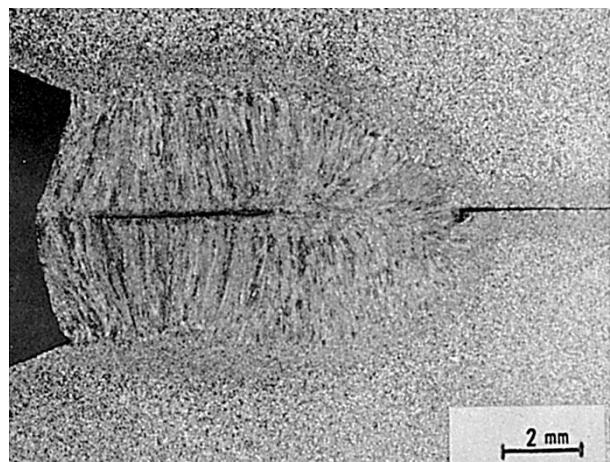


Fig. 2 溶接部の横断面マクロ組織

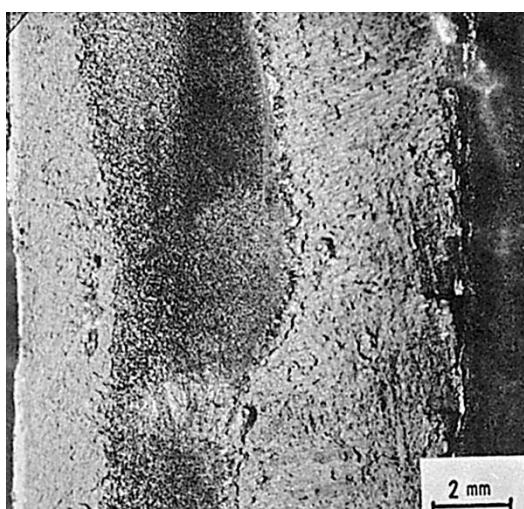


Fig. 3 マクロ破面

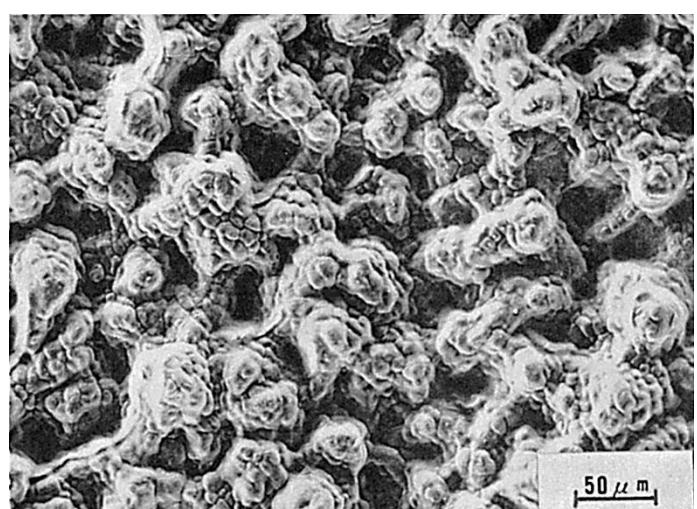


Fig. 4 ミクロ破面

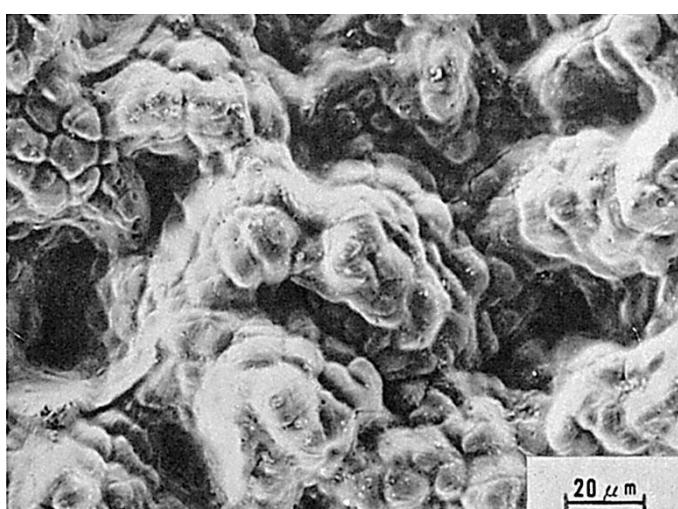


Fig. 5 Fig. 4 の中央部を拡大したミクロ破面

(7) SM41 鋼の片面サブマージアーク溶接時に発生した 終端割れの破面

(7) Fracture Surface of End Crack in Submerged-Arc Welding of SM41 Steel

材料 (Material)

母材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM41B (板厚 19mm) .

