

(83) HT50 鋼の板厚方向引張破面

— 引張試験 —

(83) Fracture Surface of HT50 Steel in Through-Thickness Tension Test

— Tension Test —

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM50B (板厚 50mm).

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

	C	Si	Mn	P	S
母 材	0.17	0.44	1.42	0.017	0.015

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	54.4	34.7	35

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 金属材料引張試験方法 JIS Z2241

試験片形状 (Specimen configuration) : 金属材料引張試験片 JIS Z2201 4号試験片

試験条件 (Test condition) : 室温

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

板厚方向の引張試験において、伸び約 20%、絞り約 50%を示す試験材の中で、伸び 4%、絞り 17%と非常に小さい値を示した試験片の破面を観察した。

Fig.1 はマクロ破面を示したもので、局部収縮することなく、引張軸にほぼ垂直に破断しており、内部に階段状の破面が観察される。マクロ破面のスケッチを Fig.2 に示す。A 部は B 部よりも平滑である。

A 部および B 部を拡大したものをそれぞれ Fig.3 および Fig.4 に示す。破面には圧延方向に引伸ばされた介在物があり、これが破断を容易にしたことがわかる。A 部および

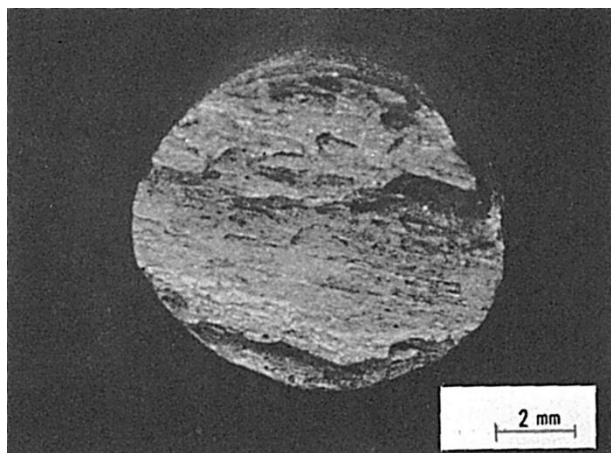
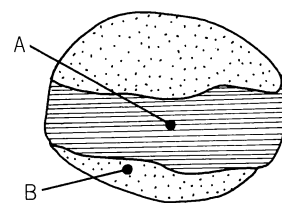


Fig.1 引張試験片マクロ破面



観察配置：A および B

Fig.2 マクロ破面スケッチ

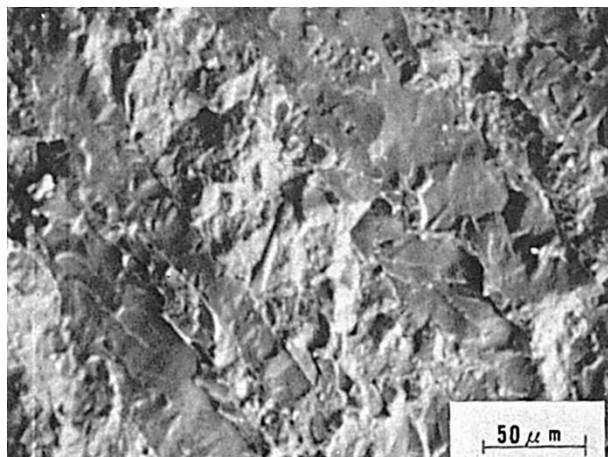


Fig.3 A 部のマイクロ破面

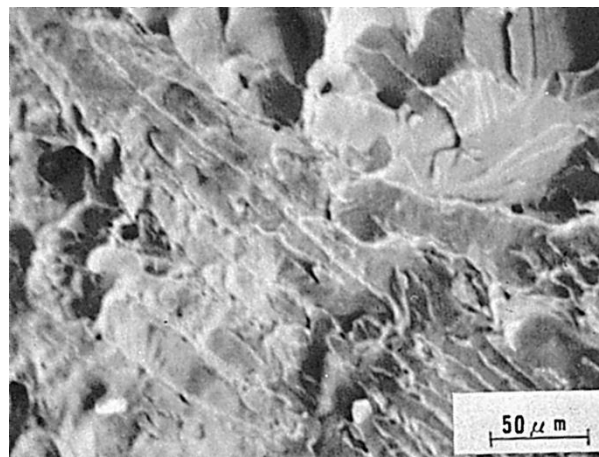


Fig.4 B 部のマイクロ破面

B 部の Mn, S の特性 X 線像をそれぞれ Fig.5, Fig.6 および Fig.7, Fig.8 に示す. これより
圧延方向に引伸ばされた介在物は MnS であることがわかる.

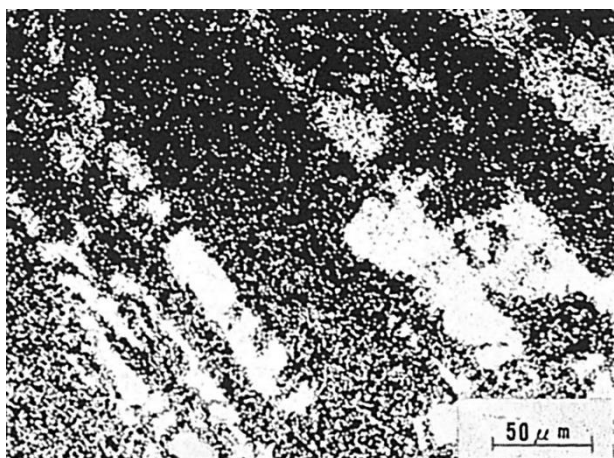


Fig.5 A部のMn特性X線像

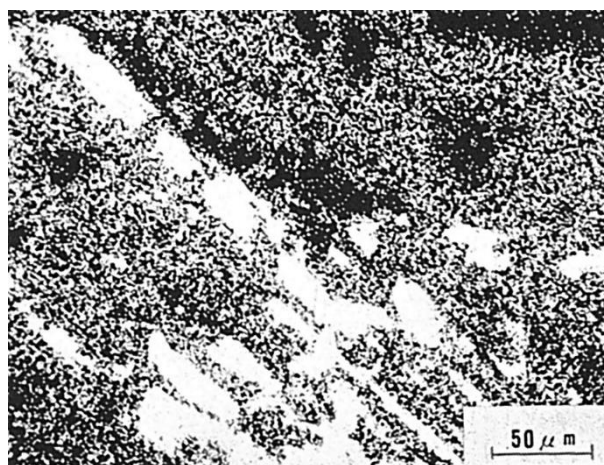


Fig.6 B部のMn特性X線像

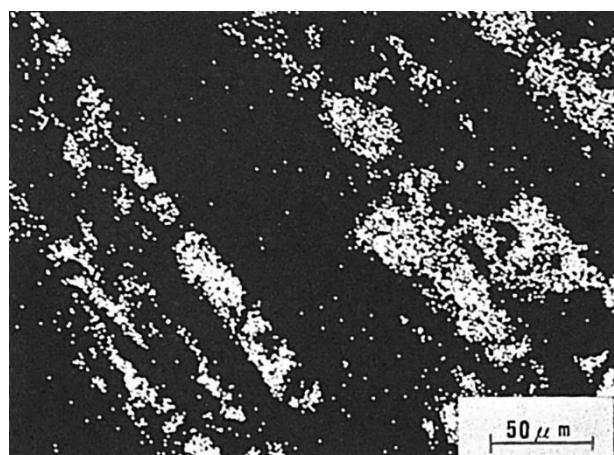


Fig.7 A部のS特性X線像

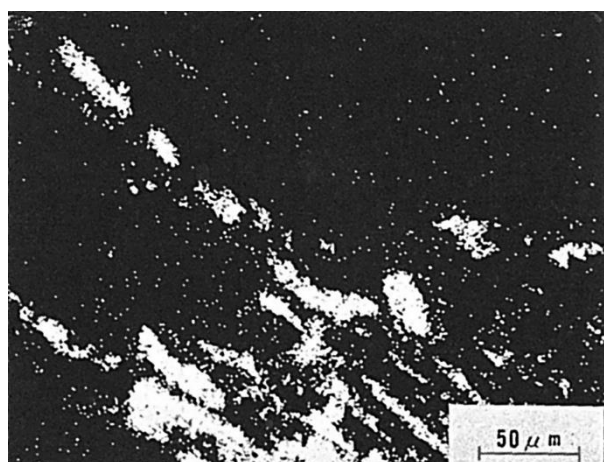


Fig.8 B部のS特性X線像

(84) 低硫 HT50 鋼の板厚方向引張破面

— 引張試験 —

(84) Fracture Surface of Desulphurized HT50 Steel in Through-Thickness Tension Tests

— Tension Test —

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM50 (板厚 50mm).

