

ガス溶接部材の品質評価

(株) 宇部スチール

糸藤春喜、田村幹夫、片山勝男

1. 緒言

大物厚肉 F C D に対して、補修を目的としたガス溶接が従来より実施されて来た。しかし、その健全性及び強度面での安全性を定量的に示したデータは、これまで殆んど報告されていない。これらを明確にすることは、溶接技術及び適用製品の信頼性の向上のために重要である。

本研究では、厚肉 F C D 5 0 0 の母材にガス溶接を実施し、その溶接部を非破壊検査及び破壊試験することにより、定量的に評価した。以下に、その確性試験結果を報告する。

2. 試験方法

確性試験は、図 1 に示すフローチャートに沿って実施した。主要工程の詳細を、以下に記述する。

(1) 厚肉供試材及び溶接棒の溶製

形状・寸法が $\square 900 \times {}^t 155$ mm の母材用厚肉供試材を、図 2 に示す要領にて溶製した。その化学成分を表 1 に示す。厚肉供試材には、J I S G 5 5 0 2 - ' 0 0 図 3、表 5 に規定される ${}^t 70$ mm の本体付供試材をつけた。化学成分は、この本体付供試材にて F C D 5 0 0 の機械的性質を満足するように調整した。母材の化学成分を表 1 に示す。参考のため、同 J I S 図 1、表 4 に規定される B・C 号 Y 形供試材も別鑄込みした。

溶接棒は、作業性と溶接性の両面を考慮して、その形状・寸法を $\phi 18 \times L 900$ mm とし、図 3 に示す要領で 10 本を一括鑄込みとした。溶接棒の化学成分を表 1 に示す。溶接棒は、フェーディングを考慮して、母材用厚肉供試材より M g 含有量を高めに設定した。

(2) 健全性及び機械的性質の予備確認

厚肉供試材の上・下型面を機械加工 (∇) して、 $\square 900 \times {}^t 138$ mm とした。その両面について P T 及び U T を実施し、母材として使用出来るか否かを健全性の観点より検討した。

FCDは、機械的性質に対する肉厚感受性が高い。溶製した厚肉供試材がFCD500としての肉厚感受性の許容内にあることを確認するため、別鑄込み及び本体付供試材の機械的性質を確認し、本体のそれを予測した。

(3) 母材の調整、開先加工及び非破壊検査

厚肉供試材をガス切断により2分割し、切断による硬化層をグラインダにより除去して母材とした。開先は、鑄込み姿勢に対して下型面側とし、溝状V型とした。開先は2通り加工し、一方を継手評価、他方を全溶着評価用とした。母材及び開先の形状・寸法を図4に示す。2つの開先について、各々VT及びPTを実施した。

(4) ガス溶接要領

表2にガス溶接実施要領を示す。予熱の温度管理及び溶接中・後の母材の温度モニタは、Kタイプの表面温度計を用いて、図3に示すX, Y点にて行った。溶接中の熔融プール温度は、直接モニタすることが不可能なため、湯面に軽く酸化皮膜を形成する程度($2C + SiO_2 \rightarrow Si + 2CO$ 反応遷移温度域)を目安とした。溶接後は、セラミック・ウールを覆って徐冷した。

(5) ガス溶接後の非破壊検査

ガス溶接部及びその周辺を目視観察後、ビード面をグラインダにて平滑に仕上げ、PT, MT及びUTを実施した。

(6) 後熱

非破壊検査後、SiC炉にて応力除去焼鈍(SR; $560^{\circ}C \times 6h$, 炉冷)を実施した。

(7) ガス溶接部の破壊試験による評価

2通りの開先に対して、以下の試験項目を実施した。

- ・ 引張試験
- ・ 両振り回転曲げ疲労試験
- ・ マクロ試験
- ・ HBS硬度試験
- ・ ミクロ試験

これらの内、引張及び疲労試験は、開先Aについては継手材的な評価を行い、開先Bについては、全溶着金属評価を行った。両開先からの各試験片の採取要領を図5に示す。

3. 試験結果

(1) 厚肉供試材の健全性及び機械的性質

機械加工面のPTの結果、両板面に問題となるような指示模様は検出されなかった。UT結果についても、FCD特有のザク巣 ($B_1 = 0$ 又は $F > 30\%$ の領域) は検出されなかった。代表的なUT波形を図6に示す。ガス溶接母材用の供試材として適切な健全性を有していることが分かった。