溶接材料 (Welding material) : ワイヤ : US-43

表フラックス : PFI-45

裏フラックス : PFI-50R

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

	C	Si	Mn	P	S
母材(規格値)	≤ 0.20	≤ 0.35	0.60~1.20	≤ 0.040	≤ 0.040
溶着金属	0.11	0.26	0.95	0.011	0.008

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm ²)	降伏点 (0.2%耐力) (kgf/mm ²)	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母材(測定例)	50~62	≥ 32	≥ 21	≥ 2.8 at 0 °C

溶接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : FCB 3 電極片面サブマージ溶接 (Tandem submerged-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開先形状	アーケ電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法
50°, ルート 3mm	L : 35 T ₁ : 40 T ₂ : 43	L : 1,250 T ₁ : 900 T ₂ : 900	680	1層1パス

(L ; 第1電極 T₁ ; 第2電極 L₂ ; 第3電極)

試験 (Test)

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

試験結果 (Test result) : 終端部に割れ発生

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 に示す試験板に FCB 片面サブマージ溶接を行なったとき、継手終端部に 100mm 長さの終端割れが発生した。(片面サブマージ溶接においては、1m 程度の短かい溶接継手でも高い確率で終端部に割れが発生する。このためこれを防止する方法として、「シーリング・ビード法」「クレーター会合法」、「スリット・タブ法」等が実用化されている。)

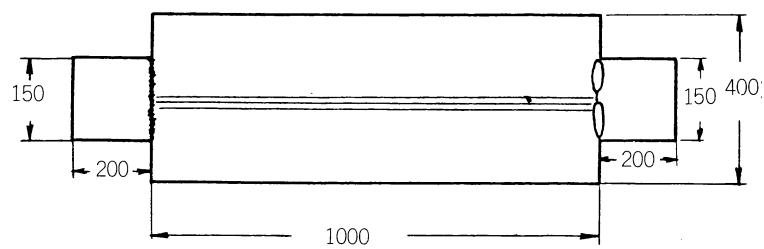


Fig. 1 試験片形状

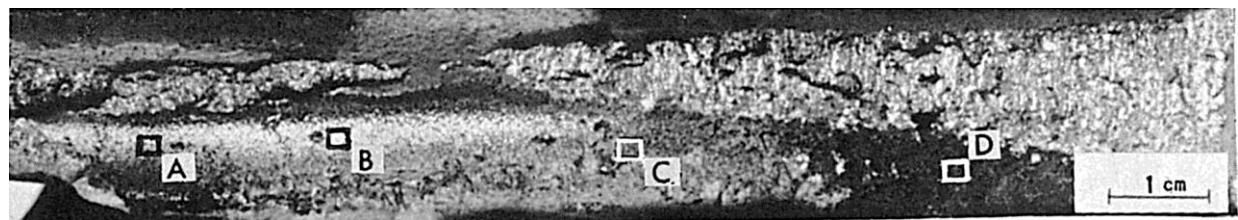


Fig. 2 マクロ破面

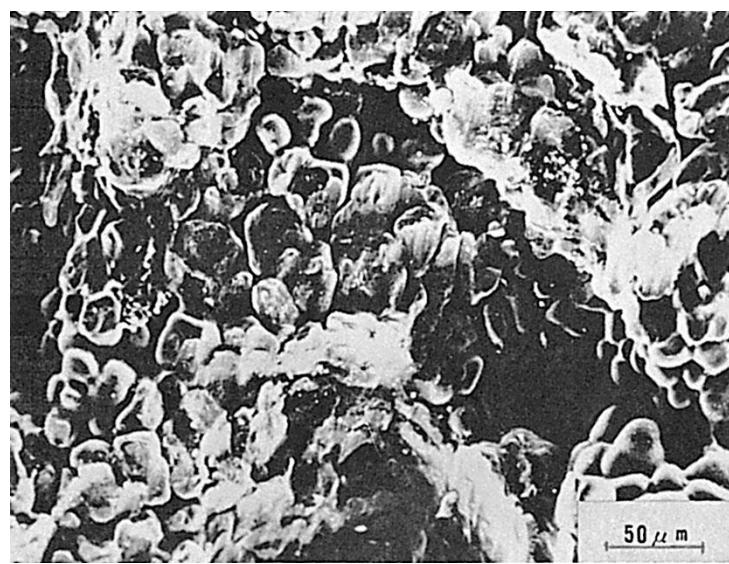


Fig. 3 A部のミクロ破面

Fig.2 に割れ部分を取り出し曲げ破断した破面を示す。裏ビート近くに、7mm ほどの幅をもった終端割れが 100mm の長さにのび、割れは継手始端側で裏ビートにまで開口している。開口部近くはいちじるしく酸化されており、かなりの高温で割れが発生したことがわかる。