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

	C	Si	Mn	P	S
母 材	0.14	0.46	1.45	0.010	0.005

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	55	40	35	23 at -20°C

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 板厚方向引張試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 70mm 長×10mm 径

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

低硫 (S=0.005%) HT50 を用いて板厚方向引張試験を行ない, その絞り値 (以下 ϕ_z) を元の鋼塊位置に対応させて図示すると, **Fig.1** のようになる. 鋼塊位置の幅方向に変動が大きくて端ほど高く, 中央部になるにつれて低下する. またその破面形態を肉眼にて分類すると **Fig.2** のように, L 方向と同じようなカップ・アンド・コーン (Cup and cone) タイプ (Type A), ボイド (Void) 状破面 (Type B), ステップライク (Step-like) 破面 (Type C) に分類される. これらの破面を拡大したのが **Fig.3** であり, Type B ではそのボイド部底に Al_2O_3 系介在物が認められ, その回りに擬脆性破面が認められる. また Type C では層状の MnS 系介在物が認められ, その間は延性破面である. この破面形態分類を鋼塊位置に対応させると端部では Type A, 中央部ボトム (Bottom) では Type B, トップ (Top) 部では Type C となる.

またこれらの破面の介在物面積およびその回りの擬脆性破面の面積の合計の全面積

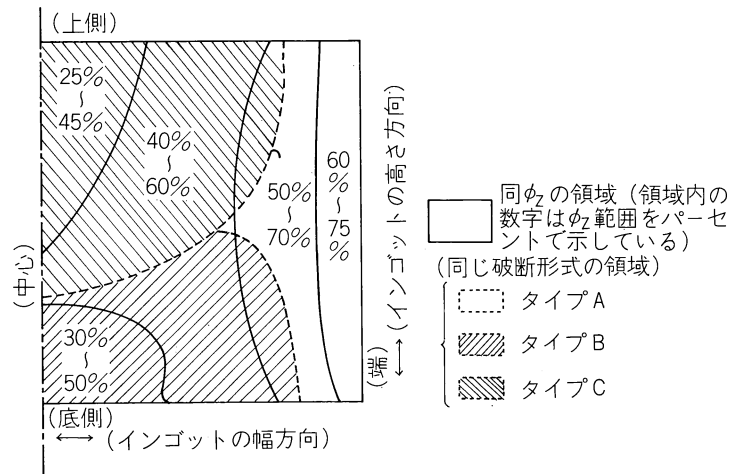


Fig.1 鋼塊各部に対応する位置から採取された鋼板の ϕ_z 及び破壊形式の分布の一例

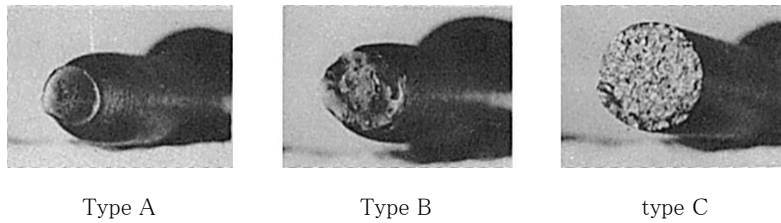


Fig.2 板厚方向引張試験における破壊形式の分類

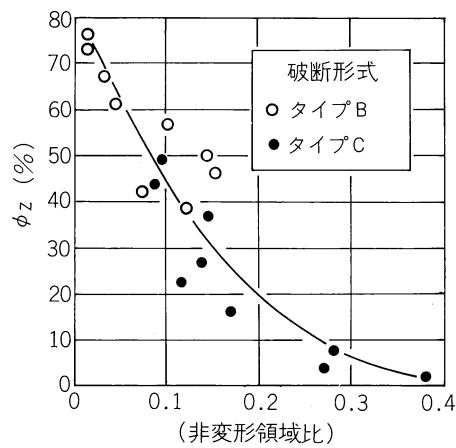
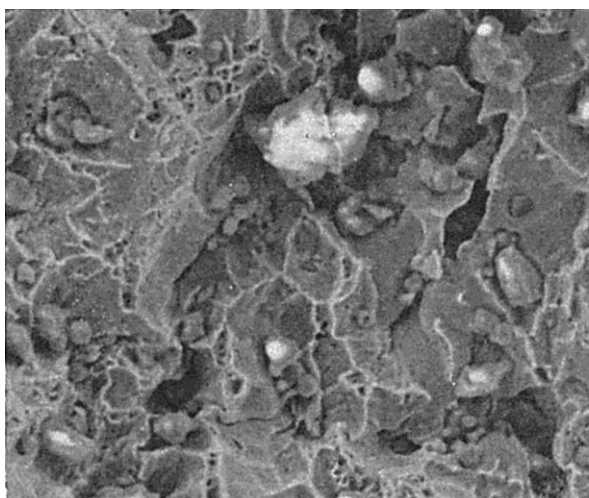


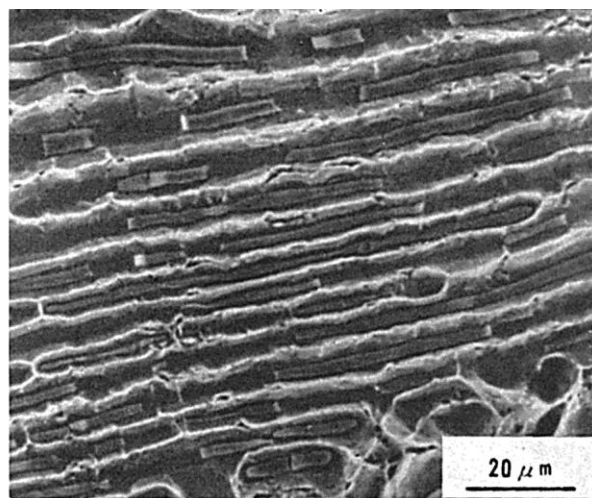
Fig.4 ϕ_z “非変形面積比” (試験片の初期断面積に対する介在物及び低延性域を含む面積の比) の関係

に対する割合と φ_z の関係を求めると Fig.4 のようになり，これらの面積率が φ_z の低下要因となる．

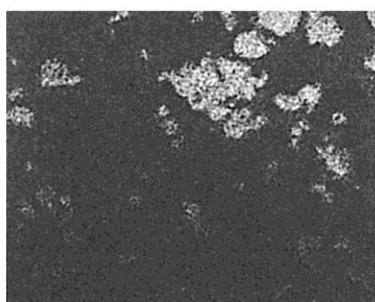
参考文献；IIW Doc, IX-837-74.