別鑄込み及び本体付供試材の引張・硬度試験結果を表3に示す。各供試材の引張・硬度試験結果は、JIS G 5502-‘00を満足していた。厚肉供試材は、JISの肉厚感受性に沿った強度を有していることが予測され、機械的性質としてもガス溶接母材として適切なことを確認した。

(2) 開先の健全性

VT及びPTの結果、開先面には、欠陥は検出されなかった。PT現像の様子を図7に示す。

(3) ガス溶接

母材の温度変化の推移を図8に示す。溶接は、先ず開先Aについて行い、その後開先Bへと移行した。2通りの開先を連続すると母材温度が上がり過ぎること、及び作業性を考慮して、適当な休憩をはさんだ。しかし、溶接中は、アーク溶接のようにパス間で休止することなく、連続パスとした。溶接は後退法とし、 $\phi 30 \sim 40$ mmの溶融プールをキープしながら、そのプールに溶接棒を溶加して行った。フラックスは、発生スラグの融点を下げて軟化させるよう、適時、溶接棒の先端につけて溶加と共に添加した。これにより、ビードと開先間、或いはビード同士間への発生スラグのかみ込み防止を図った。ガス溶接後の外観を図9に示す。

(4) 溶接部の健全性

開先の両端を自由端(壁なし)とした。このような場合、端面近傍の溶接部には、種々の欠陥が発生し易い。このため、溶接規格によっては、端面から50mm以内を削除させ、溶接部の評価に供試材として使わせないものもある。本確性試験の溶接部を、PT, MT, UTした結果、端面より30mm以内には、PT及びMTにより、アンダーカットやブローホール等の表面傷を検出した。またUTでは、 $\phi 6.3$ mmを超えるようなFエコーを検出した。

しかし、その領域を外れた内側には、 $\phi 1.7\text{mm}$ 以下相当の F エコーが、面積をもつことなく少数点在する程度であった。後に、このような箇所を切断したところ、F エコーは、溶接中にガスがトラップされて形成されたと思われるマイクロポロシティであることが判明した。このようなポロシティの存在は、FCD の場合、機械的性質を殆んど低下させることはない¹⁾²⁾。ザク巢系の欠陥を示す $B_1 = 0$ 、共晶セル間のマイクロ巢を示す $B_1 < 30\%$ のようなエコーは、全く検出されなかった。これらのエコーは、欠陥の特性からして、ある程度の面積をもって検出される。バスタブ状開先の場合は、上述のような端面近傍の問題はない。

感度を高めた UT では、境界部に相当する付近に、 $\phi 1.4\text{mm}$ 以下に相当する F エコーが検出された。後のマイクロ・マクロ組織の観察により、この種の F エコーは、母材と溶着金属との間の球状化率や黒鉛粒径の違いを検出したものであり、擬似 F エコーであることが判明した。

(5) 溶接部の機械的性質

SR 後の母材、継手引張材及び全溶着材の引張特性を、表 4 に示す。母材は、0.2% 耐力が少し劣るだけで、本体付供試材とほぼ同等の引張特性を示した。この差は、FCD の肉厚感受性からするとやむを得ないところである。溶接部との比較では、全溶着材の強度が最も高く、母材と継手引張材は、同等の引張特性を示した。全溶着材の強度が高いのは、溶接時の凝固冷却が早いため、黒鉛粒が小さくなっていることが主な要因として挙げられる(図 10)。

溶接部のマクロ組織に対して、ブリネル硬度試験を実施した。その結果を図 11 に示す。溶着金属と母材とでは、マクロ組織における色調が異なり、硬度に大差があるように思われた。しかし実測値は、2 通りの溶接部の間で差があるものの、同一溶接部内には差があまり見られなかった。溶接部間の硬度差は、溶接中の熱履歴の差によるものと思われる。マクロ組織の色調差は、黒鉛粒径とパーライト量の差に起因している(図 10)。

両振り回転曲げ疲労試験結果を図 12 に示す。母材、継手試験材及び全溶着材間の疲労強度の優劣は、各試験材共に引張特性と同じ傾向を示した。耐力比 R (疲労強度/引張強さ) も、各々約 0.5 と高い。

