

Fe-Ni基オーステナイト鋼材の 溶接試験（その1）

—基礎試験結果の報告—

1 9 9 5 年 1 月

動力炉・核燃料開発事業団

東 海 事 業 所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

Fe-Ni基オーステナイト鋼材の溶接試験（その1）
－基礎試験結果の報告－

上村勝一郎*、井坂 和彦**、
関 正之*、豊島 光男**、
石橋 藤雄*

要 旨

（目的）

新被覆管材料開発の一環として行われている、Fe-Ni基オーステナイト鋼（以下、「高Ni鋼」と言う。）は将来、高速増殖炉炉心燃料用被覆管として有望視されている。そこで従来からSUS316相当鋼等の燃料用被覆管の端栓溶接法として採用している、タングステンイナートガス（以下、「TIG」と言う。）溶接法を用いて溶接試験を行い、高Ni鋼の溶接の可能性を把握する。

（方法）

評価対象の高Ni鋼としては、40S材及び43G材を用い、溶接特性は主に、実績データの豊富なSUS316相当鋼との比較によるところとし、溶接欠陥の有無、引張試験、単軸クリープ試験、圧縮疲労試験等の機械強度等の測定を行った。

（結果）

1. 断面金相試験において、溶接部は40S材及び43G材ともSUS316相当鋼と同様な柱状晶組織が得られ、アンダーカット、クラック、ピンホール、肩垂れ等の有害な欠陥は発生しなかった。また溶接ビードの特異な盛り上がりも無かった。
2. 引張試験において、常温引張強度は40S材及び43G材ともSUS316相当鋼より強かった。しかし素管と比較した引張強度は、母材強度に対して40S材は12%減であるのに対し、43G材は30%減となり、強度低下が大きくなった。これに対し高温(650℃)引張強度は、母材の高温(650℃)引張強度に対して40S材及び43Gとも約13%減となった。
3. 単軸クリープ試験において、クリープ破断強度は40S材及び43G材ともSUS316相当鋼より高くなった。また43G材が40S材よりクリープ破断強度が大きくなった。
4. 圧縮疲労試験において、圧縮疲労強度は40S材及び43G材ともSUS316相当鋼より高くなった。また43G材は40S材より破断回数で2倍程度の値を示した。

（結論）

今回行った試験結果から高Ni鋼（40S材及び43G材）のTIG溶接法による端栓溶接は可能である。この材料は端栓側（深さ方向）への溶け込みが浅く、試験当初被覆管肉厚以上の溶け込みを確保できなかったが、溶接中に電極の位置を被覆管側に移動する方法を採用したことにより解消された。

また、機械的強度についても、いずれの鋼種ともSUS316相当鋼よりも高強度を示した。

* 核燃料技術開発部プルトニウム燃料開発室

**原子力技術株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 材料特性	2
2.1 化学成分	2
2.2 機械的特性	2
3. 被覆管と端栓	3
3.1 被覆管	3
3.2 端 栓	3
4. 溶接試験	4
4.1 試験フロー	4
4.2 使用部材	5
4.3 使用装置	5
4.4 試験－Ⅰ	5
4.5 試験－Ⅱ	6
4.5.1 基本溶接条件での溶接	6
4.5.2 基本溶接条件の変更	7
4.5.3 溶接回転数の変更	8
4.5.4 溶接パターンの変更	9
4.5.5 新しい溶接パターンによる溶接試験	11
4.6 試験－Ⅲ（共材による確証溶接試験）	13
5. 試験検査	14
5.1 引張試験	14
5.2 ビッカース硬さ試験	15
5.3 単軸クリープ試験	15
5.4 圧縮疲労試験	16
6. 試験結果の評価	18
6.1 断面金相試験	18
6.2 引張試験	18
6.3 単軸クリープ試験	18
6.4 圧縮疲労試験	18
7. 結 論	19

図 リ ス ト

図-1	被覆管形状	3
図-2	端栓形状	3
図-3	試験フロー	4
図-4	下部端栓溶接装置	5
図-5	電極位置	7
図-6	ビッカース硬さ	8
図-7	基準となる溶け込み状態	10
図-8	電極位置	12
図-9	溶接パターン	12
図-10	ビッカース硬さ試験結果	15
図-11	単軸クリープ試験結果	16
図-12	圧縮疲労試験結果	17

表 リ ス ト

表-1	化学成分	2
表-2	機械的特性	2
表-3	使用部材	5
表-4	基本溶接条件	6
表-5	溶け込み状態の比較 (回転数の変更試験)	9
表-6	溶接パターン	11
表-7	溶け込み状態の比較 (溶接パターンの変更試験)	11
表-8	溶接条件	12
表-9	溶け込み状態の比較 (新しい溶接パターンの試験)	13
表-10	溶け込み状態の比較 (高Ni鋼材による試験)	13
表-11	引張試験結果	14

写真リスト

写真-1	断面金相写真 (被覆管のみの溶接) 40 S 材	21
写真-2	断面金相写真 (被覆管のみの溶接) 43 G 材	23
写真-3	断面金相写真 (基本溶接条件) 40 S 材	25
写真-4	断面金相写真 (基本溶接条件) 43 G 材	27
写真-5	断面金相写真 (基本溶接条件の変更) 40 S 材	29
写真-6	断面金相写真 (基本溶接条件の変更) 43 G 材	31
写真-7	断面金相写真 (最適溶接条件) 40 S 材	33
写真-8	断面金相写真 (最適溶接条件) 43 G 材	35
写真-9	断面金相写真 (共材による確証溶接試験)	37
写真-10	断面金相写真 (常温引張試験) 40 S 材	39
写真-11	断面金相写真 (常温引張試験) 43 G 材	41
写真-12	断面金相写真 (高温引張試験) 40 S 材	43
写真-13	断面金相写真 (高温引張試験) 43 G 材	45
写真-14	断面金相写真 ビッカース硬さ測定点	47

1. は じ め に

高速増殖炉炉心用被覆管材料としてSUS316相当鋼よりも耐スエリング性及びクリープ破断強度の向上が期待できる高Ni鋼の開発が行われている。

今回、大洗工学センター燃料材料開発部ADS（燃料材料技術開発室）から支給された高Ni鋼は、次の2材料である。

- (1) 固溶強化（炭・窒化物析出強化）型合金（15Cr-40Niの含有率であるので、以下、「40S材」と言う。）

この合金は、他の合金に比べ強力な析出相を含まず、一般にNi基合金の中ではクリープ破断強度は低いが、塑性加工性、溶接性が優れていると言われている。

- (2) γ' 析出強化型合金（15Cr-43Niの含有率であるので、以下、「43G材」と言う。）

この合金は、Ni₃Alを基本形とする γ' 相をおもな析出相とするもので、優れたクリープ破断強度を有すると言われている。

以上の2材料について、溶接性、機械的強度を把握するための試験を実施した。試験は高Ni鋼端栓材の不足から被覆管が高Ni鋼、端栓がSUS316相当鋼（S55年度試作の神戸製鋼社製材）の組み合わせで開始し、溶接条件を選定した後、高Ni鋼共材による試験を行った。

本報告書は、高Ni鋼の溶接方法及び溶接部の強度測定結果について報告するものである。

2. 材 料 特 性

2.1 化学成分

表-1 に高Ni鋼の化学成分を示す。

ここで、40S材はW、Moによる固溶強化とNb、Vの炭・窒化複合強化を、43G材はW、Moによる固溶強化とNi (Nb、Ti、Al) の γ' 析出強化をねらっている。化学成分中のW、Moの影響については、添加量が多いほど強度が高い傾向にあるが、それよりも多く添加したことによるぜい化の方が問題になると言われており、Nb、Vの影響については、Nb、Vをそれぞれ単独に添加したものより、複合添加したものの方がクリープ破断強度が強いと言われている。

表-1 化学成分

使用部材		化 学 成 分 (Wt%)									
		Cr	Ni	Mo	W	Nb	V	N	C	Ti	Al
被覆管	40S材	15	40	1.9	1.9	0.2	0.35	0.06	0.04	—	—
	43G材	15	43	2.0	2.3	2.86	—	—	—	0.25	0.14
端栓	40S材	15	40	1.9	1.9	0.2	0.35	0.06	0.04	—	—

2.2 機械的特性

表-2 に高Ni鋼の機械的特性を、SUS316相当鋼と併せて示す。

表-2 機械的特性

項目 材 料	引張強さ (kg/mm ²)		内圧破壊 (kg/mm ²)	硬 さ (Hv)
	常 温	650°C	常 温	ビッカース硬さ
40S材	91	71	1190	300
43G材	115	78	1450	340
SUS316相当鋼	82	56	1380	280

