

特殊鋼に応用した超音波探傷法に就いて

山中輝夫* 古川巖**

Application of Ultrasonics to Special Steel Inspection

By Teruo Yamanaka and Iwao Furukawa
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In order to study the usefulness of the ultrasonics for the inspection of special steel products in the course of their production the writers compared the inspectional characteristics of the ultrasonic testing with several types of destructive examinations such as macro-etching, fracture test, magnaflux test and sulphur prints, etc. As test pieces, special steel products having various internal defects were used. The comparative study has led to the conclusions which are summarised as follows:

- (1) The ultrasonic testing proves to be both practicable and effective in the inspection of the steel in the course of manufacturing, if applied to a well prepared object under the correct handling of the probing equipment, and given a right judgement on the echo.
- (2) The destructive examinations, on the other hand, in spite of their common demerits that they need to resort to sampling method and to break the specimen for testing, are considered to have undeniable merits in the fundamental study of the internal defects, each test with its particular feature to be utilized in examination.
- (3) When the customer's requirements for the inspection of the products are more exacting than normal, the combined use of both ultrasonic and destructive testing will be appropriate.

〔I〕 緒 言

特殊鋼々材に生ずる欠陥は外部欠陥と内部欠陥とに分けられ、前者は外貌検査で全面的検査が適用可能でその信頼性も高いといわれる。これに対し後者はその特質上決定的な検出法が見当らず、従来その検出信頼度も低いといわれている。

特殊鋼々材に生ずる有害な内部欠陥に対する検査法は従来すべてマクロ検査、破面検査、硫貼写、穿孔検査等の抽出破壊検査法と、単純な欠陥は肉眼で微細なものは磁気探傷法でそれぞれ表面上より検査⁽¹⁾を行っていた。

これに対し非破壊検査として実用に供されつゝあるものゝ中で一般的に提唱されている超音波探傷法が挙げられる。本法の特長は全面的検査が簡易に遂行され且つ検

出信頼性が高いといわれている。

日立製作所安来工場に於てもこの点に着眼し、鋼品質の保証、生産技術の向上、加工合理化等を標榜に、超音波探傷器を設置しこれが実用化を図つた。

しかしながら、本法に関する研究発表⁽²⁾⁽³⁾は現場即応的内容が見当りにくいようで、殊に特殊鋼に生ずる多岐多様な欠陥に就いての実用的研究発表は少いようで、著者等は実用上幾多の難点に逢着した。

よつて著者等は長期間中に蒐集した欠陥を内蔵する特殊鋼々材を実験に供し、本法の実用化を決定づけるために各種の研究を行つた。即ち先づ探傷器の検出特性を探求し、更に従来の破壊検査法と本法の検出結果を比較対照し検討を加えた結果、本法と前者の検出特長とを併用すれば多岐多様な特殊鋼々材の内部欠陥に対して検出信頼度は旧来の方法にも倍して十分高いことを確認した。

* ** 日立製作所安来工場

第 1 表 試 料 明 細

Table 1. Details of Specimens

試料番号	鋼 類	分 析 成 分 (%)									寸 度 (mm)		
		C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	径 (φ)	長	
1	純 Al	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	200	学振 I 型感度標準試験片 自家製感度標準試験片
2	不 銹 鋼	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90×90×90		
3	肌 焼 鋼	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	200	探 求 用 試 験 片
4	肌 焼 鋼	—	—	—	—	—	—	—	—	—	110	80	
5	鍛 造 型 鋼	0.62	0.25	0.77	1.42	1.34	—	0.30	—	—	550×400×350		内部欠陥探査用試料
6	不 銹 鋼	—	—	—	—	—	—	—	—	—	鋼 塊		
7	高 速 度 鋼	0.75	0.10	0.36	0.09	4.04	12.63	—	1.60	3.99	150	170	
8	特 殊 工 具 鋼	1.05	0.23	0.40	0.01	0.68	1.02	—	—	—	120	100	
9	強 靱 鋼	0.34	0.22	0.73	0.12	1.15	—	0.17	—	—	80	110	
10	打 抜 型 鋼	1.31	0.25	1.11	—	1.22	1.61	—	—	—	170	440	
11	高 速 度 鋼	0.89	0.03	0.43	Tr	4.48	12.35	—	1.75	4.48	130	150	
12	炭 素 鋼	0.34 0.39	—	0.58 0.59	—	—	—	—	—	—	148	21	
13	高 速 度 鋼	0.79	0.12	0.32	—	4.25	12.24	—	1.96	3.88	140	210	
14	高 速 度 鋼	0.75	0.13	0.36	—	4.16	11.98	—	2.00	—	130	300	
15	特 殊 工 具 鋼	1.30	0.34	0.49	0.14	0.96	4.74	—	—	—	150	1,130	
16	鍛 造 型 鋼	0.61	0.19	0.51	1.33	1.12	—	0.32	—	—	500×450×350		
17	ダ イ ス 鋼	1.56	0.14	0.39	0.16	12.00	—	0.60	0.46	—	140	140	