4. ガス溶接上のポイント

蓄積されたデータと熟練溶接者の技量を定量的に表現した結果、

目的のガス溶接結果を得るためのポイントが見えて来た。その内の主要なポイントを以下に紹介する。

- (1) 溶接棒の F・M g 量……母材の F・M g 量×1.5 倍
- (2) 開先角度……… 45°
- (3) 加熱トーチの火炎………弱酸化炎
- (4) 熔融プールの温度………軽く酸化膜をはる程度
(1410～1440℃)
- (5) 熔融プールの大きさ………φ30～40mm
- (6) スラグ粘度の調整………フラックスの使用
- (7) 健全性の証明………UTエコーと欠陥の関連把握
- (8) 後熱…………通常のSR(α化焼鈍不要)

しかしながら、好結果を確実に得るには、依然として溶接者の技量と体力に頼らざるを得ないのが現状である。

5. まとめ

- (1) 溶接部内部の健全性は、UTにより十分に証明可能である。
- (2) 的確なガス溶接が実施されたなら、溶接部の機械的性質を母材と同等かそれ以上とすることが出来る。

6. 参考文献

- 1) 千葉信行、西村隆宣、手取外志郎「厚肉球状黒鉛鑄鉄のミクロポロシティと機械強度」JACT NEWS (1985) PP8306～8309。
- 2) 糸藤春喜「厚肉FCDの非破壊評価の現状」鑄鉄材料の非破壊評価に関する研究、研究報告85、日本鑄造工学会(2000) PP19～20。

表 1 母材及び溶接棒の化学成分 (mass%)

供試材	C	Si	Mn	P	S	T・Mg	F・Mg
母材	3.45	2.48	0.28	0.043	0.011	0.045	0.033
溶接棒	3.46	2.58	0.24	0.033	0.013	0.054	0.051

表 2 ガス溶接要領

開先	45° V字型 2通り
予熱	ガスバーナ及び木炭
予熱温度	450~550℃
溶接方法	酸素-アセチレンガス溶接
火炎	弱酸化炎
フラックス	20% 硼砂 + 80% ソーダ灰
溶接姿勢	下向き
溶接棒	共金
後熱	SR ; 560℃ × 6h (炉冷)

表 3 各供試材の引張及び硬度特性 (As-cast)

供試材	引張特性					硬度	
	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	破断位置	HBS 10/3000	
別 鑄 込 み	規格	≥ 320	≥ 500	≥ 7	—	—	150~230
	B号 YB	367	576	13	11	A	197
		349	548	15	14	A	184
	C号 YB	331	517	15	14	A	182
328		517	14	12	A	180	
本 体 付 け	規格	≥ 290	≥ 420	≥ 5	—	—	130~230
	φ70mm	315	430	24	25	A	145
		298	433	22	20	A	148
		299	426	27	25	A	149

表 4 ガス溶接部材の引張特性

供試材	引張特性				
	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	破断位置
母材	264	412	25	25	A
	260	420	23	20	A
	264	437	22	23	B
	262	420	24	24	A
継手引張 (開先 A)	268	410	20	22	HAZ(B)
	269	411	22	26	HAZ(B)
	268	418	23	24	HAZ(B)
	271	414	20	16	HAZ(B)
全溶着 (開先 B)	309	465	18	18	B
	290	433	14	17	B
	292	450	18	22	B
	299	463	16	18	B