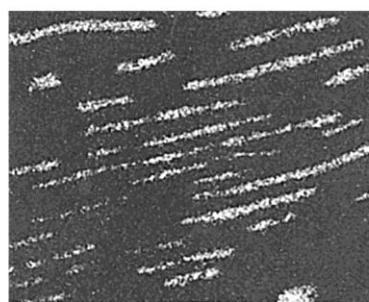
type B



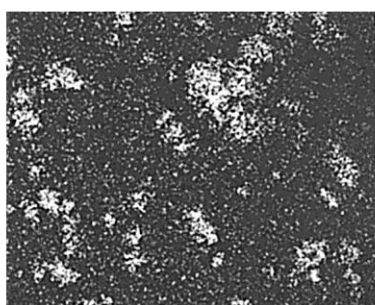
type C



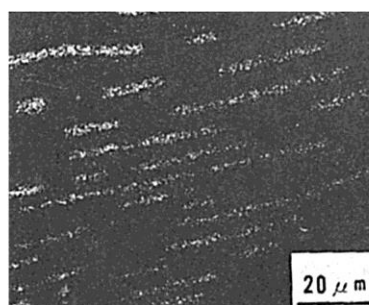
Al 特性
X 線像



Mn 特性
X 線像



O 特性
X 線像



S 特性
X 線像

type B

type C

Fig.3 タイプ B 及びタイプ C のマイクロ破面と介在物の同定

(85) P 添加 40 キロ級鋼の点溶接継手の引張破面

— 引張試験 —

(85) Tensile Fracture Surface of Resistance Spot Welded Joint in 40kgf/mm² Class Rephosphorized Steel Sheet

— Tension Test —

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : P 添加 40 キロ級鋼 (板厚 0.8mm).

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

	C	Si	Mn	P	S
母 材	0.058	0.06	0.25	0.062	0.006

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 (%)	\bar{r}
母 材	44.1	26.5	40.1	1.84

溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 抵抗スポット溶接 (Resistance spot welding)

溶接条件 (Welding condition)

溶 接 電 流 (A)	通 電 時 間 (cycle)	電極加圧力 (kgf)	電極先端径 (mm)	保 持 時 間 (cycle)
7,800	8	270	5.4	50

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 点溶接継手の引張試験方法 JIS Z3137

試験片形状 (Specimen configuration) : JIS Z3137 試験片

試験条件 (Test condition) : 塗油材を溶接. 溶接後 5min 以内に試験

試験結果 (Test result) : 引張強さ 350kgf/点

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 は破断部の外観であり A 部は鋼材の表面, B 部はコロナ・ボンド (Corona bond) 部, C 部は熔融ナゲット (Nugget) 部, D 部は破断後のプラグ (Plug) に相当する. Fig.2 は Fig.1 の B 部を拡大したものであり, 細かいディンプル (Dimple) から成っている. この部分は 2 枚の鋼板の表面同士が高温圧接した領域であり, かつ大きな塑性流動は生じていないためディンプル底部の介在物は鋼板表面にもともと存在していた酸化物であると考えられる. Fig.3 および Fig.4 はそれぞれ Fig.1 の C 部のうち破断開始側および破断終了側に対応する部分を拡大したものである. いずれにおいてもへき開的な破面となっているが, リバー・パターン (River pattern) などは明瞭ではない.

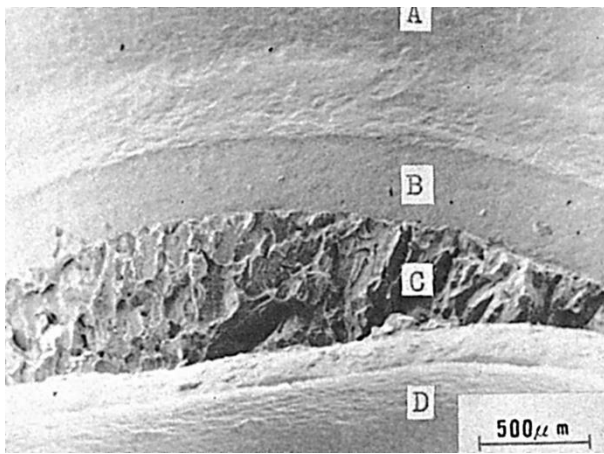


Fig.1 破断部のマクロ破面

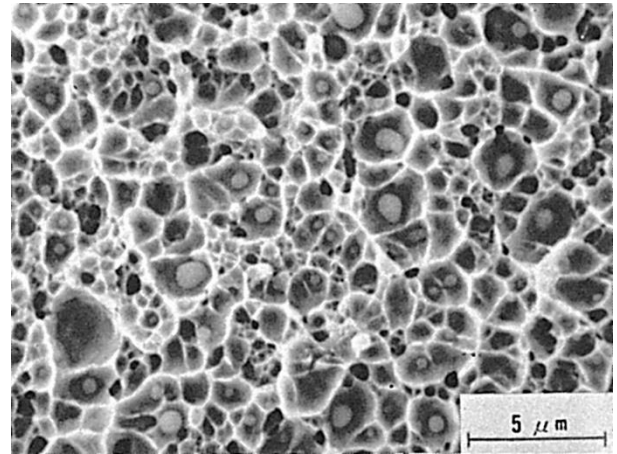


Fig.2 Fig.1 の B 部を拡大したマイクロ破面

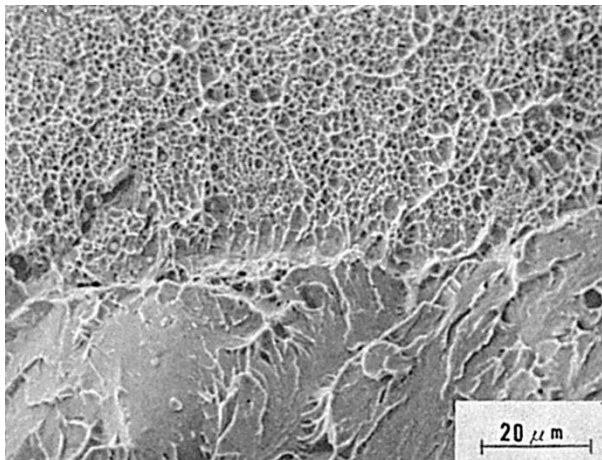


Fig.3 Fig.1 の C 部の破断開始部 (B 部に接している) を拡大したマイクロ破面

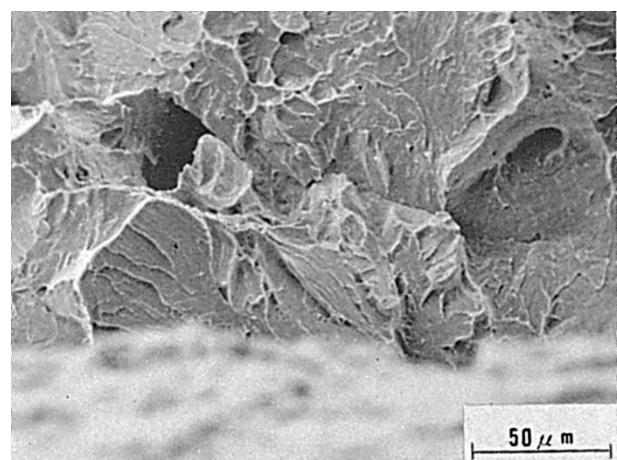


Fig.4 Fig.1 の C 部の破断終了部 (D 部に接している) を拡大したマイクロ破面

(86) HT50 鋼の溶接継手引張試験における止端割れの破面

— 引張試験 —

(86) Fracture Surface of Toe Crack in Tension Test for HT50 Steel Welded Joint

— Tension Test —

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : ASTM A588 (構造用低合金高張力鋼) (板厚 25mm).

溶接材料 (Welding material) : 高張力鋼用被覆アーク溶接棒 D5816 (径 4.5mm).

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

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V
母 材	0.18	0.26	1.13	0.015	0.006	0.30	0.12	0.51	0.03
溶 着 金 属	0.07	0.48	0.78	0.014	0.004	0.49	0.52	0.53	0.02

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	54.7	35.2	27	20 at -30℃

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	予熱・層間温度 (℃)	積 層 方 法	入 熱 (kJ/cm)
45° K 形	100	11 層 13 パス	20~30

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 突合せ溶接継手引張試験

試験結果 (Test result) : 異常破断

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

溶接継手引張試験を行なった時, 異常な破断状況を示し, その破断面も異常であった. 破断部は溶接止端部であり, 破面は止端割れの様相であった. この状況のスケッチを Fig.1 に示す.

