

改良型端栓の溶接評価試験（その1）

1988年9月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

改良型端栓の溶接評価試験（その1）

報告者 三島 毅*
飛田 典幸**
関 正之**
豊島 光男**
高木 浩一**
井坂 和彦***

要 旨

（目的）

本改良型端栓の溶接評価試験は、FBR燃料要素製造時に従来から使用されているツバ型端栓の欠点を補うために、新たに考案した改良型端栓（端栓と被覆管の嵌合形状がテーパ型になっている端栓）の溶接特性を調査する試験である。

（方法）

改良型端栓と被覆管を組合せ、TIG溶接法にて溶接を行い、以下に示す項目の溶接特性を評価した。

- (1) 改良型端栓と各種被覆管を組合せて溶接を行い、溶接特性を把握する。
- (2) 改良型端栓の電極位置の設定誤差許容範囲を把握する。
- (3) 改良型端栓製作時の寸法公差の許容範囲を確認する。

（結果）

溶接を行った結果を以下に示す。

- (1) 改良型端栓は、ツバ型端栓より全ての被覆管綱種において引張強度が優れている。
- (2) 改良型端栓は、ツバ型端栓より溶接ビード外径が小さくなる。
- (3) 改良型端栓は、ツバ型端栓より電極位置の設定範囲が広い。
- (4) 改良型端栓は、ツバ型端栓より端栓加工（嵌合部直径）時の寸法公差許容範囲を広く設定できる。
- (5) 改良型端栓は、被溶接物に合わせ溶接条件（電極位置）を変える必要が無い。
- (6) 改良型端栓は、ツバ型端栓より溶接時の入熱量を多くする必要があるが、端栓のテーパ部に溝を付けることにより改善できる。

（結論）

今回試作した改良型端栓の溶接特性は、従来から使用されているツバ型端栓よりも種々な面（機械的特性、溶接性、各種材料への適用性、電極位置の設定位置の誤差許容範囲及び製作時の寸法公差の許容範囲）で優れている事が判明した。特に各種被覆管材料を同一溶接条件で溶接が可能であること。又、電極位置の設定誤差許容範囲が広いことは、自動化工程に無くてはならないことである。以上の内容からしても、本改良型端栓はツバ型端栓より優れていると言える。しかし、ツバ型端栓と同等の溶け込み深さを得る為には、溶接時の入熱量を若干ではあるが多くする必要があるが、端栓のテーパ部に溝を付けることにより改善できる。

今後は、溝付端栓の溶接特性を把握する試験を実施する。

* : 設計開発課長

** : 設計開発課

*** : 原子力技術

目 次

1. 序	1
2. 試験概要	2
2.1 使用材料の特性及び被覆管寸法	2
2.2 試験パラメータ	3
2.3 使用装置	4
3. 試験内容	5
3.1 基本溶接条件の選定	5
3.1.1 選定までの経緯	5
3.1.2 基本溶接条件	5
3.2 試験検査	6
3.3 試験検査結果	7
3.3.1 試験-Ⅰの試験検査結果(材質による溶接性を把握する。)	7
3.3.2 試験-Ⅱの試験検査結果(溶接条件設定誤差範囲把握試験)	8
3.3.3 試験-Ⅲの試験検査結果(寸法公差範囲把握試験)	9
4. まとめ	10
4.1 ビード外径測定結果	10
4.2 引張試験結果	11
4.3 溶接条件設定範囲試験結果について	12
4.4 端栓製作時の寸法公差範囲について	13
4.5 入熱量について	13
5. 結語	17
6. 謝辞	17

図リスト

図-1	改良型（テーパ型端栓）と従来型（ツバ型端栓）	18
図-2	電極の設定位置	3
図-3	電極位置図	6
図-4	溶接パターン	6
図-5	溶接ビード部の外径測定結果（鋼種別）（改良型端栓）	19
図-6	硬さ測定結果 A特S材 ツバ型端栓	20
図-7	硬さ測定結果 A特K材 ツバ型端栓	21
図-8	硬さ測定結果 57MK 4材 ツバ型端栓	22
図-9	硬さ測定結果 58MK 6材 ツバ型端栓	23
図-10	硬さ測定結果 57MS 1材 ツバ型端栓	24
図-11	硬さ測定結果 57MS 3材 ツバ型端栓	25
図-12	硬さ測定結果 58MS 5材 ツバ型端栓	26
図-13	硬さ測定結果 A特S材 改良型端栓	27
図-14	硬さ測定結果 A特K材 改良型端栓	28
図-15	硬さ測定結果 C4F(CEA)材 改良型端栓	29
図-16	硬さ測定結果 57MK 4材 改良型端栓	30
図-17	硬さ測定結果 58MK 6材 改良型端栓	31
図-18	硬さ測定結果 57MS 1材 改良型端栓	32
図-19	硬さ測定結果 57MS 3材 改良型端栓	33
図-20	硬さ測定結果 58MS 5材 改良型端栓	34
図-21	溶接ビード部の外径測定結果（設定誤差範囲）（改良型端栓）	35
図-22	設定範囲	8
図-23	溶接ビード部の外径測定結果（寸法公差）（改良型端栓）	36
図-24	ビード外径測定結果（鋼種別）	10
図-25	寸法公差別のビード外径測定結果	10
図-26	引張試験結果	11
図-27	電極設定範囲図	12
図-28	シュミレーション結果（改良型端栓）	37
図-29	シュミレーション結果（改良型溝付端栓）	38
図-30	改良型溝付端栓図	39

表リスト

表-1	化学成分	2
表-2	機械的強度	2
表-3	部材ミルシート A特S材	4 0
表-4	部材ミルシート A特K材	4 1
表-5	部材ミルシート C4F(CEA)材被覆管	4 2
表-6	部材ミルシート C4F(CEA)材端栓	4 3
表-7	部材ミルシート 57MK 4材	4 4
表-8	部材ミルシート 58MK 6材	4 5
表-9	部材ミルシート 57MS 1材	4 6
表-10	部材ミルシート 57MS 3材	4 7
表-11	部材ミルシート 58MS 5材	4 8
表-12	被覆管の鋼種	3
表-13	試験パラメータ	4
表-14	溶接電流パラメータ	5
表-15	基本溶接条件表	5
表-16	試験検査方法	6
表-17	引張試験結果	7
表-18	溶接条件	8
表-19	硬さ測定結果の概略	1 4
表-20	引張試験結果	1 5

写真リスト

写真-1	金相写真	基本条件の設定	.....	49
写真-2	金相写真	基本条件の設定	.....	49
写真-3	金相写真	基本条件の設定	.....	50
写真-4	金相写真	基本条件の設定	.....	50
写真-5	金相写真	基本条件の設定	.....	51
写真-6	外觀写真	C4F (CEA) 材, A特S材	.....	52
写真-7	外觀写真	A特K材, 57MK4材	.....	53
写真-8	外觀写真	58MK6材, 57MS1材	.....	54
写真-9	外觀写真	57MS3材, 58MS5材	.....	55
写真-10	金相写真	A特S材	.....	56
写真-11	金相写真	A特K材	.....	56
写真-12	金相写真	C4F (CEA) 材	.....	57
写真-13	金相写真	57MK4材	.....	57
写真-14	金相写真	58MK6材	.....	58
写真-15	金相写真	57MS1材	.....	58
写真-16	金相写真	57MS3材	.....	59
写真-17	金相写真	58MS5材	.....	59
写真-18	金相写真	電極位置設定範囲 (0.3, 0.1)	.....	60
写真-19	金相写真	電極位置設定範囲 (0.3, 0.3)	.....	60
写真-20	金相写真	電極位置設定範囲 (0.3, 0.4)	.....	61
写真-21	金相写真	電極位置設定範囲 (0.3, 0.5)	.....	61
写真-22	金相写真	電極位置設定範囲 (0.3, 0.6)	.....	62
写真-23	金相写真	電極位置設定範囲 (0.4, 0.1)	.....	62
写真-24	金相写真	電極位置設定範囲 (0.4, 0.2)	.....	63
写真-25	金相写真	電極位置設定範囲 (0.4, 0.2)	.....	63
写真-26	金相写真	電極位置設定範囲 (0.4, 0.4)	.....	64
写真-27	金相写真	電極位置設定範囲 (0.5, 0.1)	.....	64
写真-28	金相写真	電極位置設定範囲 (0.5, 0.2)	.....	65
写真-29	金相写真	電極位置設定範囲 (0.5, 0.3)	.....	65
写真-30	金相写真	電極位置設定範囲 (0.5, 0.4)	.....	66
写真-31	金相写真	電極位置設定範囲 (0.6, 0.5)	.....	66
写真-32	金相写真	電極位置設定範囲 (0.6, 0.1)	.....	67
写真-33	金相写真	端栓寸法公差 $\phi 6.3 \pm 0.05$ mm	.....	68
写真-34	金相写真	端栓寸法公差 $\phi 6.4 \pm 0.05$ mm	.....	68
写真-35	金相写真	端栓寸法公差 $\phi 6.5 \pm 0.05$ mm	.....	69
写真-36	金相写真	端栓寸法公差 $\phi 6.5 \pm 0.05$ mm	.....	69
写真-37	金相写真	端栓寸法公差 $\phi 6.5 \pm 0.05$ mm	.....	70
写真-38	拡大金相写真	(ツバ型端栓)	.....	71
写真-39	拡大金相写真	(改良型端栓)	.....	72
写真-40	金相写真	(改良型溝付端栓)	.....	73

改良型端栓の溶接評価試験（１）

1. 序

FBR用被覆管の端栓溶接に従来から使用されているツバ型端栓の溶接は、突合せ溶接に於けるV型開先に溶接棒で肉盛りする方法に似ている。つまり、ツバ部の肩の一部が溶接棒の役割を果たして適度な溶け込み深さに浸透し、その熱影響部（以下HAZ部と略す。）は極力小さくなり、溶接部の強度低下を防止している。

しかし、次に示すような問題がある。

- ① 被覆管及び端栓の材質により溶接条件（トーチ位置，アークギャップ）を変える必要がある。
- ② 溶接欠陥の種類が多い。
- ③ 溶接条件設定精度を高くする必要がある。
- ④ 端栓形状が複雑である。

これらの問題点の原因としては、ツバ型端栓形状にあると考えられる。

ツバ型端栓の被覆管と端栓の嵌合形状は、先にも述べたようにV字開先に似ている。通常のV字開先形状の溶接は、V字の中心に電極をセットし溶接を行うが、端栓と被覆管の溶接の場合は、相互の熱容積が異なる。そのため被覆管に必要以上の熱を伝導させないために熱容積の多い端栓側に電極をセットし溶接を行う。すると端栓のツバ部が熔融し、熔融池が表面張力により高温である電極側に引き寄せられ冷却し溶接ビードを形成する。そのため、電極の位置により被覆管及びツバ部の熔融割合が異なり溶接欠陥（電極タッチ、肩だれ、ビード外径大等）が容易に発生する。つまり健全な溶接状態を得るには、電極位置の設定を精度良く行う。また、被覆管の肉厚、材質（熱伝導の違い）に応じたツバ部の寸法を設計する必要もある。

常陽特燃C4F製造時には、被覆管（CEA材）径が大きくなったにも係わらず、端栓の形状を「特燃（もんじゅ）」の形状で溶接を行ったところ溶接部のビード外径が大きくなってしまい、対策に苦慮した経験を有している。その原因は、被覆管の外径に対して、ツバ部の径が小さ過ぎた為、被覆管の熔融割合が多くなり、盛り上がってしまったと思われる。

今後、実証炉等で採用される予定である太径薄肉被覆管になるとその傾向が顕著に現れると考えられる。

このような問題点を改善するために、改良型端栓（テーパ型端栓）を考案し溶接試験を実施した。改良型端栓（テーパ型端栓）とは図-1に示すように、被覆管と端栓の嵌合形状をテーパ状にしたものである。すると、端栓の熱吸収は大きくなるため、必要以上の熔融池の移動がなくなり、熔融池を安定させる効果がある。さらに溶接によるビードの盛り上がり抑制する効果も狙っている。しかし、ツバ型端栓と異なり熱吸収が大きくなるため、ツバ型端栓と同等の溶け込み深さを得るには、若干ではあるが溶接電流等を多くする必要がある。

本報告書は、改良型端栓の溶接特性を評価するために実施した溶接試験結果の報告である。尚、従来から使用されているツバ型端栓との溶接性を比較したので併せて報告する。

2. 試験概要

改良型端栓の溶接特性を評価するために試験を三種類に分類し実施した。以下に試験の概要を示す。

- (1) 試験-I 被覆管材質にパラメータを振り溶接特性を評価する。
- (2) 試験-II 電極位置にパラメータを振り電極の設定誤差範囲を評価する。
- (3) 試験-III 端栓のテーパ部外径にパラメータを振り端栓製作時の寸法公差を評価する。

2.1 使用材料の特性及び被覆管寸法

本試験に使用した部材の化学成分を表-1に、機械的強度を表-2に示す。
尚、本試験に使用した部材のミルシートを表3~11に示す。

表 - 1 化 学 成 分

(単位 WT/O)

鋼種	元素	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb+Ta
SUS 316 相当鋼	K材	.056	.80	1.86	.031	.009	13.72	16.30	2.54	0.083	0.085
	S材	.05	.87	1.76	.033	.004	13.85	16.30	2.57	0.099	0.079
改良型 オーステナイト 鋼	C4F(CEA)	.089	.59	1.59	.020	.001	14.49	15.63	1.17	0.428	—
	57MK4	.06	.85	1.47	.020	.004	24.41	15.09	2.34	0.210	—
	58MK6	.074	.79	1.82	.026	.004	30.54	15.07	2.48	0.095	0.095
	57MS1	.06	.49	1.80	.033	.005	15.35	15.05	2.57	0.25	—
	57MS3	.05	.73	1.48	.029	.005	20.17	15.10	2.60	0.37	—
	58MS5	.060	.75	1.97	.025	.005	19.50	15.05	2.51	0.24	0.10

表 - 2 機 械 的 強 度

鋼種	項目	引張強さ (常温) (kg/mm ²)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	伸び (%)
SUS 316 相当鋼	K材	80.5	66.9	19
	S材	82.0	75.8	20
改良型 オーステナイト 鋼	C4F(CEA)	76.2	71.2	23
	57MK4	75.9	65.3	15
	58MK6	82.3	70.5	11
	57MS1	76.3	68.4	18
	57MS3	73.3	70.2	15
	58MS5	77.2	71.6	17

(1) 被覆管寸法

{ 外径：φ 6. 5 ±0.03 mm
 内径：φ 5. 5 6 ±0.025 mm
 肉厚： 0. 4 7 ±0.03 mm

2.2 試験パラメータ

(1) 試験－I（被覆管材質にパラメータを振り溶接特性を評価する。）

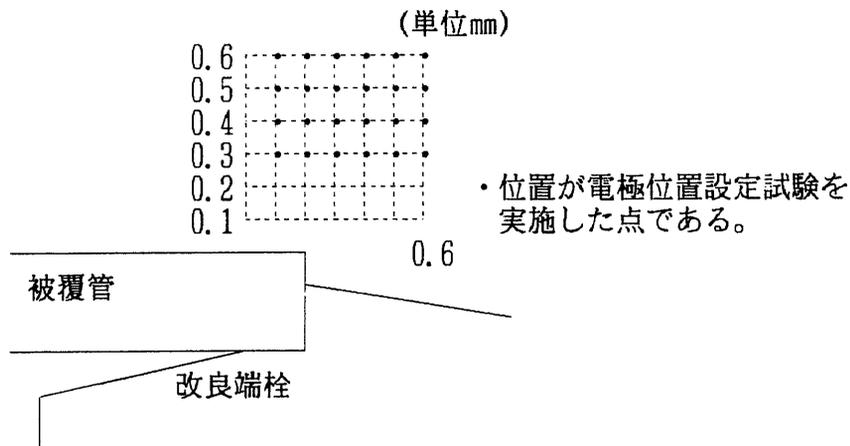
表－12に使用した被覆管の鋼種を示す。

表－12 被覆管の鋼種

端 栓 材	被 覆 管 材	
SUS316相当鋼	SUS316相当鋼	改良オーステナイト鋼 C4F.CEA 材 (15Cr 15Ni)
	A 特燃残材(K, S材)	57MK4 (15Cr 25Ni 0.25Ti) 58MK6 (15Cr 30Ni 0.25Ti) 57MS1 (15Cr 15Ni 0.25Ti) 57MS3 (15Cr 20Ni 0.35Ti) 58MS5 (15Cr 20Ni 0.25Ti)

(2) 試験－II（電極位置にパラメータを振り電極の設定誤差範囲を評価する。）

図－2に電極の設定位置を示す。



図－2 電極設定位置

(3) 試験Ⅲ（端栓のテーパ部外径にパラメータを振り端栓製作時の寸法公差を評価する。）

以下に製作した端栓の種類を示す。

① 使用部材

端栓 }
被覆管 } SUS316相当鋼

② 端栓の製作寸法公差範囲

表-13に試験パラメータを示す。

表-13 試験パラメータ

番号	直径φ (mm)	公差 (mm)
①	6.3	+0 -0.05
②	6.4	
③	6.5	+0.05 -0
④		
⑤		+0.05 -0.02

2.3 使用装置

溶接装置 : 下部端栓溶接装置 (TIG溶接機) を使用した。

溶接電源 : 日立インバータTIG300NP

3. 試験内容

3.1 基本溶接条件の選定

3.1.1 選定までの経緯

改良型端栓を用いた各種溶接試験を行う前に、基本となる溶接条件の設定試験を実施した。

①溶接パターン

従来より使用している前山型の溶接パターン（図-4）とした。

②溶接電流

溶接電流にパラメータを振り溶接試験を実施した。その結果、溶接部の溶け込み量が被覆管の肉厚以上あり110%以内となる溶接電流を基本溶接条件とした。

表-14に溶接電流のパラメータを示す。
尚、電流以外の溶接条件は固定して行った。

表-14 溶接電流パラメータ

電流 (A)	19-17	18-16	17-15	15-13	13-11
写真番号	写真-1	写真-2	写真-3	写真-4	写真-5

写真1～5から溶け込み量を調べた結果、溶接電流は18 (A) - 16 (A) と決定した。
それ以外の溶接条件では、十分な溶け込み状態が得られなかった。

3.1.2 基本溶接条件

上記の試験結果より、基本溶接条件を決定した。
基本溶接条件表を表-15に示す。また、電極位置を図-3に溶接パターンを図-4に示す。

表-15 基本溶接条件表

電流 (A)		時間 (SEC)		回転数 (RPM)	電極位置 (mm)		溶接雰囲気
A ₁	A ₂	T ₁	T ₂		アークギャップ	トーチ	
18	16	4.0	2.5	17	0.3	0.2	He ガス

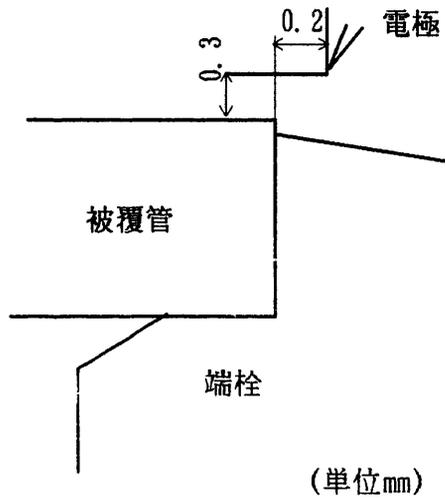


図-3 電極位置図

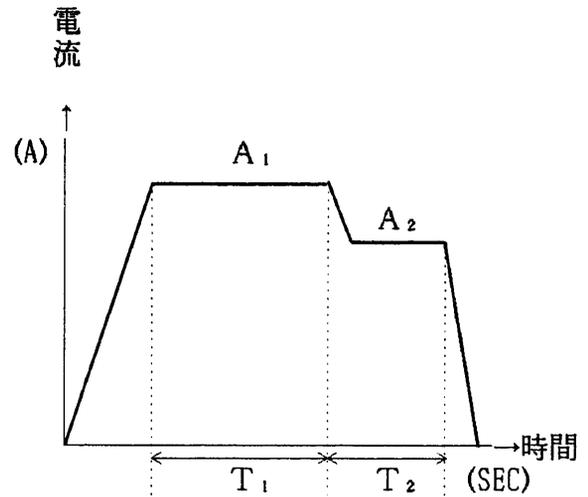


図-4 溶接パターン

3.2 試験検査

表-16 に試験検査方法を示す。

表-16 試験検査方法

検査方法	検査項目	使用装置	検査内容及び判定基準	記録項目
非破壊検査	外観検査	目視及び光学顕微鏡	アンダーカット, クラック 肩ダレ等の溶接欠陥が無いこと	外観写真
	寸法検査	マイクロメータ リングゲージ : 6.644 φmm	溶接ビード部を直角二方向測定 6.644φmmのリングゲージが通過すること。	溶接ビード外径
破壊検査	断面金相	電解エッチング 腐食条件 腐食液:10%硝酸 電圧 :1.2(V) 電流 :0.1(A) 写真撮影機	肉厚以上の溶け込みがあること。	金相写真 溶け込み量
	硬さ測定	測定機 マイクロビッカース 試験条件 荷重:300g 時間:15秒	溶接金属部及びHAZ部の硬さを測定する。	硬さ測定値
	引張試験	検査機 インストロン社製2.5t 引張試験装置 検査条件 引張速度:2.5mm/min 試験温度:RT	引張強度の確認	引張強さ 破断位置

3.3 試験検査結果

3.3.1 試験- I の試験検査結果 (被覆管材質による溶接性を把握する。)

以下に各種試験検査結果を示す。

(1) 外観検査結果

溶接試料の外観写真を写真-6~9に示す。

- ① 溶接欠陥は、全試料とも観察されなかった。
- ② 溶接ビードは、全周に渡って均一であった。

(2) 寸法検査結果

溶接ビード部の外径測定結果を図-5に示す。

- ① 全試料とも6.644 φmmのリングゲージを通過した。
- ② C4F (CEA) 材は、その他の鋼種と比較して約0.07mmビード外径が大きくなった。

(3) 断面金相試験結果

断面金相写真を写真-10~17に示す。

- ① 溶接欠陥の発生は、無かった。
- ② 溶接金属部の金属組織は、全試料とも同様な組織を示した。

(4) 硬さ測定結果

図-6~20に溶接部及び熱影響部の硬さ変化を示す。

- ① 改良型端栓及びツバ型端栓はともに溶接金属部で硬さが低下している。
- ② 改良型端栓はツバ型端栓よりも熱影響部の長さが長い。
- ③ 被覆管材質では、硬さ変化に相違は無かった。

(5) 引張試験結果

引張試験結果を表-17に示す。

表-17 引張試験結果

	被覆管材	引張強さ (Kg/mm ²)	破断位置
SUS316相当鋼	A 特S 材	77.8	管部
	A 特K 材	75.9	管部
改良オーステナイト鋼	C4F 材 (CEA)	66.4	管部
	57MK4	72.2	HAZ 部
	58MK6	72.3	HAZ 部
	57MS1	76.1	管部
	57MS3	71.3	HAZ 部
	58MS5	70.9	HAZ 部

①SUS316相当鋼は全て管部から破断した。 ②改良オーステナイト鋼は管部及びHAZ 部から破断した。

3.3.2 試験-Ⅱの試験検査結果(溶接条件設定誤差範囲把握試験)

以下に各種試験検査結果を示す。

(1) 外観検査結果

- ① 溶接欠陥は、全試料とも観察されなかった。
- ② 溶接ビードは、全周に渡って均一であった。

(2) 寸法検査結果

溶接ビード部の外径測定結果を図-21に示す。

- ① 全試料とも6.644 φmmのリングゲージを通過した。

(3) 断面金相試験結果

断面金相写真を写真-18~32に示す。

- ① 溶け込み量が被覆管の肉厚(100%)に満たなかった溶接条件を表-18に示す。

表-18 溶接条件

アークギャップ	トーチ位置	写真番号
0.3	0.4	写真-20
	0.5	写真-21
	0.6	写真-22
0.6	0.5	写真-31

- ② 溶け込み量が被覆管の肉厚(100%)を満たす溶接条件の設定範囲を図-22に示す。

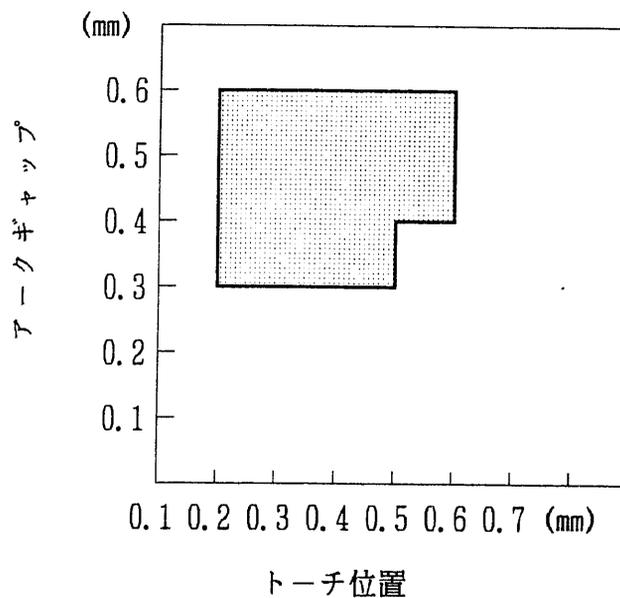


図-22 溶接条件設定範囲

- ③ アークギャップを0.2 mm以下で溶接を行うと電極タッチが生じた。

3.3.3 試験-Ⅲの試験検査結果(寸法公差範囲把握試験)