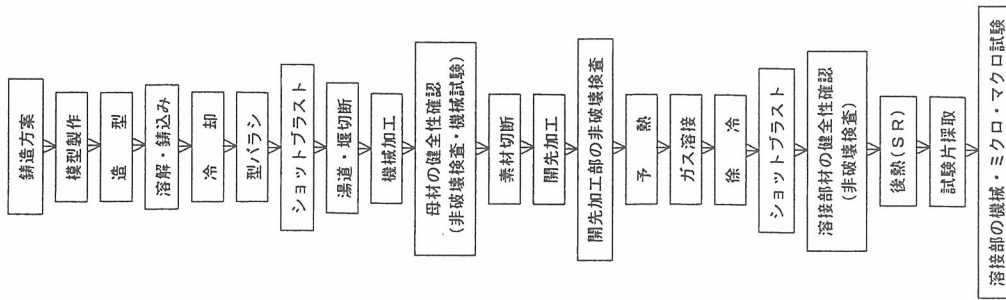
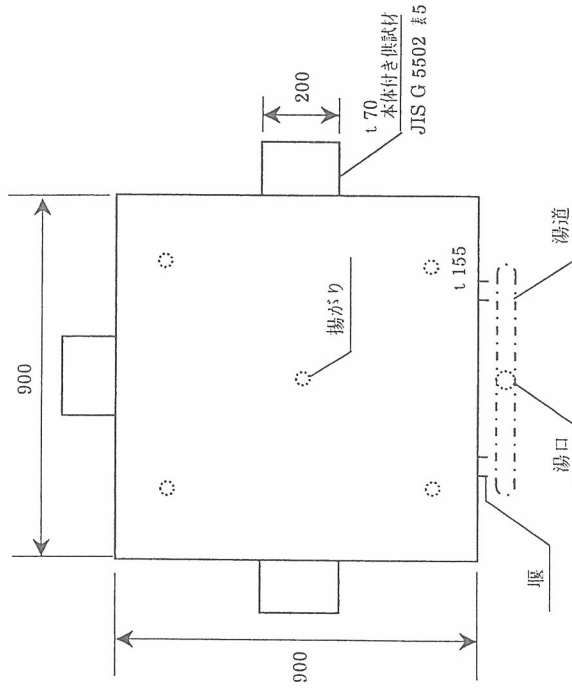
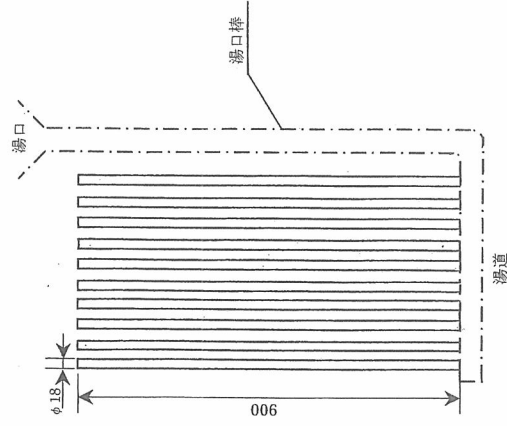


図1 ガス溶接確性試験のフローチャート



- *フランジ鑄型、下型面に冷金使用
- *鑄型 オークマンニツク G, F5(水性)
- *シヤコマン 8点締め
- *鑄込み温度 1360℃
- *鑄込み時間 68 sec.

図2 FCD500厚肉供試材の鑄造方案 (mm)



- *フランジ鑄型
- *2つ割り芯組合せ
- *鑄型 村スベ-750AB(カーナ)

図3 溶接棒の寸法及び形状 (mm)

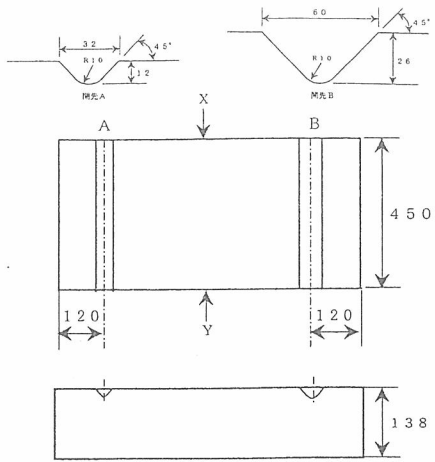
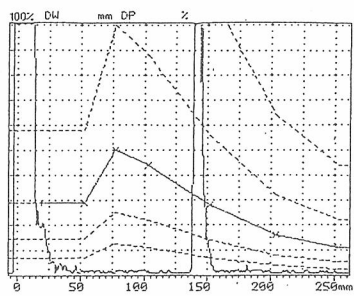


図4 母材の開先加工要領(mm)



探傷感度；φ3mm A.R.L.