この破面の様相を Fig.2 に示す. この写真の最上部に上下方向に白い縞の見える板表面があり, その下側に延性破断面が見られる. そのさらに下側にロック・キャンディ (Rock candy) 状の破面, つづいて割れの進展した状況が見られる. 写真最下端に色調が急に変化しているのが見られるが, これが割れの先端であった. Fig.3 は止端部をやや拡大して示したものであり, 延性破壊したジャー・リップ (Shear lip) 部と低温割れ

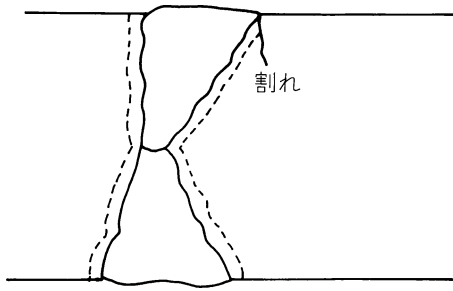


Fig.1 割れの発生位置

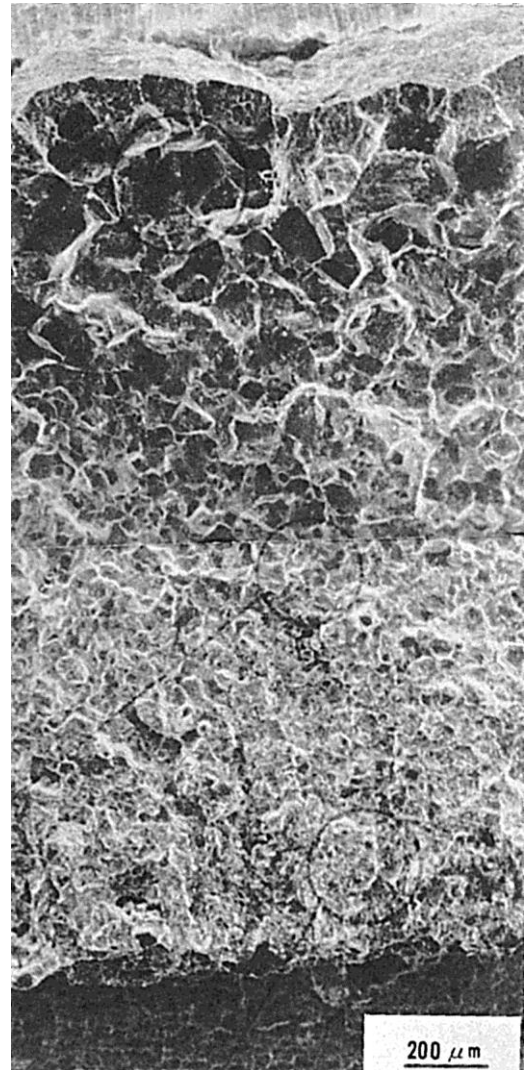
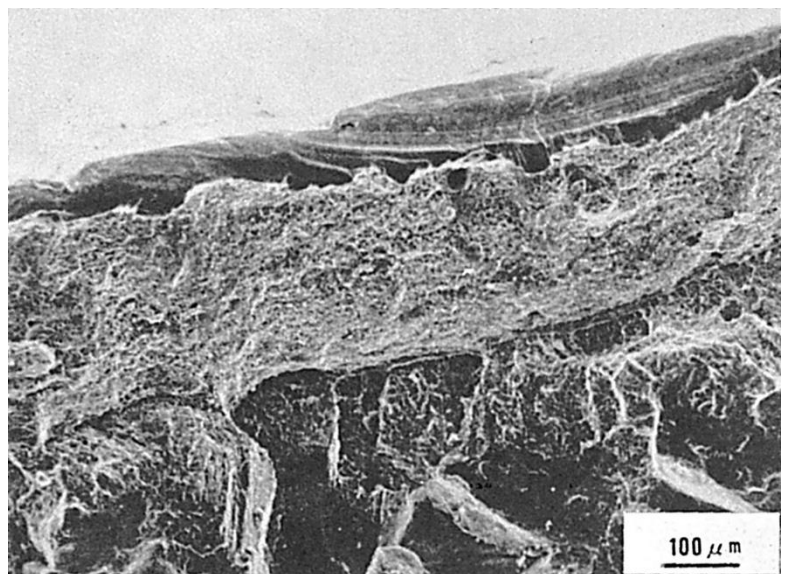


Fig.2 割れのマイクロ破面

Fig.3 止端部を拡大したマイクロ破面. ジャー・リップが認められる.



との境界を明瞭に見ることができる。Fig.4 にジャー・リップ部を，Fig.5 にロック・キャンディ部を，Fig.6 に割れの進展部をそれぞれ拡大して示した。

この止端割れは，表面より板中央部側の HAZ 粗大粒域において 3 軸応力条件のきびしく，かつ水素存在のもとに発生し，その後，応力の方向に制鋼され，HAZ 細粒域，母材の方へと進展した。しかし，板表面はつながったままであったが，ついに耐えられず延性破壊 (Fig.4) したものと考えられる。

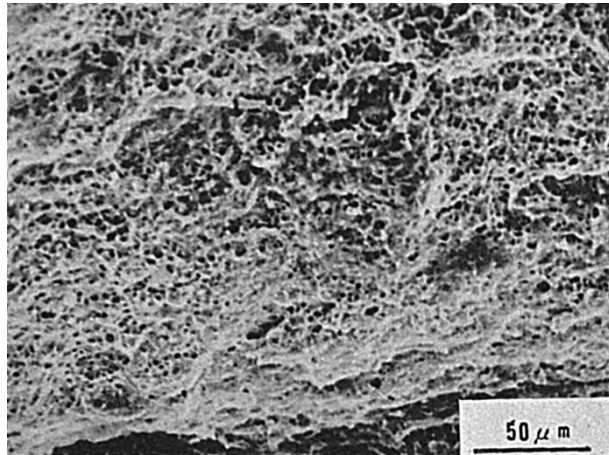


Fig.4 ジャー・リップを拡大したマイクロ破面

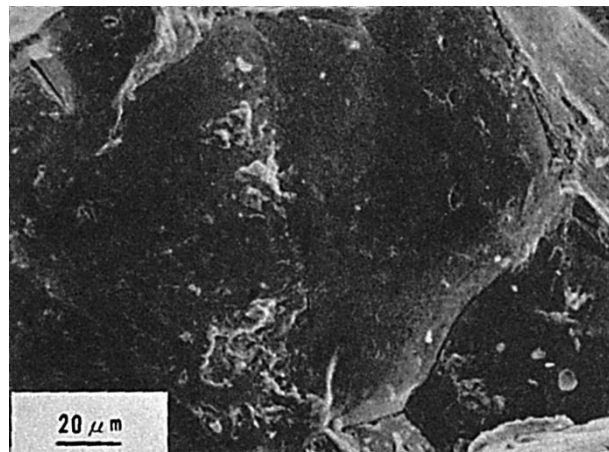


Fig.5 ロック・キャンディ部を拡大したマイクロ破面

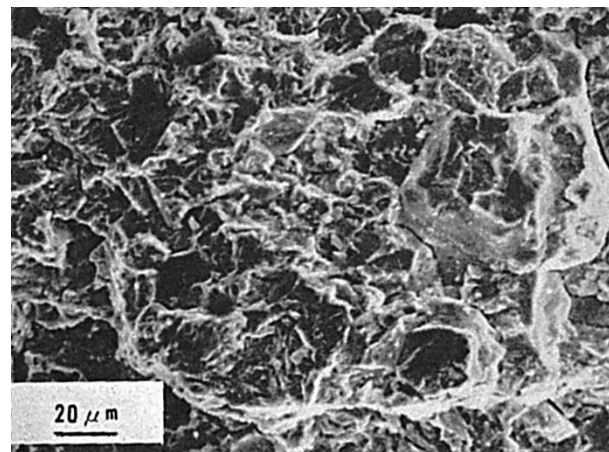


Fig.6 割れの先端部を拡大したマイクロ破面

(87) 伸び異常低下を示した HT50 鋼サブマージアーク 溶接金属の引張破面

— 引張試験 —

(87) Fracture Surface of HT50 Submerged-Arc Weld Metal Revealed Abnormal Reduction of Elongation in Tension Test

— Tension Test —

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM50 (板厚 35mm).