以下に各種試験検査結果を示す。

(1) 外観検査結果

- ① 溶接欠陥は、全試料とも観察されなかった。
- ② 溶接ビードは、全周に渡って均一であった。

(2) 寸法検査結果

溶接ビード部の外径測定結果を図-23に示す。

- ① 全試料とも6.644 φmmのリングゲージを通過した。
- ② C4F 材(CEA)は、その他の鋼種と比較して約0.07mmビード外径が大きくなった。

(3) 断面金相試験結果

断面金相写真を写真-33~37に示す。

- ① 溶接欠陥の発生は、無かった。
- ② 溶接金属部の金属組織は、全試料とも同様な組織を示した。

4. まとめ

今回実施した改良型端栓の溶接試験結果とツバ型端栓の溶接特性について比較評価した。

4.1 ビード外径測定結果

(1) 鋼種別のビード外径測定結果

図-24に改良型端栓とツバ型端栓のビード外径測定値の比較結果を示す。

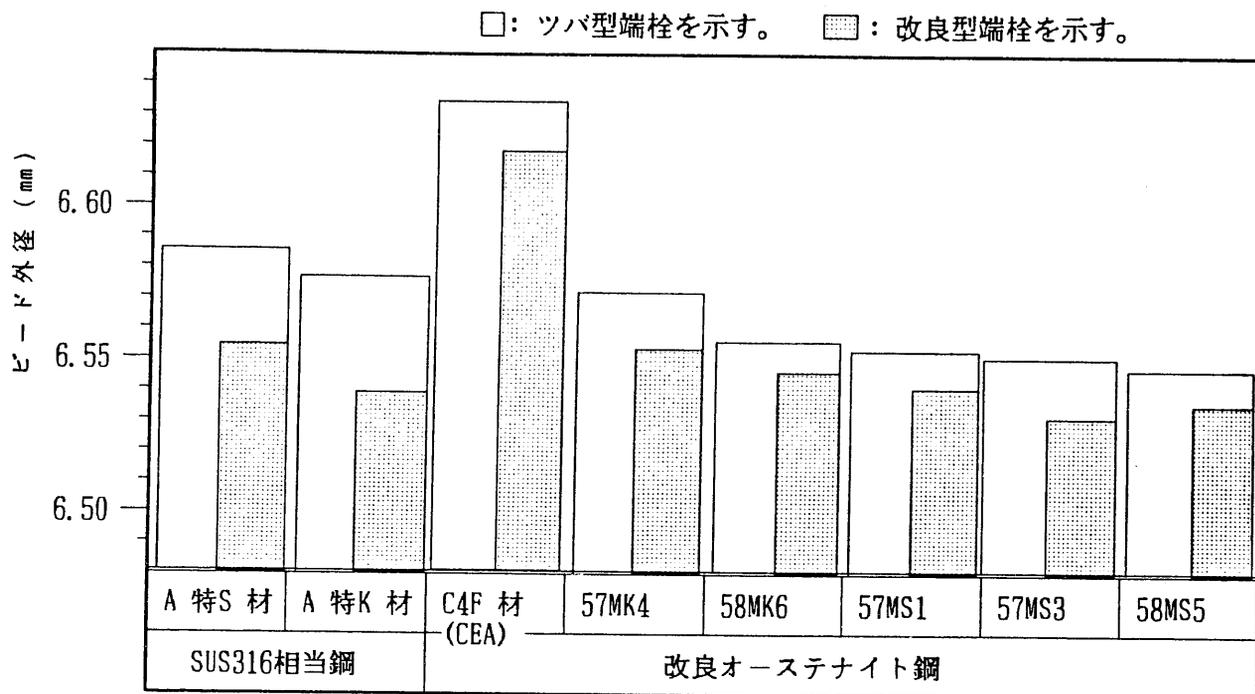


図-24 ビード外径測定結果

- ① 改良型端栓は、ツバ型端栓より全ての鋼種に渡り溶接部のビード外径が小さくなる。
- ② C4F材(CEA)では、ビード外径測定が共に大きくなっているが、その理由は被覆管外径が0.05mm その他の被覆管より太いためである。

(2) 寸法公差別のビード外径測定結果

図-25に改良型端栓の溶接部外径の寸法公差別のビード外径測定結果を示す。

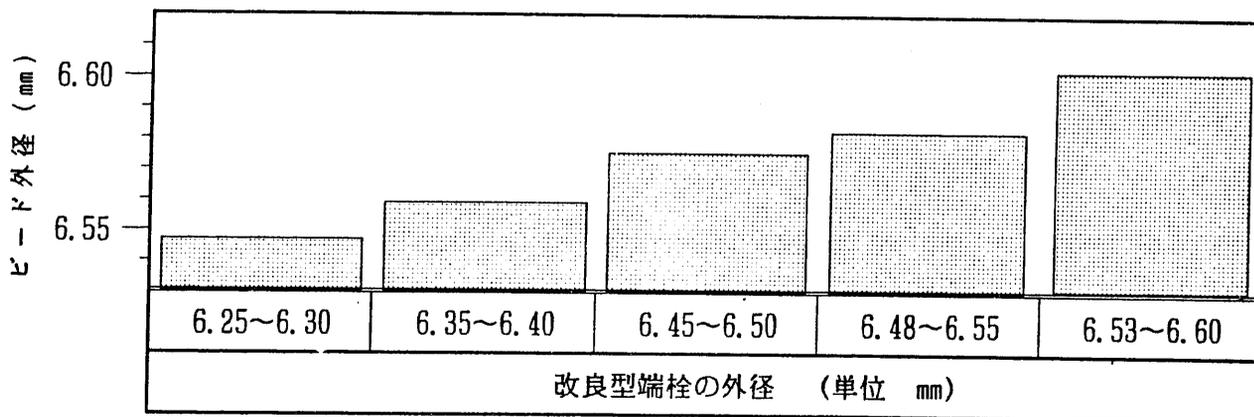


図-25 寸法公差別のビード外径測定結果

- ① 改良型端栓の外径が大きくなるに従い、溶接ビード部の外径も大きくなっている。
- ② 端栓製作時は、嵌合部の端栓外径をφ6.25mm～φ6.55mmの範囲内で加工しても溶接性（溶け込み量及び溶接ビード外径）に影響は無いと考える。

4.2 引張試験結果

図-26に改良型端栓とツバ型端栓の引張試験の比較結果を示す。

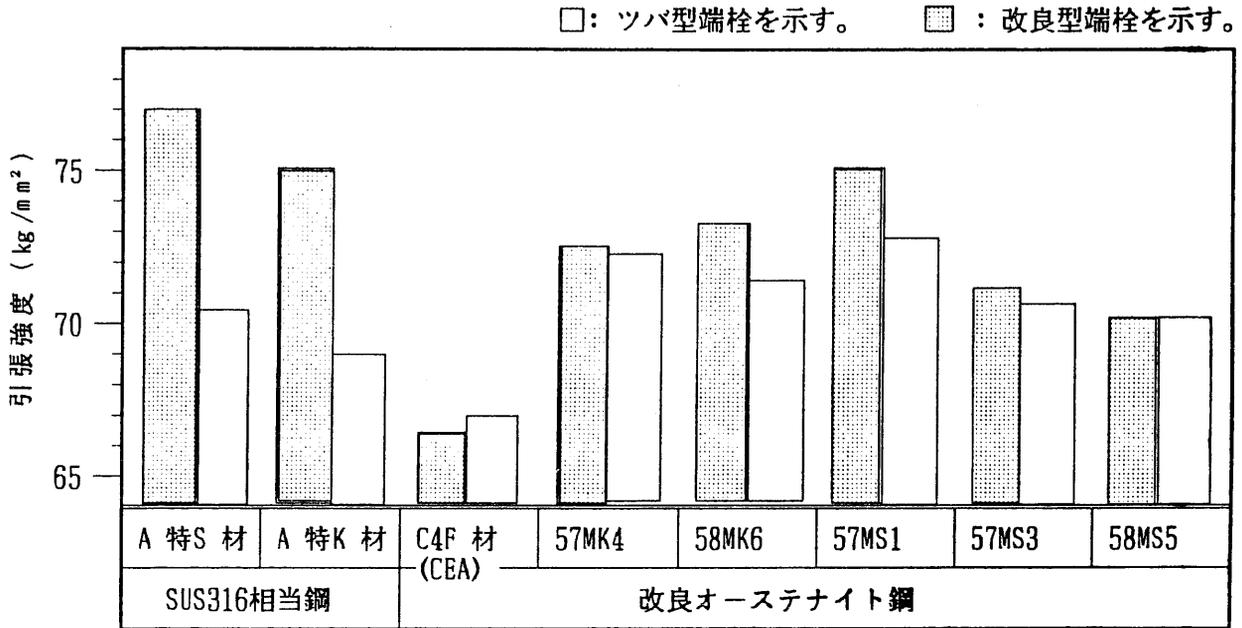


図-26 引張試験結果

- ① 全ての鋼種において改良型端栓は、ツバ型端栓の引張試験結果と同等もしくは、それ以上の強度を有している。
- ② 改良型端栓の引張試験時の破断位置は、被覆管又はHAZ部であった。しかし、ツバ型端栓は、溶接ビード部及びHAZ部であり、溶接金属部の溶接強度は、改良型端栓の方が優れている。
- ③ 改良型端栓のHAZ部から破断した時の引張応力と、ツバ型端栓の引張応力の値は、同等であった。

4.3 溶接条件設定範囲試験結果について

図-27に示すように、改良型端栓のトーチ位置及びアークギャップの設定範囲は、材質を問わず広範囲に渡って電極位置の設定が可能である。ツバ型端栓は、材質によって設定範囲が変化する。しかも、共通で設定可能な範囲は、アークギャップ:0.15~0.4 mm、トーチ位置:0.3~0.45mmの範囲と狭い。

以上の内容からしても、改良型端栓の方がツバ型端栓より優位である。

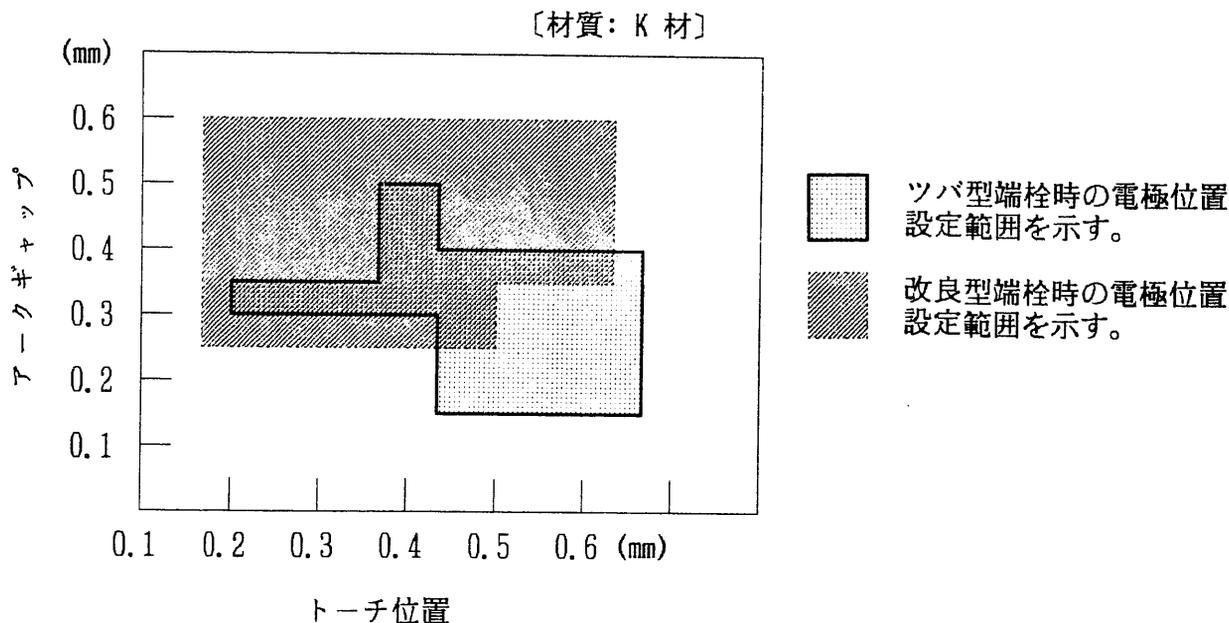


図-27 電極設定範囲 (K材)

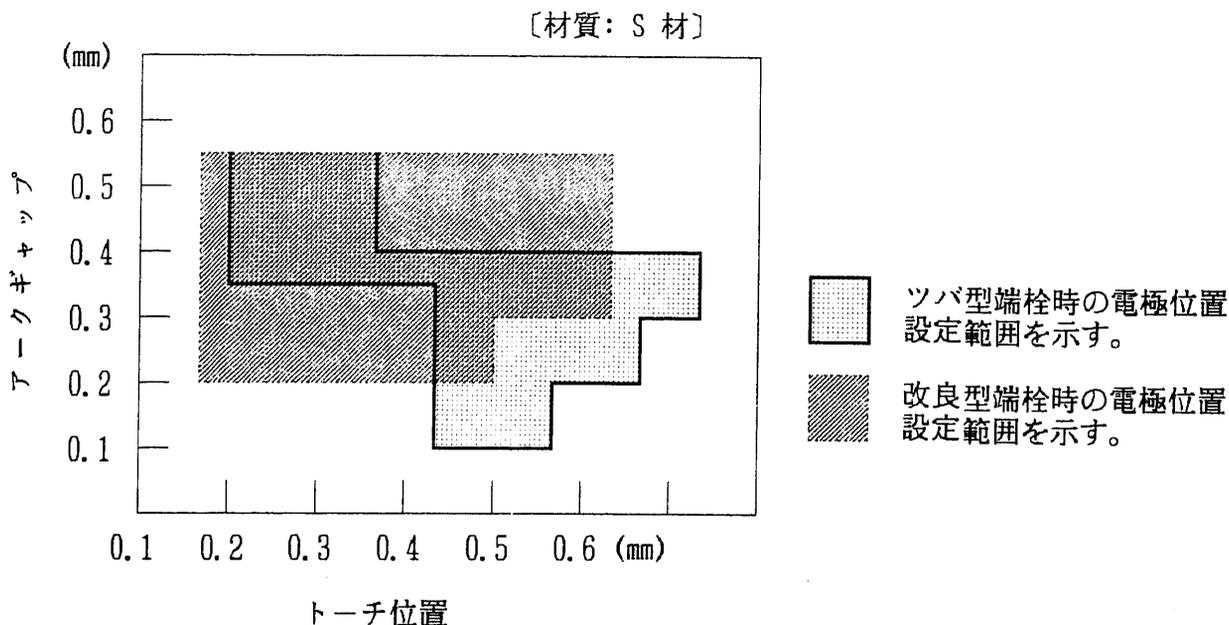


図-27 電極設定範囲 (S材)

4.4 端栓製作時の寸法公差範囲について

ツバ型端栓の寸法公差範囲は、

端栓ツバ部の直径： $6.0 \pm 0.05\text{mm}$

端栓ツバ部の幅： $0.5 \pm 0.03\text{mm}$

である。これに対して改良型端栓の寸法及び寸法公差は、端栓外径：6.25～6.55mmまでとっても溶接性に影響は無い。

以上の結果より、改良型端栓はツバ型端栓よりも端栓製作時の寸法及び寸法公差範囲を大きくとることが出来る。

4.5 入熱量について

(1) 入熱量

入熱量は、溶接電流、電圧、時間に比例する。今回の試験では、溶接電圧、時間を一定にし溶接電流によって入熱量を変化させた。

入熱量の計算式は

$$H = E I t \quad (\text{Joule})$$

H： 電氣的熱エネルギー (J)

E： 溶接電圧 (V)

I： 溶接電流 (A)

t： 溶接時間 (s)

以上の式に代入し計算した結果

改良型端栓は 1.872 K J

ツバ型端栓は 1.28 K J

と改良型端栓の方が多く入熱量を必要とする。その理由は、改良型端栓は溶接部の体積がツバ型端栓より多い、そのため溶接時の熱吸収効率が高いと考えられる。

(2) 硬さ変化について

入熱量が多くなると、溶接金属部及びHAZ部の硬さに影響すると考えられるため、マイクロビッカース硬度計により、それらの硬さ測定を実施した。

硬さ測定結果を図-6～20に示す。又表-19に硬さ測定結果の概略を示す。

表-19 硬さ測定結果の概略

〔改良型端栓〕

被覆管材		硬さ測定平均値 (Hv)			HAZ部の長さ (mm)
		溶接金属部	HAZ部	母材	
SUS316相当鋼	A特S材	157	195	253	1.2
	A特K材	161	191	243	0.9
改良オーステナイト鋼	C4F材(CEA)	149	173	241	1.2
	57MK4	159	182	243	1.1
	58MK6	156	190	265	0.9
	57MS1	170	177	248	1.2
	57MS3	161	170	280	1.3
	58MS5	155	177	275	1.4

〔ツバ型端栓〕

被覆管材		硬さ測定平均値 (Hv)			HAZ部の長さ (mm)
		溶接金属部	HAZ部	母材	
SUS316相当鋼	A特S材	150	192	253	0.8
	A特K材	152	196	243	1.0
改良オーステナイト鋼	C4F材(CEA)	---	---	241	-----
	57MK4	154	198	243	0.6
	58MK6	163	207	265	0.5
	57MS1	140	198	248	0.4
	57MS3	154	204	280	0.6
	58MS5	141	208	275	0.8

以上の結果から、次に示す事が観察される。

- ① 母材・HAZ・溶接金属部の順に硬さが減少している。
- ② 改良型端栓の溶接金属部の硬さは、ツバ型端栓よりも増加している。
- ③ 改良型端栓のHAZ部の硬さは、ツバ型端栓よりも減少している。
- ④ 改良型端栓のHAZ部の長さは、ツバ型端栓よりも増加している。

一般的にオーステナイト系ステンレス鋼は、入熱量を多くして溶接するとHAZ部の長さが長くなり溶接金属部の硬さが減少する。この現象は、溶接時の熱エネルギーにより溶接金属部及びHAZ部周辺の冷却速度が遅くなり、結晶粒が成長し易くなる、また、全ての被覆管は、約20%の冷間加工材である。この冷間加工材を溶接すると約1000℃、一分でアニール化されてしまい硬さが減少すると考えられている。

今回の試験では、改良型端栓のHAZ部の硬さはツバ型端栓よりも減少し且つ、長くなっている。しかし、溶接時の入熱量が多いにも係わらず溶接金属部の硬さは、ツバ型端栓よりも増加した。その原因は、ツバ型端栓の溶接形状にあると考えられる。ツバ型端栓の溶接形状は、先にも述べたようにツバ部の肩の一部が溶接棒の役割を果たすように、端栓の表面層への熱伝導が悪くなるように設計されている。そのため、溶接時に生じる溶融池が表面張力により盛り上げられ、且つ溶接金属部の冷却速度が改良型端栓より若干遅れるためと考えられる。

(3) 入熱量と引張強度について

表-20に改良型端栓とツバ型端栓の引張強度を比較した結果を示す。

表-20 引張試験結果

単位 (kg/mm²)

項目		母材	改良型端栓	ツバ型端栓
		引張応力	引張応力	引張応力
被覆管材	SUS316相当鋼			
	A特S材	82.0	77.8 ^{*2}	70.5
	A特K材	80.5	75.9 ^{*2}	69.4
改良オーステナイト鋼	C4F材(CEA)	76.2	66.4 ^{*2}	67.6
	57MK4	75.9	72.2 ^{*1}	72.2
	58MK6	82.3	72.3 ^{*1}	71.2
	57MS1	76.3	76.1 ^{*2}	70.1
	57MS3	73.3	71.3 ^{*1}	70.8
	58MS5	77.2	70.9 ^{*1}	71.0
破断位置			^{*1} :HAZ部 ^{*2} :管部	全数溶接ビード

入熱量を多くし溶接すると、溶接金属部及びHAZ部周辺の結晶粒が成長し、硬さが減少するため引張強度に影響すると考えられる。しかし、本試験結果では、溶接時の入熱量が多い改良型端栓が、入熱量の少ないツバ型端栓より高い強度を有している。高い強度を示したものは、改良型端栓で、管部から破断した試料である。

HAZ部及び管部から破断するには設計上問題は無い。つまり、溶接金属部の強度は、管部と同等以上の強度及び金属組成を保持していると説明できるからである。しかし、溶接ビード部から破断すると、上記の説明に無理が生じ、溶接金属部の溶接強度を再評価する必要がある。溶接金属部の強度評価は、困難である。そのためにも、溶接ビードからの破断は避けなければならない。

何故、ツバ型端栓は全数溶接ビード部から破断したかを考えてみる。

- ① 溶接ビード部の肉厚が減少していた。
- ② ボンド部の組織が粗粒化していた。
- ③ 応力集中が生じ易い溶接形状であった。

これらの現象を写真-38～39に示す，拡大金相写真から考えてみる。

- ①は，若干ではあるが溶接ビード部の肉厚減少が見受けられる。
- ②は，改良型及びツバ型端栓のボンド部は，同様な組織の粗粒化が見受けられる。
- ③は，溶け込み不足等による応力集中が生じるような現象は，観察されない。

以上の内容から，端栓の形状及び溶接条件は，溶接ビード部の肉厚減少が生じないようにする必要があるのである。その理由からも，改良型端栓はツバ型端栓より優れているといえる。

(4) 改良型端栓の入熱量を少なくするには

改良型端栓はツバ型端栓より入熱量を若干ではあるが多くしないと最適な溶け込み状態を得ることができない。そのため，改良型端栓のテーパ部の形状を変え，入熱量が少なくて済む端栓に改善した。

① シュミレーションによる端栓形状の設計

改良型端栓を溶接する時，どのように溶接金属部周辺を熱伝達するか，FINASコードを使用し調査した。

入力条件

『PNC SN 241 85 -23(1) 高速原型炉燃料集合体及び炉心構成要素 設計用物性値集参照』

〔熱伝導度〕

・計算式

$$K = 0.132 + 1.3 \times 10^{-4}$$

- ・熱伝導度 (W/cm・℃) = K
- ・温度 (℃) = T (適用範囲はRT～850℃)

〔比熱〕

・計算式

$$C = 0.1044 + 0.1586 \times 10^{-3} \cdot T - 0.2967 \times 10^{-6} \cdot T^2 + 0.2123 \times 10^{-9} \cdot T^3$$

- ・比熱 (cal/g・℃) = C
- ・温度 (℃) = T (適用範囲はRT～850℃)

〔密度〕

・計算式

$$\rho = 7.977 - 3.547 \times 10^{-4} \cdot T$$

- ・密度 (g/cm³) = ρ
- ・温度 (℃) = T (適用範囲はRT～850℃)

〔融点〕

SUS316相当鋼の融点は1371℃を代入した。

以上の条件を入力し，計算した。

図-28～29に改良型端栓のシュミレーション結果を示す。図-28からもわかるように、熱は端栓の表面に均一に伝達されている。図-29は、改良型端栓に溝を付けた端栓（以下、溝付端栓と称す。）の熱伝達状態を示す。図からも判るように、溝の部分で熱伝達が遮断され、溶接部が蓄熱状態になる。蓄熱状態になると、溶接部の冷却速度が遅れ、入熱量を下げる事が可能になることがわかった。

以上の結果から、図-30に示すような端栓を製作し溶接試験を行った。

② 溝付端栓による溶接試験

溶接条件は、電流にパラメーターを振り溶接試験を実施した。その結果、電流（15A～13A）が最適条件であった。この条件は、ツバ型端栓の溶接条件と同様である。

最適条件で溶接試験を行った試験片の金相写真を写真-40に示す。

以上の結果から、改良型端栓に溝を付けるとツバ型端栓と同等の入熱量で最適な溶け込み状態が得られることを確認した。

今後の端栓設計においては、溶接金属部の入熱量も考慮する必要もあるが、冷却速度も見逃してはならない項目である。

5. 結 語

今回溶接試験を実施し、当方が考案した改良型端栓の溶接特性を評価し、満足のいく成果が得られた。

以下に、改良型端栓の特徴を示す。

- (1) 溶接ビード外径を小さくすることが可能である。
- (2) 鋼種（材質）に溶接条件が影響が受けない。（同一条件で溶接が行える。）
- (3) 引張強度が大きい。
- (4) 溶接条件の設定範囲が広い。

以上の結果から、本改良型端栓を今後の燃料要素製造に採用すると、溶接条件範囲及び端栓製作時の寸法公差を大きくする事が可能になり、装置の設計製作コスト及び端栓製作コストが安くなる。また、容易に自動化工程に組み込む事が可能である。

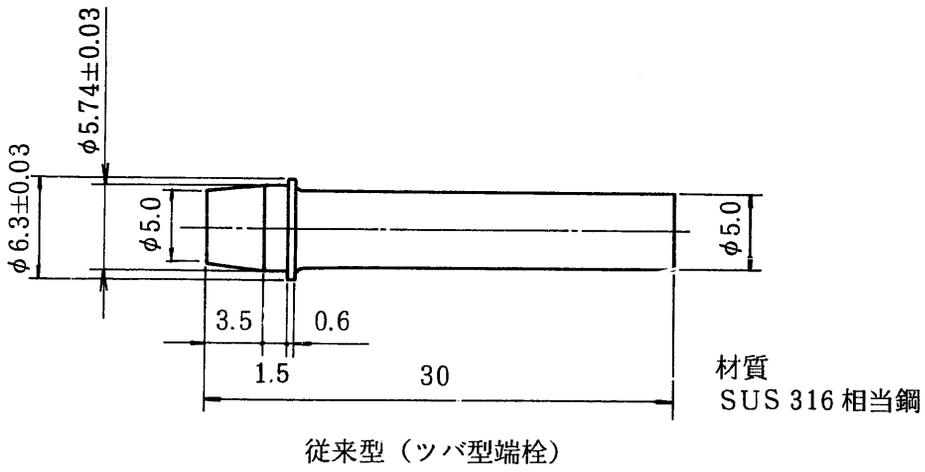
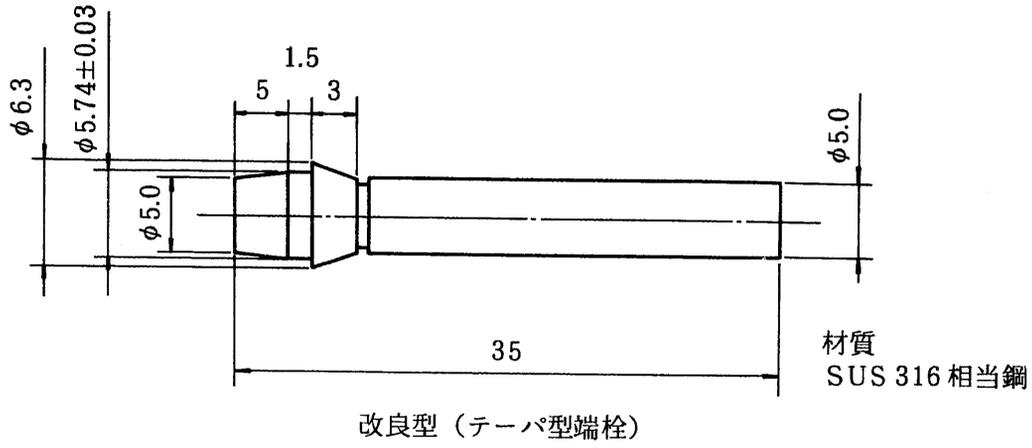
今後は、改良型溝付端栓の溶接条件設定範囲を確認する試験、機械的強度を確認する試験及び繰り返し試験を実施し、実証したいと考えている。

6. 謝 辞

今回の溶接試験に当たって、関係各位に多大なご協力を頂き、ここに謝意を表する。

参 考 資 料

PNC SN 241 85 -23(1) 高速原型炉燃料集合体及び炉心構成要素 設計用物性値集



単位 (mm)

図-1 改良型 (テーパ型) と従来型 (ツバ型)