図6 厚肉供試材のUT代表波形

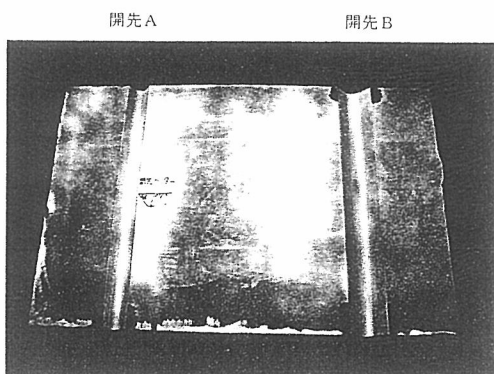


図7 母材開先加工面のPT結果

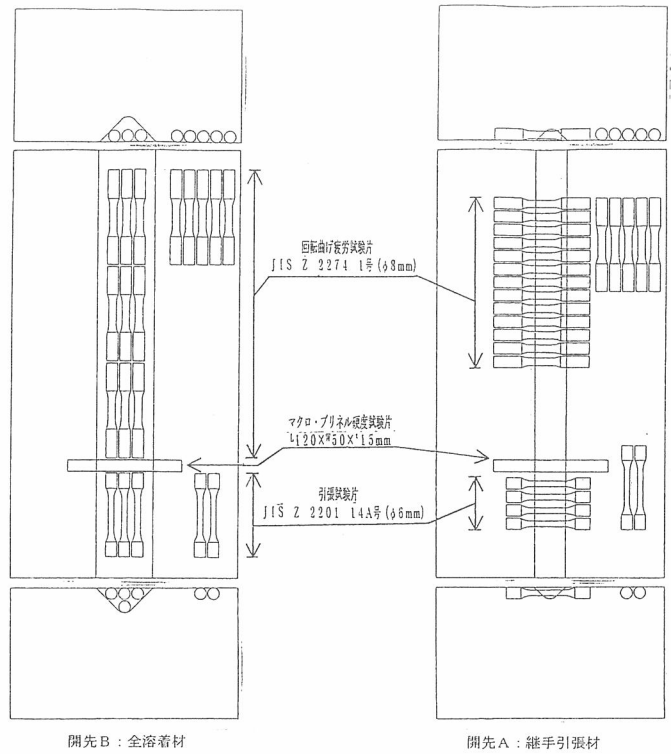


図5 試験片採取位置及び試験片サイズ

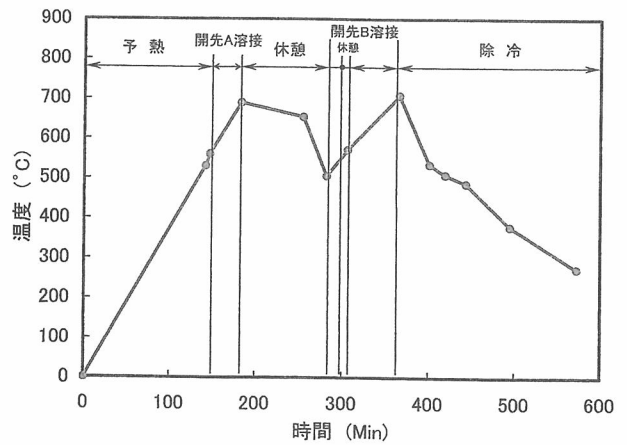


図8 ガス溶接における母材温度の推移

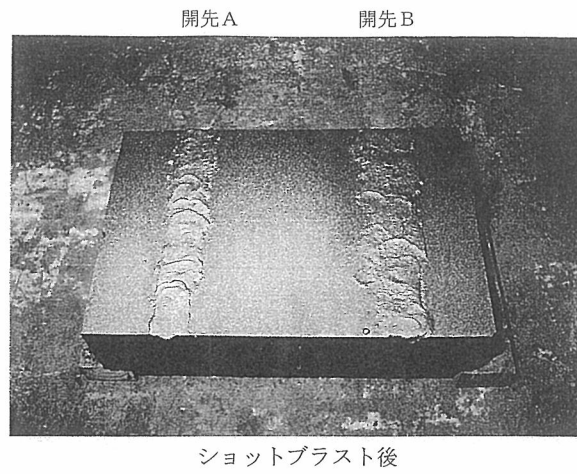


図9 ガス溶接後の外観

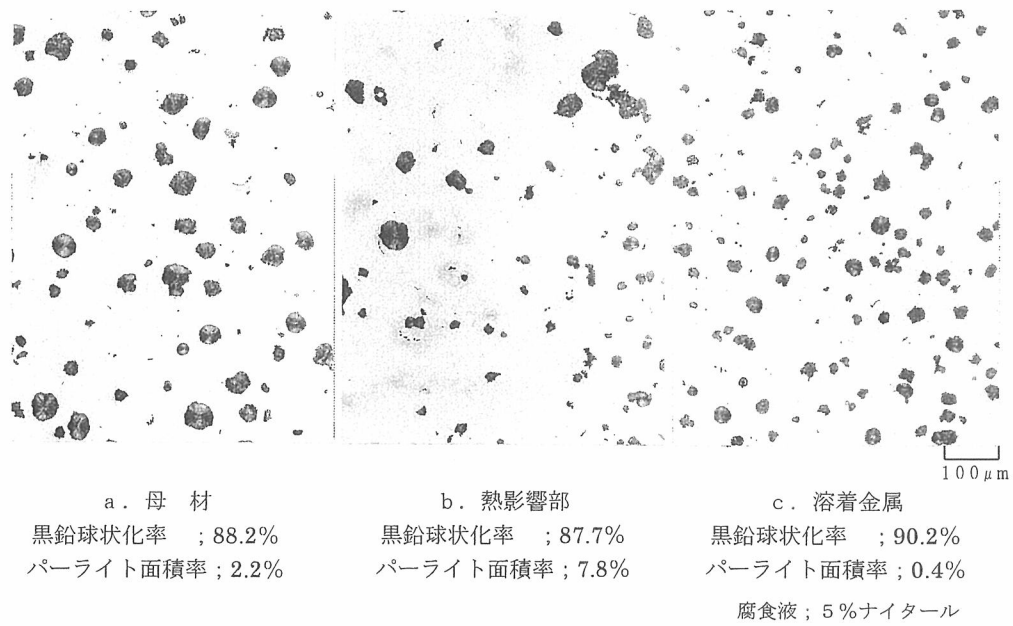