溶接材料 (Welding material) : カルシウム珪酸塩系 (IIW) + 鉄粉型焼成フラックス

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	≤0.04	≤0.04

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)	50~62	≥32

溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : フラックス・銅パッキング片面サブマージアーク溶接
(Submerged-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

積 層 方 法	入 熱
1 層 1 パス	230 kJ/cm

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 溶着金属の引張試験方法 JIS Z3111

試験片形状 (Specimen configuration) : JIS Z3111 A 1 号試験片

試験条件 (Test condition) : 室温

試験結果 (Test result) : 異常破断

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

フラックス・銅パッキング (Flux and copper backing) 片面サブマージアーク溶接にて得られた溶接金属より採取した引張試験片に伸びの異常低下が発生した。この異常低下は拘束の強い溶接条件で、しかも溶接後数日経過した溶接金属から採取した試験片で発生した。

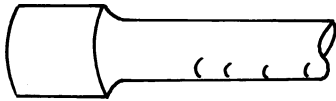


Fig.1 異常破断を起した試験片の外観
表面に小さな割れが生じている

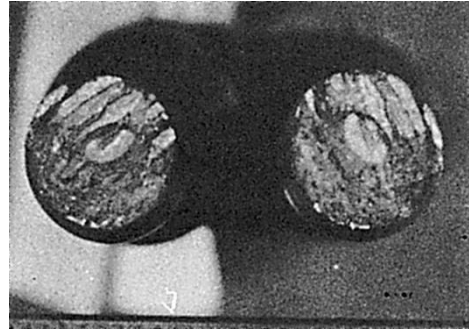


Fig.2 マクロ破面

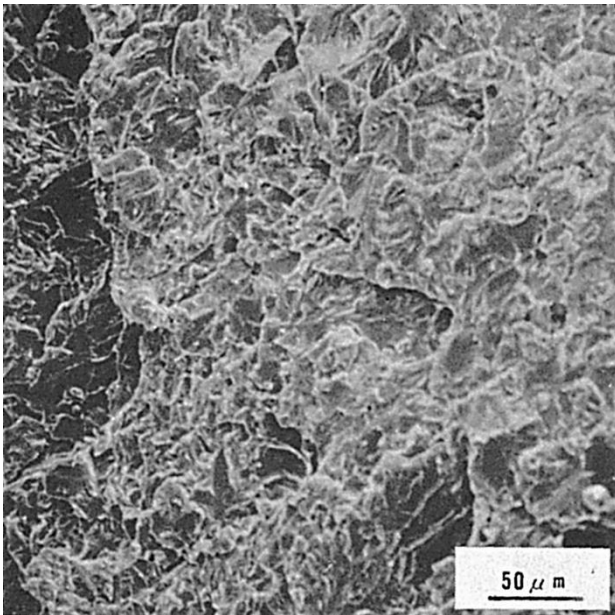


Fig.3 銀点のマイクロ破面

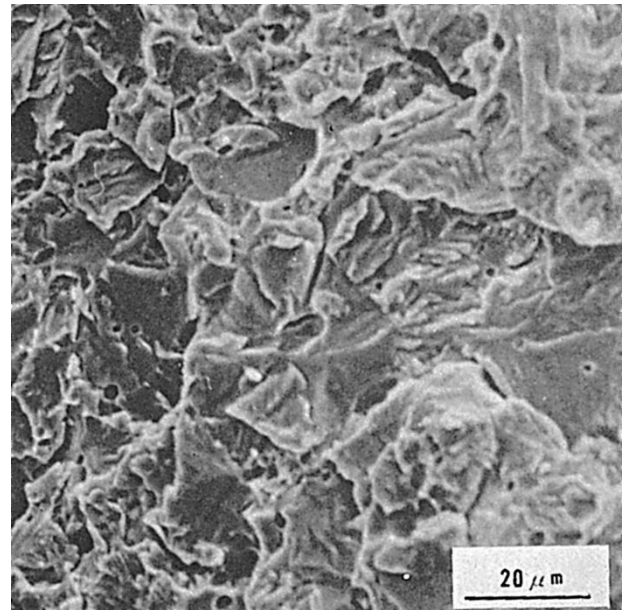


Fig.4 Fig.3 の中央部の拡大

Fig.1 に示すように、試験片の絞りはほとんどみられず、ほぼ原寸のまま破断した。そのマイクロ破面を Fig.2 に示す。この破面には円形あるいはだ円形の銀点が存在する。銀点内は、Fig.3 および Fig.4 に示すように、水素脆化特有の擬へき開破面であった。銀点の外は Fig.5 および Fig.6 に示すような通常の延性破壊に見られるディンプル(Dimple)破面であった。

以上の結果から、この引張試験片の伸びの異常低下は、水素に起因することが明らかとなった。

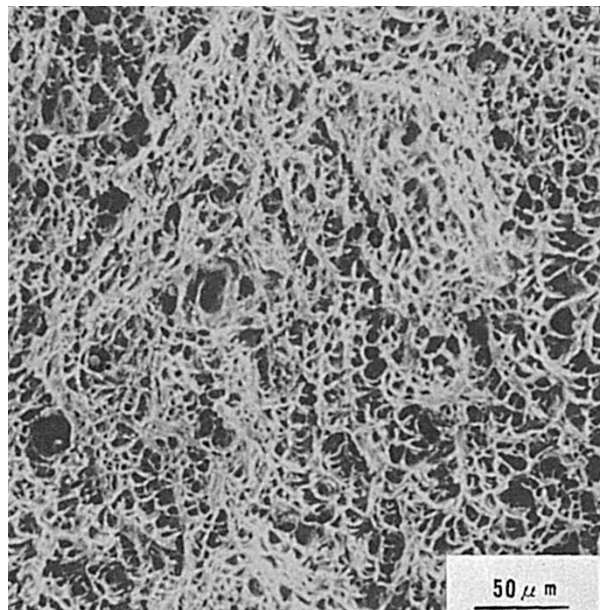


Fig.5 銀点以外の部分のマイクロ破面

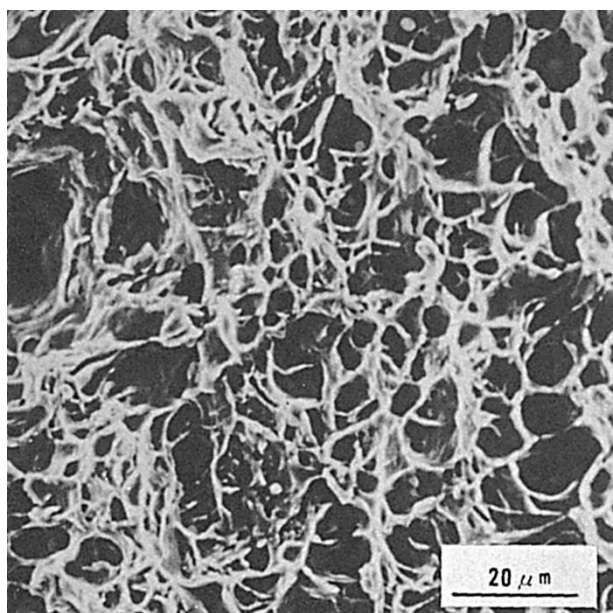


Fig.6 Fig.5 の中央部の拡大

(88) HT60 鋼の溶接継手引張試験において溶接欠陥および 水素割れから発生した脆性破壊の破面

— 引張試験 —

(88) Brittle Fracture Surface Initiated from Slag Inclusion and Hydrogen Induced Cracking in Tension Test for HT60 Steel Welded Joint

— Tension Test —

材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 SM58Q 相当 (板厚 25mm).