3. 被覆管と端栓

3.1 被覆管

使用した被覆管は40 S材及び43 G材である。図-1に使用した被覆管の形状を示す。

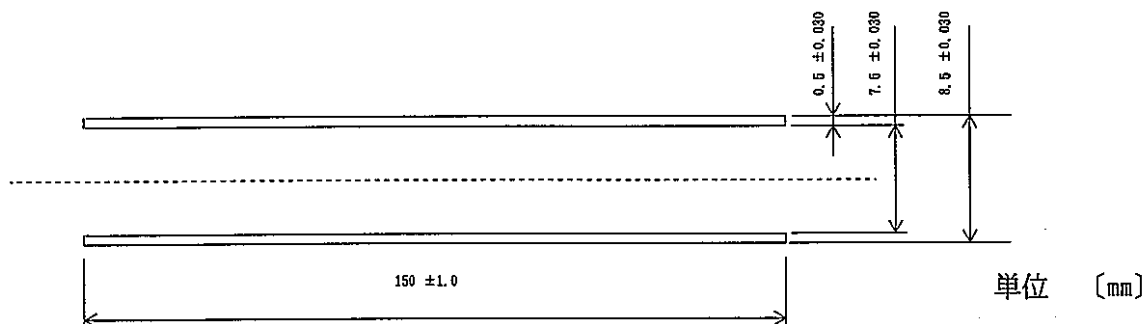


図-1 被覆管形状

3.2 端栓

使用した端栓はS U S 316相当鋼及び40 S材である。図-2に使用した端栓の形状を示す。

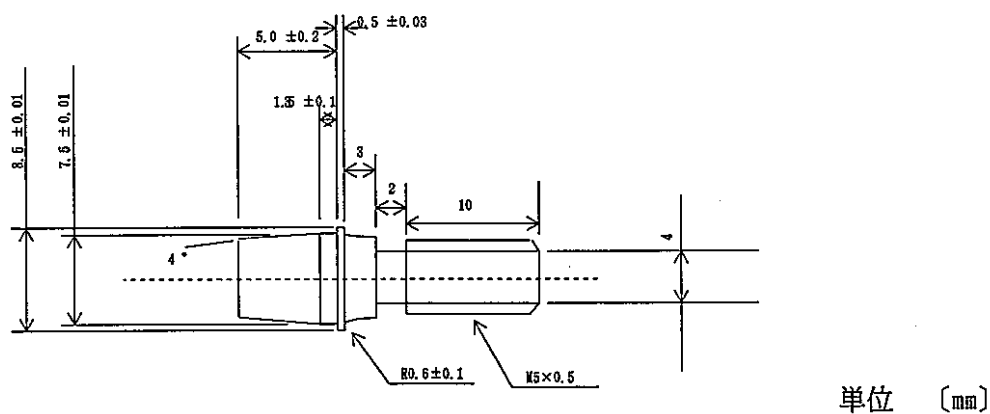


図-2 端栓形状

4. 溶接試験

4.1 試験フロー

今回行った試験フローを図-3に示す。試験は、試験-I、試験-II、試験-IIIと行った。

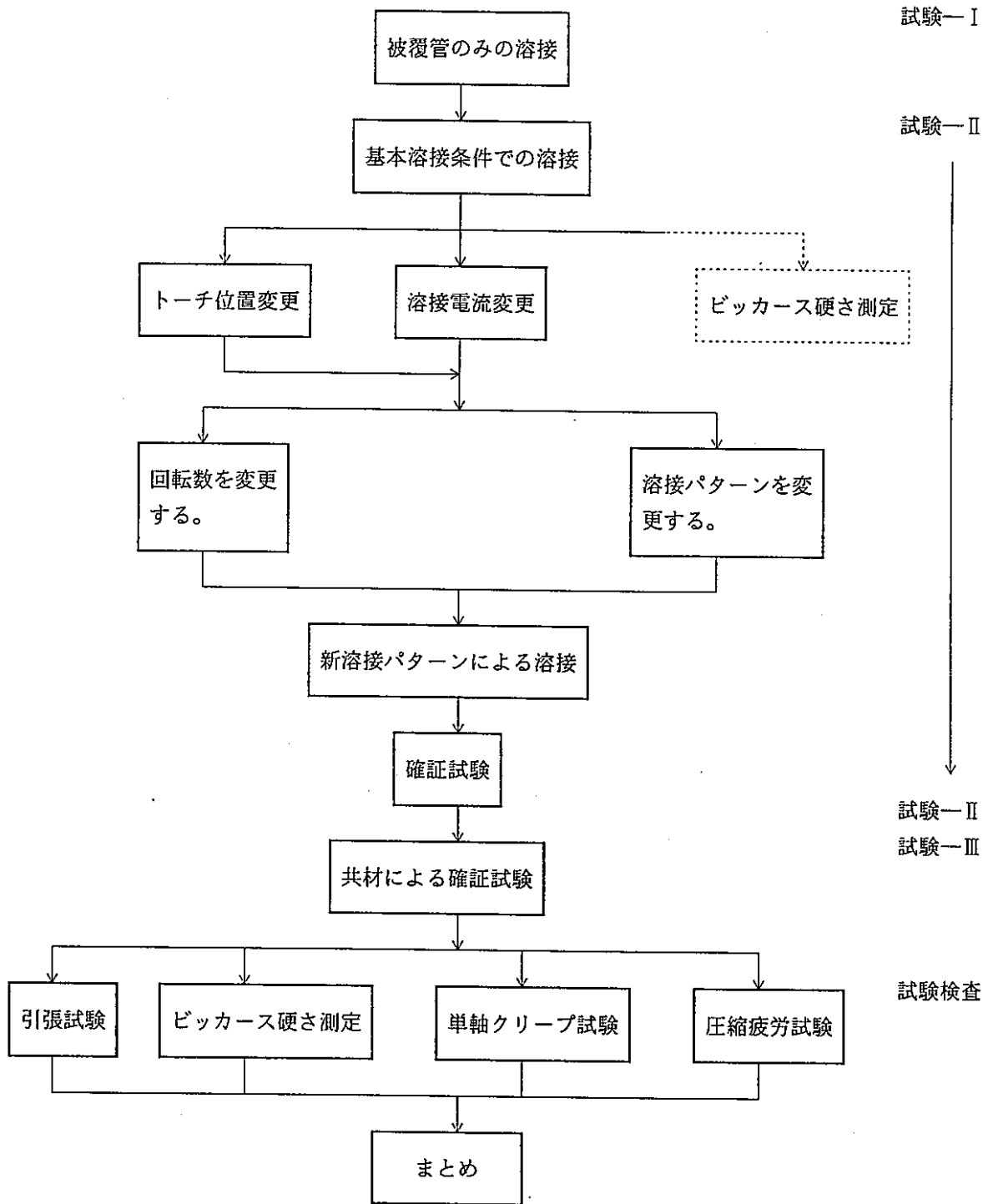


図-3 試験フロー

4.2 使用部材

今回の試験で使用した部材を表-3に示す。

表-3 使用部材

	被覆管	端栓
試験-I	40S材、43G材	—
試験-II	40S材、43G材	SUS316相当鋼
試験-III	40S材、43G材	40S材

4.3 使用装置

今回使用した装置は下部端栓溶接装置であり、図-4に溶接機構部の構造を示す。

下部端栓溶接装置は、不活性ガス（He、Ar等）雰囲気中でTIG溶接法により被覆管と端栓を溶接する装置である。

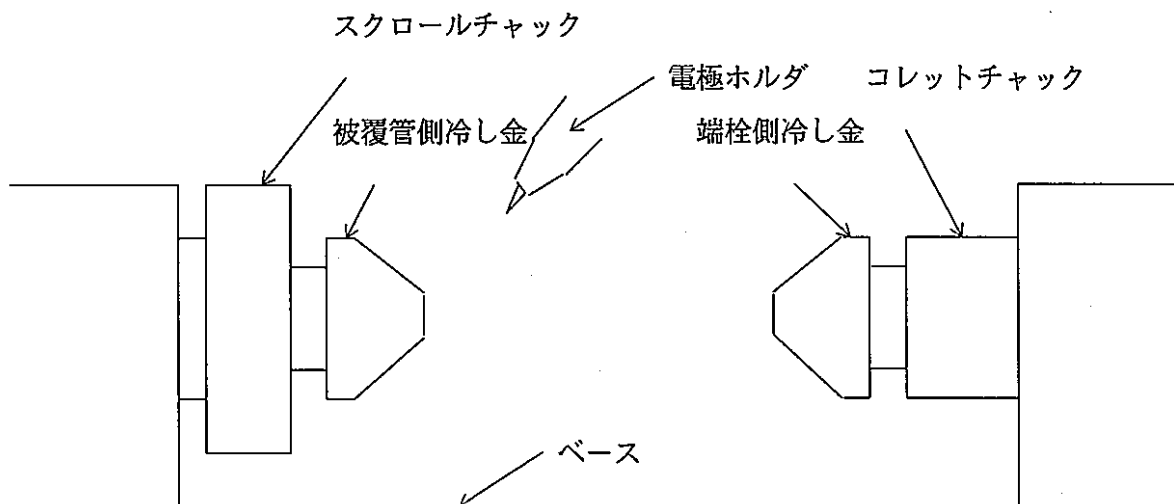


図-4 下部端栓溶接装置

4.4 試験-1（被覆管のみの溶接）

TIG溶接法を用いて、高Ni鋼被覆管の溶接の可能性を確認するために、被覆管のみの

溶接を行った。溶接電流は20Aで溶接時間は5秒である。その結果を写真-1及び写真-2に示す。

写真-1及び写真-2から40S材及び43G材の溶接部について、SUS316相当鋼と同様な柱状晶組織が得られ、これより高Ni鋼のTIG溶接は可能であると判断した。ただし、柱状晶組織が被覆管に対して垂直方向ばかりでなく、水平方向にも形成されている。またNiの添加量が増加（高Ni化）すると固溶化温度が高くなることから、端栓への溶け込み（被覆管に対して垂直方向）が浅くなることが予想される。

4.5 試験-II（被覆管が高Ni鋼、端栓がSUS316相当鋼の組み合わせ）

4.5.1 基本溶接条件での溶接

「常陽」LDP-3（太径中空ペレット燃料ピン）の被覆管寸法形状は、今回試験する高Ni鋼被覆管と同一なので、これを基本溶接条件として高Ni鋼の溶接を行った。基本溶接条件を表-4に、その電極位置を図-5に示す。

基本溶接条件で溶接を行った結果を写真-3及び写真-4に示す。

写真-3及び写真-4から、40S材及び43G材の溶接部についてSUS316相当鋼と同様な柱状晶組織が得られ、高Ni鋼のTIG溶接法による端栓溶接は可能であると判断したが、同時に以下に示す問題点が発生したので溶接条件を変更した。

- ① 肩垂れ現象
- ② 溶接部体積がSUS316相当鋼に対して増大している。

表-4 基本溶接条件

電 流 (A)		時 間 (sec)		回 転 数 (rpm)	トーチ位置 (mm)		雰囲気 (%)
A ₁	A ₂	T ₁	T ₂	-	A	B	He 100%
17	15	7.0	4.5	17	0.2	0.4	

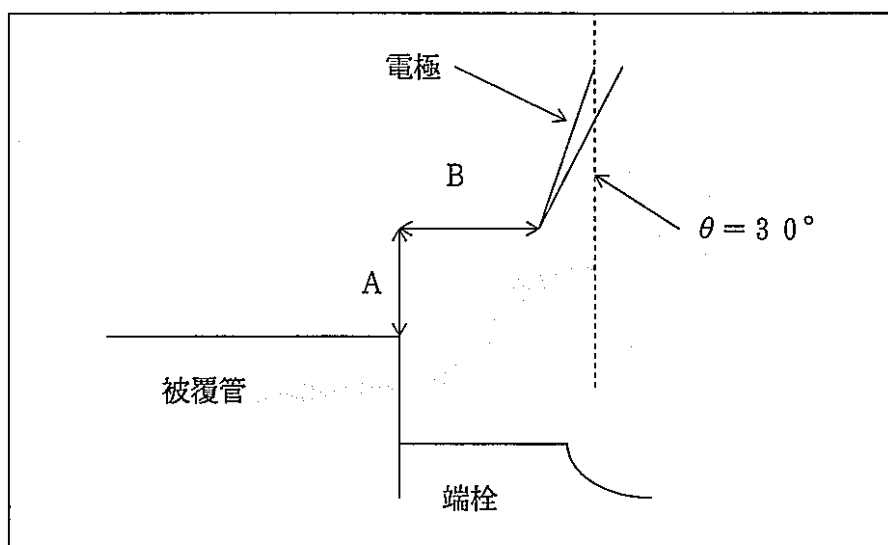


図-5 電極位置

4.5.2 基本溶接条件の変更

基本溶接条件での問題を解消するために、以下に示すように溶接条件を変更した。

- ① 肩垂れについては、トーチ位置を 0.4mm から 0.3mm に変更した。
- ② 溶接部体積が増大したことについては、溶接電流を 17A-15A から 15A-13A に変更した。

基本溶接条件を変更して溶接を行った結果を、写真-5 及び写真-6 に示す。

写真-5 及び写真-6 から、40S 材及び 43G 材の溶接部について肩垂れ、溶接部の体積増大現象は無くなったが、端栓側（深さ方向）への溶け込みが不足している。これは機械的強度の低下につながるので対策をする必要がある。また断面金相と併せて母材、熱影響部、溶接部のビッカース硬さの測定を行った。これを図-6 に示す。

図-6 から、40S 材及び 43G 材とも母材、熱影響部、溶接金属部の順に硬さが低下している。この傾向は SUS316 相当鋼の溶接部と同様であり、特異な現象は示さなかった。このことから、高 Ni 鋼の溶接が可能であることが確認できた。

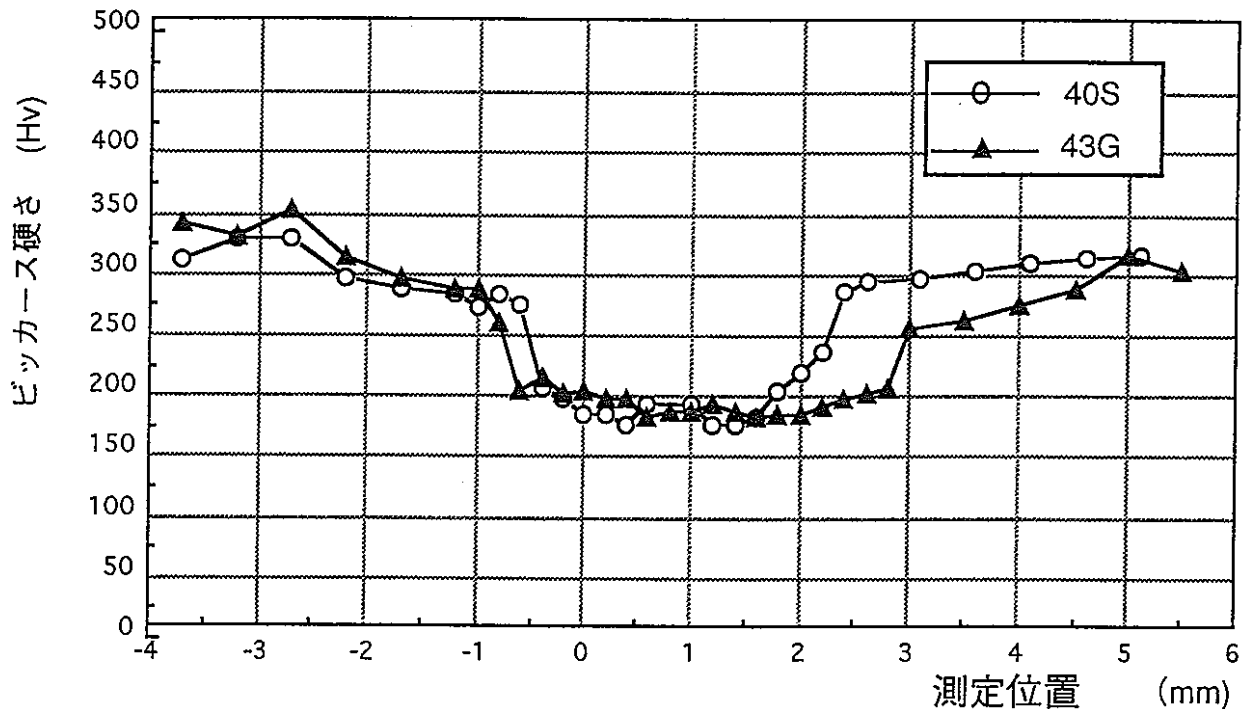


図-6 ビッカース硬さ

4.5.3 溶接回転数の変更

前項までの試験結果から問題となっているのは、端栓側（深さ方向）への溶け込みが不足することである。そこで溶け込みを深くするために溶接条件を変更した。

まず溶接回転数を17rpmから10rpmに変更した。10rpmを選定したのは、回転数を低下させることにより、溶接時における被溶接物の蓄熱量が増加され、これに伴い溶け込みが深くなることをねらったことと、各種燃料要素製造時に使用された実績があるためである。その他の条件は4.5.2項と同一とした。

ここで、溶接を行った試料の良否を判断するために、過去の燃料要素製造実績から“基準となる溶け込み状態”を図-7に示すように図面上で作成し、OHP化して実際に溶接した試料の断面金相写真（倍率50倍）と比較した。試料は“基準となる溶け込み状態”に寸法形状が近似しているほどよい。その結果を表-5に示す。ただし数字は測定値の50倍となっている。