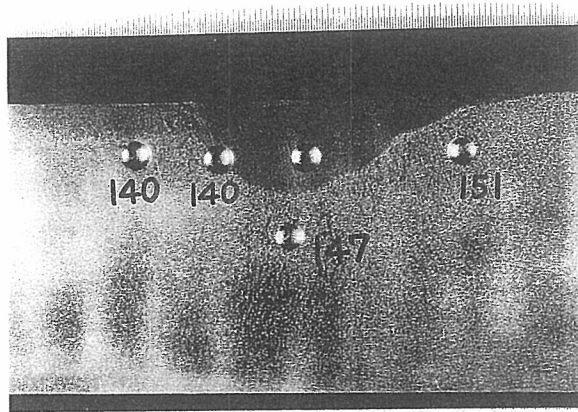
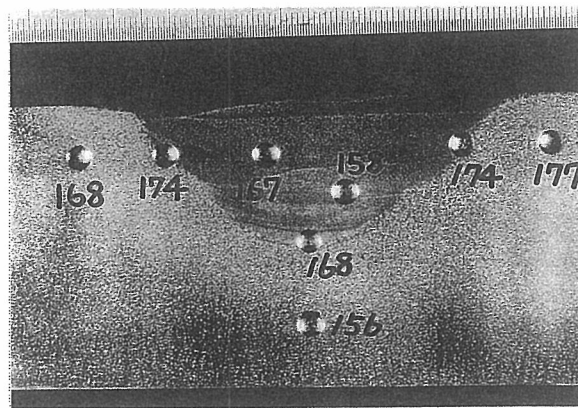


図10 ミクロ組織 (開先 A)



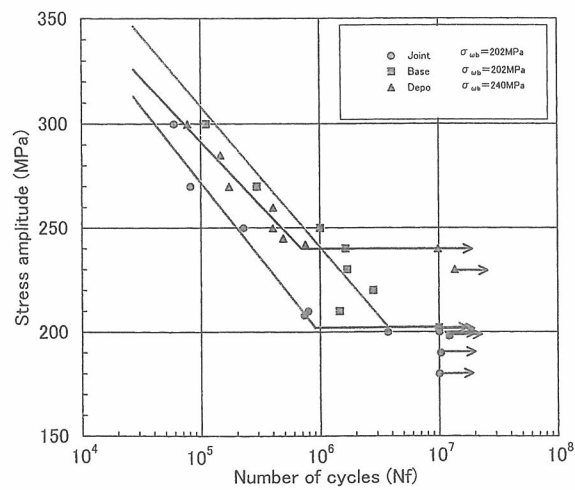
a. 開先A



b. 開先B

マクロ腐食液 ; 5%ナイトール

図 11 ガス溶接部のマクロ組織及びブリネル硬度測定結果



* 繰返し速度 ; 3600 r p m
* 応力比 ; R = -1

図 12 両振り回転曲げ疲労試験結果