溶接材料 (Welding material) : ワイヤ : 不明 (径 3.2mm)

フラックス : 塩基性溶融型

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

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Al
母 材	0.14	0.25	1.40	0.015	0.005	0.20	0.05	0.10	0.03	0.03
溶 着 金 属	0.09	0.26	1.50	0.014	0.005	0.15	0.06	0.05	0.02	0.018

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	66	55	30	25.5 at -20℃
溶 着 金 属	67	59	28	27.0 at -20℃

溶 接 (Welding)

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

溶接条件 (Welding condition)

開 先 形 状	予熱・層間 温度 (℃)	アーク電圧 (V)	溶 接 電 流 (A)	溶 接 速 度 (mm/min)	積 層 方 法
X 形	室 温	25	500	400	5 層 13 パス

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 突合せ溶接継手の引張試験方法 JIS Z3121

試験片形状 (Specimen configuration) : JIS Z3121 1 号試験片

試験条件 (Test condition) : 室温 (5℃)

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 のごとく溶接欠陥が内在する溶接継手を冬期 (5℃) 引張試験中, 最大荷重に至る前に破壊した. その破面は Fig.2 に示すごとく, 線状のスラグ (Slag) 巻き込みと水素割れが脆性破壊のスタートとなっており, この部分は明らかに脆性破壊部とは異なった破面を呈していた.

Fig.3, 4 が破壊起点近傍の破面であり, 水素の擬へき開破面が巻き込みスラグを中心に両側に約 3~4mm 幅で認められた. Fig.5(a)が脆性破壊伝ぱ部, 5(b)が脆性破壊から延性破壊に遷移する領域のへき開とディンプル (Dimple) の混合破面である. 破壊はボンド

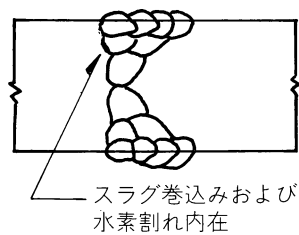


Fig.1 スラグ巻き込みおよび水素割れの発生位置

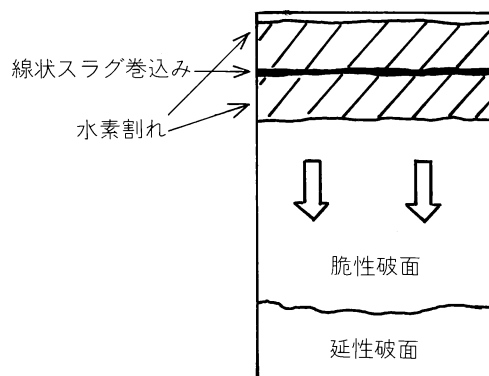
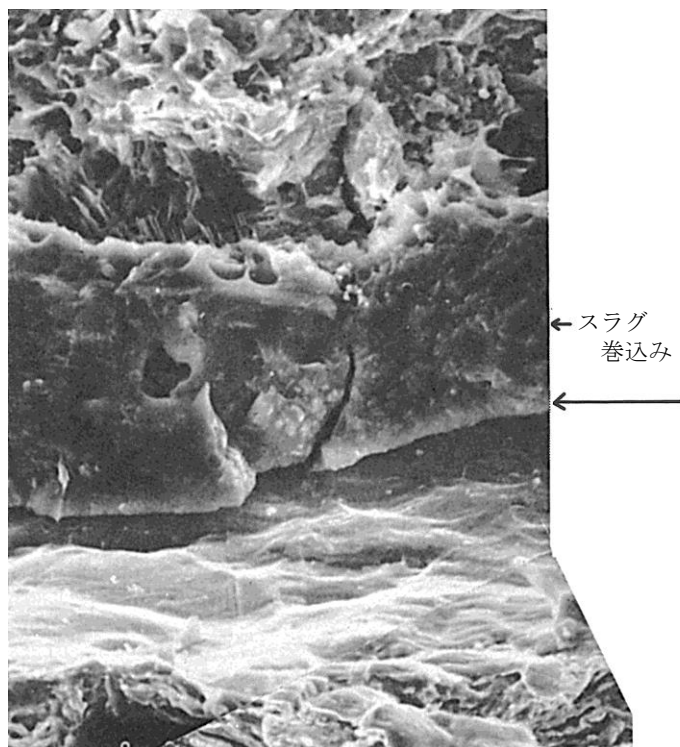
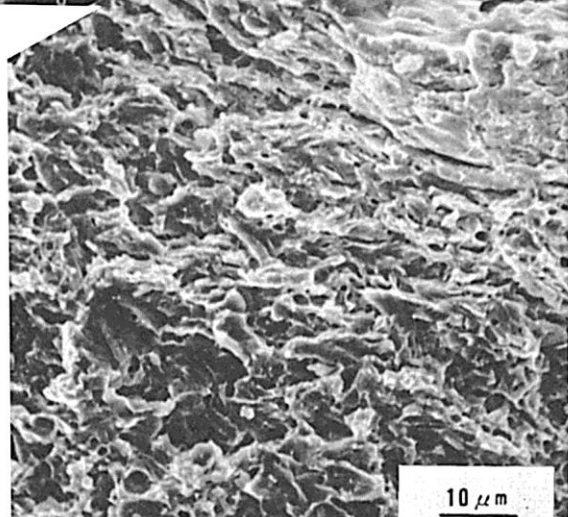