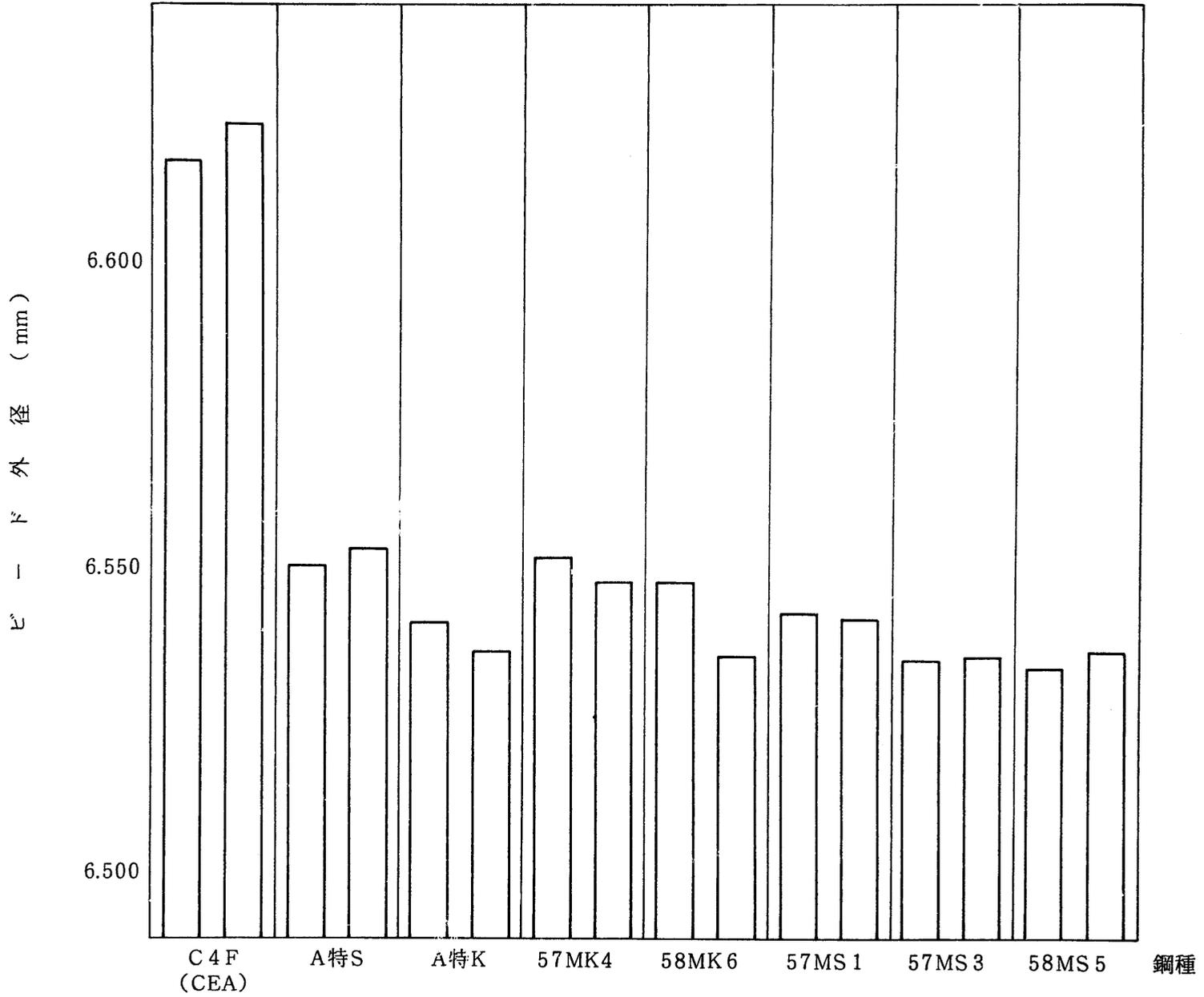


図-5 試験-I, 鋼種 (材質) 別のビード外径 (改良型端栓)