Fig.3~6 に Fig.2 の A~D 各点のミクロ破面を示す。いずれの破面においてもセル状樹枝状晶の突起が見られる。

Fig.4 B部のミクロ破面

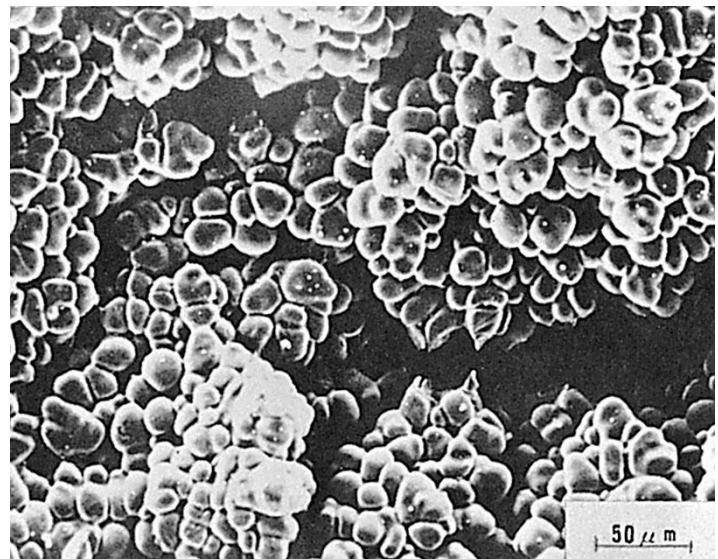


Fig.5 C部のミクロ破面

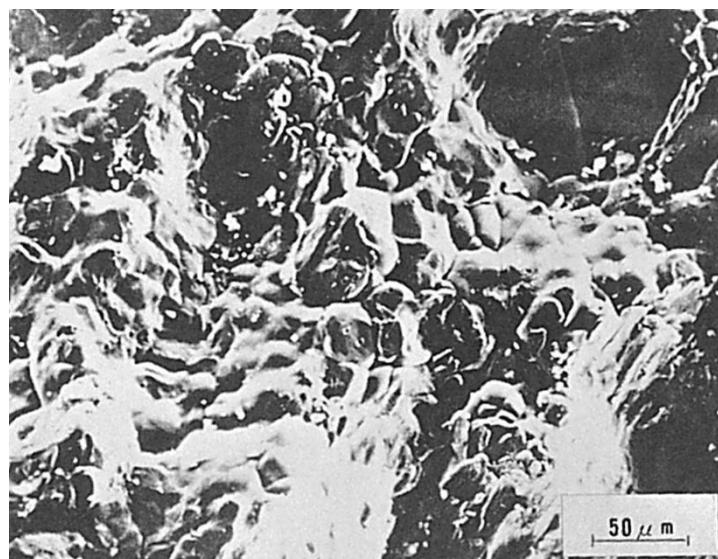
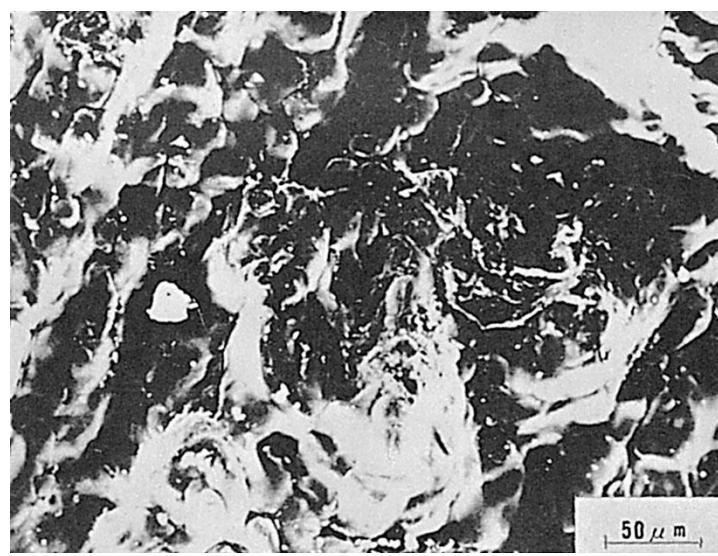


Fig.6 D部のミクロ破面



(8) HT50 鋼のサブマージアーク溶接時に発生した なし形ビート割れの破面

—V溝拘束割れ試験—

(8) Fracture Surface of Pear-Shaped Bead Crack
in Submerged-Arc Welding of HT50 Steel

— V-Groove Type Hot Crack Test —

材料 (Material)

母材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM50B (板厚 32mm) .