表-5から、溶け込み深さについては40S材及び43G材とも10rpmの方が、1mm程度深くなっているが“基準となる溶け込み状態”と比べると溶け込み不足である。また溶け込み量、溶け込み幅ともに“基準となる溶け込み状態”に比べ大きくなっていることがわかる。

表-5 溶け込み状態の比較 (回転数の変更試験)

試料 項目	“基準となる溶 け込み状態”	17 r p m		10 r p m	
		40 S 材	43 G 材	40 S 材	43 G 材
溶け込み量 (mm ²)	18	17	17	18	18
溶け込み深さ (mm)	33	26.5	25.7	27.3	26.3
溶け込み幅 (mm)	72	79	84	89	92

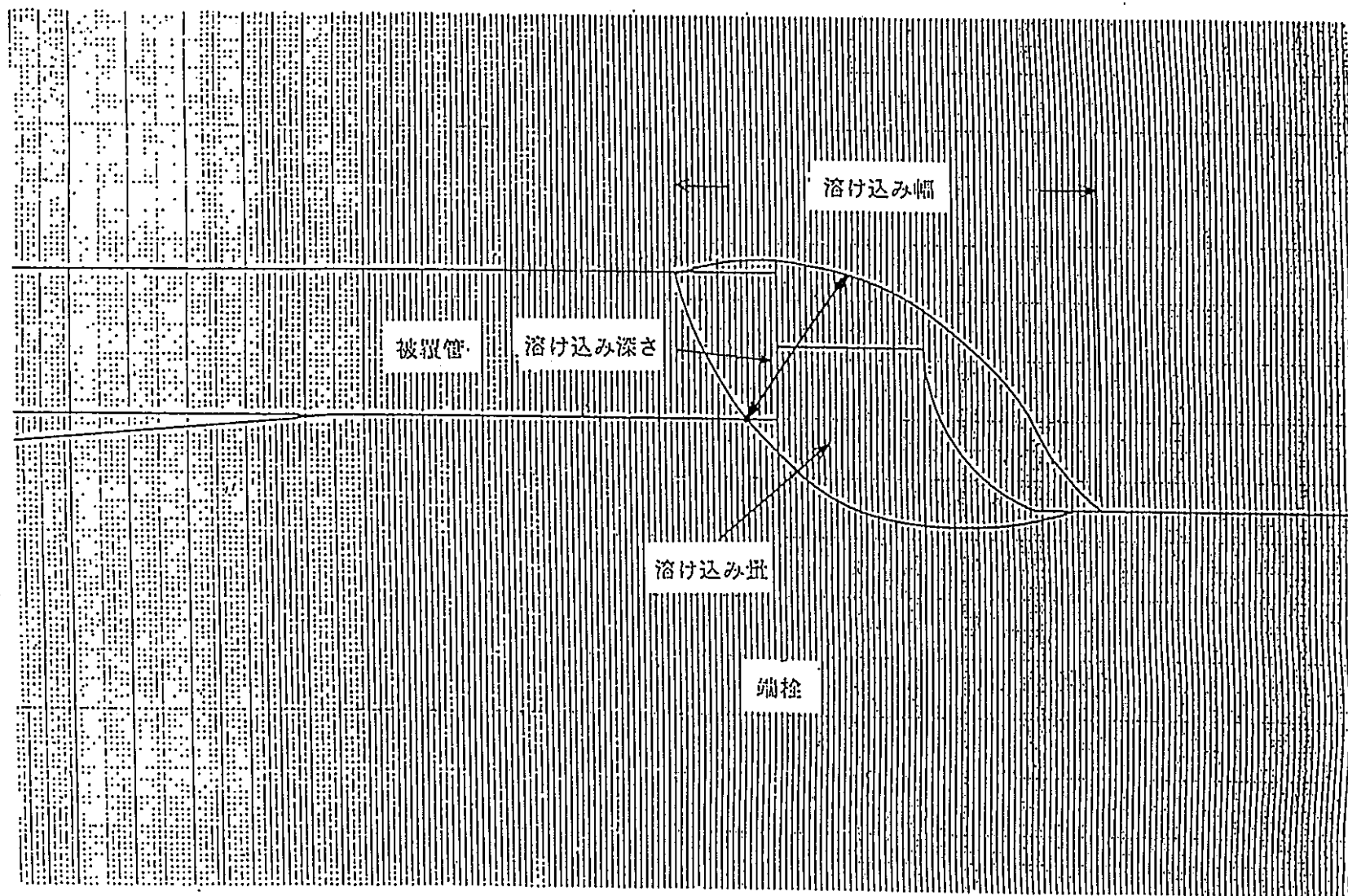
4.5.4 溶接パターンの変更

溶け込みの深さに関して、前山型の溶接パターンと後山型の溶接パターンではどちらが深く溶け込むか試験を行った。表-6にそれぞれの溶接パターンを示し、表-7に“基準となる溶け込み状態”と比較した結果を示す。

表-7より、後山型の方が溶け込み量、溶け込み深さ及び溶け込み幅ともに大きくなることがわかった。しかし“基準となる溶け込み状態”と比較すると、溶け込み量及び溶け込み幅は大きく、溶け込み深さは不足している。

ここで今まで行った試験結果をまとめると、

- ① 溶け込み深さのみに着目すると回転数は10 r p m、溶接パターンは後山型の方が溶け込みは深くなる。
- ② TIG溶接において高Ni鋼は、端栓側（深さ方向）に溶け込みにくく被覆管側へ溶融部が広がってしまう性状を有している。現状の溶接方法で溶け込みをさらに深くするには、入熱量を増加するしかないが、溶融部がさらに広がり機械的強度の低下が考えられる。



×50

図-7 基準となる溶け込み状態

表-6 溶接パターン

溶接パターン 溶接条件	前山型	後山型
	電流 (A)	15-13
時間 (sec)	7.0-4.5	4.5-7.0
回転数 (rpm)	10	10
アークギャップ (mm)	0.2	0.2
トーチ位置 (mm)	0.3	0.3

表-7 溶け込み状態の比較 (溶接パターンの変更試験)

試料 項目	“基準となる溶 け込み状態”	前山型		後山型	
		40S材	43G材	40S材	43G材
溶け込み量 (mm ²)	18	18	18	21	22
溶け込み深さ (mm)	33	27.3	26.3	27.5	28.3
溶け込み幅 (mm)	72	89	92	93	99

4.5.5 新しい溶接パターンによる溶接試験

前項までに行った溶接試験では、いずれの場合においても端栓側（深さ方向）への溶けこみを満足させることはできなかった。そこで従来にない溶接パターンを考案して試験を行った。

表-8に溶接条件を、図-8に電極位置を、図-9に溶接パターンをそれぞれ示す。

新しい溶接パターンは図-8及び図-9に示すように、始めに1段の低電流で熱容量の大きい端栓を余熱する。充分余熱して2段に移り、高い溶接電流で端栓を溶融させ端栓側への溶け込み深さを確保する。しかし、このままでは被覆管の溶融が充分ではなく、肩垂れ現象を起こす。これを防止するために、2段が終わり3段に切り替わる時に手動操作により電極を被覆管側に移動して被覆管を溶融させる。被覆管は低い溶接電流でも充分溶融させることができる。

この方法は溶接電流の切り替わり時に、手動操作により電極を移動しなければならないので電極の位置合わせに経験が必要となる。

表-8 溶接条件

	1 段	2 段	3 段	アークギャップ 0.35 (mm) 回転数 10 (rpm) 電極角度 30°
溶接電流 (A)	9.0	15.0	12.0	
トーチ位置 (mm)	0.3	0.3	0.0	
溶接時間 (sec)	6.0	6.0	7.0	

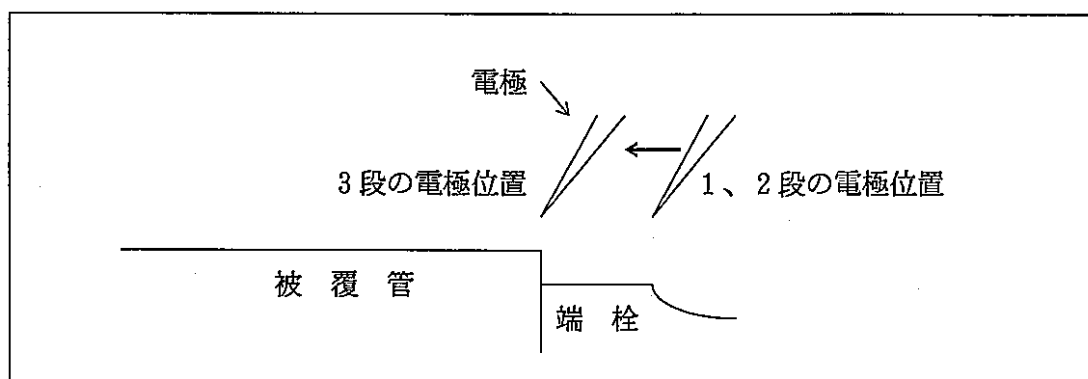


図-8 電極位置

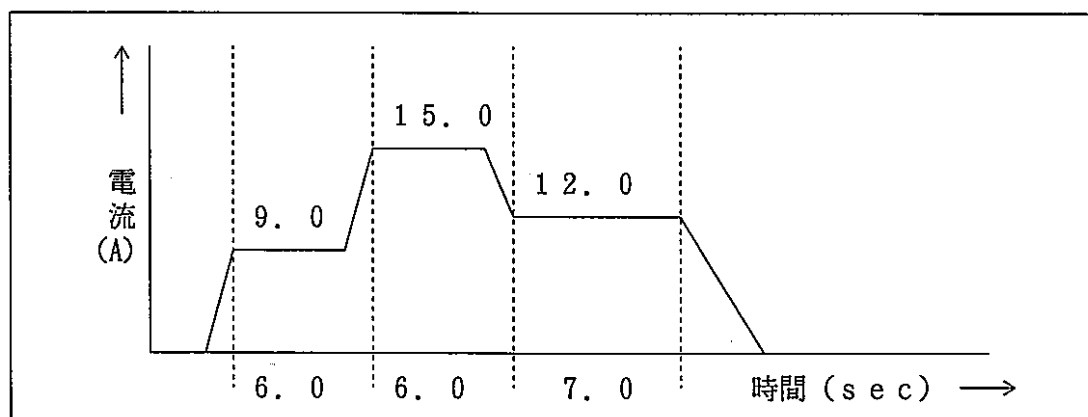


図-9 溶接パターン

新しい溶接パターンによる試験結果を“基準となる溶け込み状態”と比較した表-9及び写真-7、写真-8に示す。

表-9より新しい溶接パターンは“基準となる溶け込み状態”をほぼ満足する値が得られたので、最適溶接条件とした。

表-9 溶け込み状態の比較（新しい溶接パターンの試験）

試料 項目	“基準となる溶 け込み状態”	前山型		後山型	
		40S材	43G材	40S材	43G材
溶け込み量 (mm ²)	18	19	19	20	20
溶け込み深さ (mm)	33	31.2	32.0	32.1	31.3
溶け込み幅 (mm)	72	82	81	84	85

4.6 試験-Ⅲ（共材による確証溶接試験）

被覆管が高Ni鋼、端栓がSUS316相当鋼で選定した溶接条件を使用して、被覆管、端栓ともに高Ni鋼による確証試験を行った。その結果を“基準となる溶け込み状態”と比較した表-10及び写真-9に示す。

表-10より、高Ni鋼共材における試験でも“基準となる溶け込み状態”をほぼ満足する値が得られた。よってこの溶接条件を今回の高Ni鋼における溶接条件とした。

表-10 溶け込み状態の比較（高Ni鋼共材による試験）

試料 項目	“基準となる溶 け込み状態”	前山型		後山型	
		40S材	43G材	40S材	43G材
溶け込み量 (mm ²)	18	19	20	21	21
溶け込み深さ (mm)	33	31.5	31.8	32.0	32.3
溶け込み幅 (mm)	72	83	84	85	85

5. 試 験 検 査

今回決定した溶接条件を用いて試料を溶接し、以下に示す各種試験検査を行い、この溶接条件の妥当性を確認した。

5.1 引張試験

引張試験結果を表-11に示す。これには比較するためにSUS316相当鋼の引張試験結果を添付している。

表-11より、溶接後の引張強度は常温引張試験において、40S材及び43G材ともSUS316相当鋼の引張強度より高く、40S材より43G材が高くなっている。これは素管の引張強度の違いに比例して差が出たためと考えられる。しかし、素管の引張強度に対して溶接後の引張強度が、SUS316相当鋼が12%、40S材が14%に低下しているのに対し、43G材は30%と低下率が大きい。

次に溶接後の高温(650℃)引張強度は、素管の高温(650℃)引張強度に対して、40S材43G材とも13%に低下している。

また溶接後の破断位置を常温引張試験は写真-10及び写真-11に、高温(650℃)引張試験は写真-12及び写真-13にそれぞれ示す。

写真-10及び写真-11より、常温引張試験の破断位置はいずれも熱影響部である。

写真-12及び写真-13より、高温(650℃)引張試験の破断位置はいずれも溶接ビード部である。

表-11 引張試験結果

引 張 強 度 試 料		素管 (kg/mm ²)		溶接後 (kg/mm ²)		溶接後の 破断位置
		常 温	650℃	常 温	650℃	
* SUS316 相当鋼		82	56	72	—	熱影響部
40S 材	試料No.1	91	—	78	—	熱影響部
	試料No.2	—	71	—	55	溶接ビード部
43G 材	試料No.1	115	—	81	—	熱影響部
	試料No.2	—	78	—	60	溶接ビード部