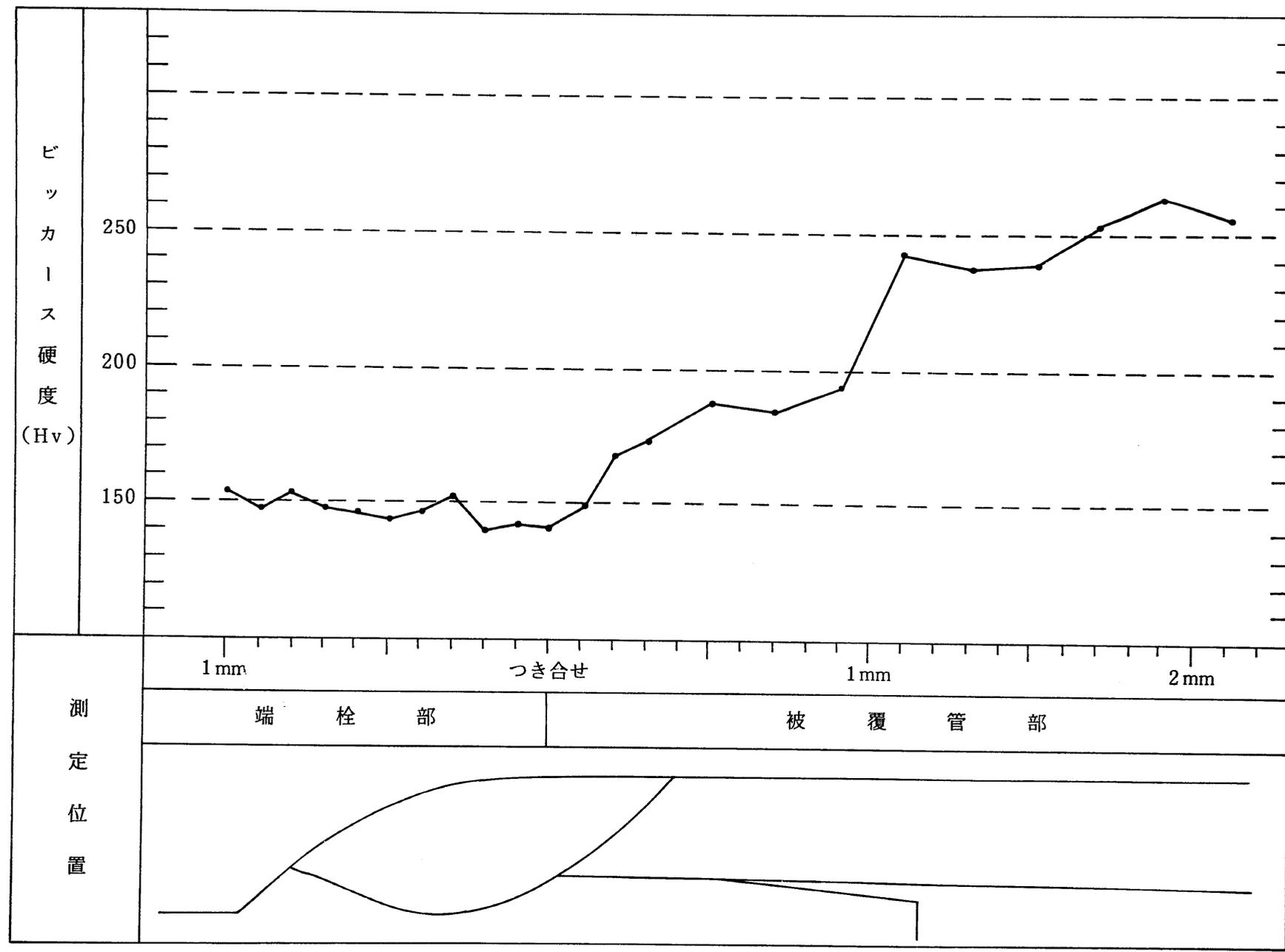


図-6 硬さ測定結果 A特S材 ツバ型端栓

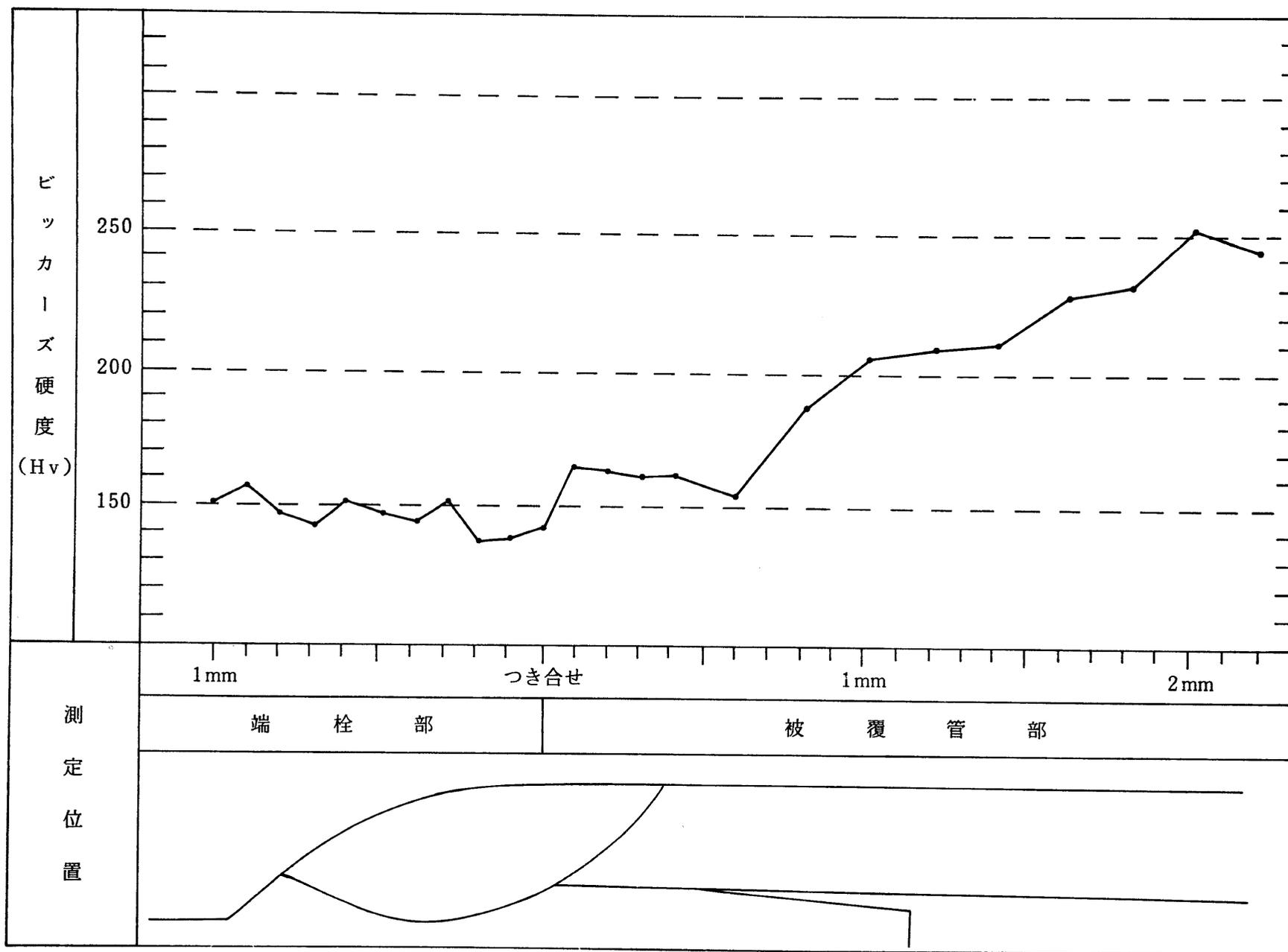


図-7 硬度測定結果 A特K材 ツバ型端栓

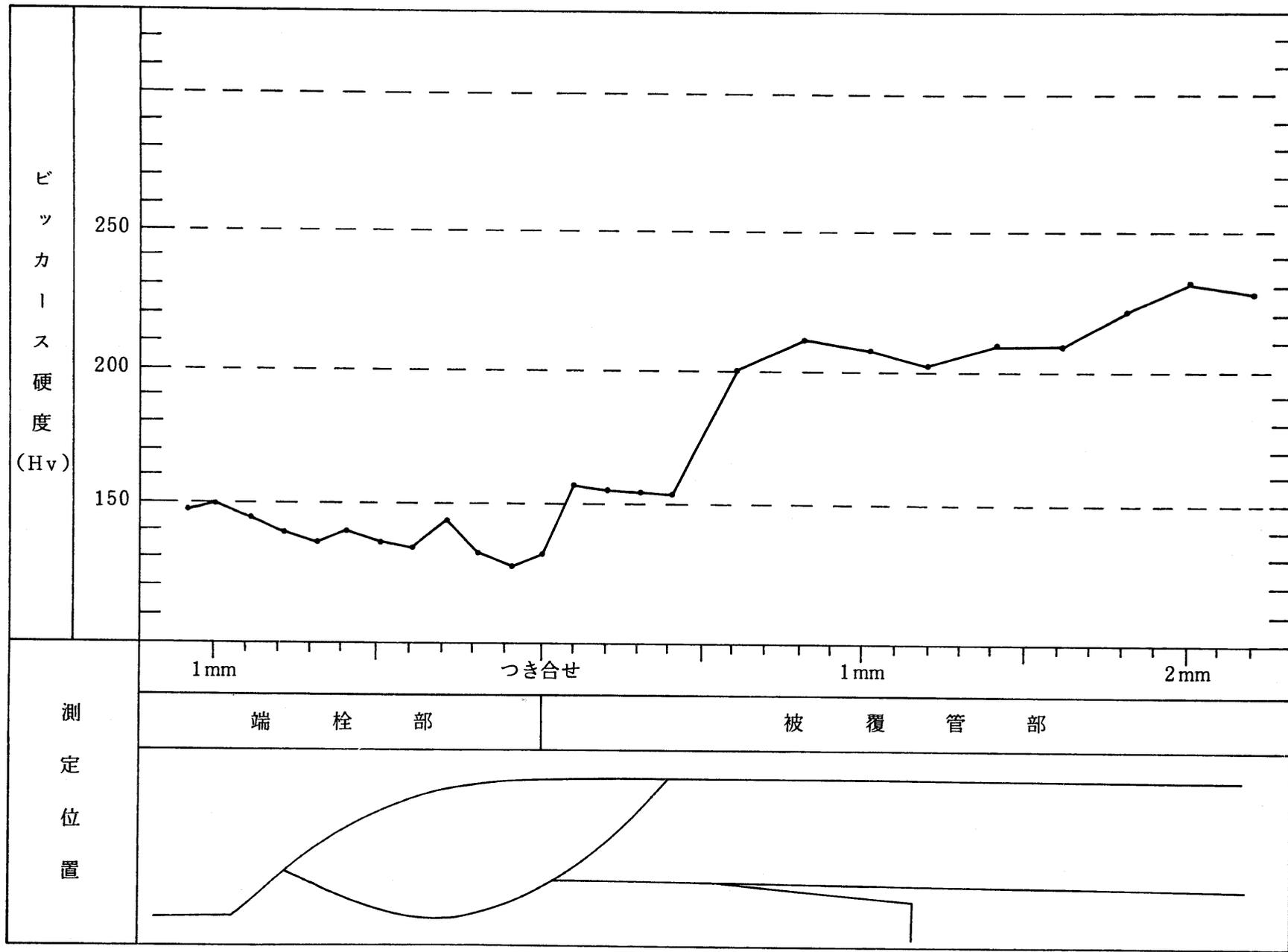


図-8 硬さ測定結果 57 MK 4 材 ツバ型端栓

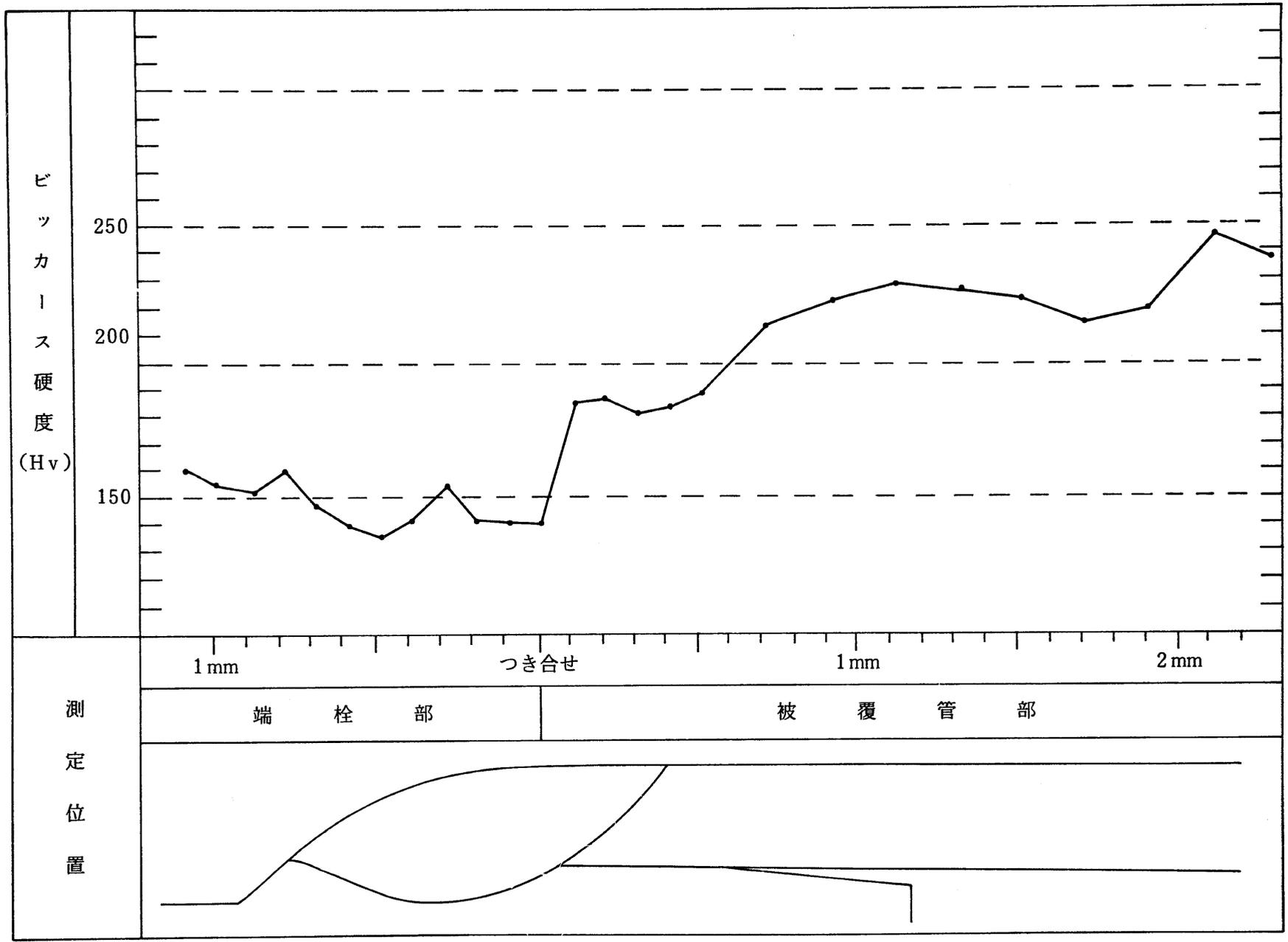


図 - 9 硬さ測定結果 58MK6材 ツバ型端栓

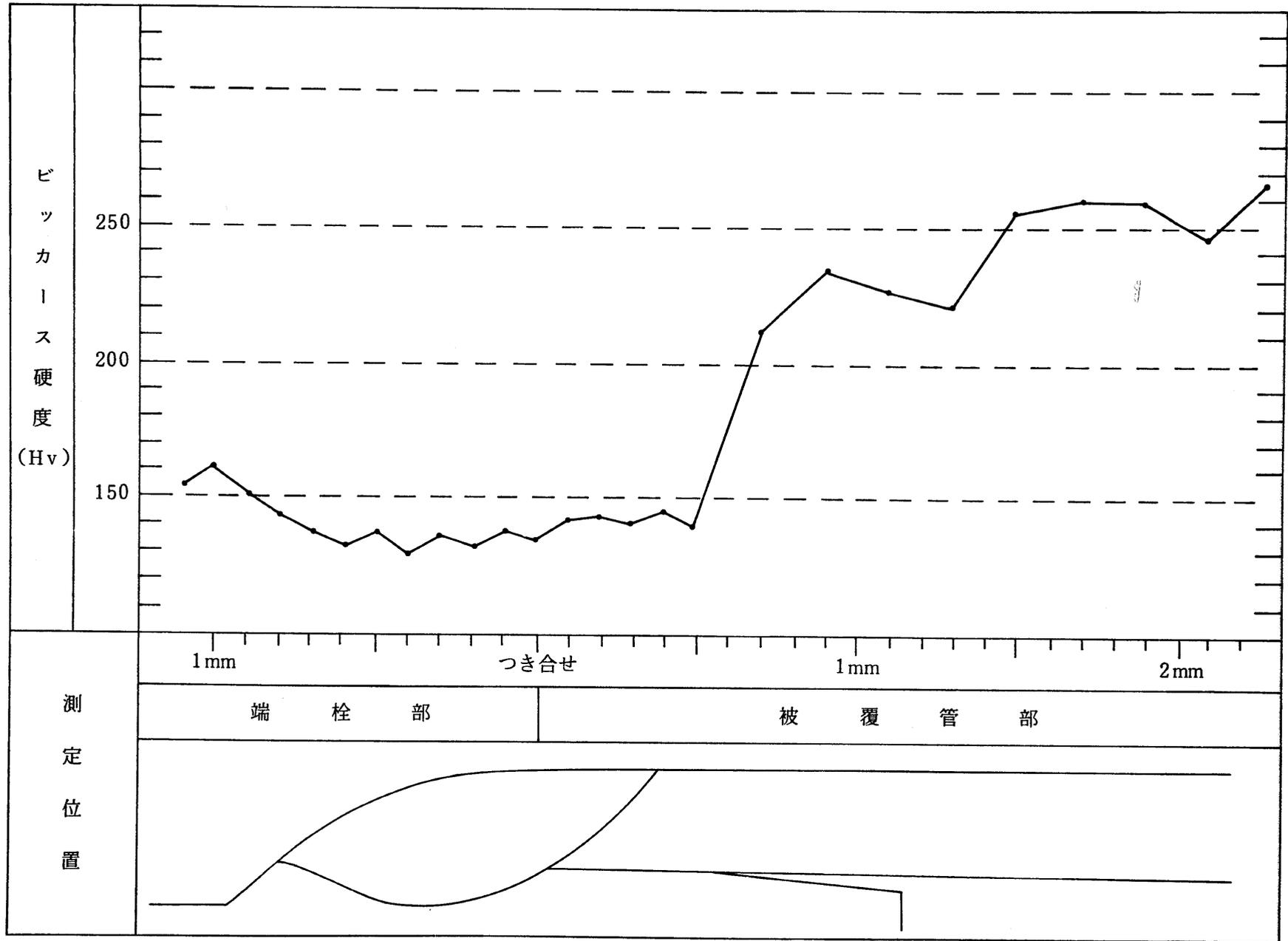


図-10 硬さ測定結果 57MS1材 ツバ型端栓

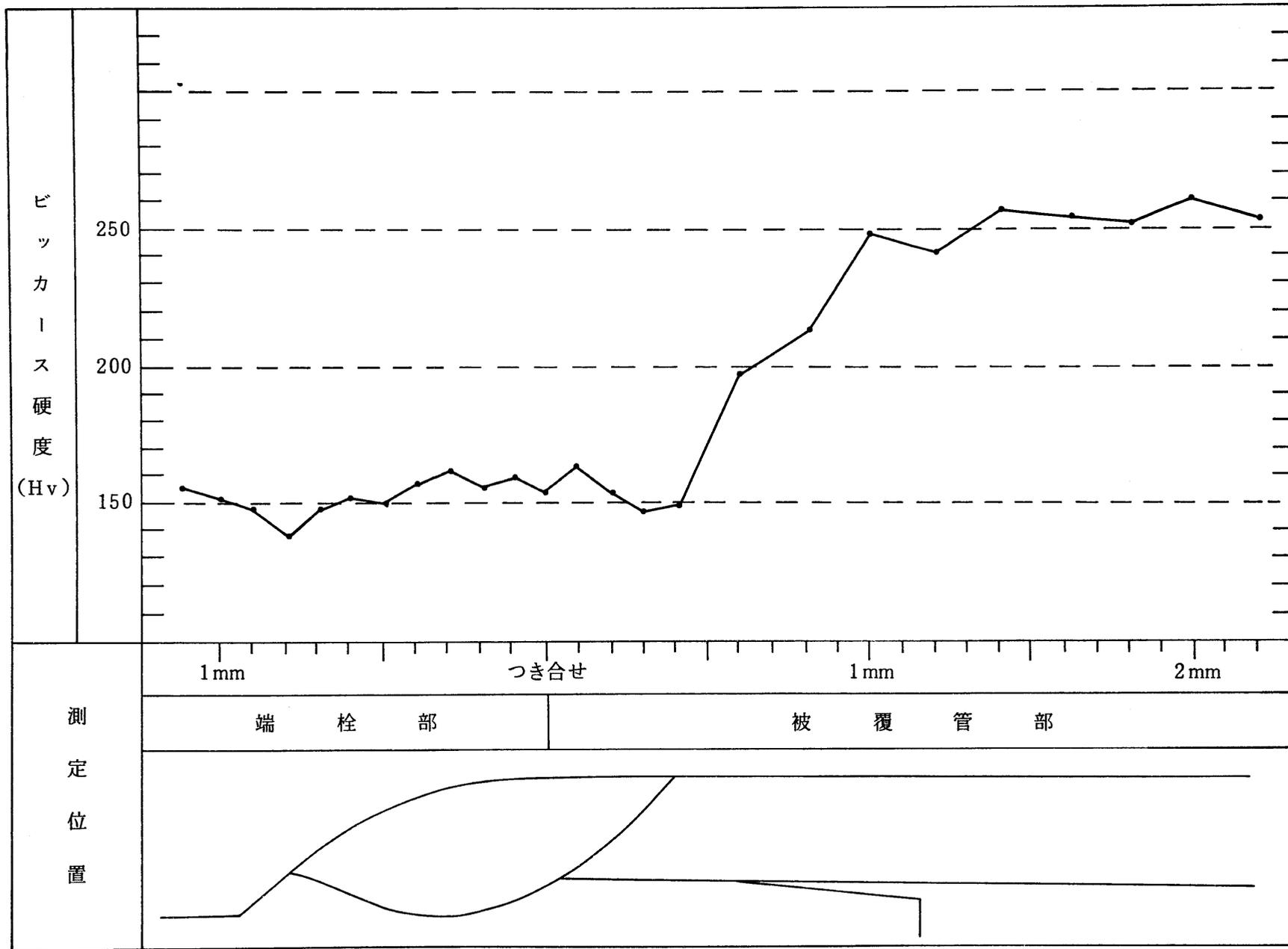


図-11 硬度測定結果 57MS3材 ツバ型端栓

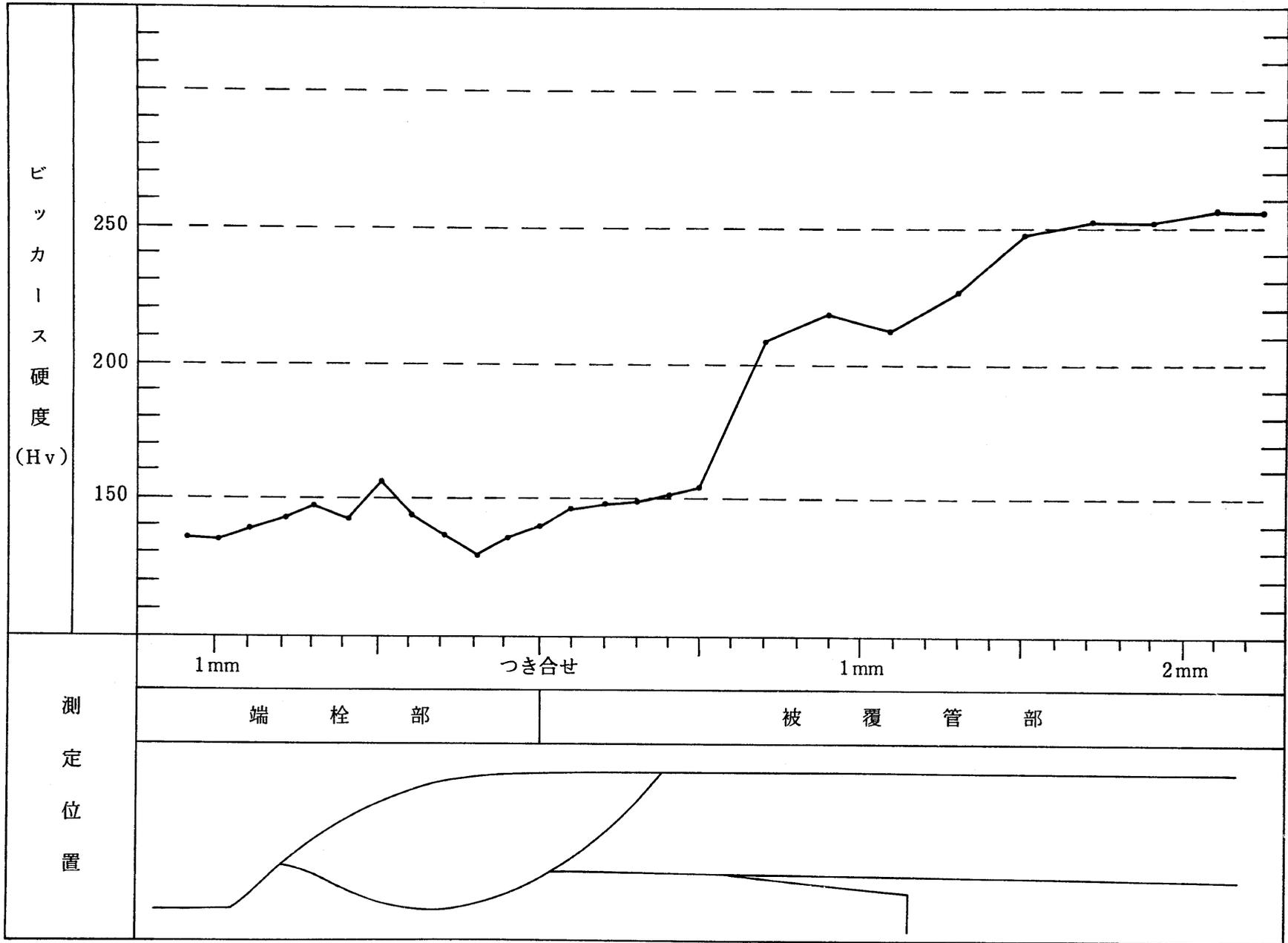


図-12 硬さ測定結果 58MS5材 ツバ型端栓

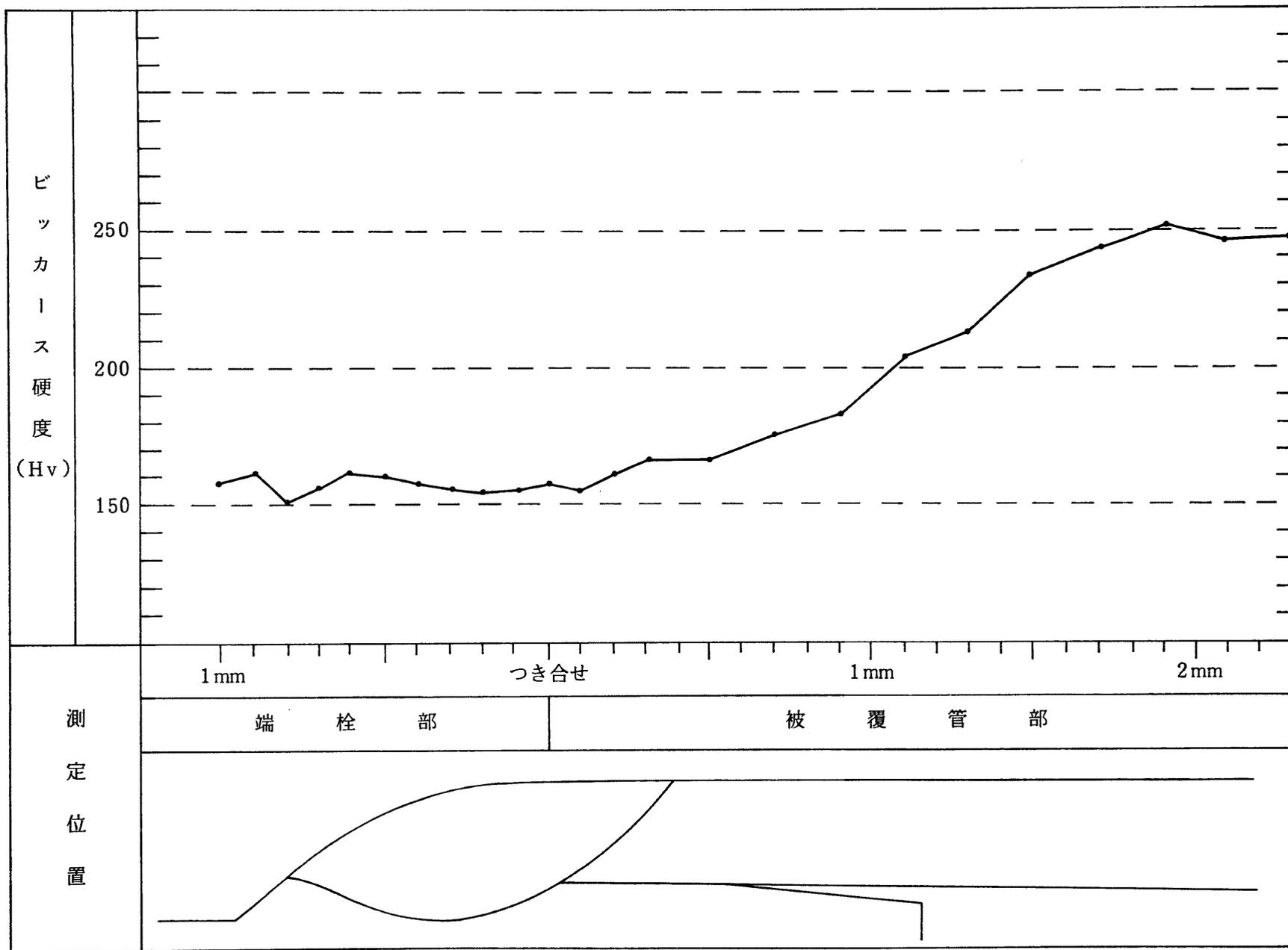


図-13 硬度測定結果 A特S材 改良型端栓

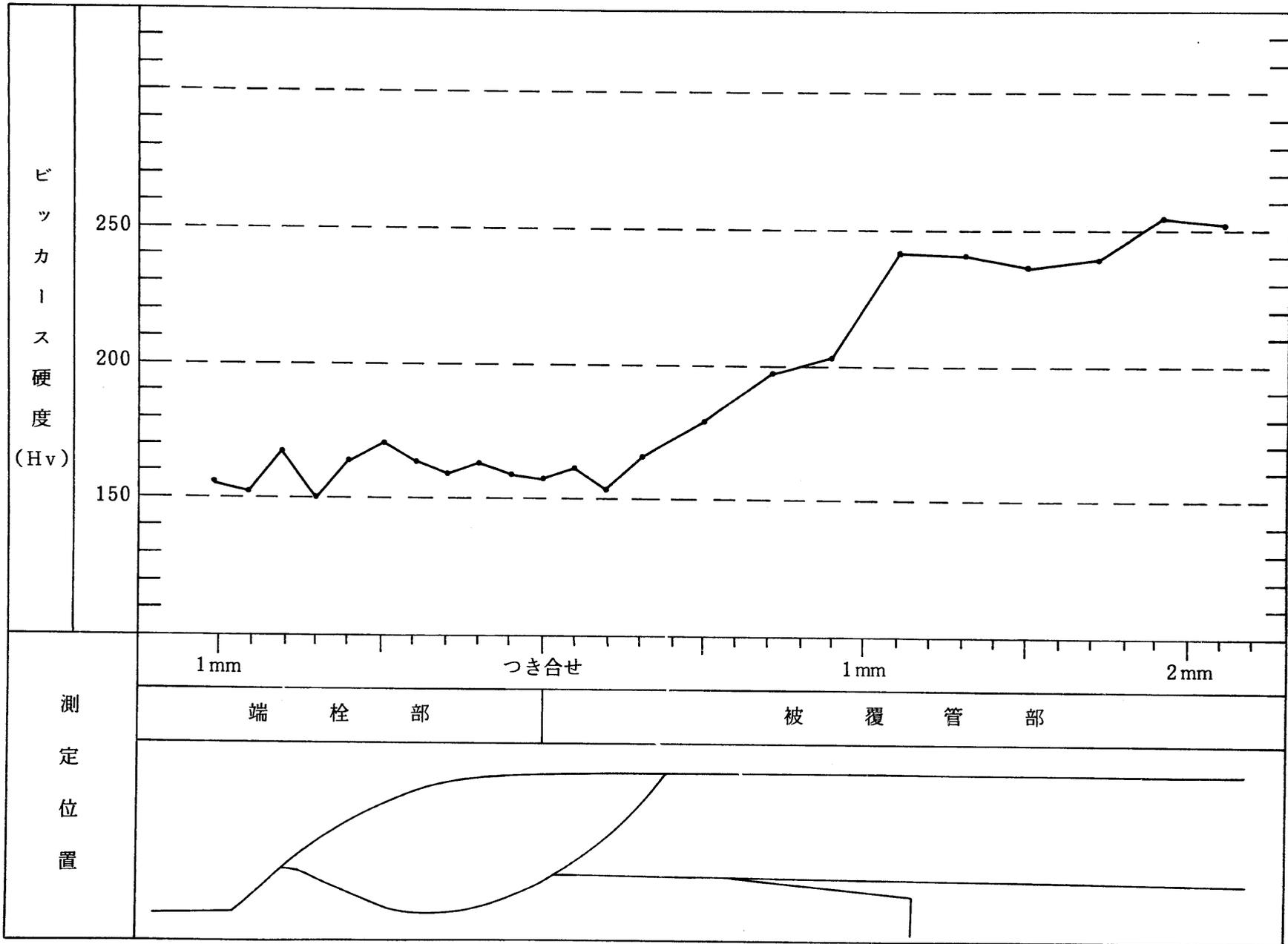


図-14 硬度測定結果 A特K材 改良型端栓

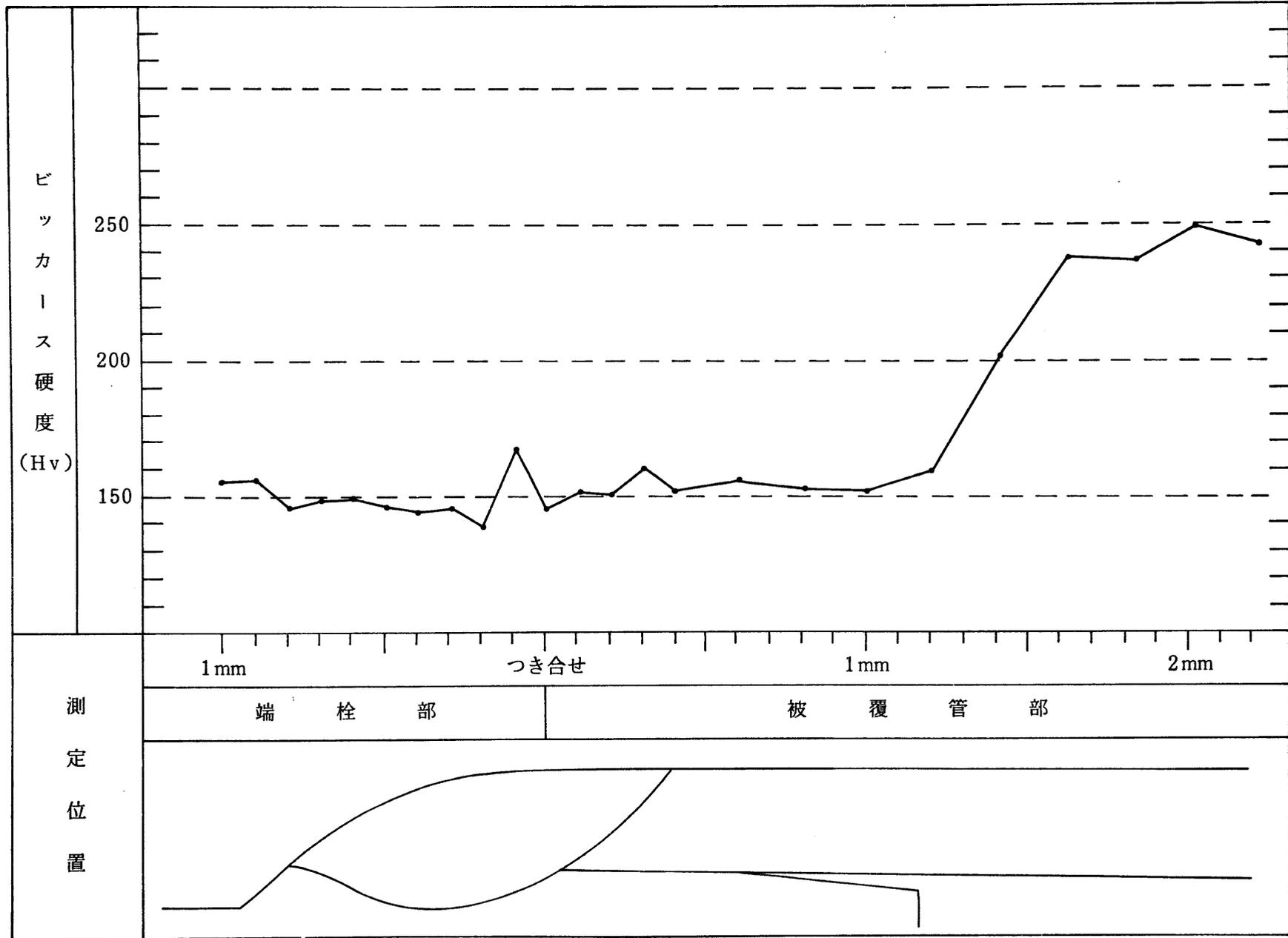


図-15 硬度測定結果 C4F材 (CEA) 改良型端栓

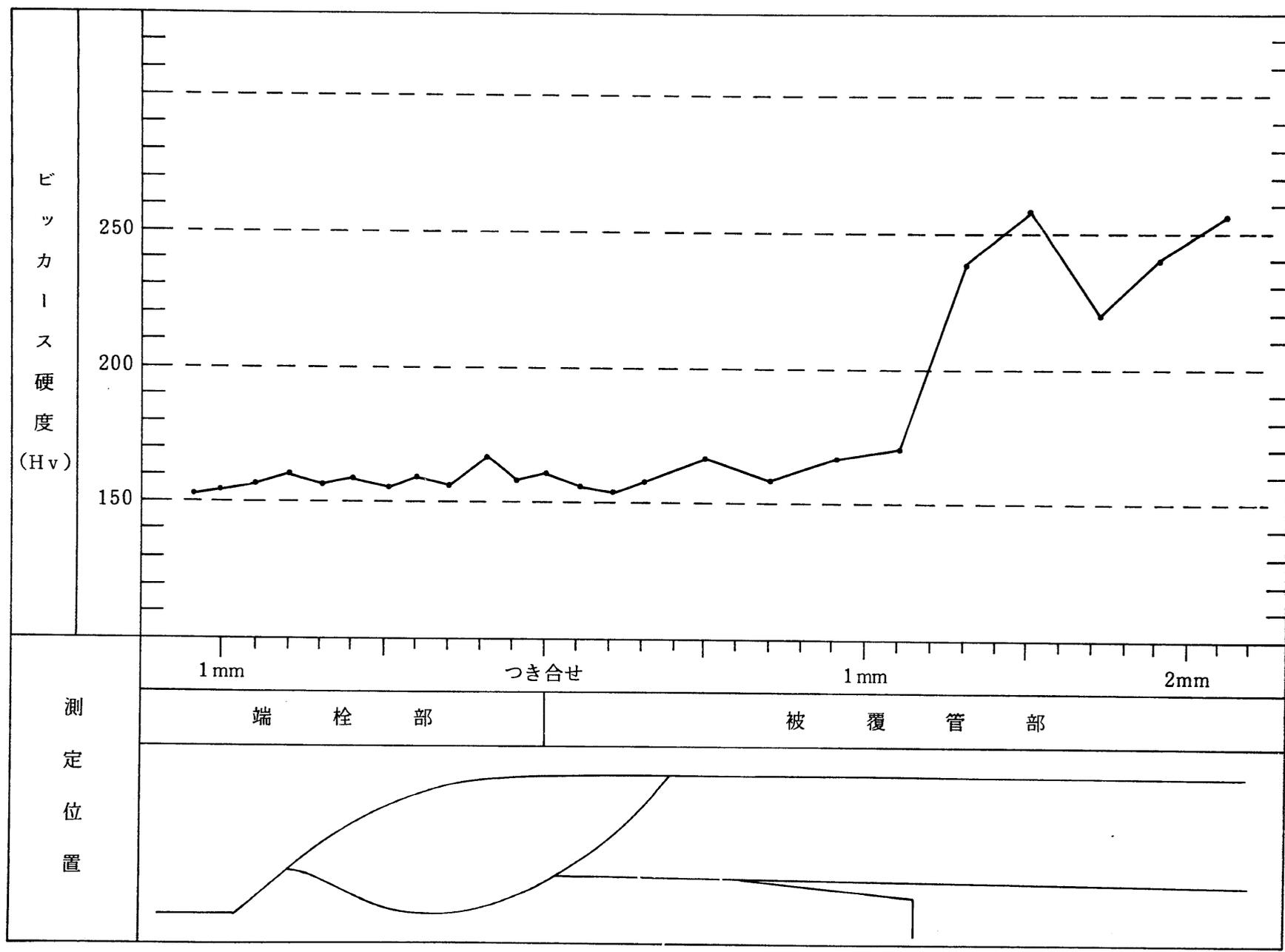


図-16 硬度測定結果 57 MK 4 材 改良型端栓

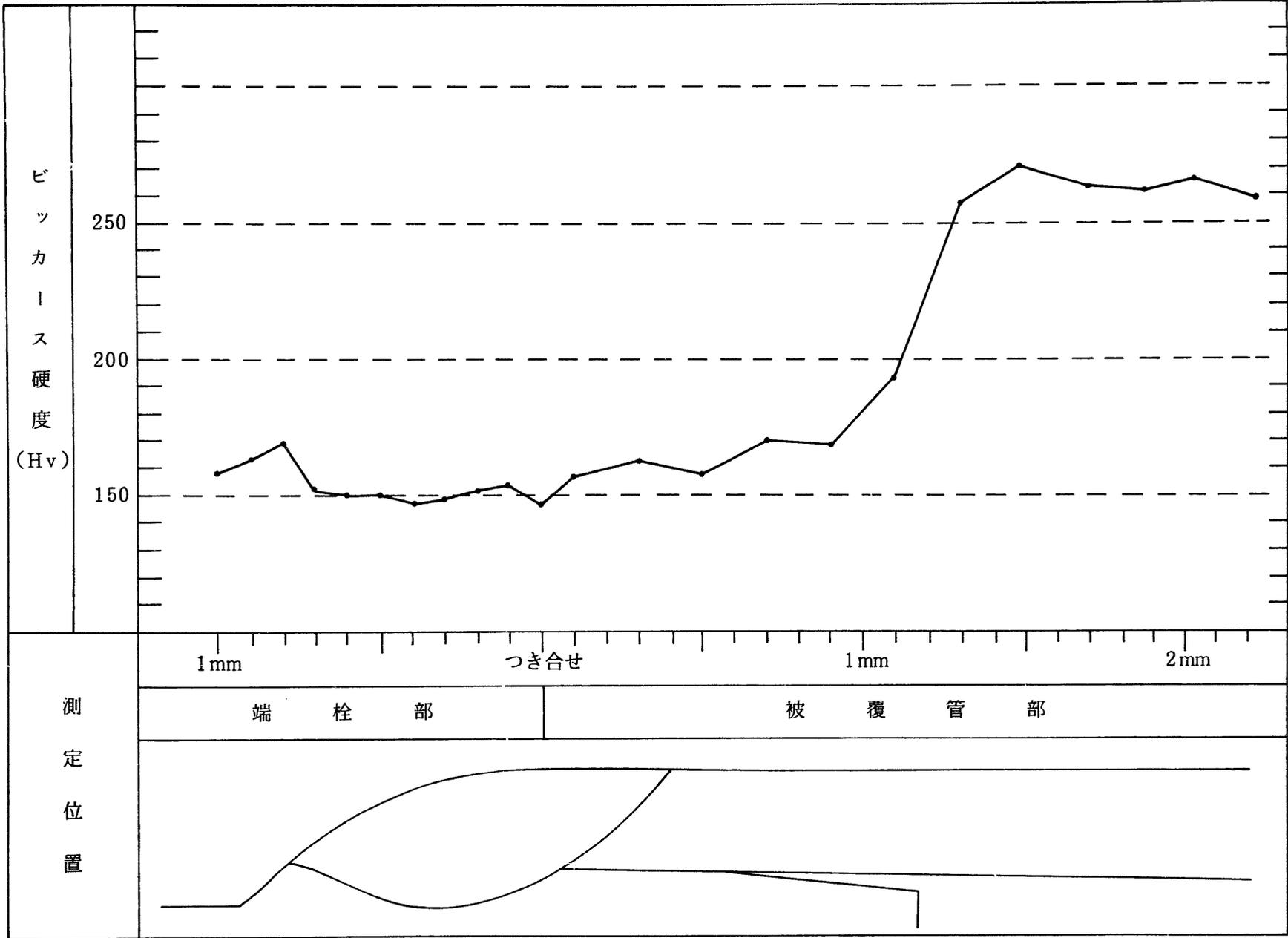


図-17 硬さ測定結果 58MK6材 改良型端栓

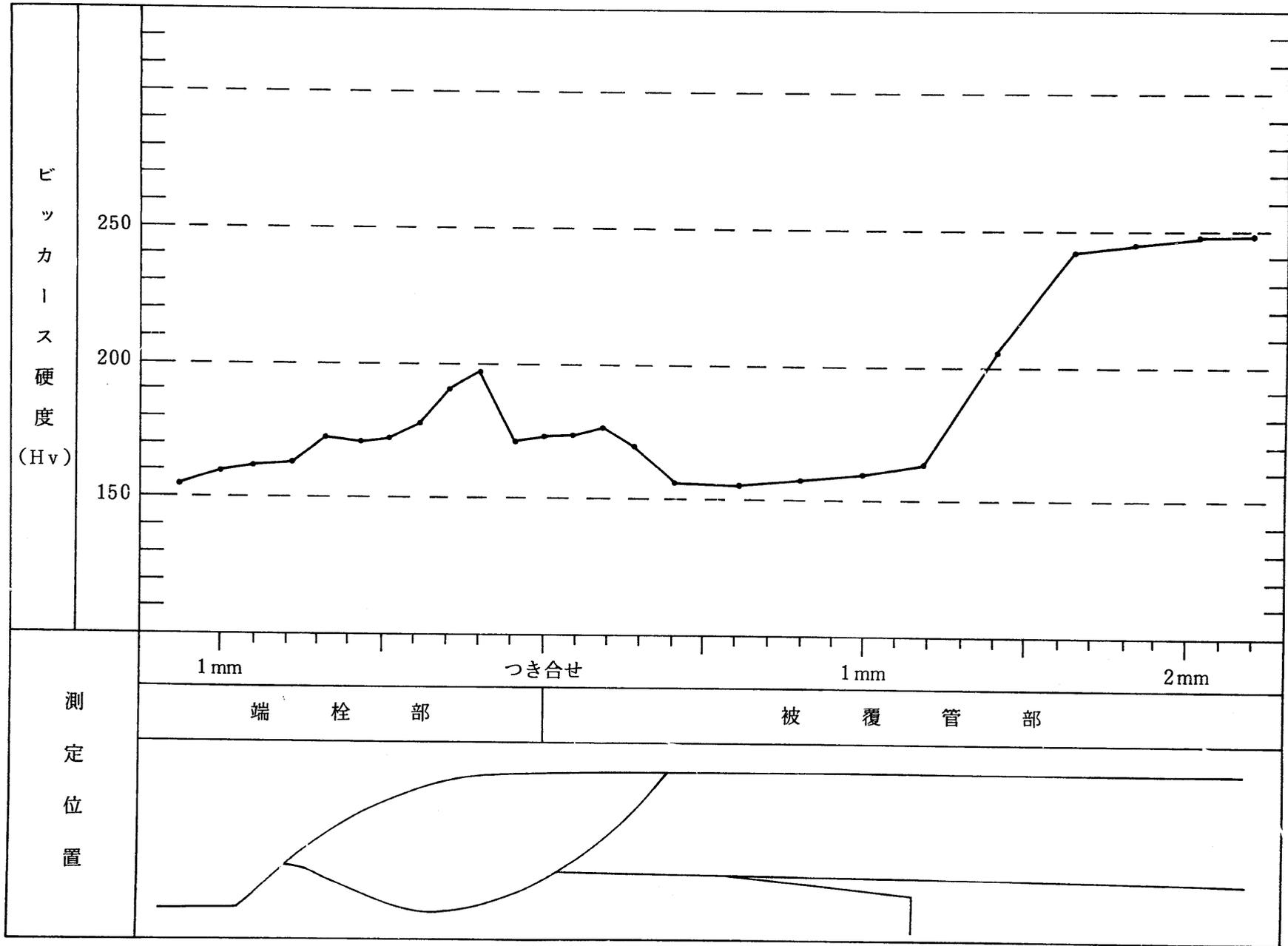


図-18 硬度測定結果 57MS 1材 改良型端栓

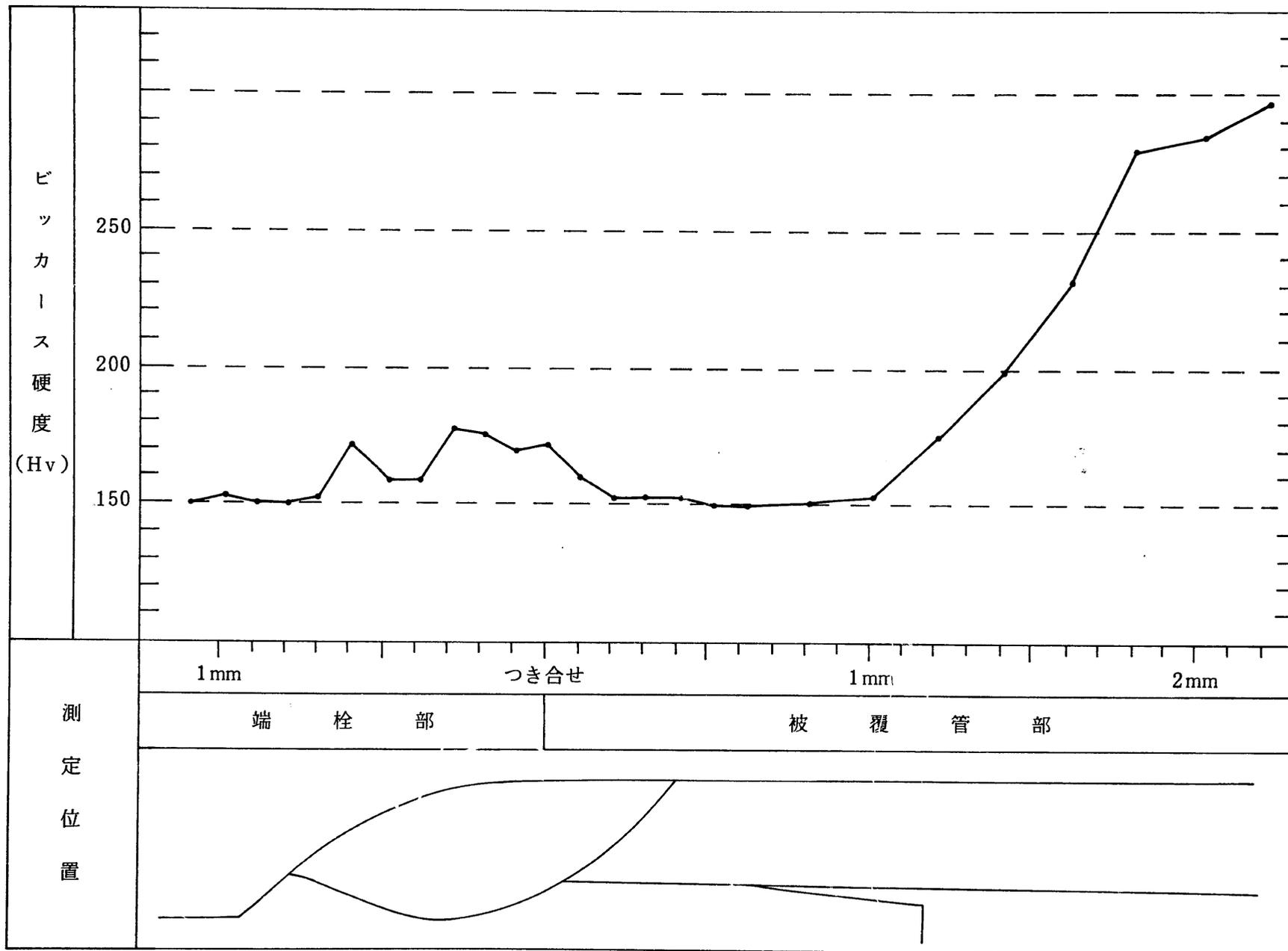


図-19 硬さ測定結果 57MS3材 改良型端栓

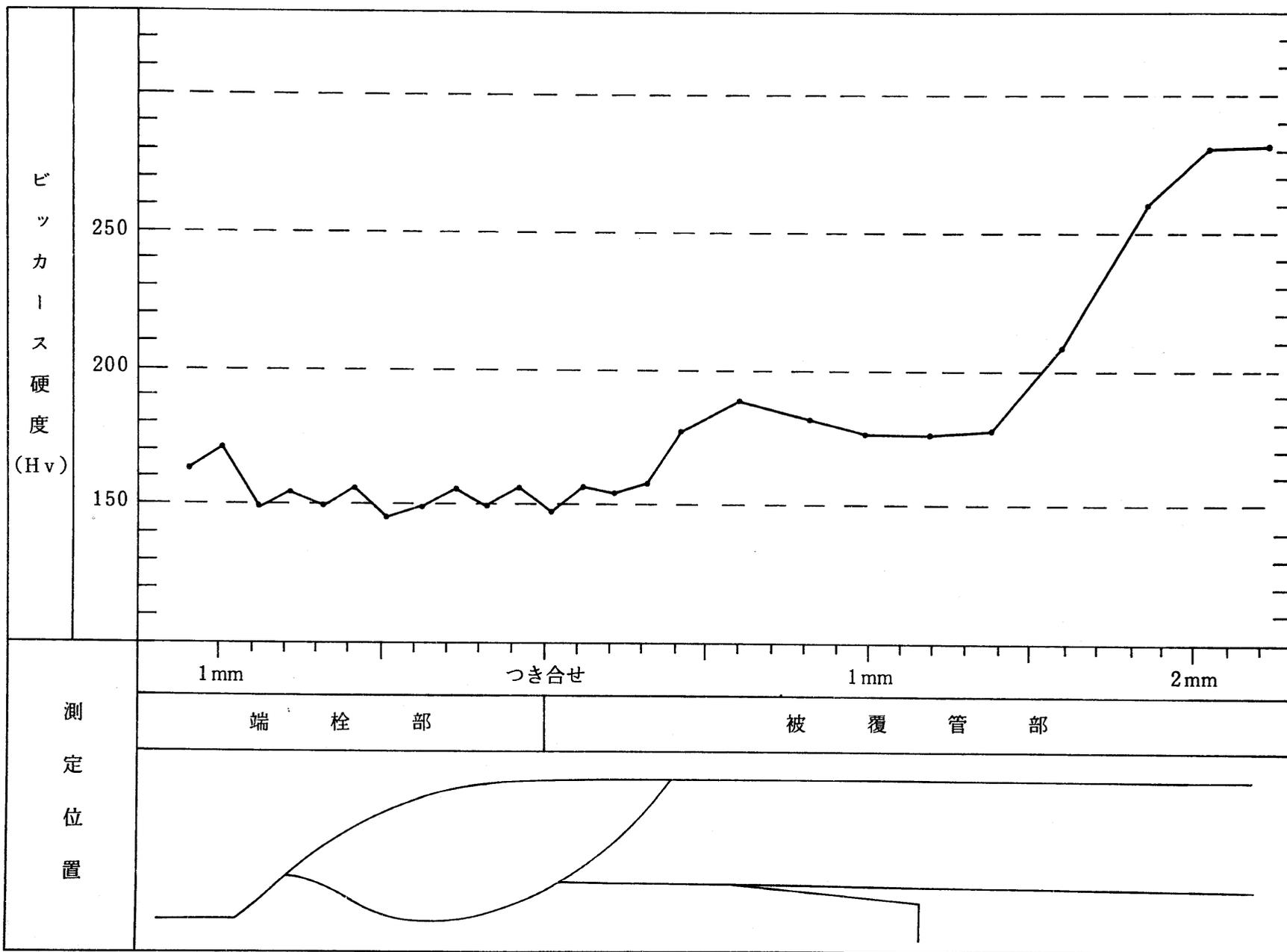


図-20 硬度測定結果 58MS5材 改良型端栓

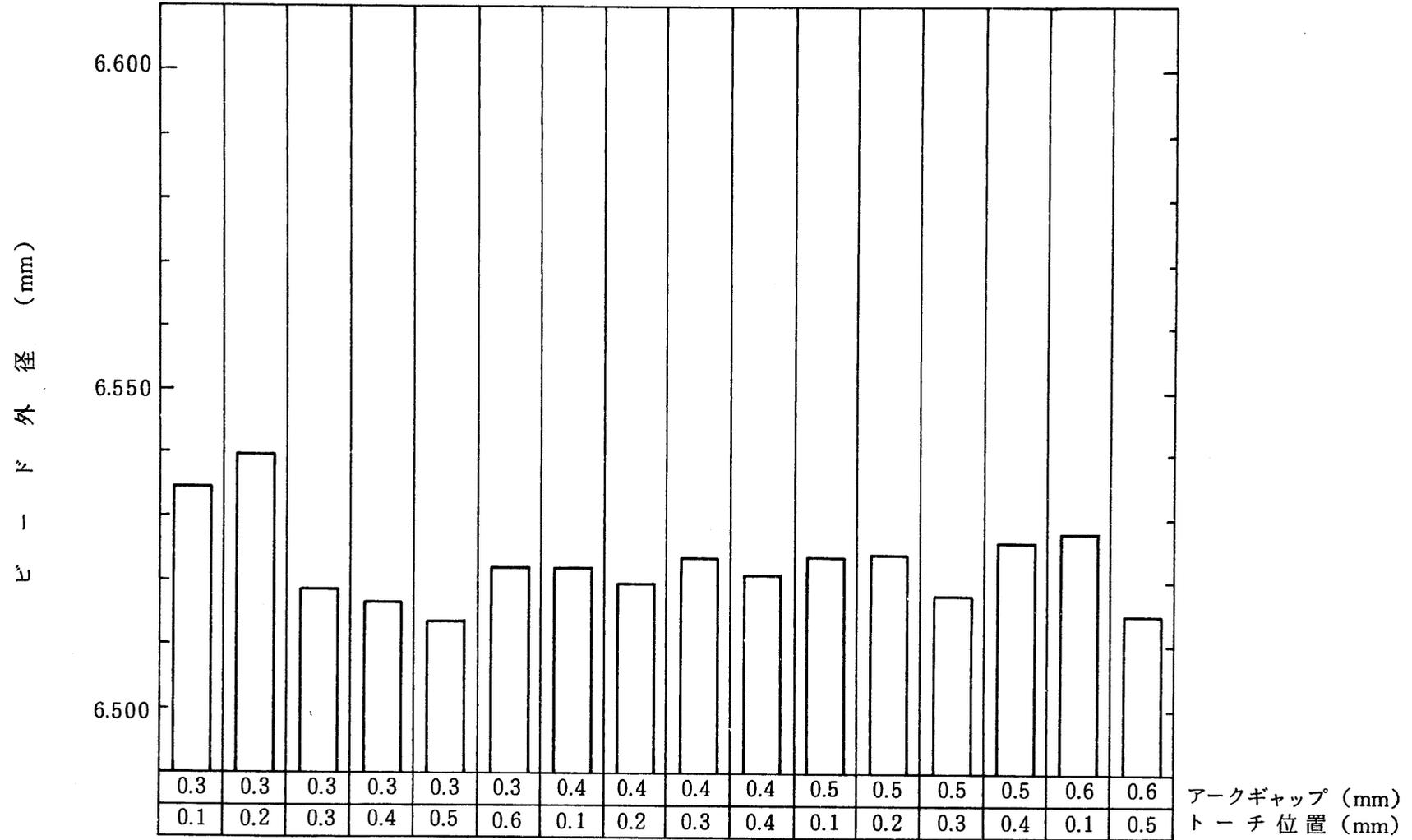


図-21 試験-II 電極位置設定値別のビート外径測定結果 (改良型端栓)

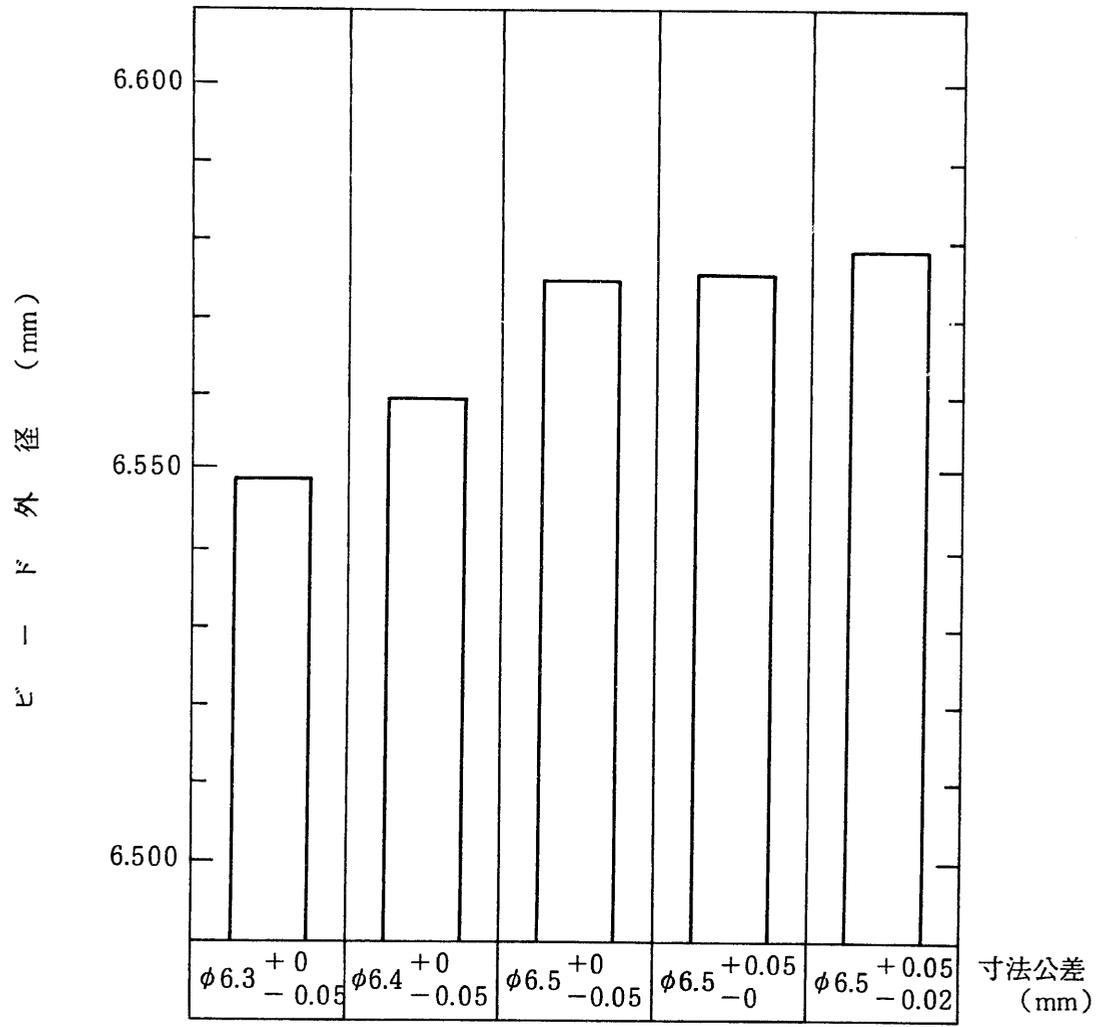
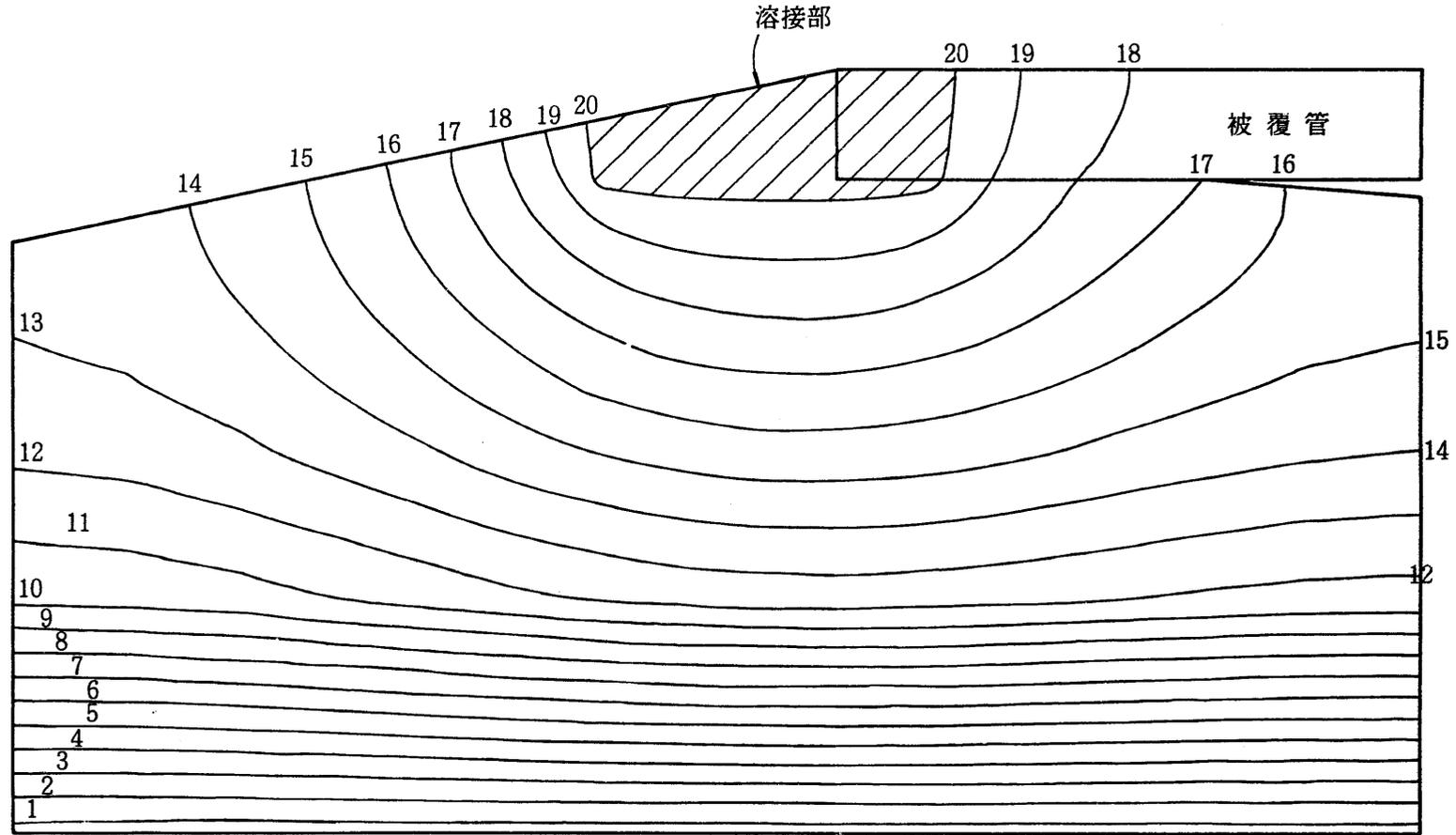


図-23 試験-III 寸法公差別のビード外径 (改良型端栓)

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	54.00000
2	121.9999
3	189.9999
4	257.9999
5	326.0000
6	394.0000
7	461.9999
8	530.0000
9	598.0000
10	666.0000