〔II〕 試 料 及 び 研 究 方 法

(1) 試 料

本研究に使用した試料は、標準及び探求用試験片を含む 49 箇を採取して実験に供し、その中の代表的な 17 箇を選定して第 1 表に掲げた。これを下記の方法により検査面加工を施して後実験に供した。

工作機械による平削又は
グラインダーによる平削} → (中目鏡均らし)

→ バッフィング或はペーパー掛け } → 実験
12S~25S 程度 (▽程度)

(2) 研 究 方 法

従来実施し来つた内部欠陥検査結果とこれに対して超音波探傷検査結果との比較検討を行つた。先づ検出能の未知な超音波探傷器に対して検出能探求用試験片を用いて検出特性の探求を行つた。次いで磁気探傷, マクロ検査, 硫貼写, 破面検査, 顕微鏡検査等の従来より行つて来た検査法と, 超音波探傷検査法とを併せ行い, 検査結果の比較検討を行つた。

〔III〕 予 備 実 験

鋼材の内部欠陥は多岐に亘るがそのうち特に本実験関係にて取上げた有害なものはこれを第 2 表に示し, それの検査法は第 3 表に示す通りである。

超音波探傷器は統一規格がなくその特性並びに仕様は製作者及び型式によつて区々な現状で, 探傷結果の抽象的表現では不十分で, 予備実験としては比較数値を探求し, 観測の基準化をはかつた。なおこゝでは現場検査上必要とする検出特性に就いて研究を行つた。

標準試験片及び定義等, 学振製鋼第 19 小委第 3 分科

第 2 表 鋼 の 内 部 欠 陥

Table 2. Internal Defects of the Steels

鋼 塊	鋼材及び鋼片	鋼 塊	鋼材及び鋼片
収 縮 管 Shrinkage	収 縮 管 Shrinkage	偏 析	偏 析
カビ	カビ	砂	疵
気 泡	気 泡	—	揉
毛 割	毛 割, 白 点	—	焼
初 晶 割	初 晶 割	—	時 効
ゴ ー ス ト	ゴ ー ス ト	—	割

第 3 表 内 部 欠 陥 検 査 法

Table 3. Inspecting Method for the Internal Defects

区 分	検 査 別	摘 要
非 破 壊 検 査	肉 眼 検 査 熱 間 剪 断 面 検 査 磁 気 探 傷 検 査	切断面, 剪断面等検査面表面に現われているもののみ検出可能
	電 磁 気 探 傷 検 査*	
	放 射 線 検 査* 超 音 波 探 傷 検 査	内蔵欠陥を外部より検出可能
破 壊 検 査	マ ク ロ 検 査 破 面 検 査 穿 孔 検 査 据 込 検 査 硫 貼 写 顕 微 鏡 検 査 周 面 削 検 査	検査面に現われたもののみ検出可能

(註) * 印 実施してはいないが比較参考のため記載

会超音波探傷法協議会(以下学振と略記する)既制定のものにはこれに準拠した。

(1) 使用超音波探傷器

本研究に使用した探傷器の仕様は第4表に示す通りのものである。

なお発振周波数は特に記入しない限り 2 Mc を使用し、垂直反射探傷法により探査を行つた。

(2) 探傷図形反射表示

筆者等は先づブラウン管面上の反射映像を観測し、表現し、比較或は記録するために先づ図形反射表示の方法を設定した。即ちブラウン管映像の見取図及び表示記号は第1図及び第5表に示す通りである。このうちで一般観測に於て重視するのは次に示す事項である。