* 数値はA型特殊燃料要素で使用した住友金属社製のSUS316相当鋼である。

5.2 ビッカース硬さ試験

硬さはビッカース微小硬度計を用いて測定を行った。その結果を図-10に示す。また、測定点を写真-14に示す。

図-10より、40S材及び43G材は共にSUS316相当鋼と相似したグラフを示している。

また、硬さの特異点もなくTIG溶接が可能であることが確認できた。次に、母材、熱影響部、溶接金属部の順に硬さが低下しているが、これは溶接により母材の冷間加工度が除去されたために生じたものである。

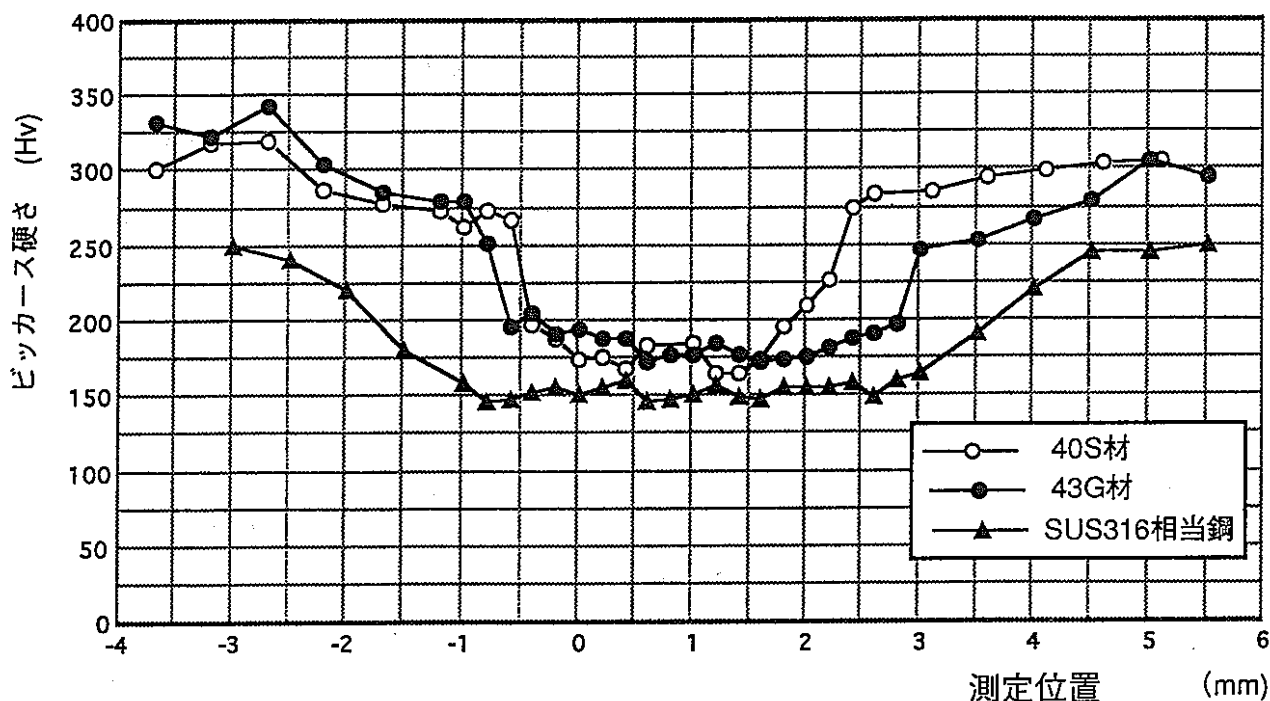


図-10 ビッカース硬さ試験結果

5.3 単軸クリープ試験

単軸クリープ試験は、単軸クリープ試験機を用いて試験温度 650°Cで行った。結果を図-11に示す。比較として用いたのは、SUS316相当鋼で55年試作材のS、K材である。

図-11より、40S材はそれぞれ応力 36.65kg/mm²、破断時間64.9時間、応力29.46kg/mm²、破断時間 218.3時間である。43G材は応力 31.74kg/mm²、破断時間 951.1時間である。これより40S材及び43G材はSUS316相当鋼で55年試作材のS、K材より高いクリープ破断強度を得られることが推定され、また43G材は40S材より高いクリープ破断強度が得られると推定でき、高Ni鋼が優れた抗クリープ性を有していることが予想できる。

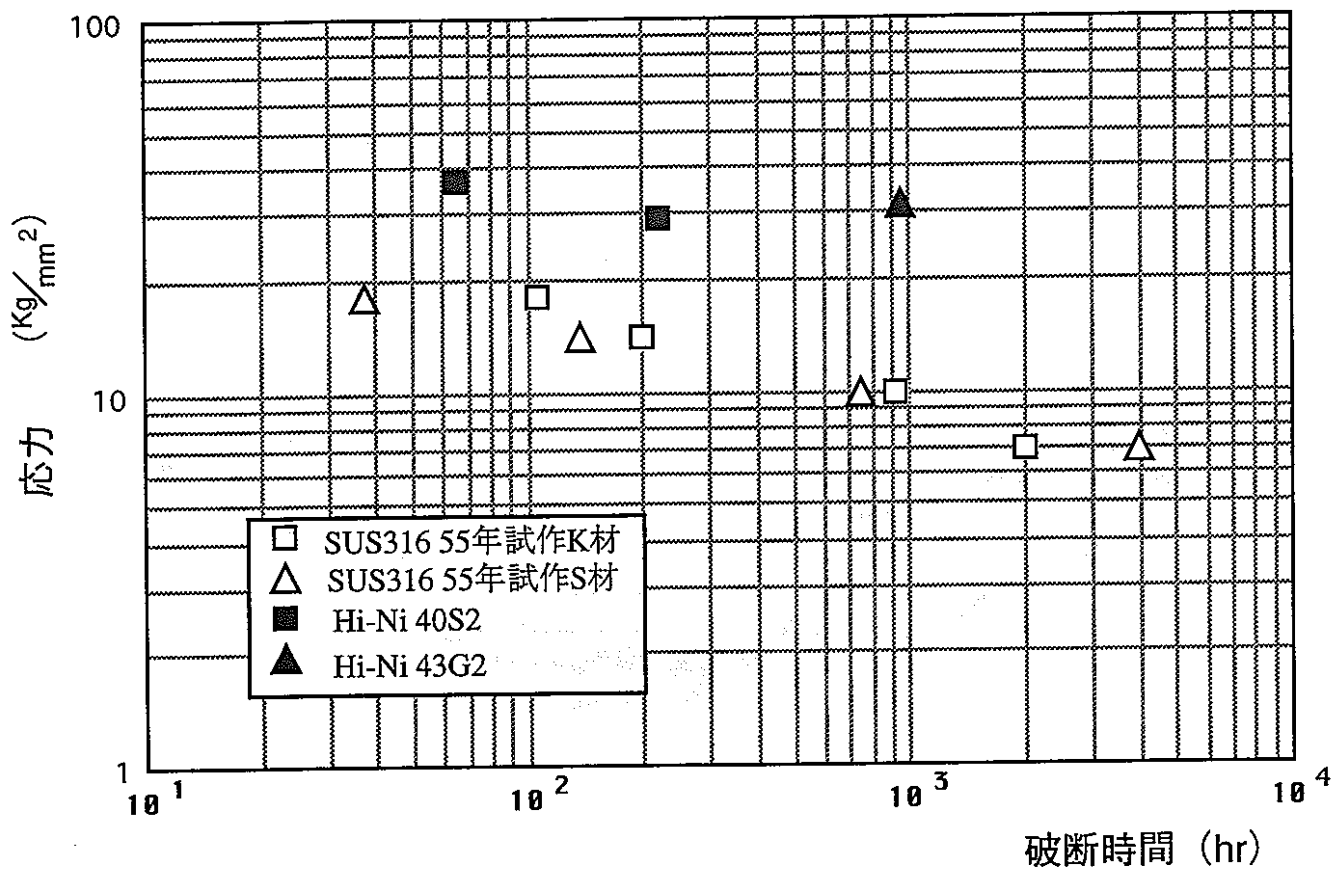


図-11 単軸クリープ試験結果

5.4 圧縮疲労試験

圧縮疲労試験は電気油圧サーボ式疲労試験機を使用して、sin波形、繰り返し速度 5 Hz、荷重制御で行った。結果を図-12に示す。

図-12より、40S材は応力 60.04kg/mm²、破断回数 51730回、43G材は応力 59.81 kg/mm²、破断回数120620回でそれぞれSUS316相当鋼 (TIG溶接材) 及びSUS316の ASME規格より高い応力が得られた。

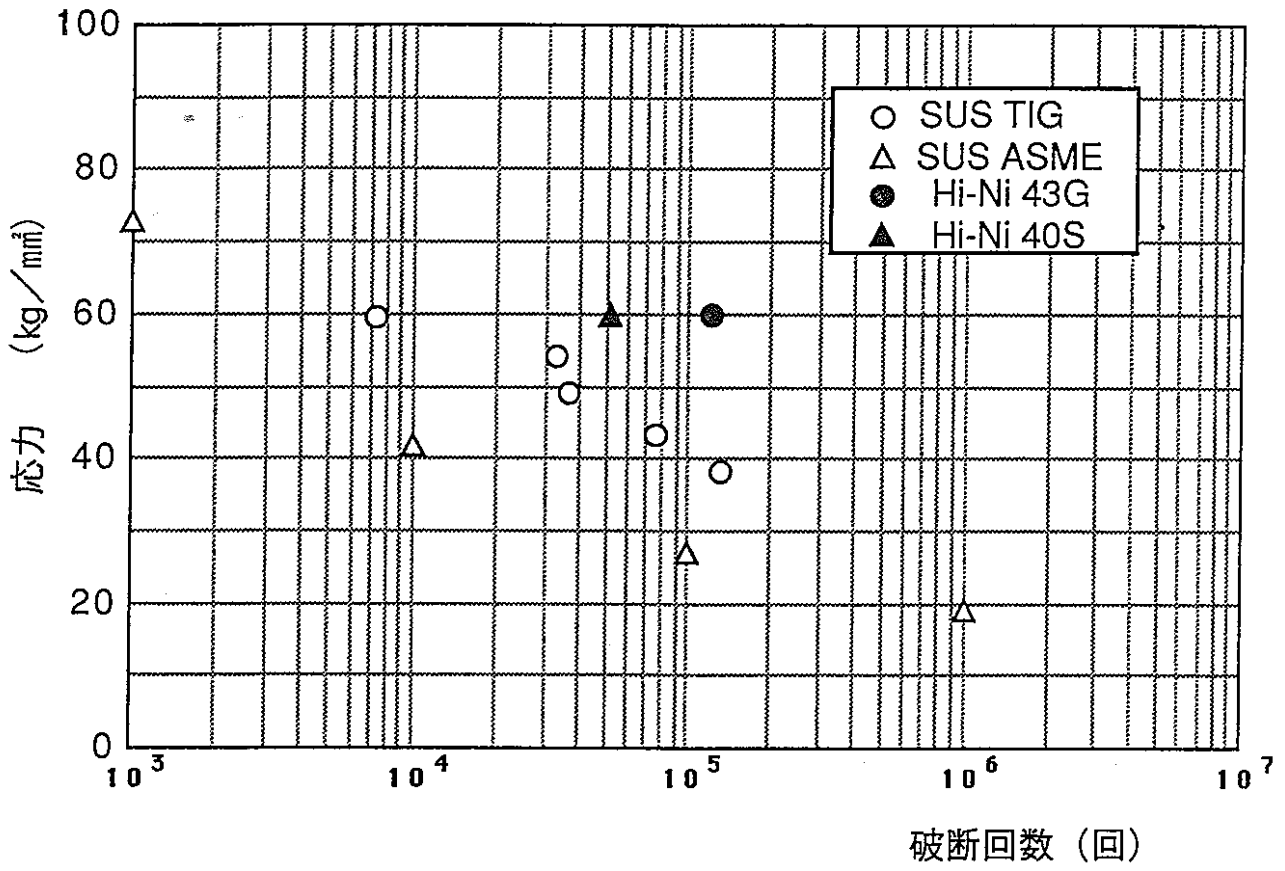


図-12 圧縮疲労試験結果

6. 試験結果の評価

6.1 断面金相試験

溶接部は40S材及び43G材ともSUS316相当鋼と同様な柱状晶組織が得られ、アンダーカット、クラック、ピンホール、肩垂れ等の有害な欠陥も無く、また溶接ビードの特異な盛り上がりも無かった。これよりTIG溶接が高Ni鋼に適していることがわかった。