11	734.0001
12	802.0000
13	870.0000
14	938.0001
15	1005.999
16	1074.000
17	1142.000
18	1210.000
19	1277.999
20	1345.999



STEP NO. 1

GEOM. SCALE 0.60000

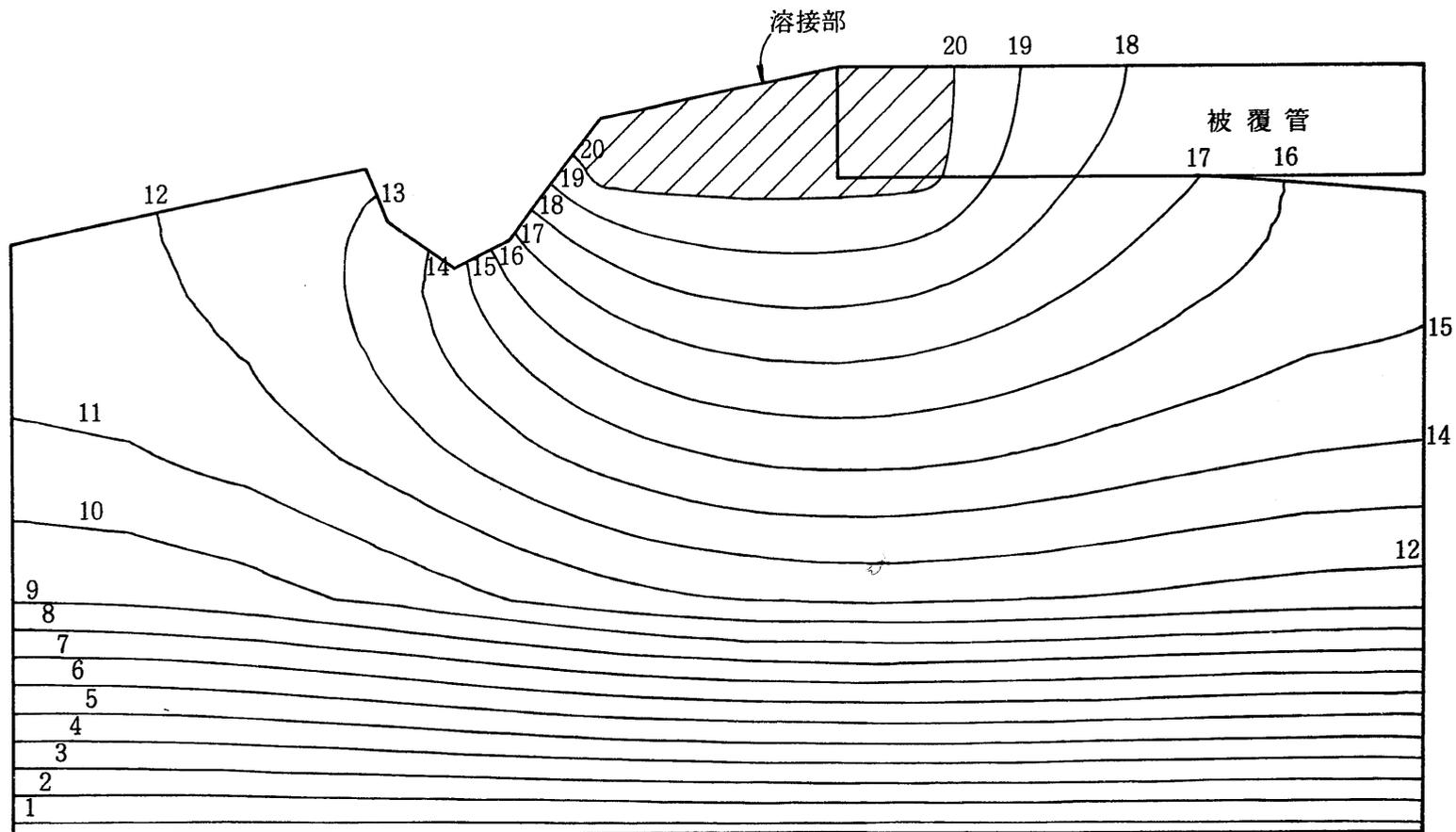
ELEMENT

図 - 28 シミュレーション結果 (改良型端栓)

FINAS
TEMPERATURE

CONTOUR VALUES

1	54.00000
2	121.99999
3	189.99999
4	257.99999
5	326.00000
6	394.00000
7	461.99999
8	530.00000
9	598.00000
10	666.00000
11	734.00001
12	802.00000
13	870.00000
14	938.00001
15	1005.99999
16	1074.00000
17	1142.00000
18	1210.00000
19	1277.99999
20	1345.99999



STEP NO. 1

GEOM. SCALE 0.60000

ELEMENT

図 - 29 シミュレーション結果 (改良型溝付端栓)

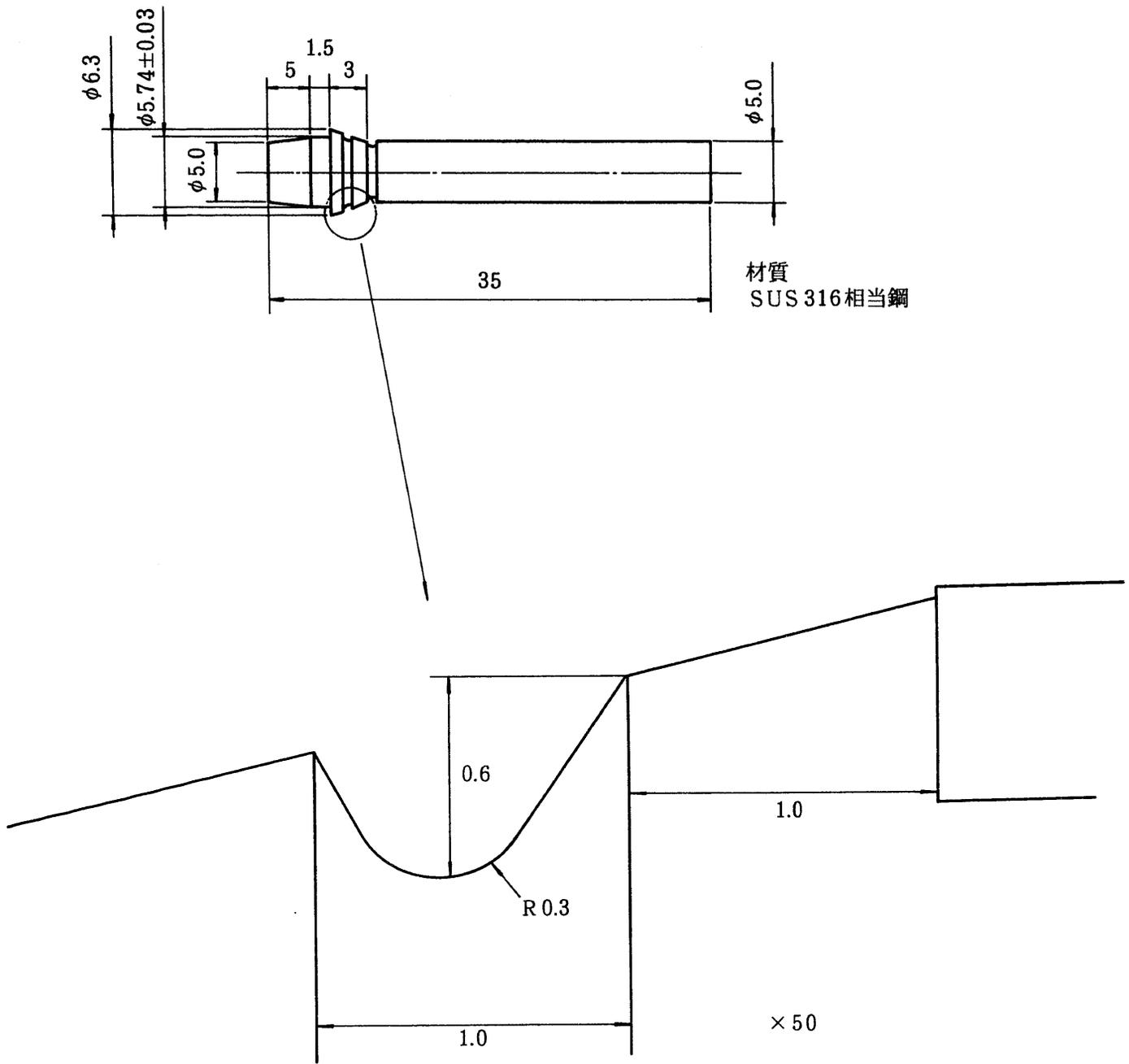


图-30 改良型溝付端栓図

表-3 部材ミルシート A特S材

項 目	仕 様	測定値
1. 材 質	S U S 3 1 6 2 0 % 冷 間 加 工	
2. 化学成分	C 0.045~0.085 w/o S i ≤ 1.00 M n ≤ 2.00 P ≤ 0.040 S ≤ 0.010 N i 13.00 ~ 14.00 C r 16.00 ~ 18.00 M o 2.00 ~ 3.00 C o ≤ 0.10 B ≤ 0.0100 N ≤ 0.010 C u ≤ 0.20 T i ≤ 0.10 V ≤ 0.20 N b + T a ≤ 0.10 Z r ≤ 0.10 A s ≤ 0.010 A l ≤ 0.050	0.05 0.87 1.76 0.033 0.004 13.85 16.30 2.57 < 0.01 0.0036 0.008 0.01 0.099 0.004 0.079 0.002 0.004 0.038
3. 金相試験	結晶粒度 ASTM E 1 1 2 No. 6 ~ 9	8.5・8.0
4. 引張試験	常 温 引張強さ $\geq 75 \text{ kg/mm}^2$ 0.2 % 耐力 $\geq 60 \text{ kg/mm}^2$ 伸 び $\geq 10 \%$ 6 5 0 ° C 引張強さ $\geq 40 \text{ kg/mm}^2$ 0.2 % 耐力 $\geq 30 \text{ kg/mm}^2$ 伸 び $\geq 7 \%$	82.0 75.8 20.0 55.5 50.5 13
5. 内圧破裂試験	降伏圧力 $\geq 900 \text{ kg/cm}^2$ 破裂圧力 $\geq 1100 \text{ kg/cm}^2$	1520 1626