超音波ビームのパワーの到達度

或は透過度..... H_1/H_0

欠陥反射率..... h_1/H_1

欠陥までの距離..... S_1

これに 減衰波回数..... N を観測する場合もある。

また欠陥反射率 h_1/H_1 の代りに欠陥反射高さ h_1 を以て観測値とする場合もある。

(3) 感度標準試験片

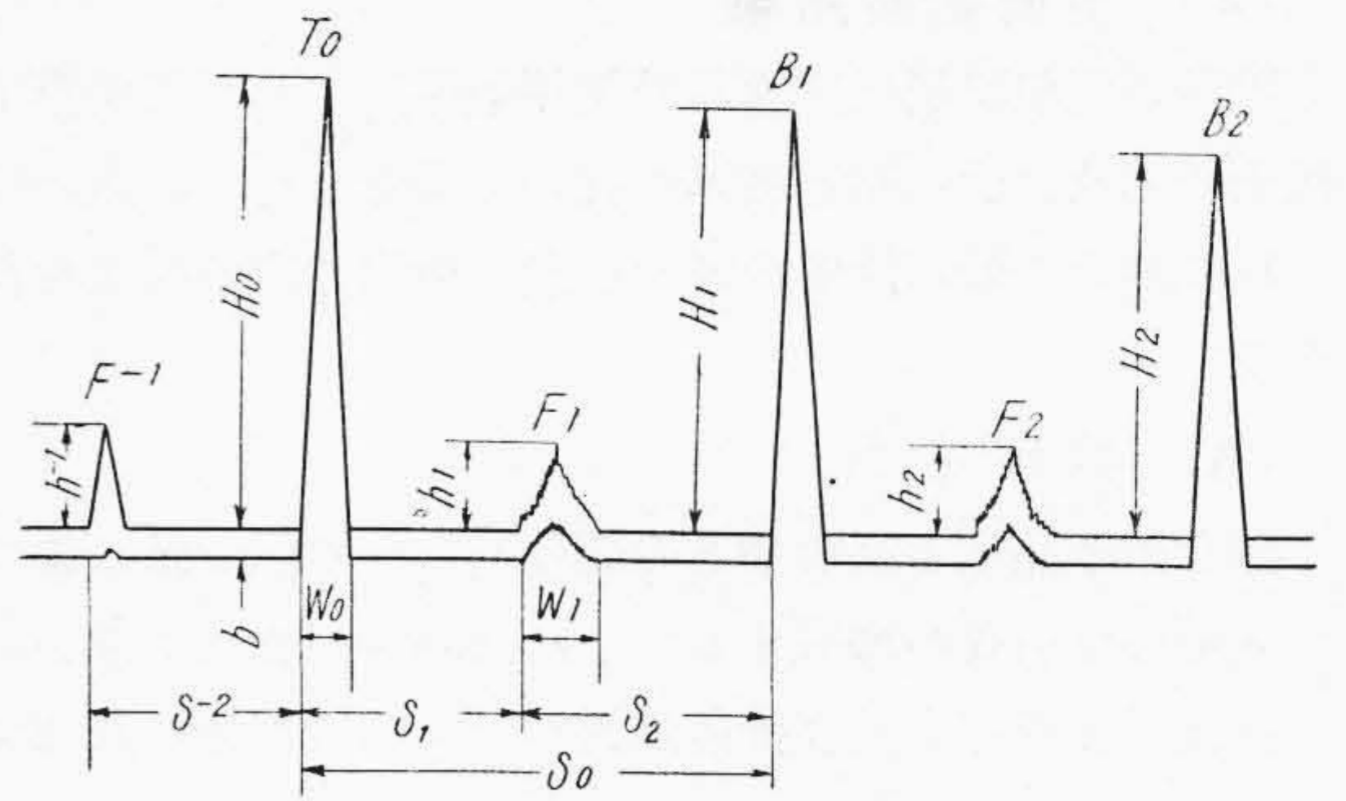
超音波探傷器に於ては作動状態の表示装置がなく、一般にこの検定は感度標準試験片によつて行われている。