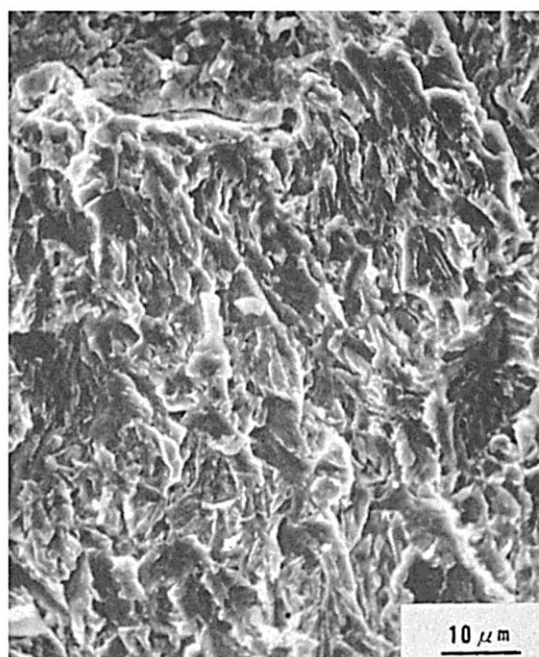
Fig.2 マクロ破面のスケッチ



(a) 脆性破壊の起点のマイクロ破面



(b) (a)の中央部左の拡大。スラグ巻き込みと水素脆化による擬へき開破面

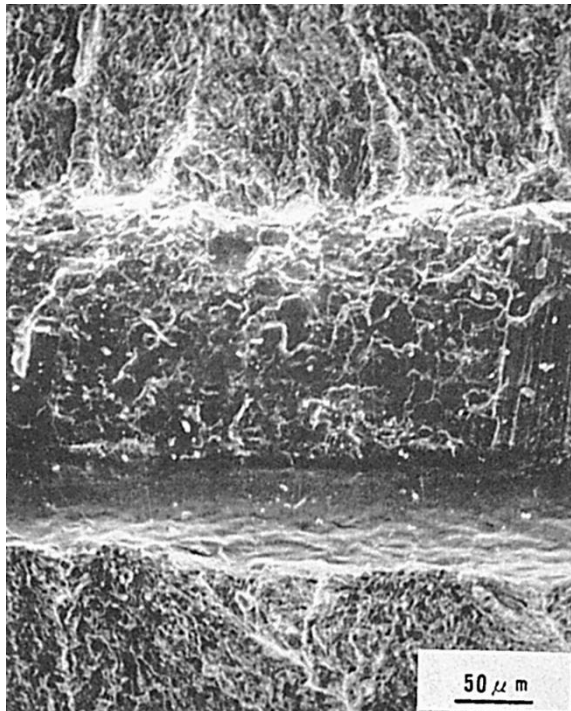


(c) 水素擬へき開破面

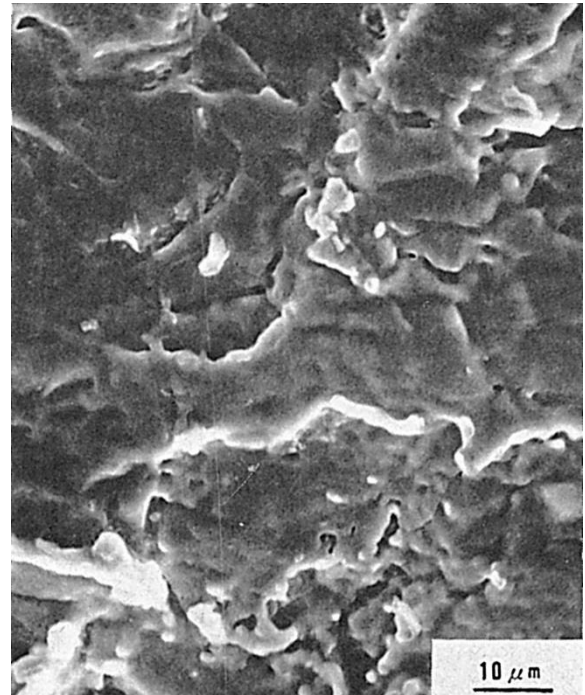
Fig.3 サブマージアーク溶接継手試験片に生じた脆性破壊の起点部のマイクロ破面

(Bond) に沿って伝ばしていたが、このボンド部のシャルピー吸収エネルギーは $vE_{-20} \geq 20 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ であり脆性破壊に至った理由は明らかでない。

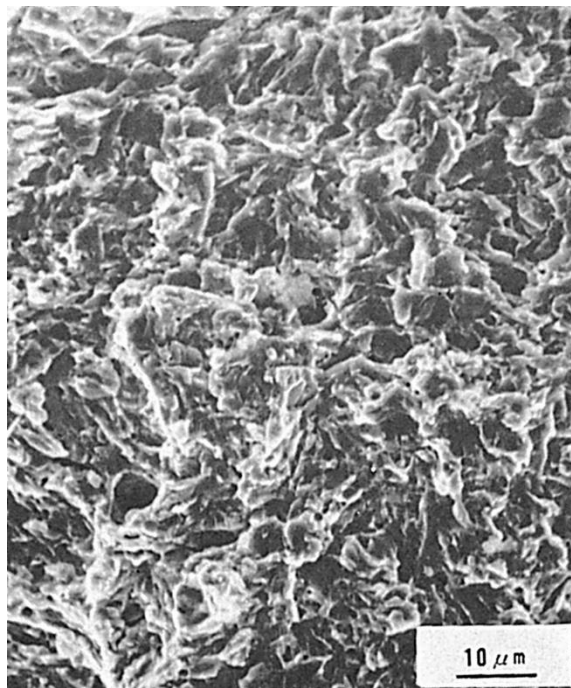
なお、Fig.3(c)や 4(c)の水素擬へき開破面と Fig.5(a)のへき開破面の区別は、破面単位が前者の場合ラス粒界に沿うため非常に細かいことから決定できる。



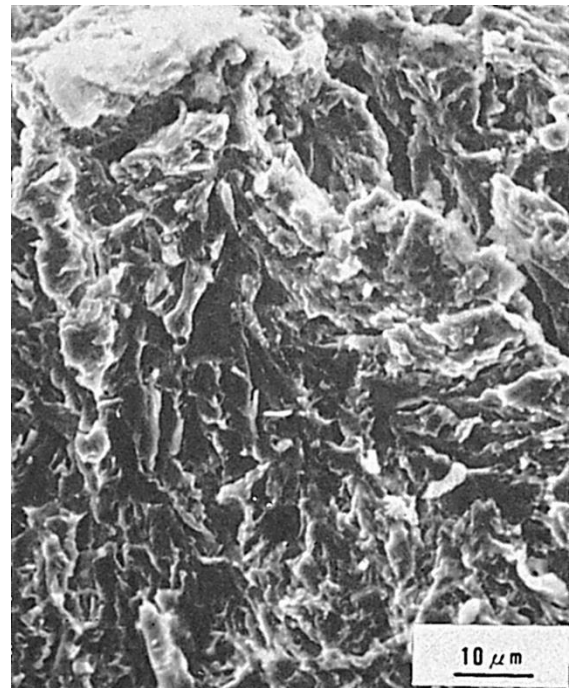
(a) 脆性破壊の起点のマイクロ破面



(b) スラグ巻き込み

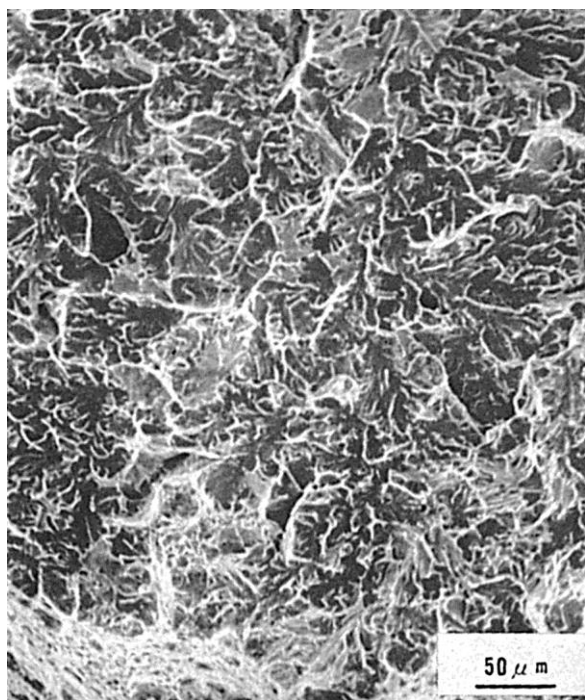


(c)

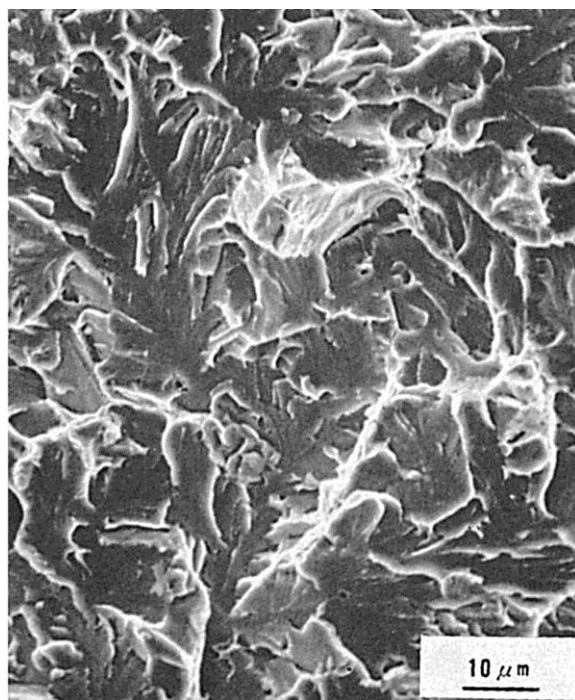


(d)