表-4 部材ミルシート A特K材

項 目	仕 様	測定値
1. 材 質	S U S 3 1 6 2 0 % 冷 間 加 工	
2. 化学成分	C 0.045~0.085 w/o S i ≤ 1.00 M n ≤ 2.00 P ≤ 0.040 S ≤ 0.010 N i 13.00 ~ 14.00 C r 16.00 ~ 18.00 M o 2.00 ~ 3.00 C o ≤ 0.10 B ≤ 0.0100 N ≤ 0.010 C u ≤ 0.20 T i ≤ 0.10 V ≤ 0.20 N b + T a ≤ 0.10 Z r ≤ 0.10 A s ≤ 0.010 A l ≤ 0.050	0.056 0.80 1.86 0.031 0.009 13.72 16.30 2.54 < 0.01 0.0029 0.003 0.016 0.083 0.005 0.085 0.003 0.005 0.038
3. 金相試験	結晶粒度 A S T M E 1 1 2 No.6 ~ 9	9.0・8.0
4. 引張試験	常 温 引張強さ $\geq 75 \text{ kg/mm}^2$ 0.2 % 耐力 $\geq 60 \text{ kg/mm}^2$ 伸 び $\geq 10 \%$ 6 5 0 ° C 引張強さ $\geq 40 \text{ kg/mm}^2$ 0.2 % 耐力 $\geq 30 \text{ kg/mm}^2$ 伸 び $\geq 7 \%$	80.5 66.9 19 53.9 45.9 14
5. 内圧破裂試験	降伏圧力 $\geq 900 \text{ kg/cm}^2$ 破裂圧力 $\geq 1100 \text{ kg/cm}^2$	1520 1626

表-5 部材ミルシート C4F 被覆管
(CEA)

ミルシート番号 PNC-87-1

動燃確認欄			
課長	係長	担当	

ヒート No. HX3387/1
ロット No. 013

検査元：動力炉・核燃料開発事業団

項目		規格	結果					
			試料(1)		試料(2)			
化学成分	C	0.04 ~ 0.10 wt%	0.090		0.089			
	Si	0.03 ~ 0.70 wt%	0.59		0.59			
	Mn	1.30 ~ 2.00 wt%	1.59		1.59			
	P	0.015 ~ 0.040 wt%	0.020		0.020			
	S	≤ 0.010 wt%	< 0.001		< 0.001			
	Ni	14.0 ~ 16.5 wt%	14.61		14.49			
	Cr	14.0 ~ 16.0 wt%	15.61		15.63			
	Mo	1.0 ~ 3.0 wt%	1.18		1.17			
	Co	≤ 0.10 wt%	0.015		0.013			
	N	≤ 0.01 wt%	0.0085		0.0083			
	B	0.0020 ~ 0.0070 wt%	0.0049		0.0049			
	Al	< 0.05 wt%	0.027		0.030			
	Ti	0.25 ~ 0.55 wt%	0.437		0.428			
機械的性質試験	引張試験	室温	引張強さ ≥ 70 kg/mm ²	76.2		78.7		
			0.2%耐力 ≥ 60 kg/mm ²	71.2		76.8		
			伸び ≥ 10%	23		19		
	引張試験	高温 (650℃)	引張強さ ≥ 45 kg/mm ²	51.7		55.8		
			0.2%耐力 ≥ 37 kg/mm ²	43.7		51.7		
			伸び ≥ 7%	12		10		
	内圧破裂試験		破裂圧力 ≥ 1000 kg/cm ²	1295				
			降伏圧力 ≥ 900 kg/cm ²	1205				
	硬さ試験		Hv (0.5) ≤ 330	(1)	周 270	軸 269		
				(2)	周 261	軸 274		
(3)				周 266	軸 268			
(4)				周 225	軸 266			
結晶粒度試験		ASTM E112 plate I No. 6 ~ 9	8.5	8				

表-6 部材ミルシート C4F 端栓

ミルシート番号

動燃確認欄			
課長	係長	担当	

ヒート No. CA 0262
 ロット No. 005

検査元：(株)神戸製鋼所長府北工場

項 目		規 格	結 果					
			試 料 (1)		試 料 (2)			
化学成分	C	0.045 ~ 0.085 wt %	0.058		0.051			
	Si	≤ 1.00 wt %	0.77		0.70			
	Mn	≤ 2.00 wt %	1.60		1.63			
	P	≤ 0.040 wt %	0.023		0.023			
	S	≤ 0.010 wt %	0.008		0.008			
	Ni	13.00 ~ 14.00 wt %	13.30		13.50			
	Cr	16.00 ~ 18.00 wt %	16.56		16.54			
	Mo	2.00 ~ 3.00 wt %	2.55		2.51			
	Co	≤ 0.10 wt %	0.01		0.01			
	N	≤ 0.010 wt %	0.003		0.003			
	B	≤ 0.0100 wt %	0.0035		0.0037			
	Al	≤ 0.050 wt %	0.018		0.017			
Ti	≤ 0.10 wt %	0.071		0.070				
機械的性質 試験	引張 試験	室温	引張強さ ≥ 53 kg/mm ²					
		0.2 %耐力 ≥ 21 kg/mm ²						
		伸 び ≥ 40 %						
	高温 (600℃)	引張強さ ≥ — kg/mm ²						
		0.2 %耐力 ≥ — kg/mm ²						
		伸 び ≥ — %						
	内圧破裂試験	破裂圧力 ≥ — kg/cm ²						
		降伏圧力 ≥ — kg/cm ²						
	結晶粒度試験	ASTM E112 plate I No. 6 ~ 9	Hv (0.5) ≤ 200	(1)	周 150	軸 174		
				(2)	周 147	軸 160		
(3)				周 144	軸 158			
(4)				周 141	軸 158			
			周 8.0	軸 8.0				

表-7 部材ミルシート 57MK4材

被覆管 (2)-④
 インゴットNo AC5868
 ロットNo K572

検査元：(株)神戸製鋼所

項目		規格	結果					
			インゴット上部	インゴット下部	製品(1)	製品(2)		
化学成分	C	0.04 ~ 0.08 wt%	0.059	0.058	0.060			
	Si	0.60 ~ 1.00 wt%	0.81	0.81	0.85			
	Mn	1.30 ~ 2.00 wt%	1.48	1.46	1.47			
	P	0.015 ~ 0.040 wt%	0.022	0.022	0.020			
	S	≤ 0.010 wt%	0.004	0.003	0.004			
	Ni	23.5 ~ 26.5 wt%	24.48	24.45	24.41			
	Cr	13.5 ~ 16.5 wt%	15.27	15.29	15.09			
	Mo	2.0 ~ 3.0 wt%	2.37	2.36	2.34			
	Co	≤ 0.10 wt%	0.03	0.03	0.03			
	B	0.0020 ~ 0.0060 wt%	0.0049	0.0050	0.0049			
	N	≤ 0.010 wt%	0.005	0.005	0.005			
	Ti	0.15 ~ 0.45 wt%	0.220	0.220	0.210			
Al	< 0.05 wt%	0.028	0.028	0.026				
機械的性質試験	引張試験	常温	引張強さ ≥ 70kg/mm ²			75.9	76.1	
			0.2%耐力 ≥ 60kg/mm ²			65.3	65.8	
			伸び ≥ 10%			15	14	
	引張試験	650℃	引張強さ ≥ 45kg/mm ²			57.3	57.6	
			0.2%耐力 ≥ 37kg/mm ²			51.9	52.6	
			伸び ≥ 7%			10	10	
	内圧破裂試験	破裂圧力 ≥ 1000kg/cm ²				1355	1360	
		降伏圧力 ≥ 900kg/cm ²				1280	1265	
	硬さ試験	Hv (0.5) ≤ 330	(1)				252	252
			(2)				262	246
(3)						268	259	
(4)						253	257	
(5)						272	259	
結晶粒度試験		ASTM E112 plate I No.6~9				7.5	7.5	
冷間加工度		15 ± 5 %	16	16	16	15	16	

表-8 部材ミルシート 58MK6材

被覆管 (2)-⑦
 インゴットNo. AC6018
 ロットNo. K581

検査元: (株)神戸製鋼所

項 目		規 格	結 果				
			インゴット上部	インゴット上部	製品(1)	製品(2)	
化 学 分	C	0.04 ~ 0.09 wt%	0.074	0.072	0.074		
	Si	0.50 ~ 1.00 wt%	0.77	0.80	0.79		
	Mn	1.50 ~ 2.00 wt%	1.80	1.85	1.82		
	P	0.010 ~ 0.040 wt%	0.026	0.026	0.026		
	S	≤ 0.010 wt%	0.003	0.003	0.004		
	Ni	28.5 ~ 31.5 wt%	30.40	30.69	30.54		
	Cr	13.5 ~ 16.5 wt%	15.06	15.15	15.07		
	Mo	2.0 ~ 3.0 wt%	2.63	2.64	2.48		
	Co	≤ 0.10 wt%	0.01	0.01	0.01		
	B	0.0020 ~ 0.0060 wt%	0.0035	0.0033	0.0024		
	N	≤ 0.010 wt%	0.001	0.002	0.002		
	Ti	0.15 ~ 0.35 wt%	0.230	0.250	0.270		
Nb	0.05 ~ 0.15 wt%	0.099	0.097	0.095			
Al	0.01 ~ 0.03 wt%	0.019	0.016	0.019			
機 械 的 性 質 試 験	引張試験	常温	引張強さ ≥ 70kg/mm ²		82.3	82.5	
			0.2%耐力 ≥ 60kg/mm ²		70.5	71.3	
			伸 び ≥ 10%		11	12	
	引張試験	650℃	引張強さ ≥ 45kg/mm ²		61.1	61.5	
			0.2%耐力 ≥ 37kg/mm ²		51.4	53.7	
			伸 び ≥ 7%		9	9	
	内圧破裂試験		破裂圧力 ≥ 1000kg/cm ²		1435	1400	
			降伏圧力 ≥ 900kg/cm ²		1370	1340	
	硬さ試験		Hv (0.5) ≤ 330	(1)		268	253
				(2)		258	262
(3)					250	262	
(4)					271	269	
(5)					261	255	
結晶粒度試験		ASTM E112 plate I No. 6~9			7.5	7.5	
冷間加工度		15 ± 5 %	18	18	19	18 18	

表-9 部材ミルシート 57MS1材

被覆管 (2)-①
 インゴットNo. V02286
 ロットNo. S573

検査元：住友金属工業(株)

項 目		規 格		結 果				
				インゴット上部	インゴット上部	製品(1)	製品(2)	
化 学 分	C	0.04 ~ 0.08	w t %	0.059	0.054	0.060		
	Si	0.30 ~ 0.70	w t %	0.46	0.45	0.49		
	Mn	1.30 ~ 2.00	w t %	1.68	1.74	1.80		
	P	0.015 ~ 0.040	w t %	0.024	0.024	0.033		
	S	≤ 0.010	w t %	0.004	0.004	0.005		
	Ni	14.5 ~ 16.5	w t %	15.42	15.35	15.35		
	Cr	14.0 ~ 16.0	w t %	15.10	15.20	15.05		
	Mo	2.0 ~ 3.0	w t %	2.47	2.37	2.57		
	Co	≤ 0.10	w t %	0.01	0.01	0.10		
	B	0.0020 ~ 0.0060	w t %	0.0053	0.0043	0.0043		
	N	≤ 0.010	w t %	0.005	0.005	0.006		
	Ti	0.15 ~ 0.45	w t %	0.25	0.20	0.25		
Al	< 0.05	w t %	0.032	0.032	0.031			
機 械 的 性 質 試 験	引張試験	常温	引張強さ	≥ 70kg/mm ²			76.3	76.5
			0.2%耐力	≥ 60kg/mm ²			68.4	72.3
			伸 び	≥ 10%			18	19
	650℃	引張強さ	≥ 45kg/mm ²			55.2	55.2	
		0.2%耐力	≥ 37kg/mm ²			47.7	47.7	
		伸 び	≥ 7%			10	11	
	内圧破裂試験	破裂圧力	≥ 1000kg/cm ²			1420	1420	
		降伏圧力	≥ 900kg/cm ²			1200	1260	
	硬さ試験	Hv (0.5) ≤ 330	(1)			243	238	
			(2)			240	253	
(3)					234	238		
(4)					244	266		
(5)					257	251		
結晶粒度試験		ASTM E112 plate I No.6~9				8.0	8.0	
冷間加工度		15 ± 5 %		16	16	16	16	

表-10 部材ミルシート 57MK3材

被覆管 (2)-③

インゴットNo. V 0 2 2 7 2

ロットNo. S 5 7 2

検査元：住友金属工業（株）

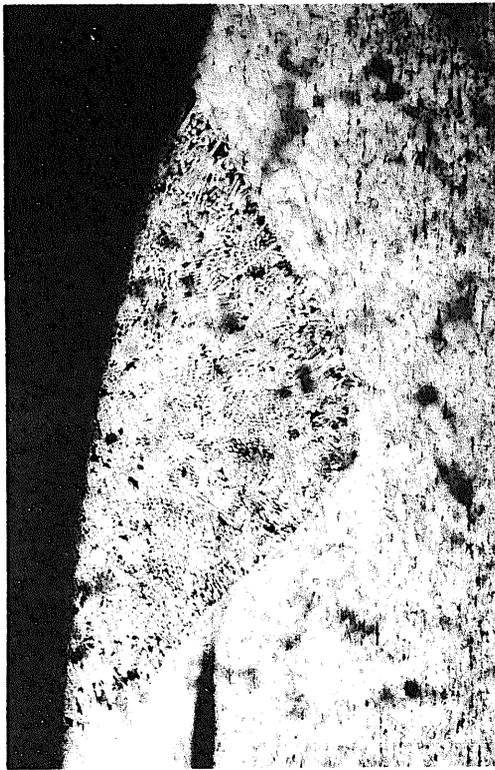
項 目		規 格	結 果					
			インゴット上部	インゴット上部	製品(1)	製品(2)		
化 学 分	C	0.04 ~ 0.08 wt%	0.057	0.055	0.050			
	Si	0.60 ~ 1.00 wt%	0.75	0.74	0.73			
	Mn	1.30 ~ 2.00 wt%	1.45	1.43	1.48			
	P	0.015 ~ 0.040 wt%	0.029	0.029	0.029			
	S	≤ 0.010 wt%	0.006	0.005	0.005			
	Ni	18.5 ~ 21.5 wt%	20.28	20.22	20.17			
	Cr	13.5 ~ 16.5 wt%	15.30	15.25	15.10			
	Mo	2.0 ~ 3.0 wt%	2.61	2.58	2.60			
	Co	≤ 0.10 wt%	< 0.01	< 0.01	< 0.01			
	B	0.0020 ~ 0.0060 wt%	0.0050	0.0045	0.0045			
	N	≤ 0.010 wt%	0.004	0.003	0.003			
	Ti	0.25 ~ 0.55 wt%	0.38	0.35	0.37			
Al	< 0.05 wt%	0.024	0.026	0.027				
機 械 的 性 質 試 験	引張試験	常温	引張強さ ≥ 70kg/mm ²			73.3	73.7	
			0.2%耐力 ≥ 60kg/mm ²			70.2	69.9	
			伸 び ≥ 10%			15	13	
	引張試験	650℃	引張強さ ≥ 45kg/mm ²			52.8	53.3	
			0.2%耐力 ≥ 37kg/mm ²			48.2	47.9	
			伸 び ≥ 7%			12	13	
	内圧破裂試験		破裂圧力 ≥ 1000kg/cm ²			1400	1410	
			降伏圧力 ≥ 900kg/cm ²			1240	1270	
	硬さ試験		Hv (0.5) ≤ 330	(1)			250	251
				(2)			259	259
(3)						253	255	
(4)						253	256	
(5)						249	256	
結晶粒度試験		ASTM E112 plate 1 No.6~9				8.0	8.0	
冷間加工度		15 ± 5 %	16	16	16	16	16	

表-11 部材ミルシート 58MS5材

被覆管 (2)-⑥
 インゴットNo V02302
 ロットNo S581

検査元：住友金属工業（株）

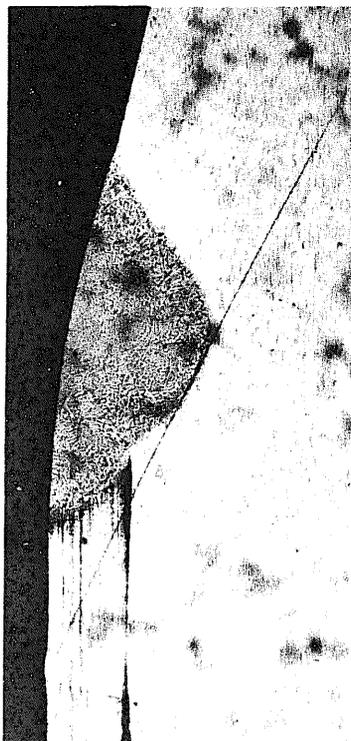
項目		規格	結果				
			インゴット上部	インゴット上部	製品(1)	製品(2)	
化学 成分	C	0.04 ~ 0.09 wt%	0.070	0.067	0.069		
	Si	0.50 ~ 1.00 wt%	0.72	0.68	0.75		
	Mn	1.50 ~ 2.00 wt%	1.98	1.97	1.97		
	P	0.010 ~ 0.040 wt%	0.024	0.023	0.025		
	S	≤ 0.010 wt%	0.004	0.004	0.005		
	Ni	18.5 ~ 21.5 wt%	19.55	19.60	19.50		
	Cr	13.5 ~ 16.5 wt%	15.25	14.90	15.05		
	Mo	2.0 ~ 3.0 wt%	2.54	2.51	2.51		
	Co	≤ 0.10 wt%	< 0.01	< 0.01	< 0.01		
	B	0.0020 ~ 0.0060 wt%	0.0047	0.0042	0.0040		
	N	≤ 0.010 wt%	0.007	0.007	0.007		
	Ti	0.15 ~ 0.35 wt%	0.25	0.26	0.24		
	Na + Ta	0.05 ~ 0.15 wt%	0.10	0.09	0.10		
Al	0.01 ~ 0.03 wt%	0.029	0.029	0.029			
機械的 性質 試験	引張 試験	常温	引張強さ ≥ 70kg/mm ²			77.2	78.2
			0.2%耐力 ≥ 60kg/mm ²			71.6	72.2
		伸び ≥ 10%			17	18	
	650 ℃	引張強さ ≥ 45kg/mm ²			55.4	55.7	
		0.2%耐力 ≥ 37kg/mm ²			48.7	49.2	
		伸び ≥ 7%			13	13	
	内圧破裂 試験	破裂圧力 ≥ 1000kg/cm ²			1340	1360	
		降伏圧力 ≥ 900kg/cm ²			1220	1220	
	硬さ試験	Hv (0.5) ≤ 330	(1)			259	262
			(2)			267	269
(3)					266	268	
(4)					259	274	
(5)					267	278	
結晶粒度試験		ASTM E112 plate I No.6~9				8.5	8.5
冷間加工度		15 ± 5 %	16	15	16	15	15



0.2 mm × 50

入熱量 19 [A] - 17 [A]

写真 - 1 金相写真



1 mm

入熱量 18 [A] - 16 [A]

× 25

写真 - 2 金相写真

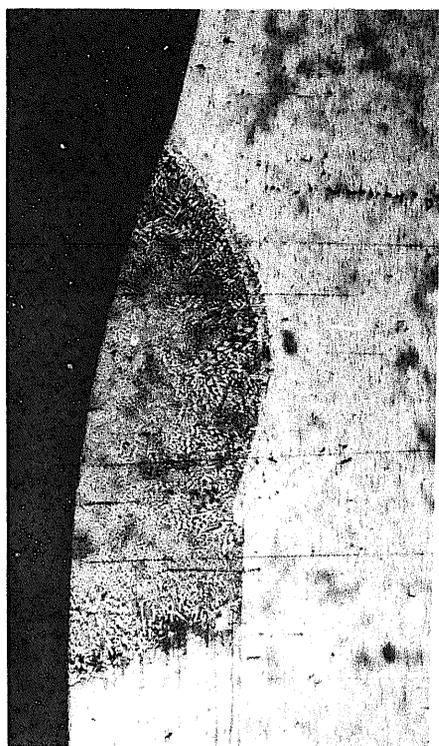


0.2 mm

× 50

入熱量 17 [A] - 15 [A]

写真 - 3 金相写真

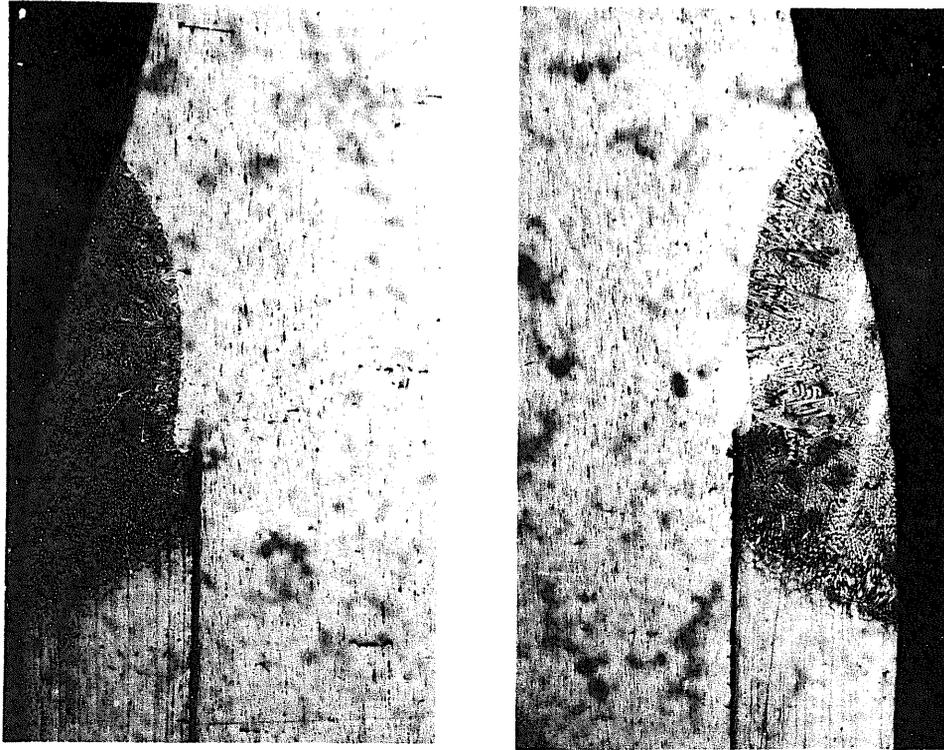


0.1 mm

× 50

入熱量 15 [A] - 13 [A]

写真 - 4 金相写真

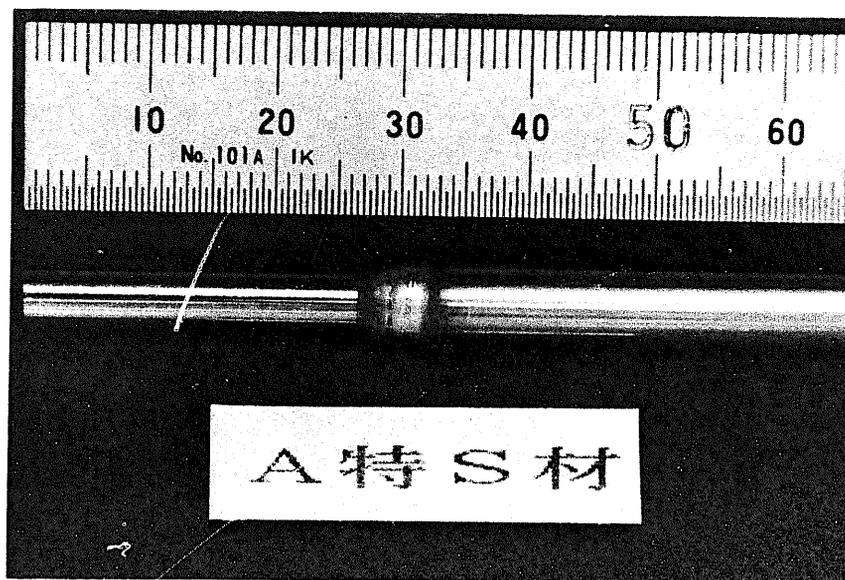


入熱量 13 [A] - 11 [A]

0.1mm

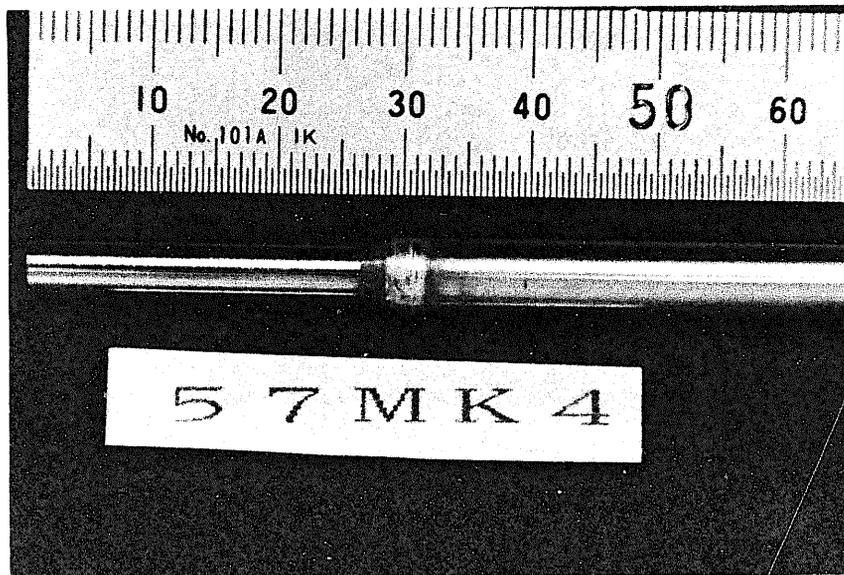
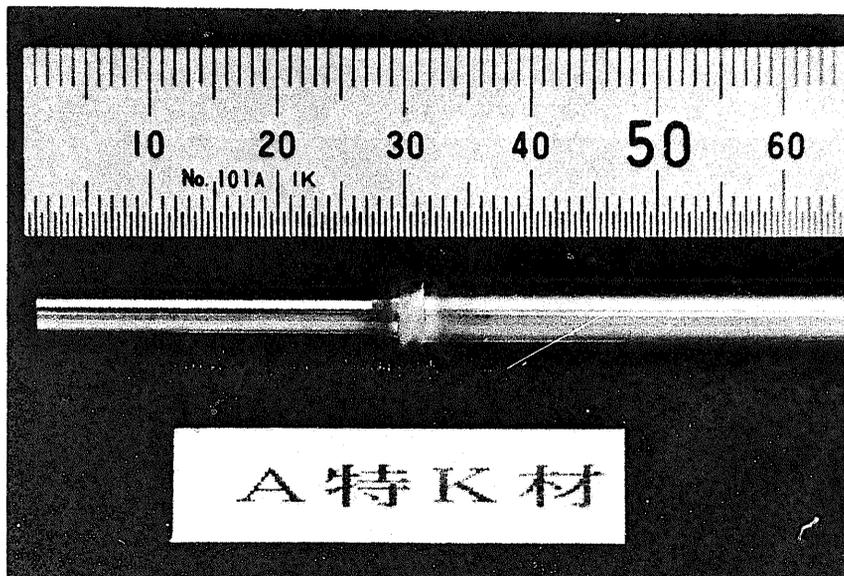
× 50