6.2 引張試験

引張強度は40S材及び43G材ともSUS316相当鋼より高くなる。これは単に素管の持っている引張強度がSUS316相当鋼より強いためになったと考えらる。しかし素管と比較した溶接後の引張強度は、SUS316相当鋼が12%、40S材が14%に低下しているのに対し、43G材30%と低下率が大きい。これは一般に言われている40S材が43G材より溶接特性が優れていることに関係している可能性がある。

6.3 単軸クリープ試験

抗クリープ性は40S材及び43G材ともにSUS316相当鋼より高くなる。また43G材が40S材よりクリープ破断強度が大きくなっており、43G材が優れた抗クリープ性を有していることが確認できた。

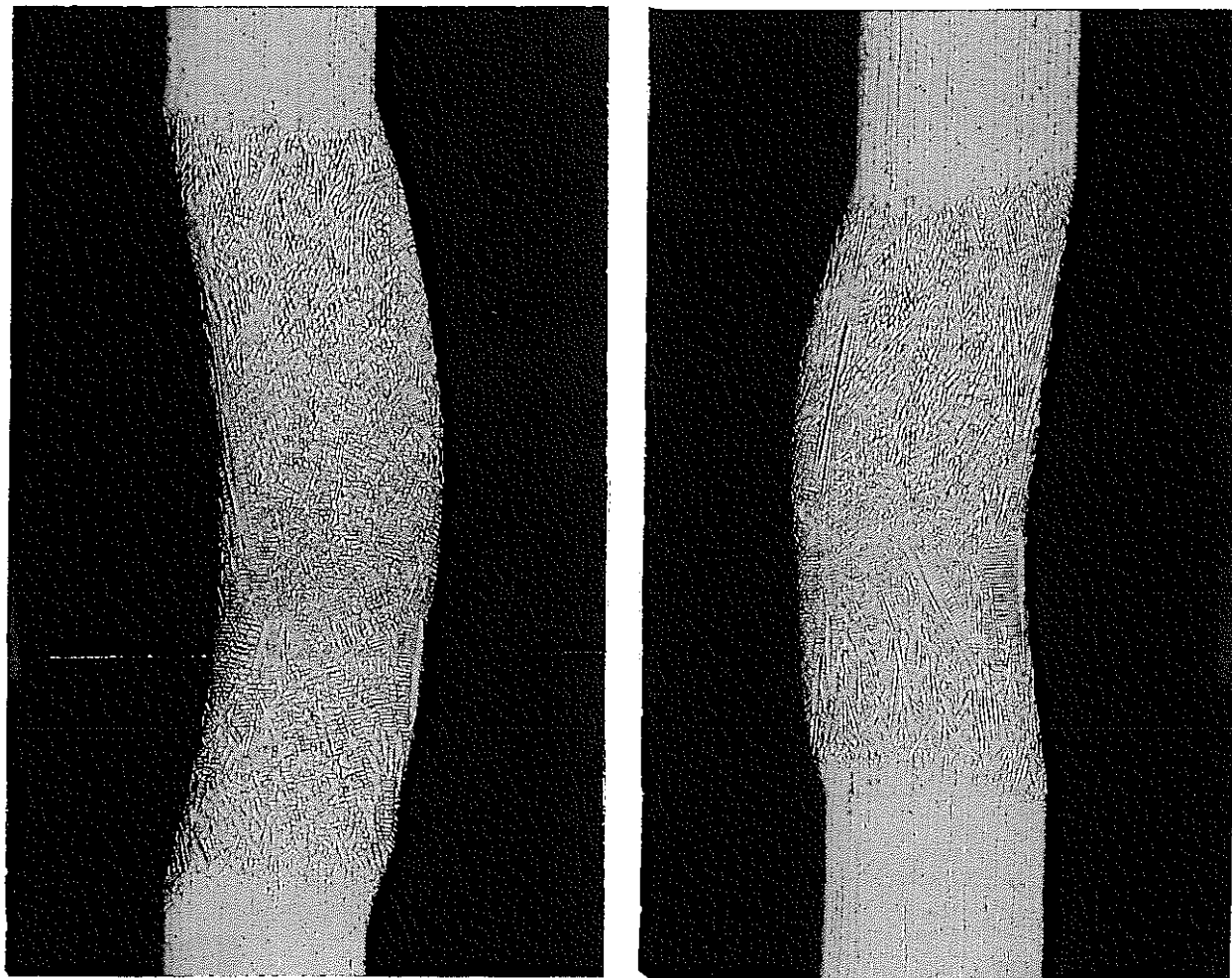
6.4 圧縮疲労試験

圧縮疲労強度は応力、破断回数について40S材及び43G材ともSUS316相当鋼より高くなる。また43G材が40S材より破断回数で2倍程度の値を示していることから、優れた圧縮疲労強度を有していると言える。

7. 系 吉 論

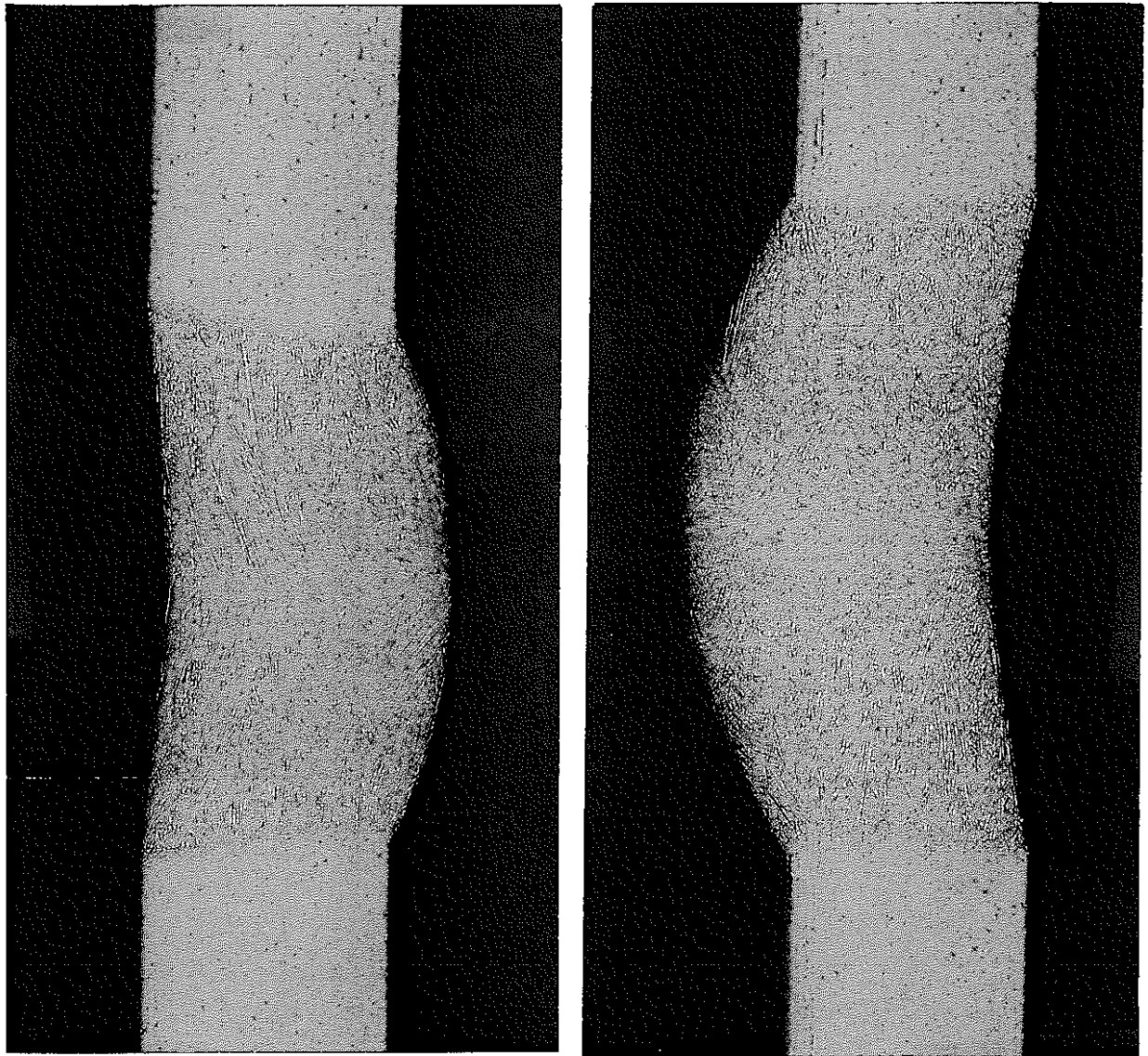
今回行った試験結果から高Ni鋼（40S材及び43G材）のTIG溶接法による端栓溶接は可能であり、40S材は43G材に対して、溶接後の引張強度の低下が少なく、溶接特性が優れていると考えられる。43G材は40S材に対して、クリープ破断強度及び圧縮疲労強度が高くなる。

また、この材料は端栓側（深さ方向）への溶け込みが浅く、試験当初被覆管肉厚以上の溶け込みを確保できなかった。しかし、溶接中に電極の位置を端栓側から被覆管側に移動する方法を採用したことにより解消された。ただこの方法は現有の装置では操作に経験が必要であるのと、熱影響部が長くなる等の特徴があるので、冷し金を使用した試験も材料が確保されしだい行って、操作が容易で熱影響部が短くなる溶接条件を選定したい。