本実験では学振制定の A1 製標準試験片を用い、なお常時現場で使用するものは不銹鋼で作つた自家製の標準試験片で、これらの仕様は第2図及び第3図にそれぞれ示す通りのものである。

第4表 使用超音波探傷器の仕様

Table 4. Specification of Ultrasonic Equipment

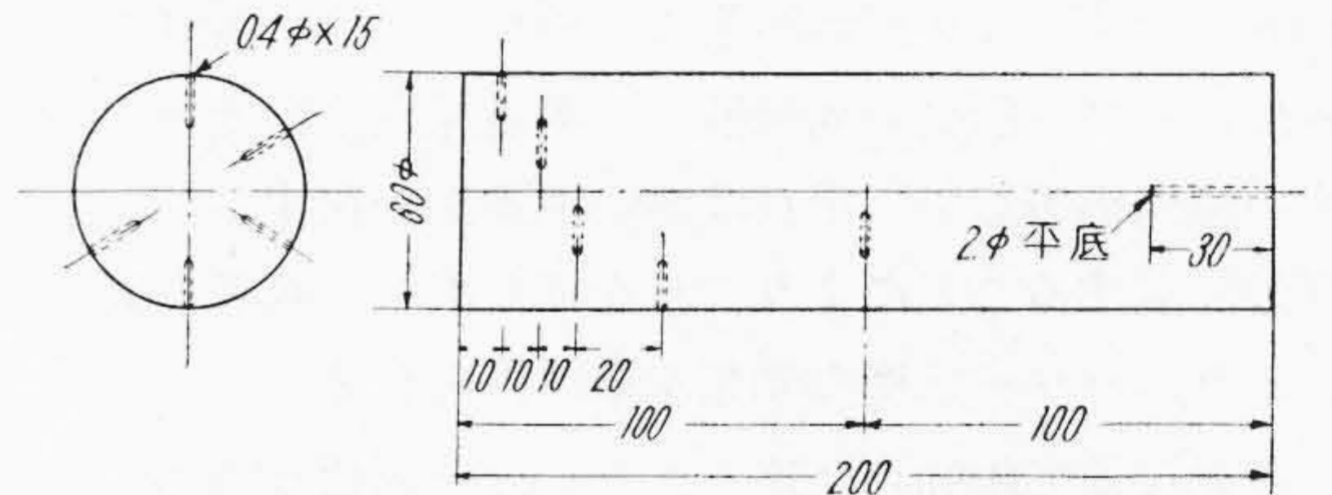
製 作 者	日立製作所中央研究所					
電 源 電 圧 及 び 周 波 数	100V, 60~					
発 振 周 波 数 (Mc)	0.5, 1, 2, 4					
繰 返 し 周 波 数 (～)	1,000, 200					
時 間 軸 目 盛 (10^{-6} sec)	10 (5.81 cm 相当)					
ブ ラ ウ ン 管 直 径 (mm)	120					
探 査 子 型 式	無接地電極二探査子型					



T_0 = 送信パルス H_0 = 送信パルス高さ W_0 = 送信パルス幅
 B_1 = 底面一次反射 H_1 = 底面一次反射高さ F_1 = 欠陥反射
 h_1 = 欠陥反射高さ W_1 = 欠陥反射幅 S_1 = 欠陥距離
 S_0 = 試験片寸度 F^{-1} = 前面反射 h^{-1} = 前面反射高さ