Fig.4 スラグ巻き込みと水素脆化による擬へき開破面

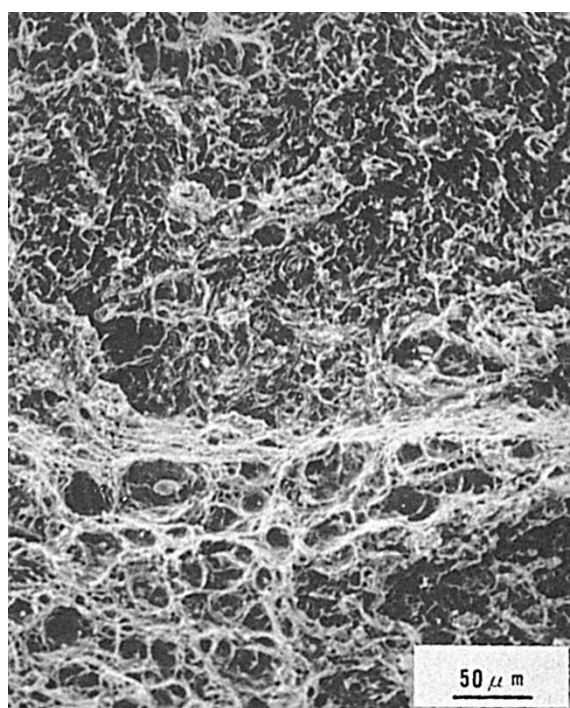


低倍率



高倍率

a) へき開破面



b) 延性破面

Fig.5 へき開破面および延性破面

(89) オーステナイト系ステンレス鋼用被覆アーク溶接棒の 全溶着金属の引張破面

— 引張試験 —

(89) Tensile Fracture Surface of Deposited Metal of Austenitic Stainless Steel by Shielded Metal-Arc Welding

— Tension Test —

材 料 (Material)

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

溶接材料 (Welding material) : オーステナイト系ステンレス鋼用被覆アーク溶接棒
D308 (径 4mm).

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

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
母 材 (規格値)	—	—	—	≤0.050	≤0.050	—	—
溶着金属	0.06	0.28	1.68	0.022	0.003	9.86	20.41

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 (規格値)	41~52	≥24	≥21
溶 着 金 属	58.3	40.6	50

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・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)	積 層 方 法
V 形	200°C×1hr	≤150°C	22~24	140	8層16パス

試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 溶着金属の引張試験 JIS Z3111

試験片形状 (Specimen configuration) : JIS Z3111 A 1 号

試験条件 (Test condition) : 室温

試験結果 (Test result) : 引張強さ 58.3kgf/mm²

破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 は全溶着金属の引張試験後の外観 (スケッチ) であるが、いわゆるカップ・アンド・コーン (Cup and cone) の形状を呈している。Fig.2 はこの破面のマクロ組織を示したものである。底部①は光沢がなく、①-②方向に筋状の模様が見られ、この方向は凝固方向と一致している。また領域①はだ円状を呈し、短軸方向が凝固方向と一致している。一方領域②は引張方向に対し 45°方向の破面で、金属光沢を呈している。Fig.2 の①を拡大したのが Fig.3 である。延性破壊の特徴であるディンプル (Dimple) 破壊を示し、ディンプルの大きさは微細である。Fig.4 は Fig.3 の③部を拡大したもので、明瞭な等軸ディンプルであることが分かる。大部分の各ディンプルの底部に球状の介在物が認められる。

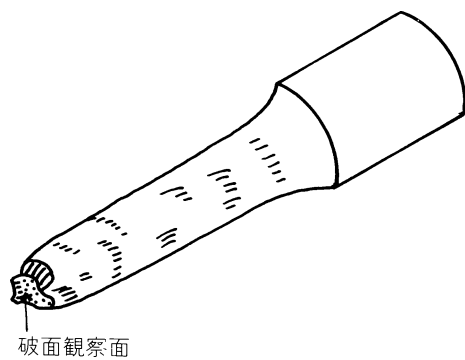


Fig.1 破断した引張試験片の外観

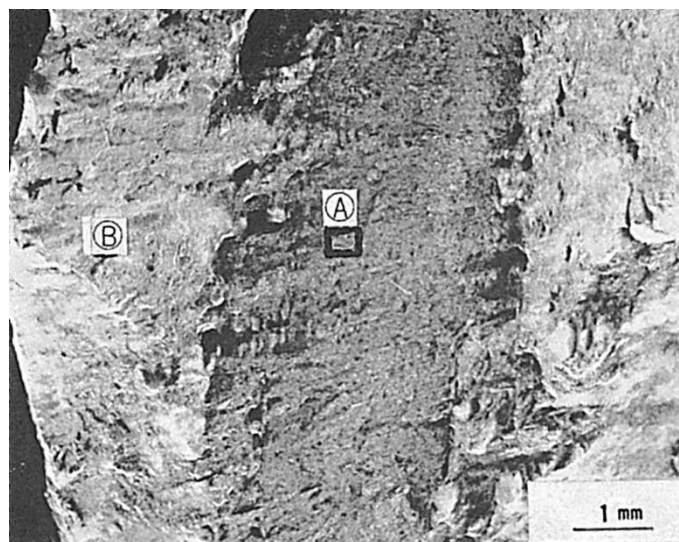


Fig.2 マクロ破面

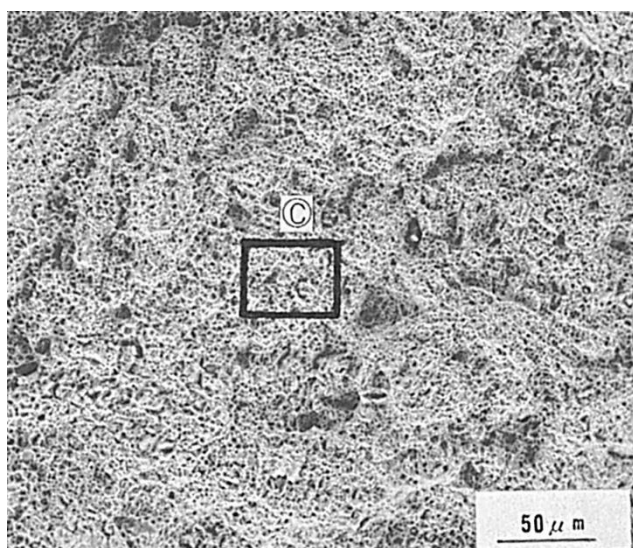


Fig.3 Fig.2の(A)部を拡大したマイクロ破面

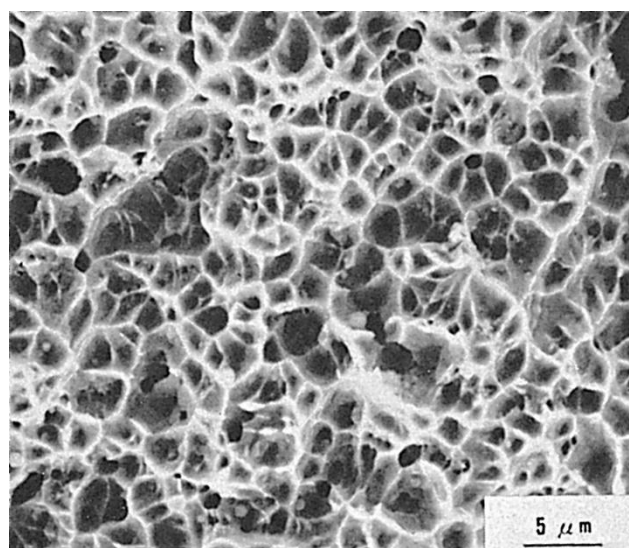


Fig.4 Fig.3の(C)部を拡大したマイクロ破面