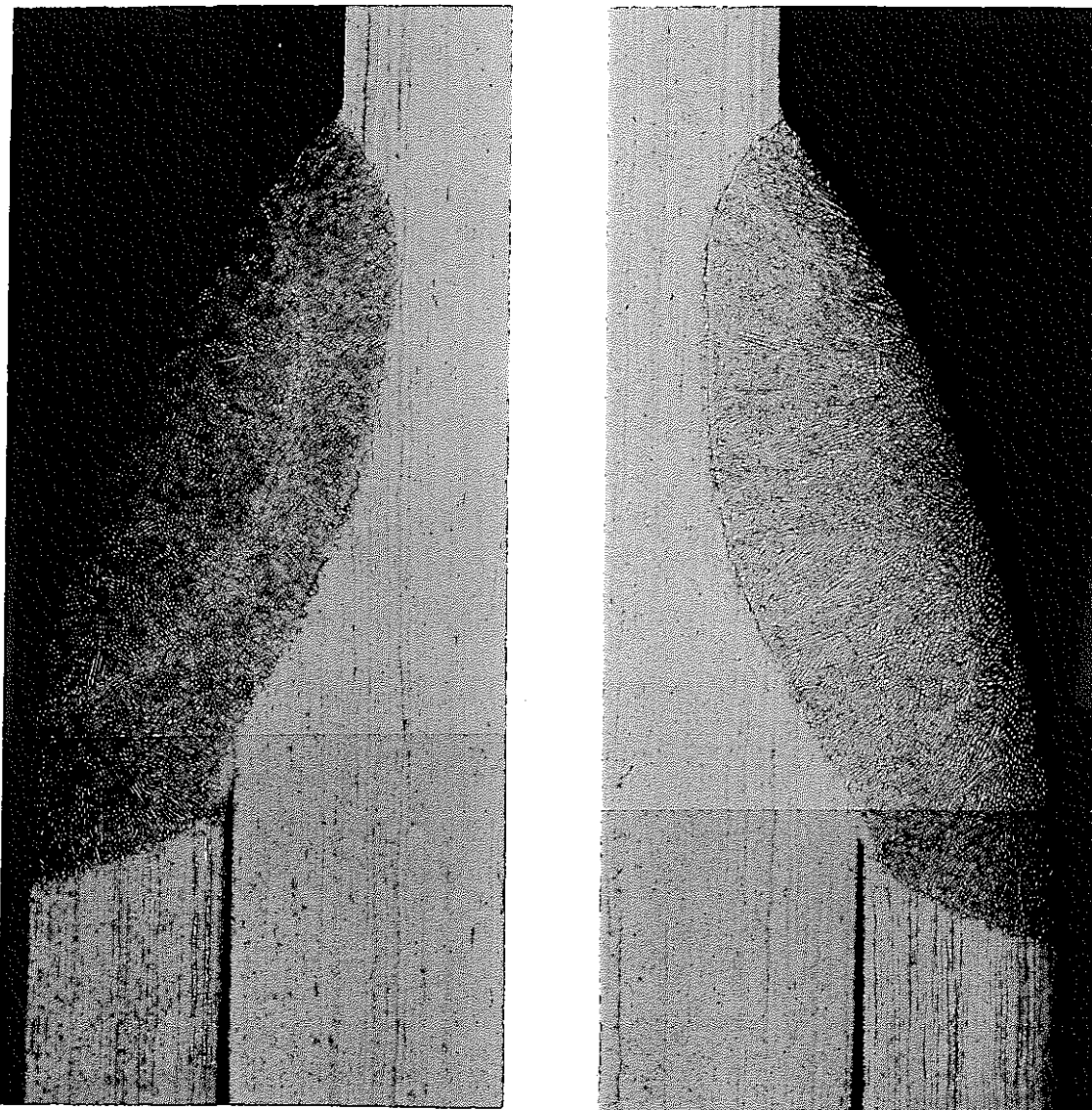
×50

写真-1 断面金相写真（被覆管のみの溶接）40S材



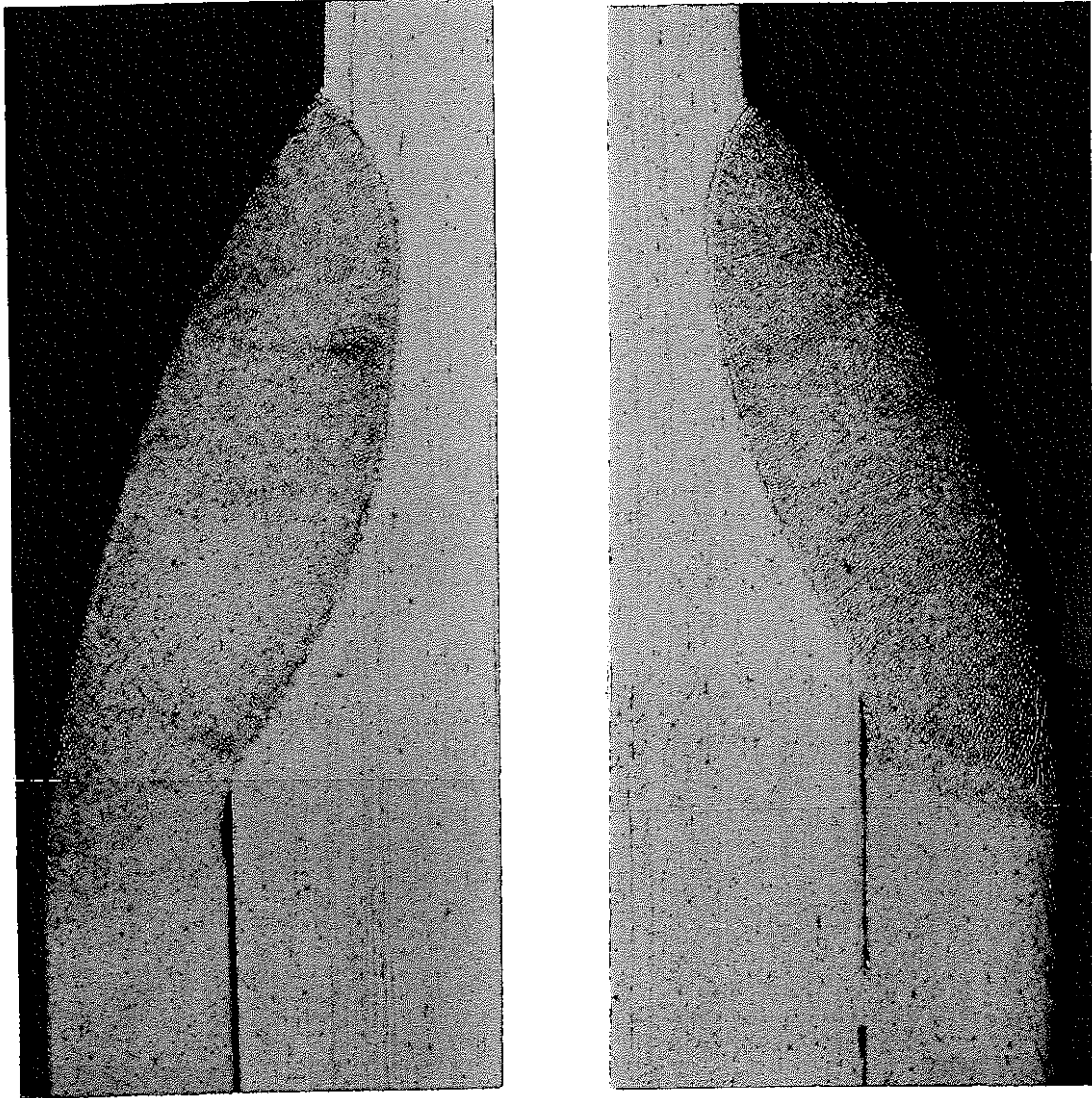
×50

写真-2 断面金相写真（被覆管のみの溶接）43G材



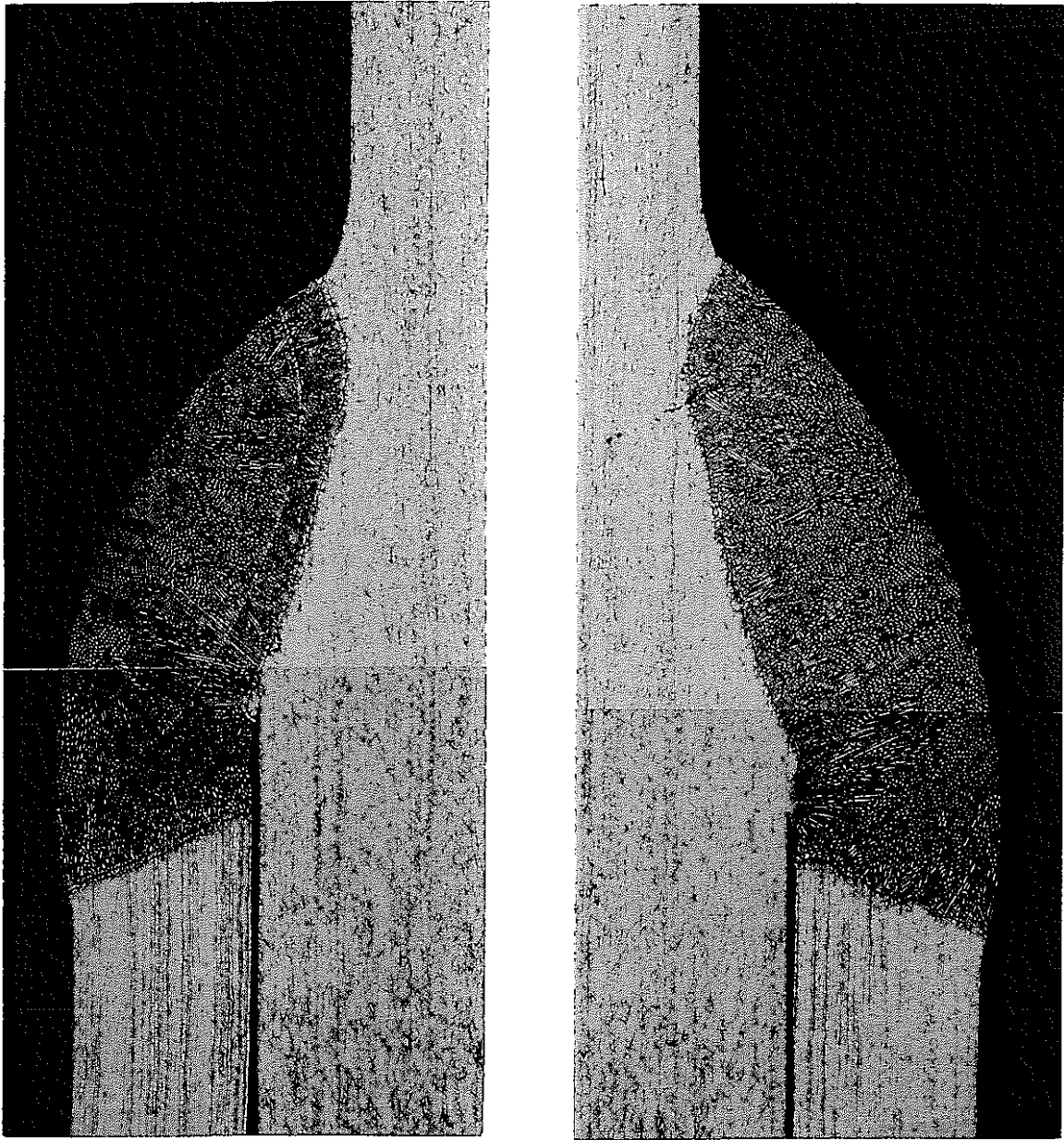
×50

写真-3 断面金相写真（基本溶接条件）40S材



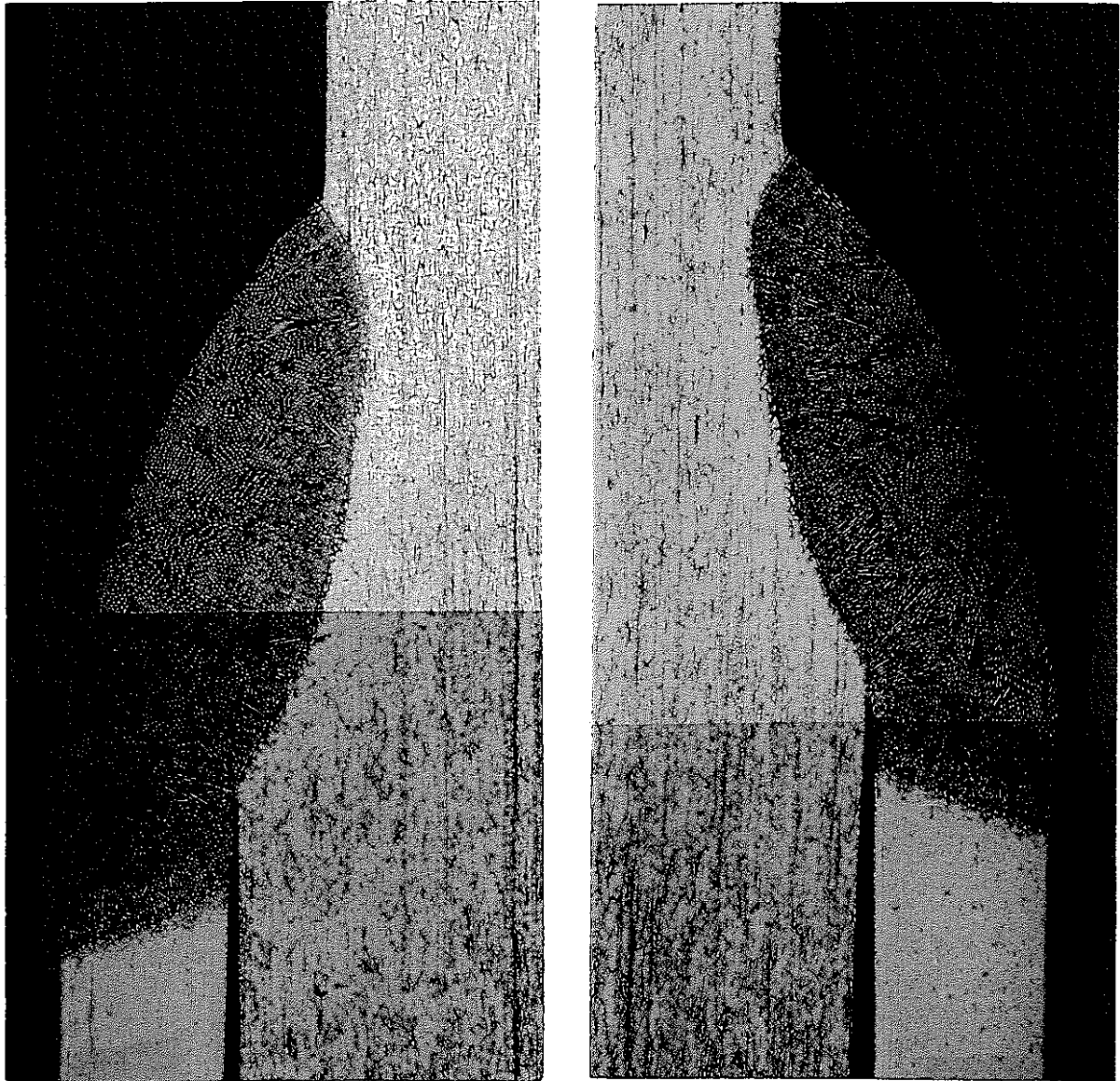
×50

写真-4 断面金相写真(基本溶接条件) 43G材



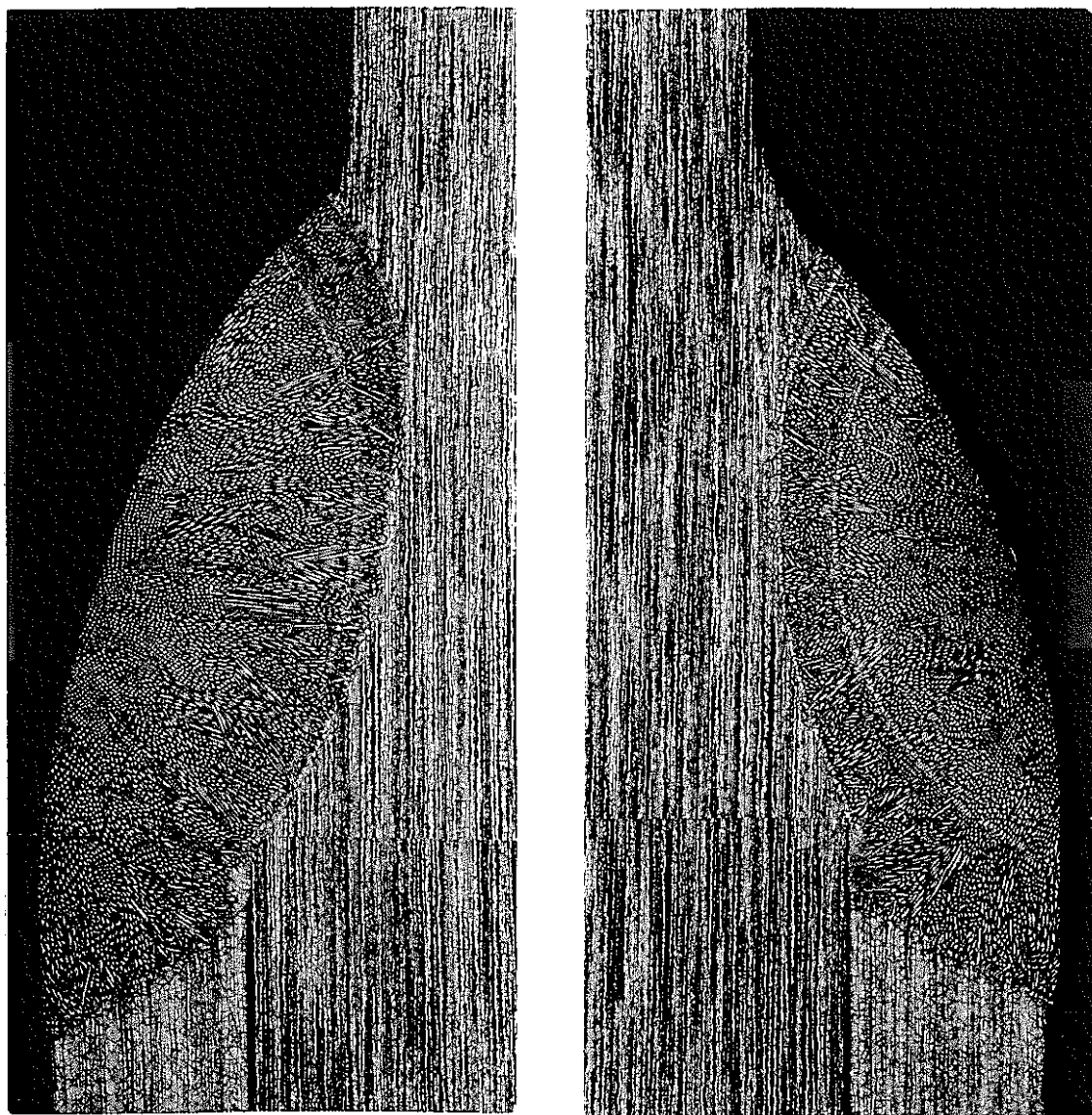
×50