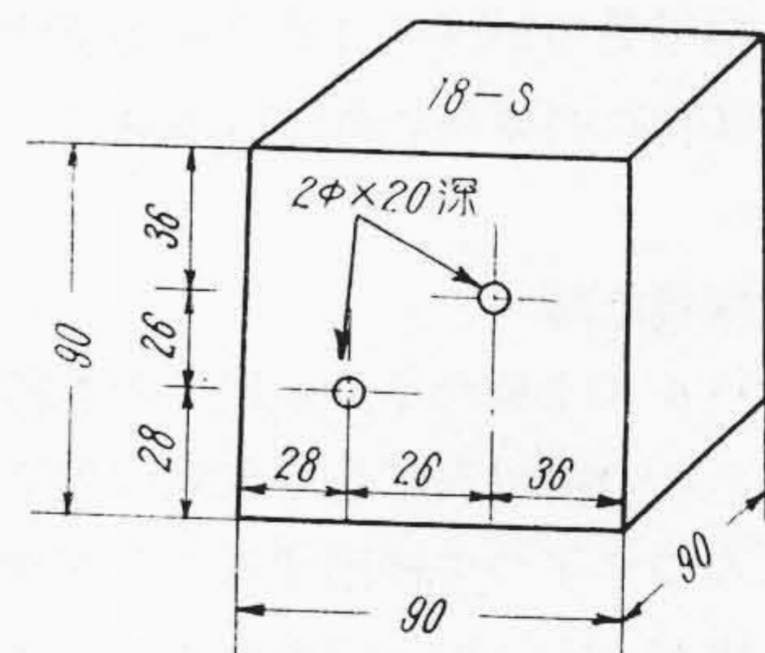
第1図 探傷図形反射表示

Fig.1. Indication of Inspected Pattern



第2図 感度標準試験片 (学振1型)

Fig.2. Standard Test Piece for the Sensibility (Type No. 1 of Gakushin)



第3図 感度標準試験片 (自家製)

Fig.3. Standard Test Piece for the Sensibility (Prepared by Writers)

第5表 探傷図形反射表示

Table 5. Indication of Reflecting Inspected Pattern

名 称	送信パルス (mm)		底 面 反 射 (mm)				欠 陥 反 射 (mm)			基線厚さ (mm)	欠陥反射率 (%)	前面反射 (mm)
	高 さ	幅	一 次	二 次	第 n 回目	減衰波回数	高 さ	距 離	幅			
記 号	名称	T_0	—	B_1	B_2	B_n	—	F	—	—	—	—
	数值	H_0	W_0	H_1	H_2	H_n	N	h_1	S	W_1	b	h_1/H_1

(4) 予備実験結果

映像の反射状況は探傷器の使用条件、主として探査子接着圧力及び受信器感度等に就いて調査を行い、次いでこれに基づいて最短探傷距離及び最小検出寸度の探求を行った。

(A) 接着圧力

探査子水晶板と探査面との間のパワーの伝受量によって映像の反射量が増減する。これは同一探査面に就いていえば、接着圧力及び接着媒質が主として影響を及ぼすものとみられる。この接着圧力に就いて研究を行った。

調査の方法は $40\text{ mm}\phi \times 80\text{ mm}L$ の円盤試験片の $2.0\text{ mm}\phi \times 15\text{ mm}$ 深さの穿孔よりの反射量をスプリングバランス上で接着圧力を変化しながら反射高さを測定した。その状況は第4図に、測定結果は第5図に示す通りである。即ち底面反射高さ H_1 は接着圧力 0.8 kg/cm^2 で、又穿孔よりの反射高さ h_1 は 1 kg/cm^2 でそれぞれ飽和を示す。なお実験結果より得たことは、垂直加圧のみではパワー伝受の効果低く、接着媒質の粘度の高い程その傾向が著しい。それは厚い油膜が介在するからで、摺動接着することによりこれを押し潰して両者の接着をはかり、パワー伝受の効果を挙げ得られる。