溶接材料 (Welding material) : ワイヤ : US-36 (径 4.0mm) .

フラックス : G80 (粒度 20×200mesh)

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

	C	Si	Mn	P	S
母材(規格値)	≤0.18	≤0.55	≤1.50	≤0.040	≤0.040

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm ²)	降伏点 (0.2%耐力) (kgf/mm ²)	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf·m)
母材(規格値)	50~62	≥32	≥21	≥2.8 at 0 °C

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 (°C)	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法
60° V形	250°C × 1hr	≤100	32	700	45	1層1パス

試験 (Test)

試験方法 (Test method) : V溝拘束割れ試験

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

試験条件 (Test condition) : 溶接後 48hrs 経過後断面検査

試験結果 (Test result) : 溶接全線に割れ発生

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 は試験片形状を示したものである。Fig.2 は溶接部横断面のマクロ組織を示したもので、ビードののど厚が最大溶込み幅の 1.3 倍となっていて、いわゆるなし形ビードとなり、その断面中央部に高混割れが発生している。

Fig.3 および Fig.4 はその高温割れ部を強制破断し、拡大したミクロ破面を示したもので、高温割れ特有のセル状樹枝状晶の突起が認められる。

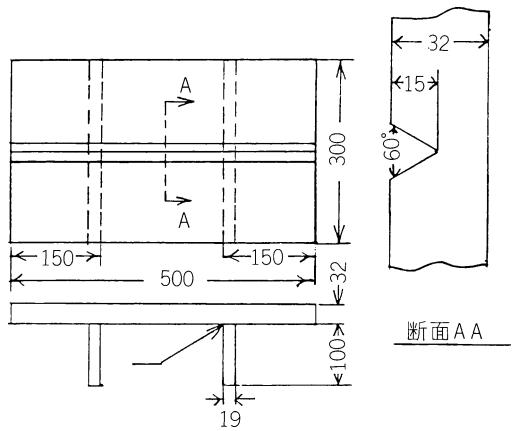


Fig.1 試験片形状

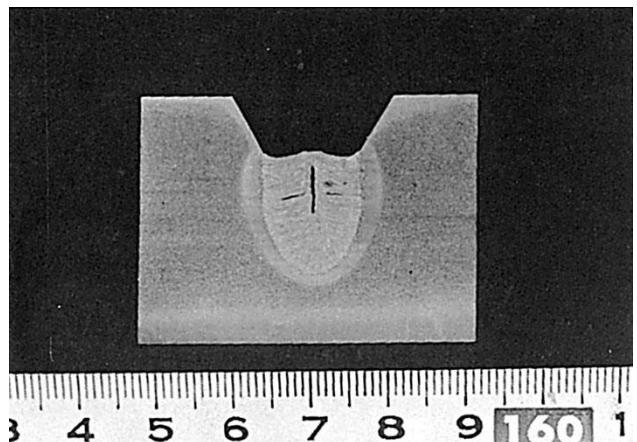


Fig.2 溶接部の横断面マクロ組織

Fig.3 ミクロ破面の一例

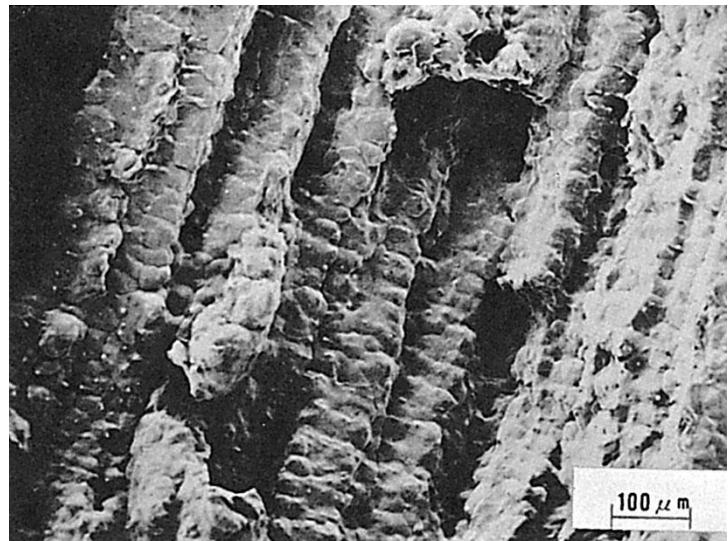


Fig.4 Fig.3 の中央部を
拡大したミクロ破面