写真-5 断面金相写真（基本溶接条件の変更）40S材



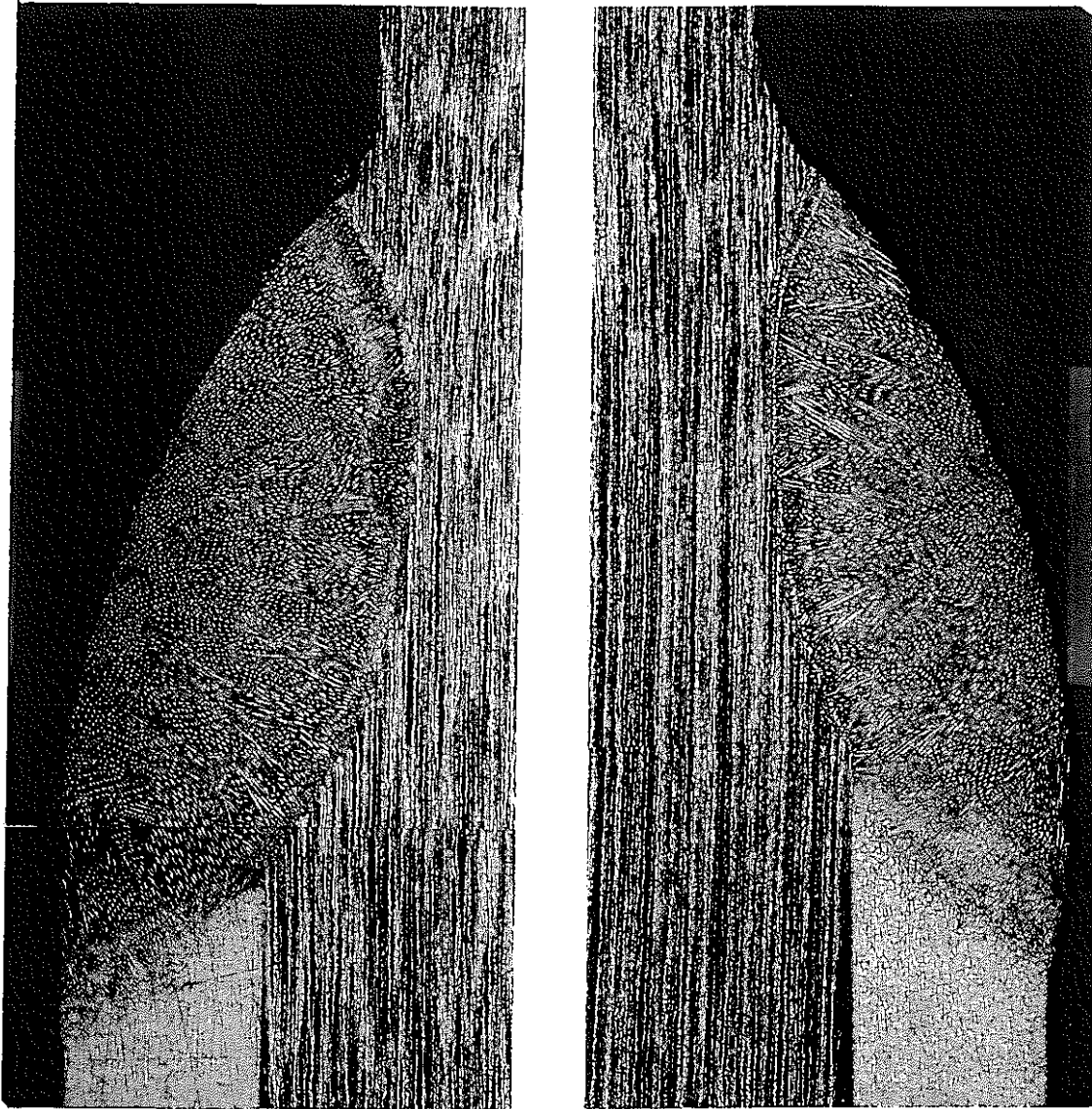
×50

写真-6 断面金相写真（基本溶接条件の変更）43G材



×50

写真-7 断面金相写真 (最適溶接条件) 40S材



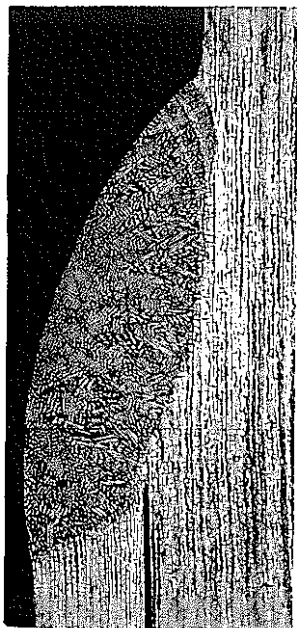
×50

写真-8 断面金相写真（最適溶接条件）43G材



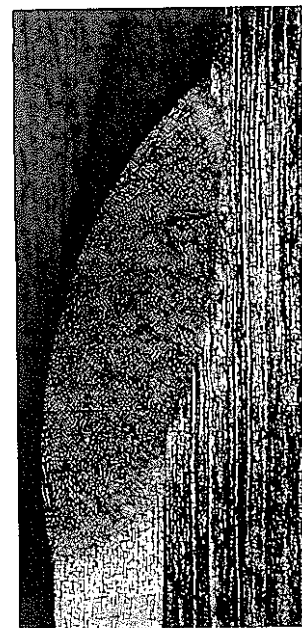
×20

SUS316 相当鋼



×20

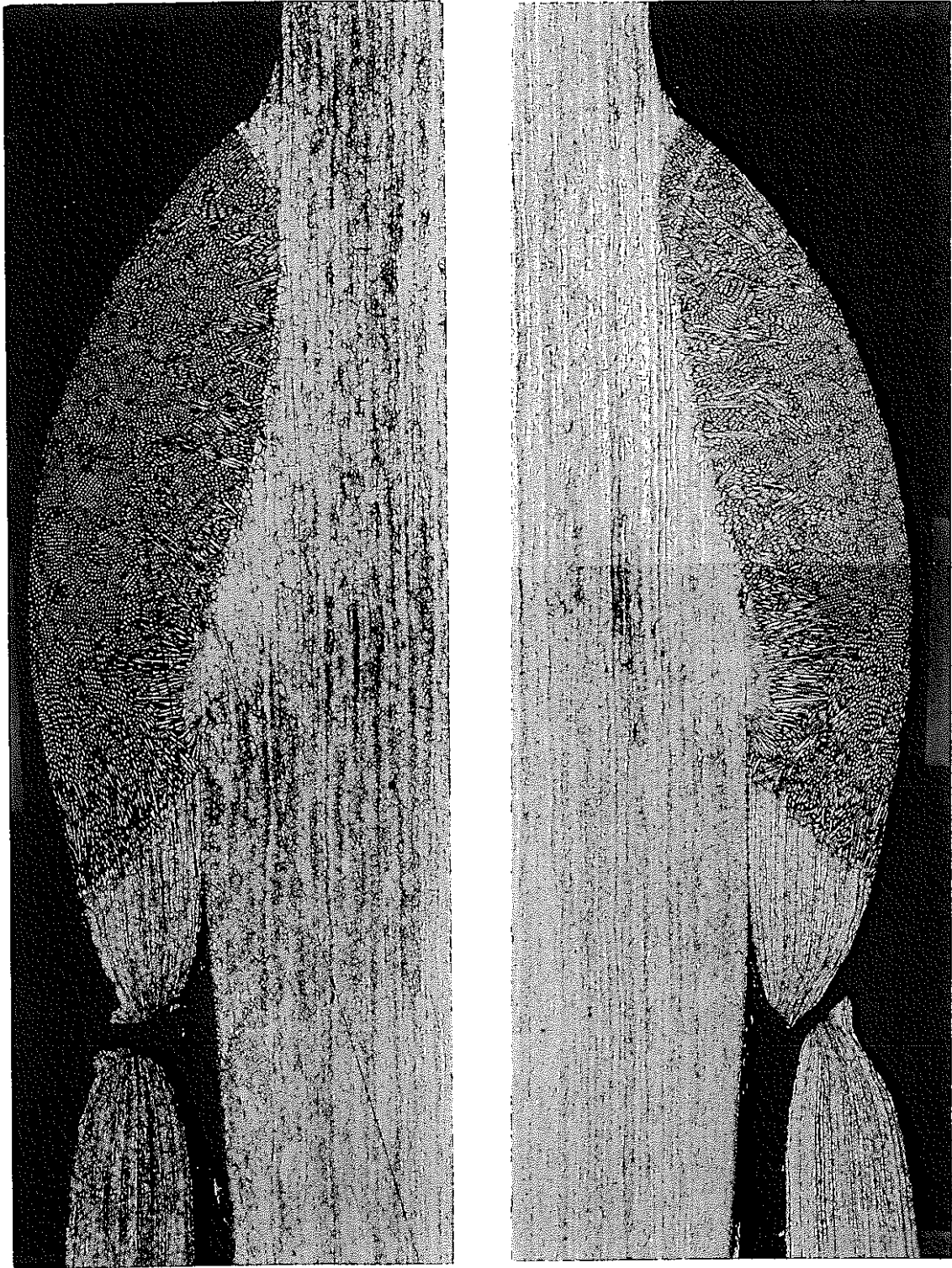
40S材



×20

43G材

写真-9 断面金相写真 (共材による確証溶接試験)