写真 - 5 金相写真



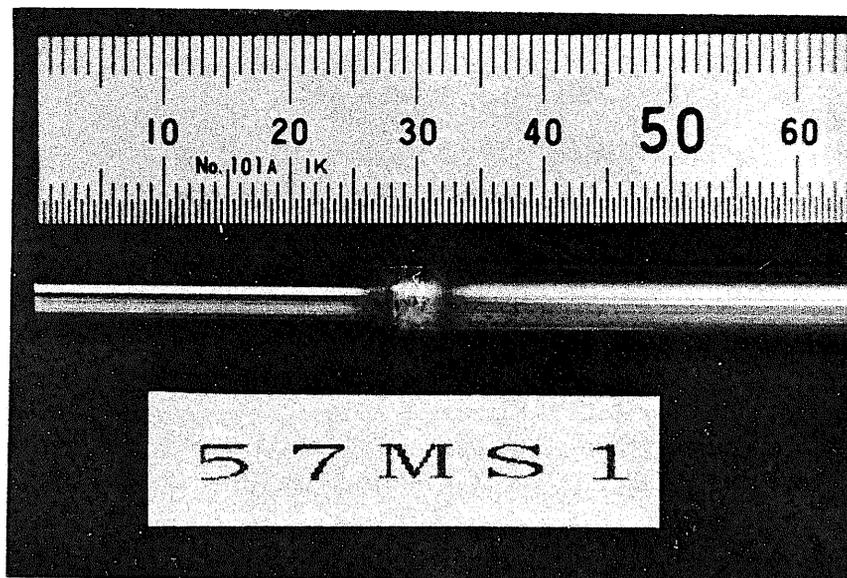
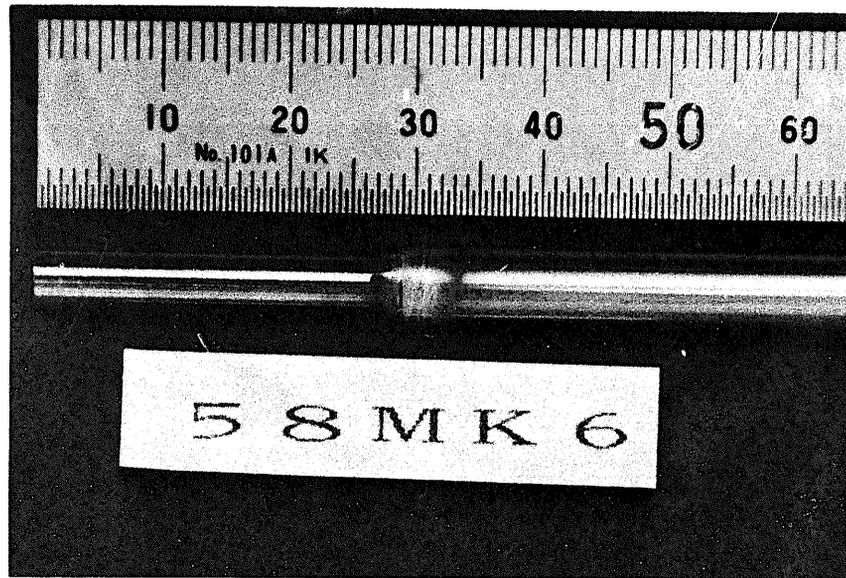
外觀写真

写真 - 6



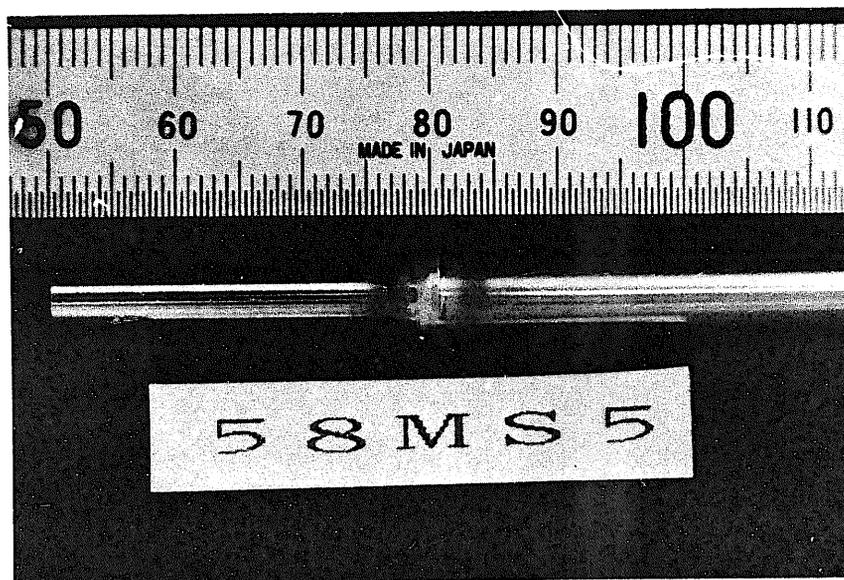
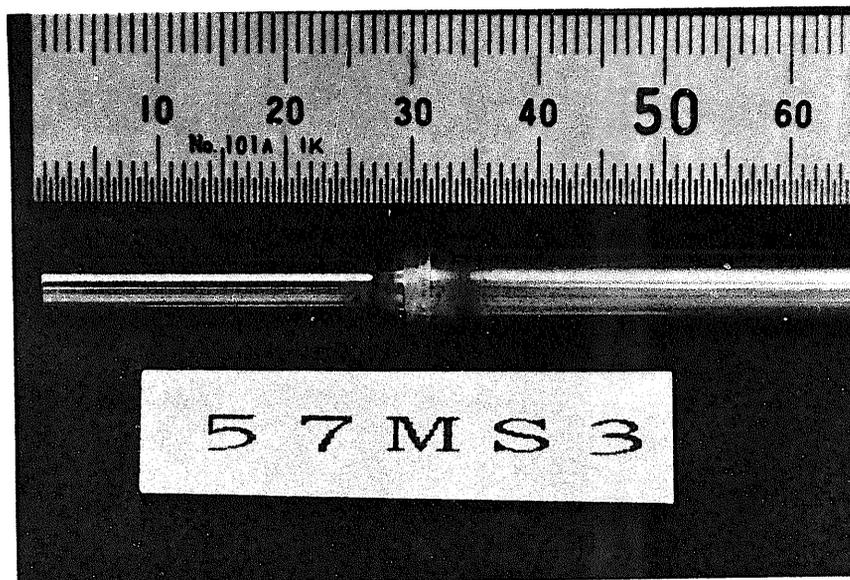
外觀写真

写真 - 7



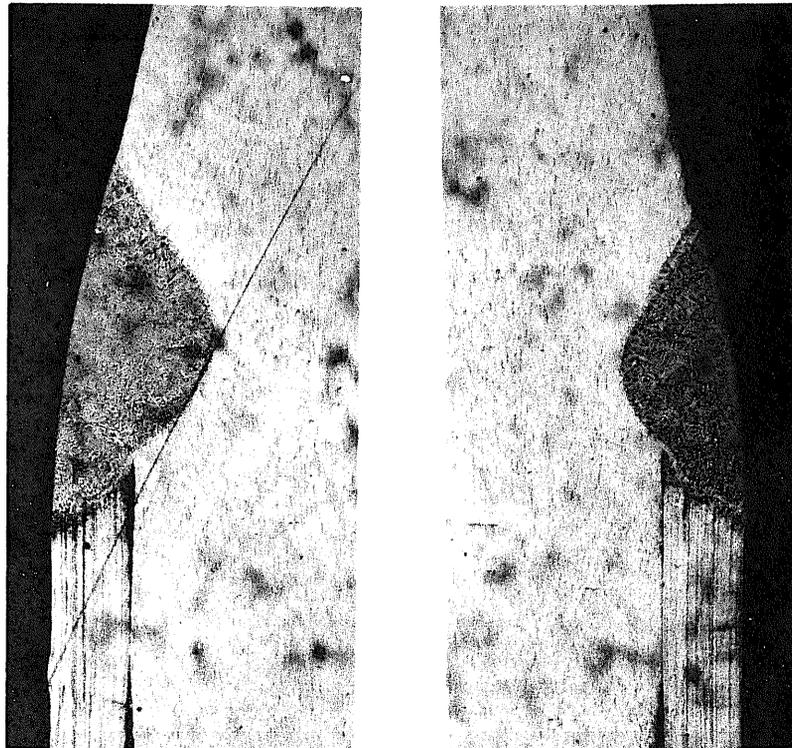
外觀写真

写真 - 8



外觀写真

写真 - 9



1 mm × 25

A特S材 (SUS 316相当鋼)

A・G 0.3 mm

写真-10 金相写真

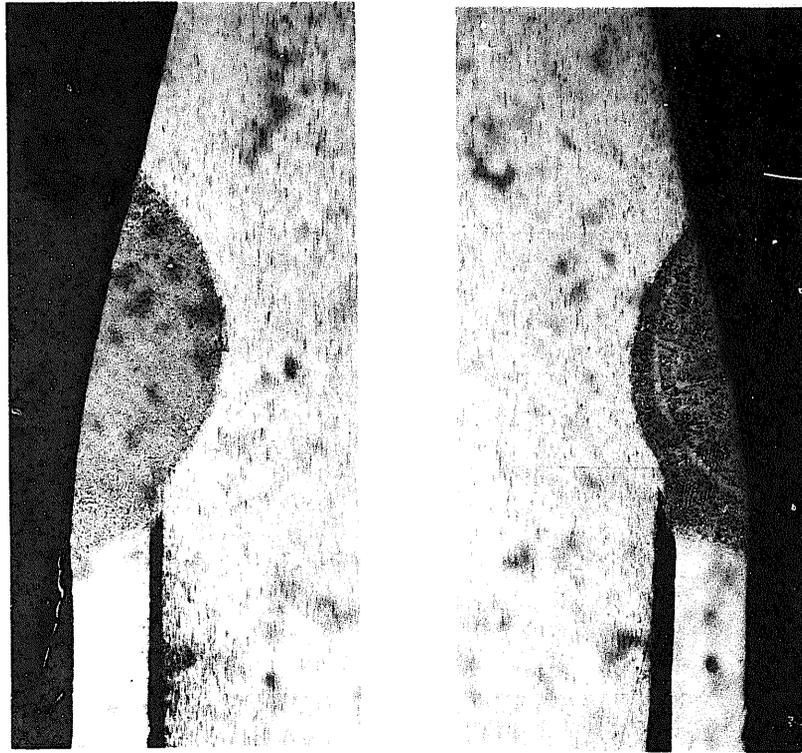


1 mm × 25

A特K材 (SUS 316相当鋼)

トーチ位置 0.1 mm

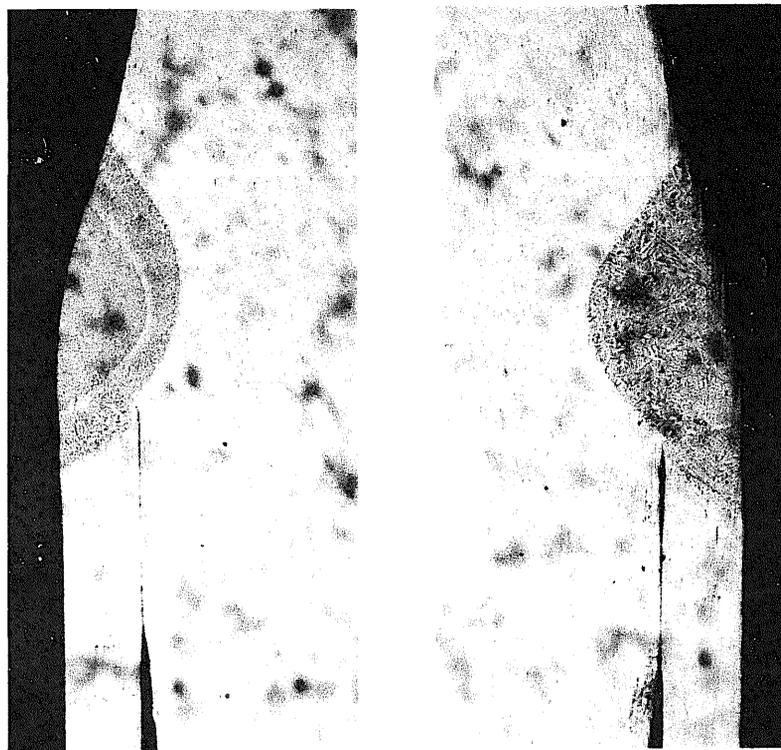
写真-11 金相写真



1 mm × 25

C 4 F 材 (改良オーステナイト鋼) (CEA)

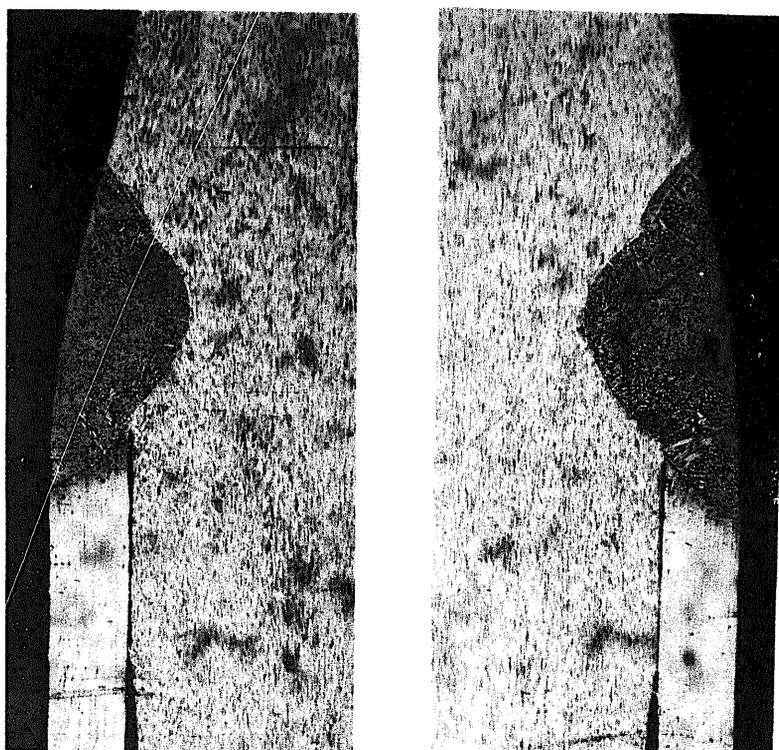
写真 - 1 2 金相写真



1 mm × 25

5 7 M K 4 (改良オーステナイト鋼)

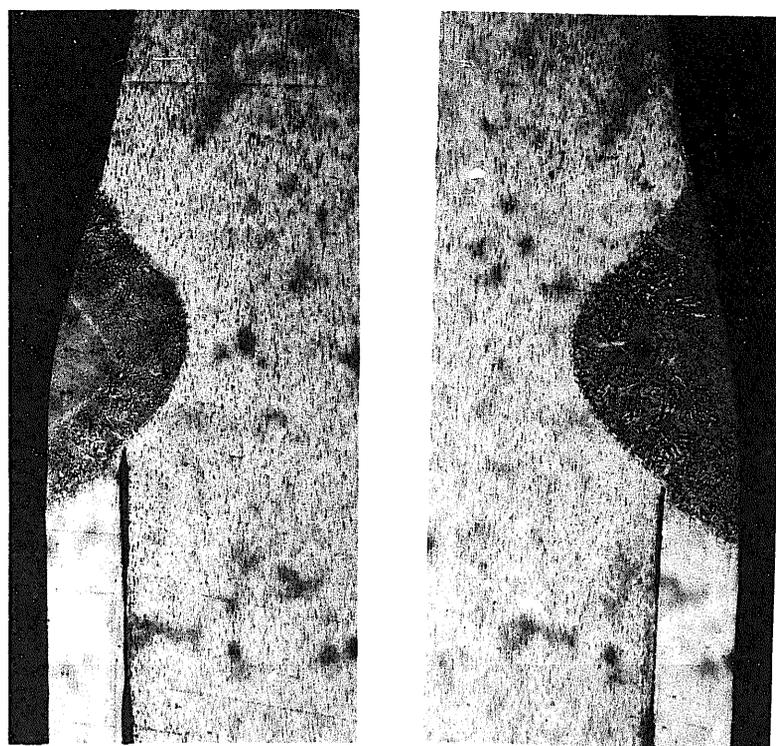
写真 - 1 3 金相写真



1 mm × 25

5 8 M K 6 (改良オーステナイト鋼)

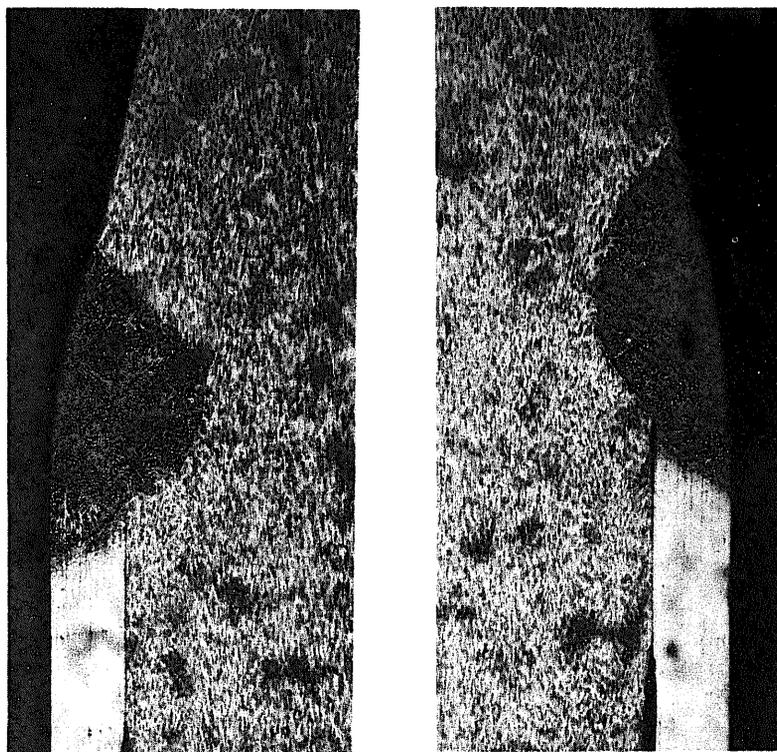
写真 - 1 4 金相写真



1 mm × 25

5 7 M S 1 (改良オーステナイト鋼)

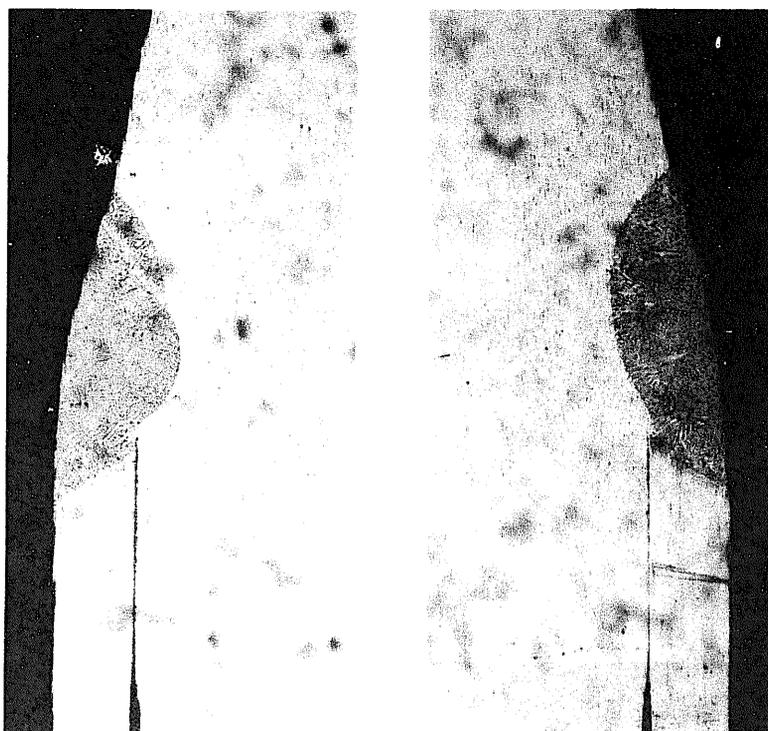
写真 - 1 5 金相写真



┌──────────┐
1 mm × 25

57MS3 (改良オーステナイト鋼)

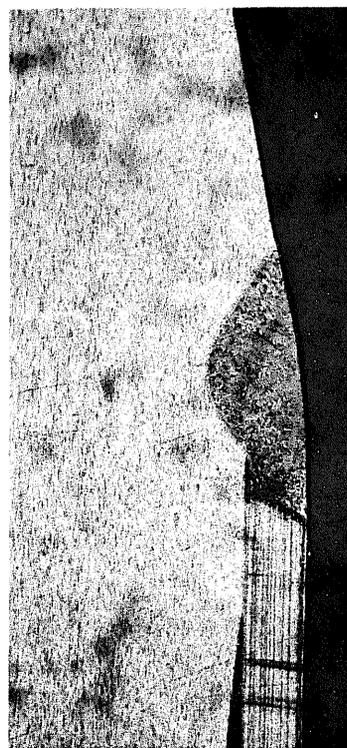
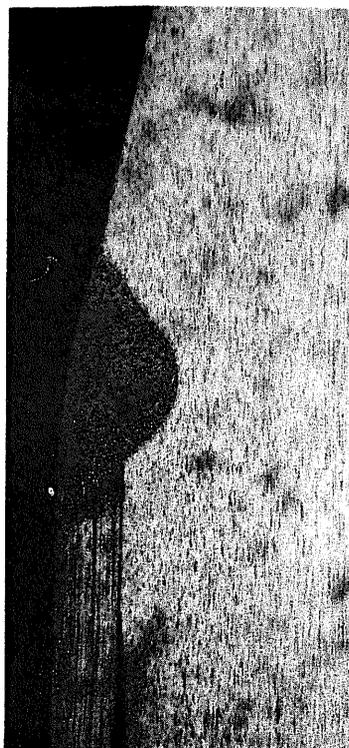
写真-16 金相写真



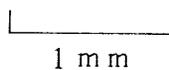
┌──────────┐
1 mm × 25

58MS5 (改良オーステナイト鋼)

写真-17 金相写真

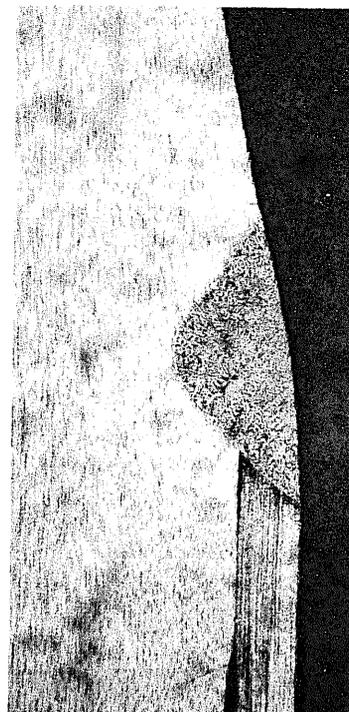


A · G 0.3 mm
卜一子位置 0.1 mm

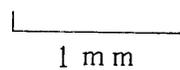


× 25

写真 - 18 金相写真

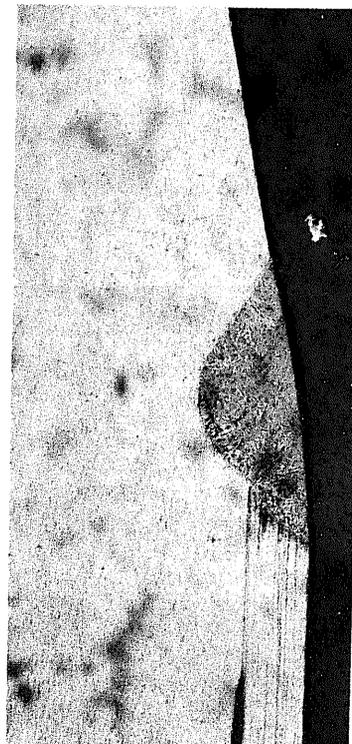
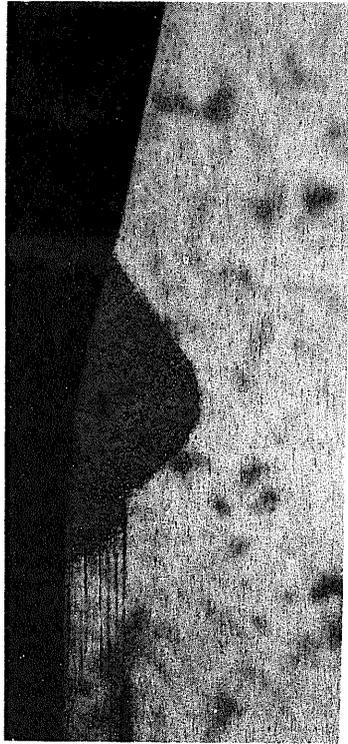