×50

写真-10 断面金相写真（常温引張試験）40S材

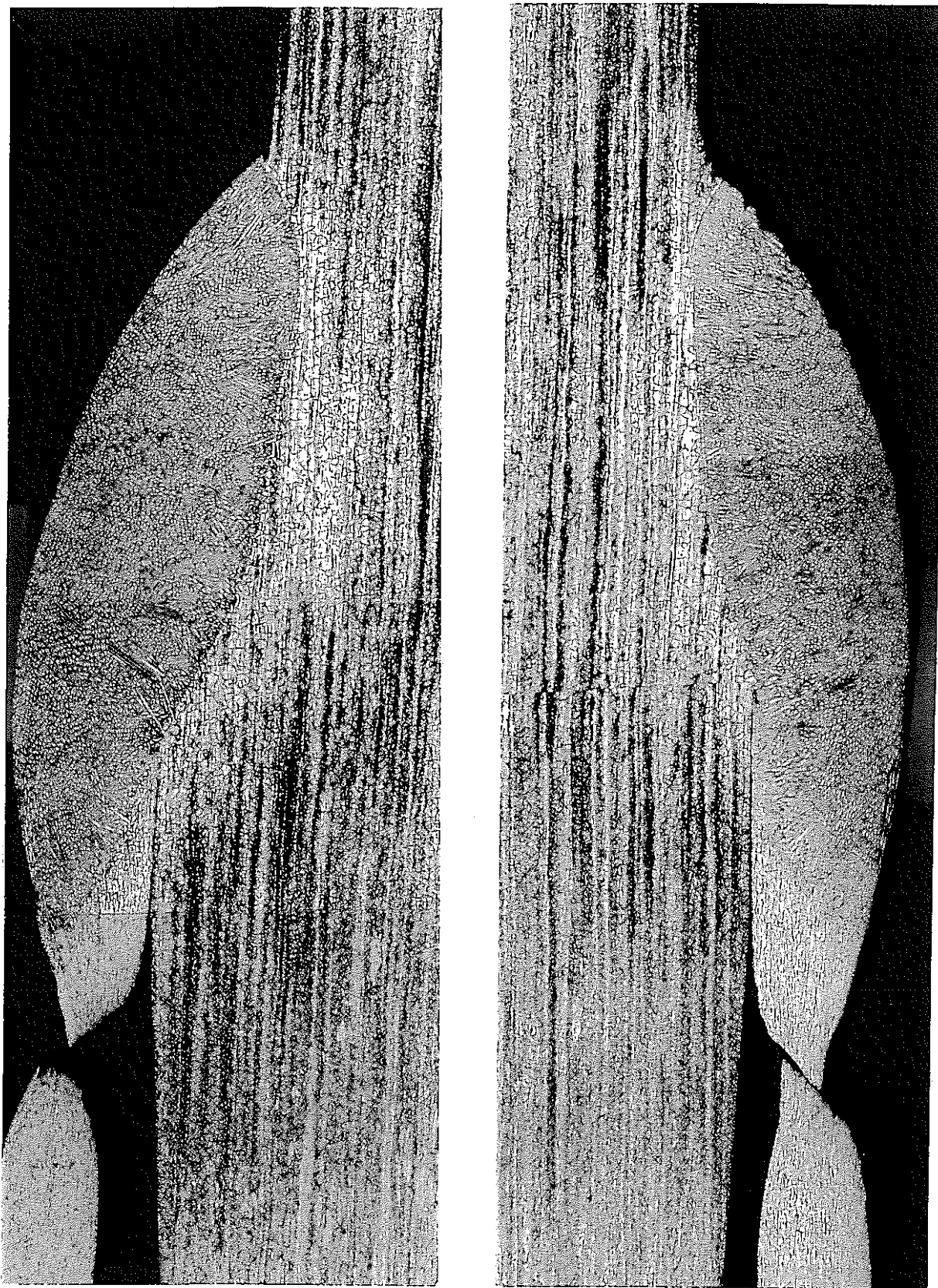
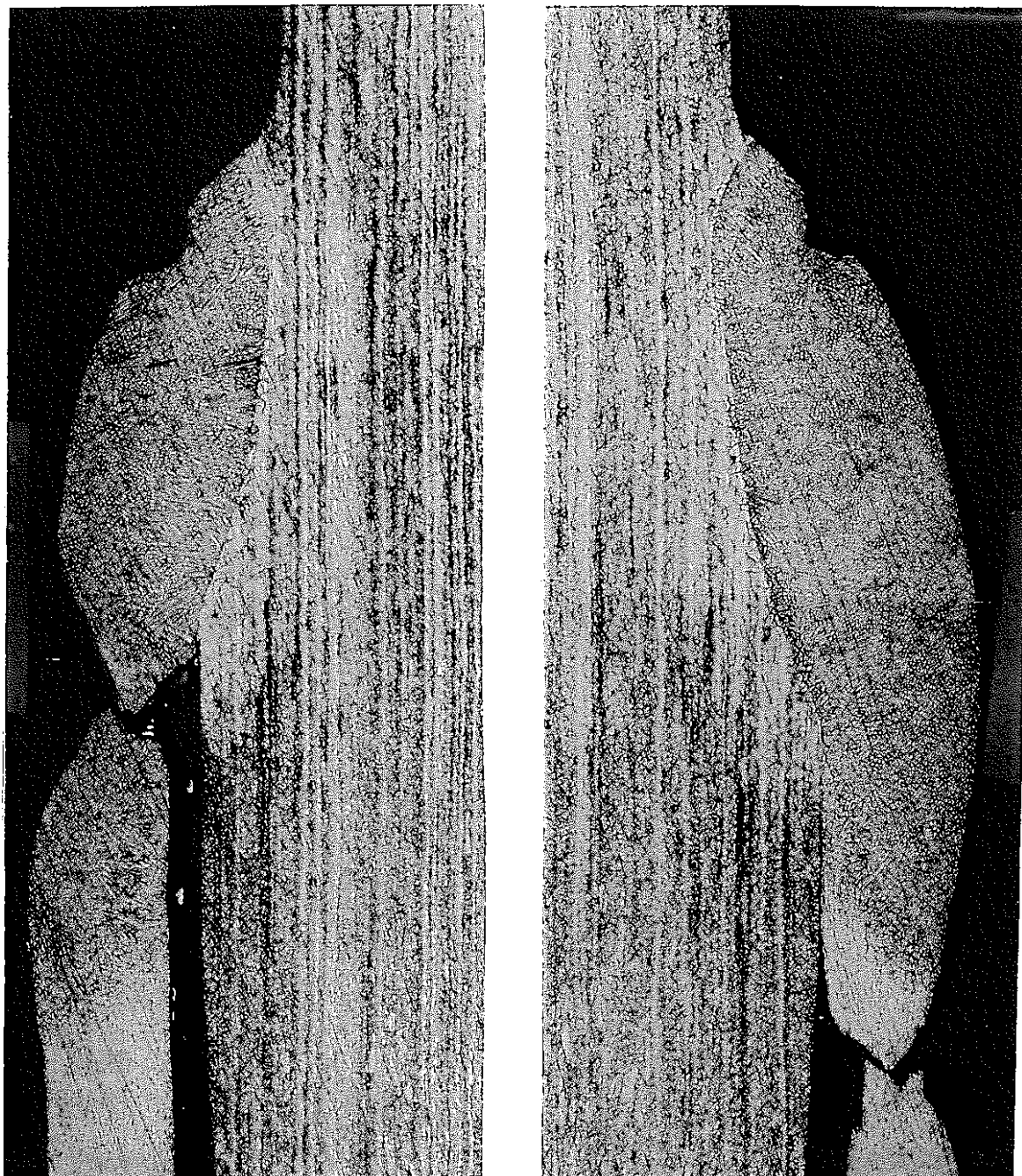


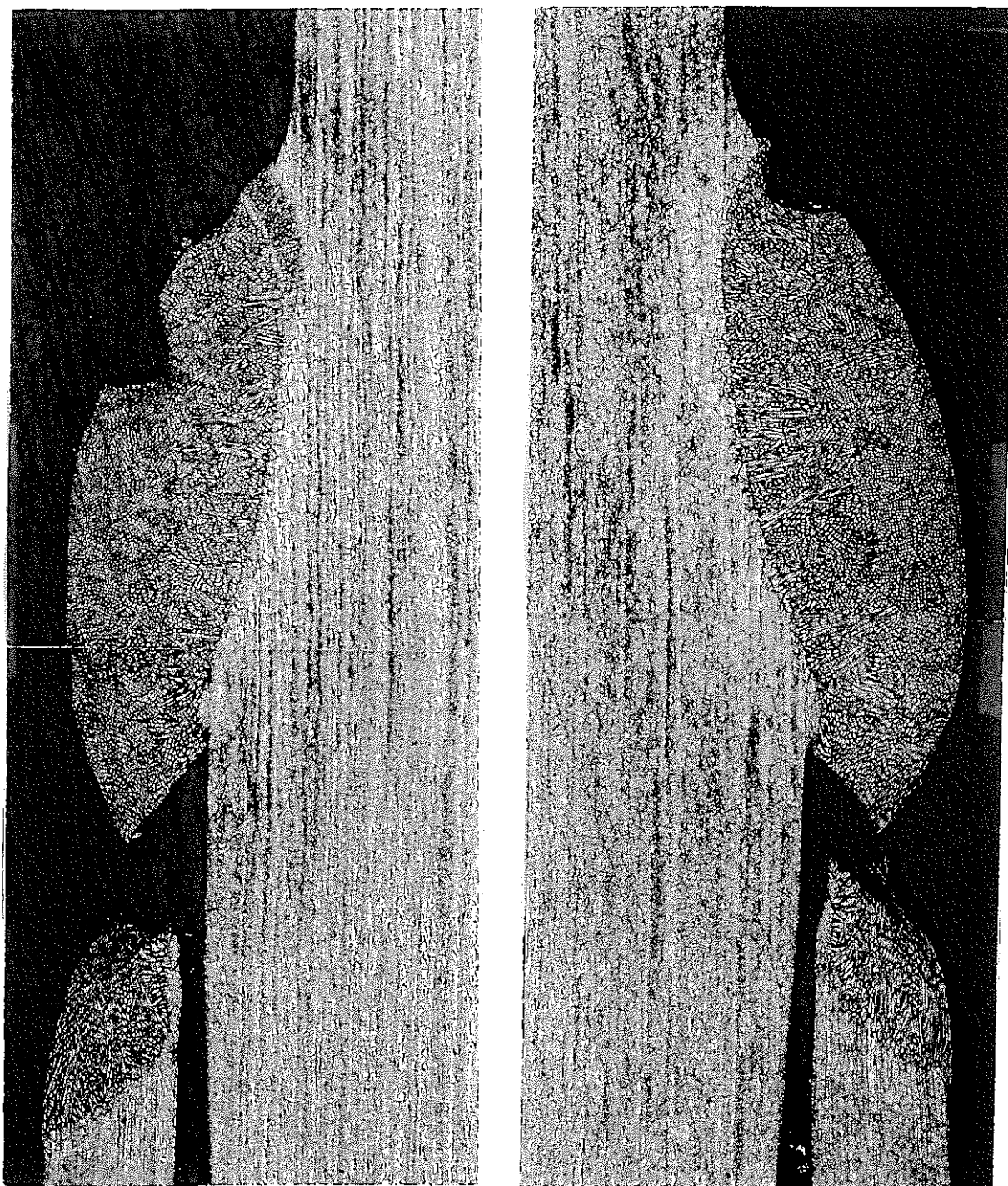
写真-11 断面金相写真（常温引張試験）43G材

×50



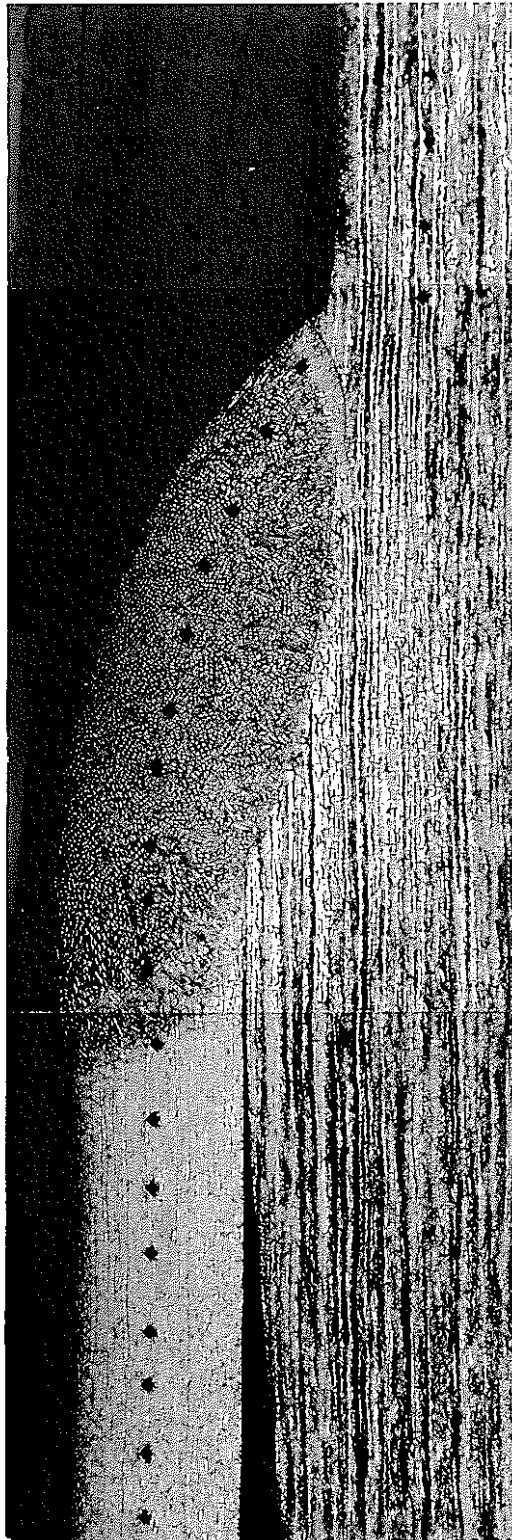
×50

写真-12 断面金相写真（高温引張試験）40S材



×50

写真-13 断面金相写真（高温引張試験）43G材



×50

写真-14 断面金相写真 ビッカース硬さ測定点