A · G 0.3 mm
卜一子位置 0.3 mm



× 25

写真 - 19 金相写真

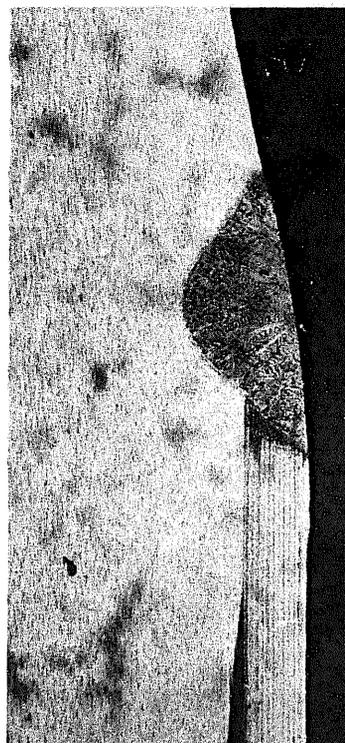
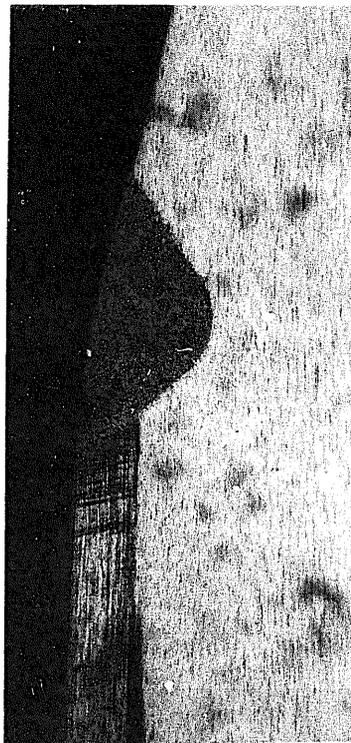


1 mm

A · G 0.3 mm
卜一子位置 0.4 mm
写真 - 2 0

金相写真

× 2 5



1 mm

A · G 0.3 mm
卜一子位置 0.5 mm

写真 - 2 1 金相写真

× 2 5

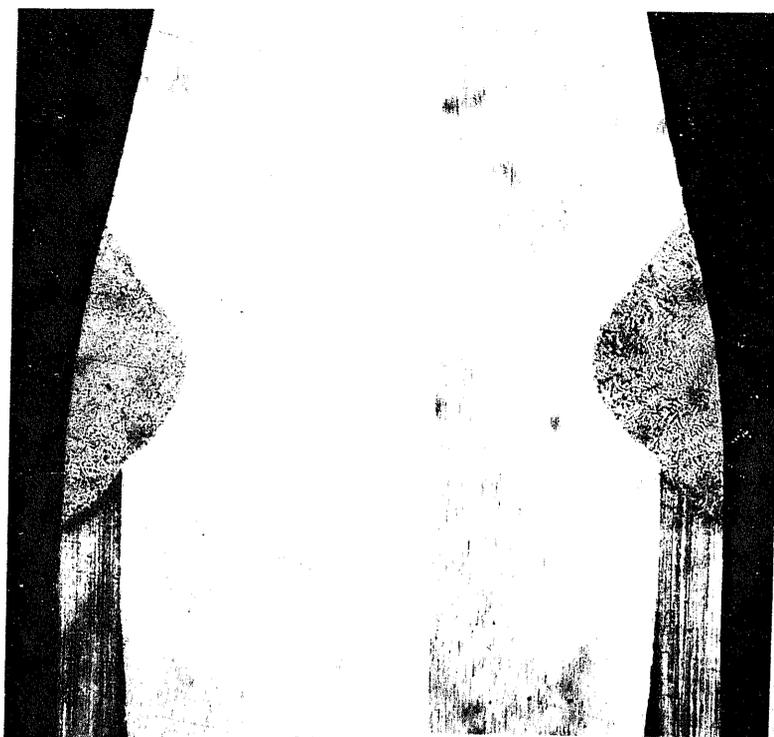


A · G 0.3mm
卜一子位置 0.6mm

1 mm

× 25

写真 - 22 金相写真



A · G 0.4mm
卜一子位置 0.1mm

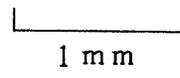
1 mm

× 25

写真 - 23 金相写真



A · G 0.4 mm
卜一子位置 0.2 mm

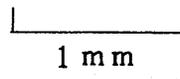


× 2 5

写真 - 2 4 金相写真

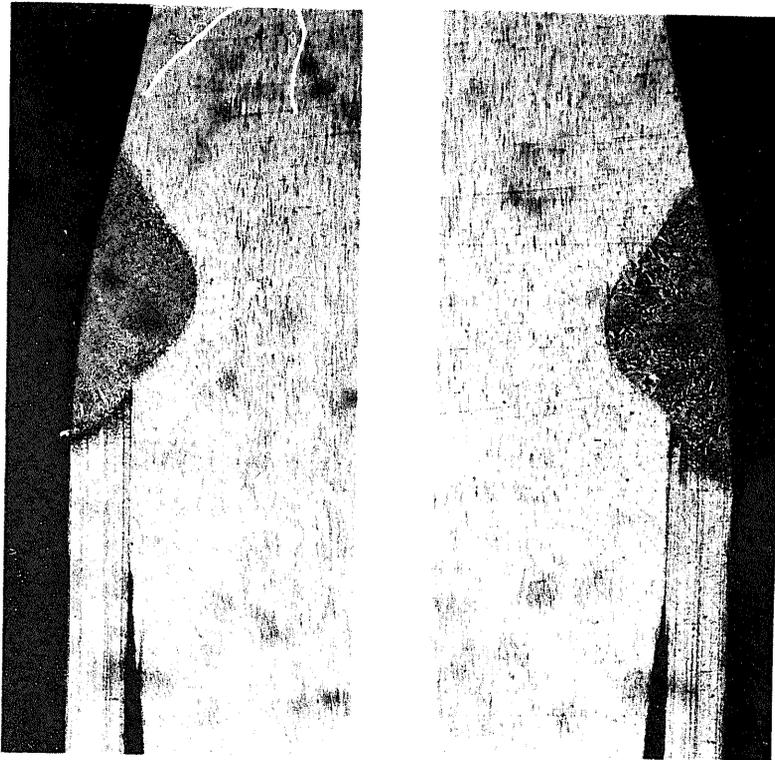


A · G 0.4 mm
卜一子位置 0.3 mm



× 2 5

写真 - 2 5 金相写真

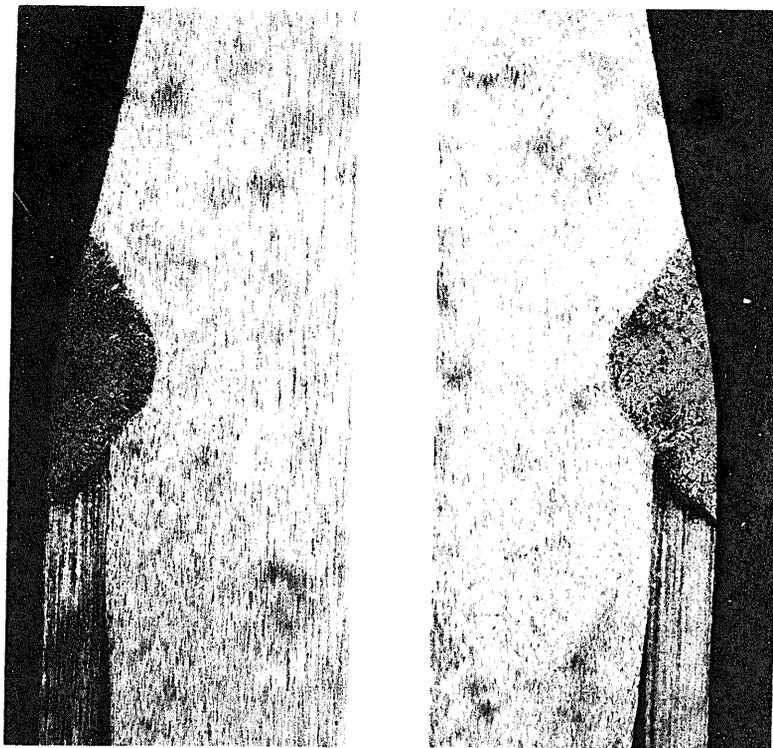


A · G 0.4 mm
卜 - 子位置 0.4 mm

1 mm

× 25

写真 - 26 金相写真

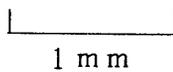
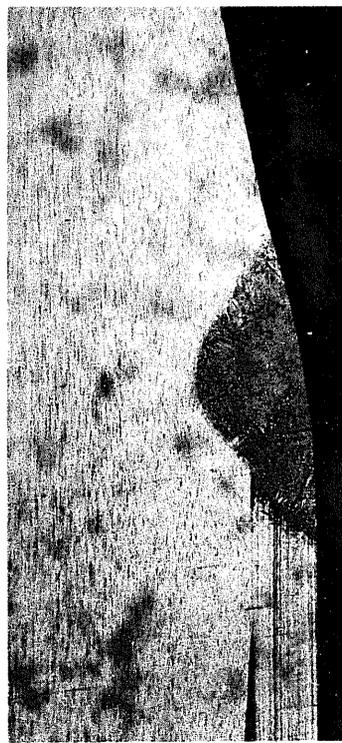


A · G 0.5 mm
卜 - 子位置 0.1 mm

1 mm

× 25

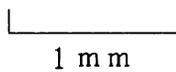
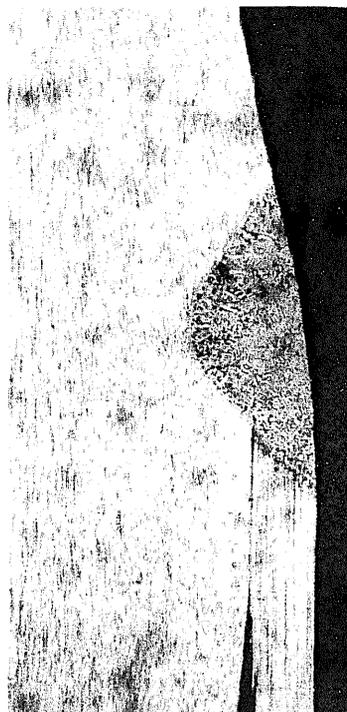
写真 - 27 金相写真



A · G 0.5 mm
卜一子位置 0.2 mm

× 2 5

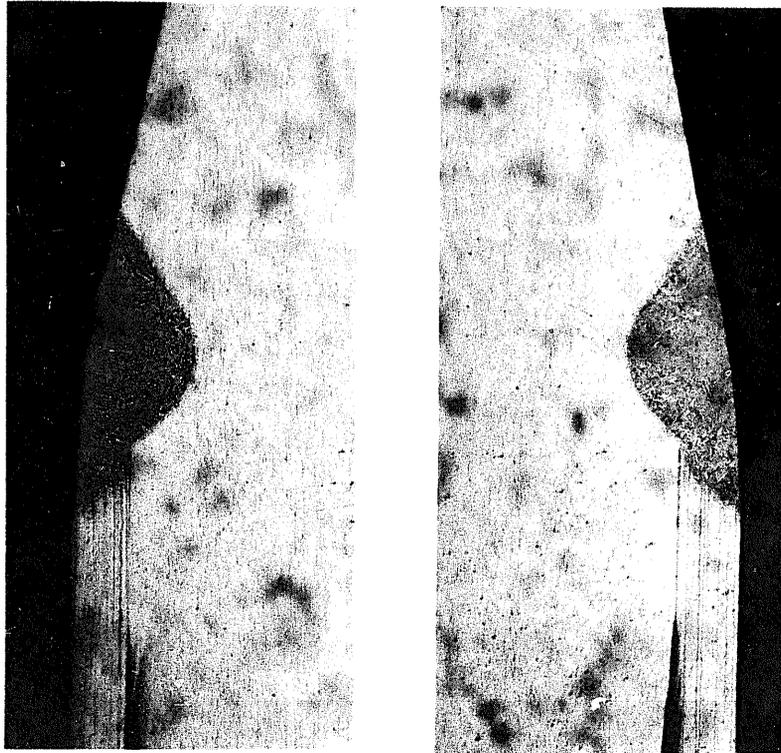
写真 - 2 8 金相写真



A · G 0.5 mm
卜一子位置 0.3 mm

× 2 5

写真 - 2 9 金相写真



A · G 0.5 mm
卜 - 子位置 0.4 mm
写真 - 3 0

1 mm

× 2 5

金相写真



A · G 0.6 mm
卜 - 子位置 0.5 mm
写真 - 3 1

1 mm

× 2 5

金相写真

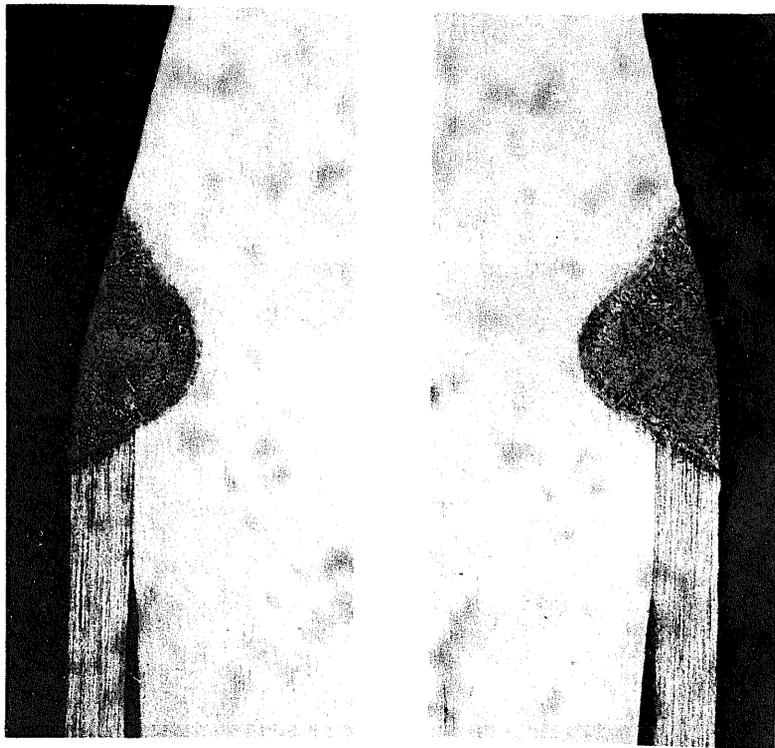


┌──────────┐
1 mm

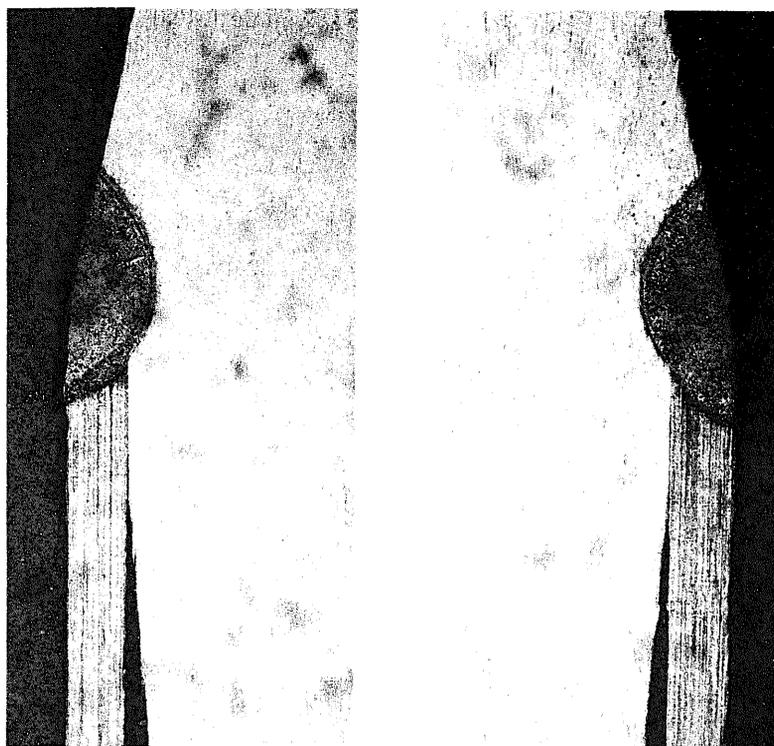
A · G 0.6 mm
ト一チ位置 0.1 mm

× 2 5

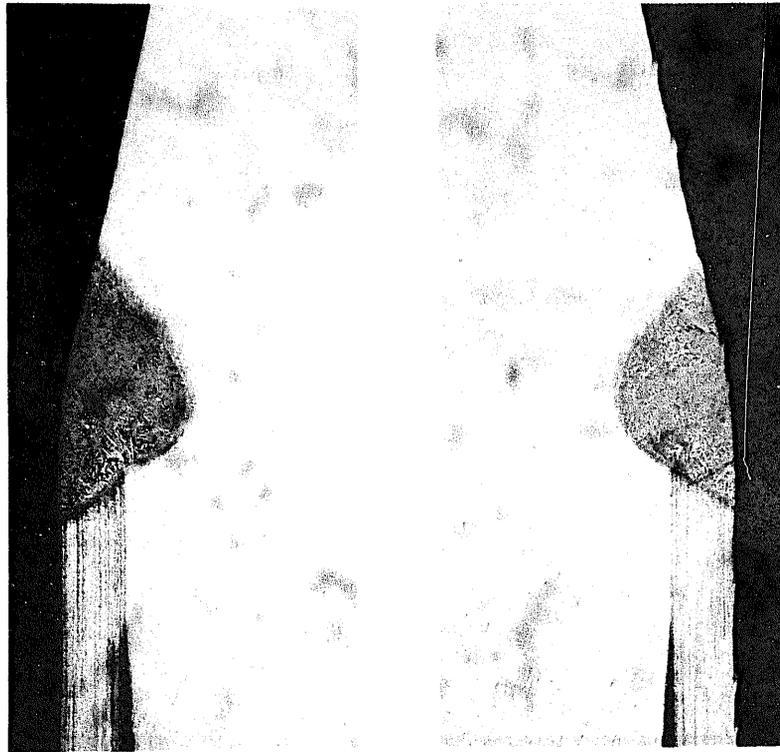
写真一 3 2 金相写真



端栓寸法公差 $\phi 6.3$ $+0$ -0.05 mm $\times 25$
写真 - 3 3 金相写真



端栓寸法公差 $\phi 6.4$ $+0$ -0.05 mm $\times 25$
写真 - 3 4 金相写真



端栓寸法公差

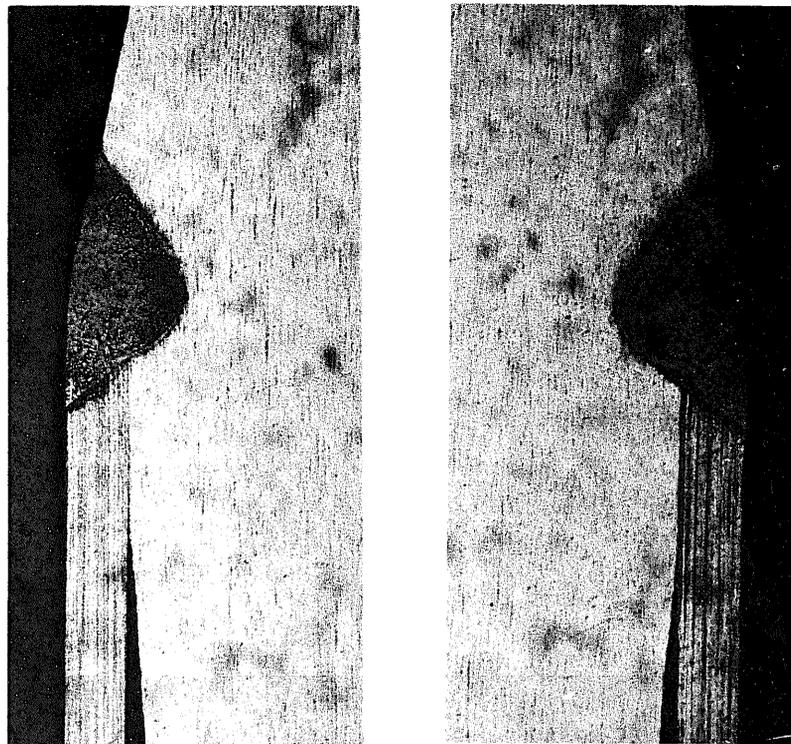
$\phi 6.5$

+0
-0.05 mm

1 mm

$\times 25$

写真 - 3 5 金相写真



端栓寸法公差

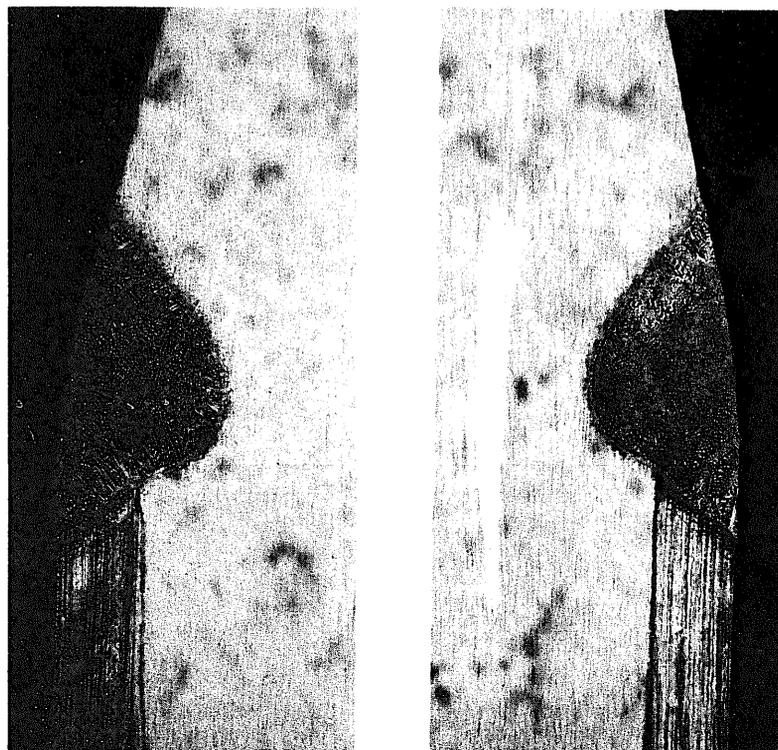
$\phi 6.5$

+0.05
+0 mm

1 mm

$\times 25$

写真 - 3 6 金相写真



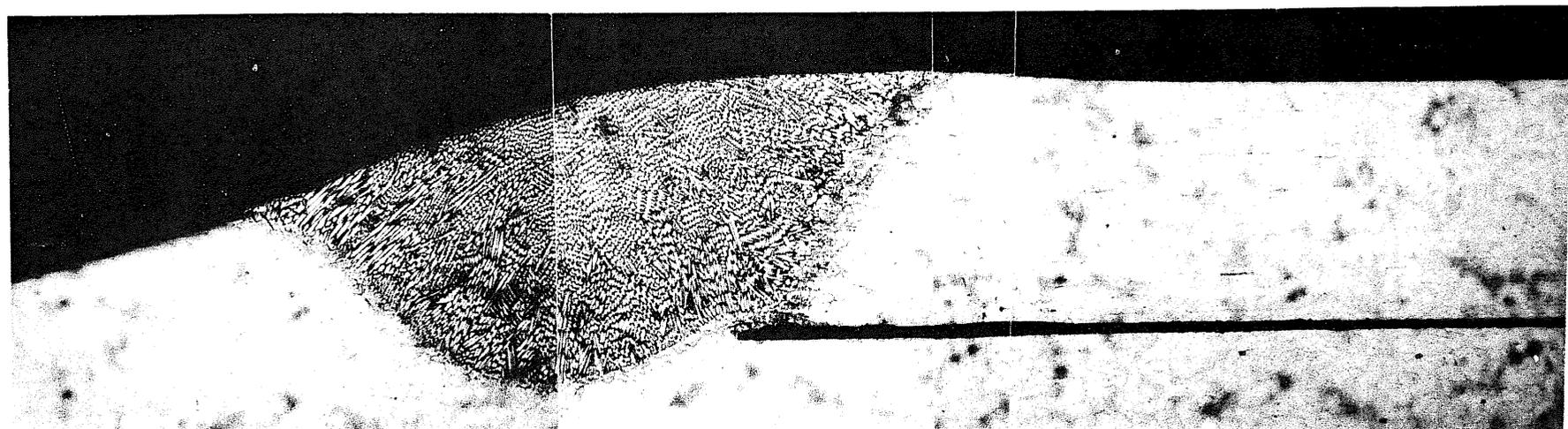
┌──────────┐
1 mm

× 25

+ 0.05

端栓寸法公差 $\phi 6.5 - 0.02 \text{ mm}$

写真 - 37 金相写真



X 1 0 0

写真 - 3 8 断面金相写真 (改良型端栓)

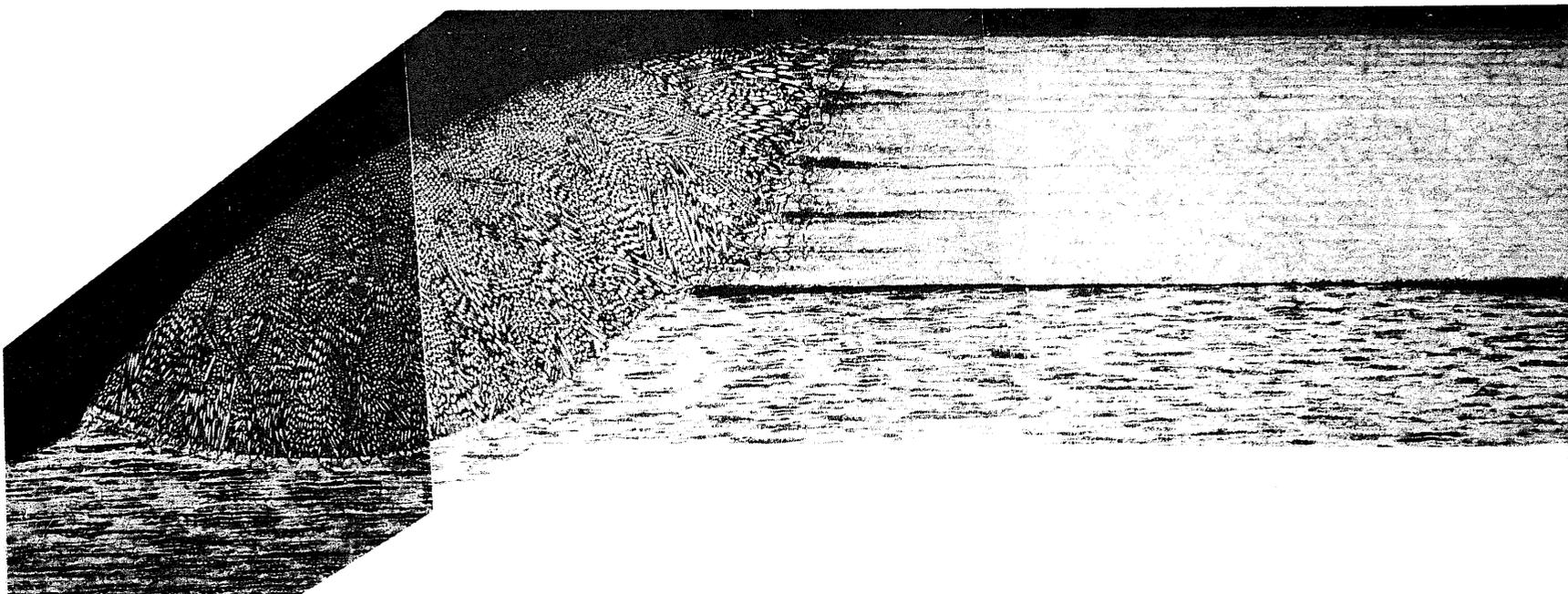


写真 - 3 9 断面金相写真 (ツバ型端栓) X100



× 2 5

写真 - 4 0 断面金相写真 (改良型溝付端栓)