摺動接着で飽和点に達したならばその儘垂直加圧を続けて飽和点に保持しつつ観測又は写真撮影を行う方が好結果を得た。

(B) 受信器感度と反射高さとの関係

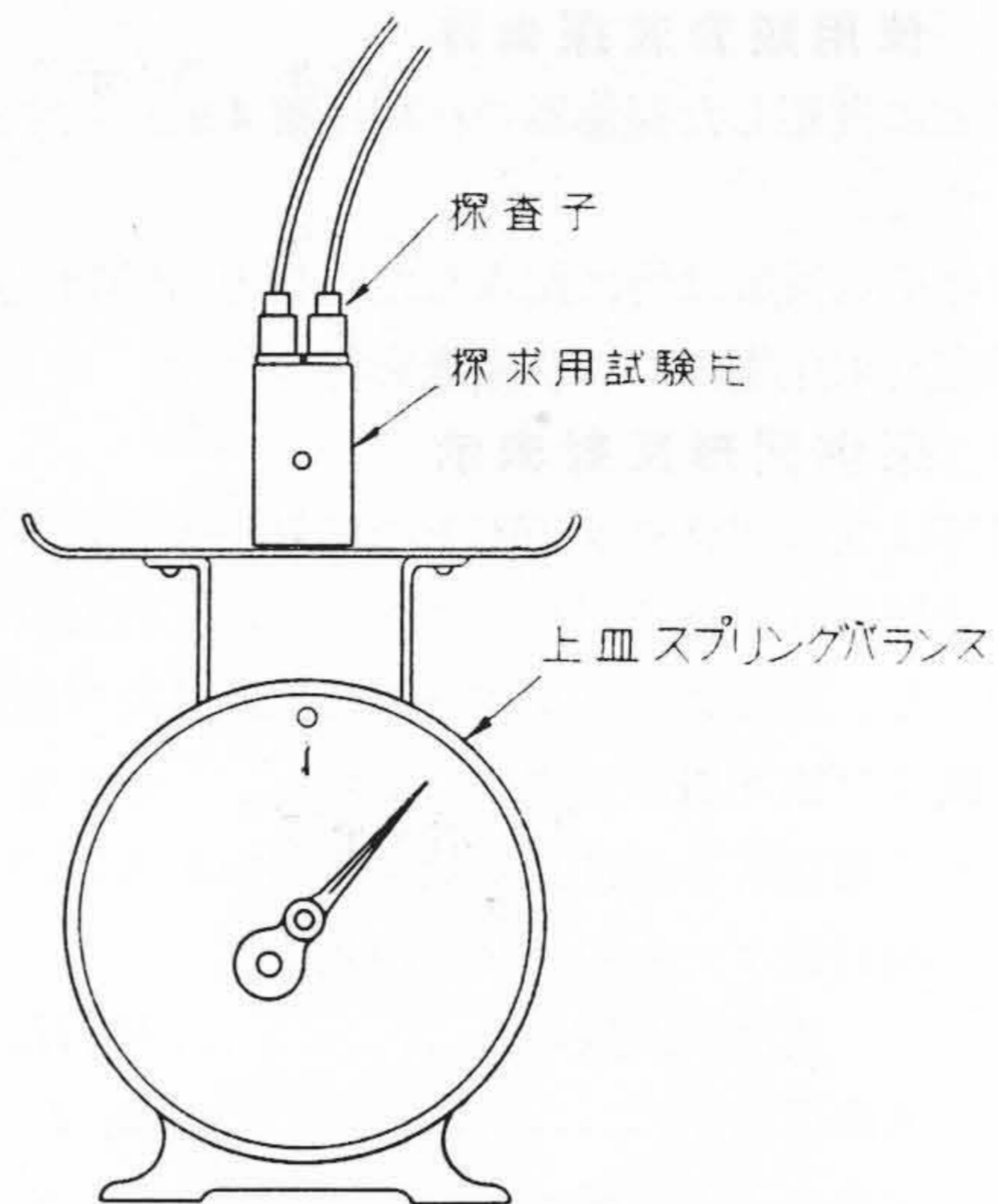
探傷器受信器の感度を高めれば映像反射が高く示されるので、比較値をとる場合には感度を一定に保つ必要がある。実験の結果受信器感度目盛6.0が安定点であるので、本実験中は特に必要時以外には6.0に一定して観測を行った。

(C) 最短探傷距離

一般に送信パルスは数サイクル以上の発振波を含む若干の幅があり、この幅以内にある欠陥は欠陥反射が送信パルスの中に入つて了つて検出することが出来ない。即ち送信パルス幅が小さい程、探査面に近い欠陥が検出可能で、探傷器型式及び探査子の設計により異なるが、単探査子型は二探査子型に比し一般に送信パルス幅が大きいといわれている。

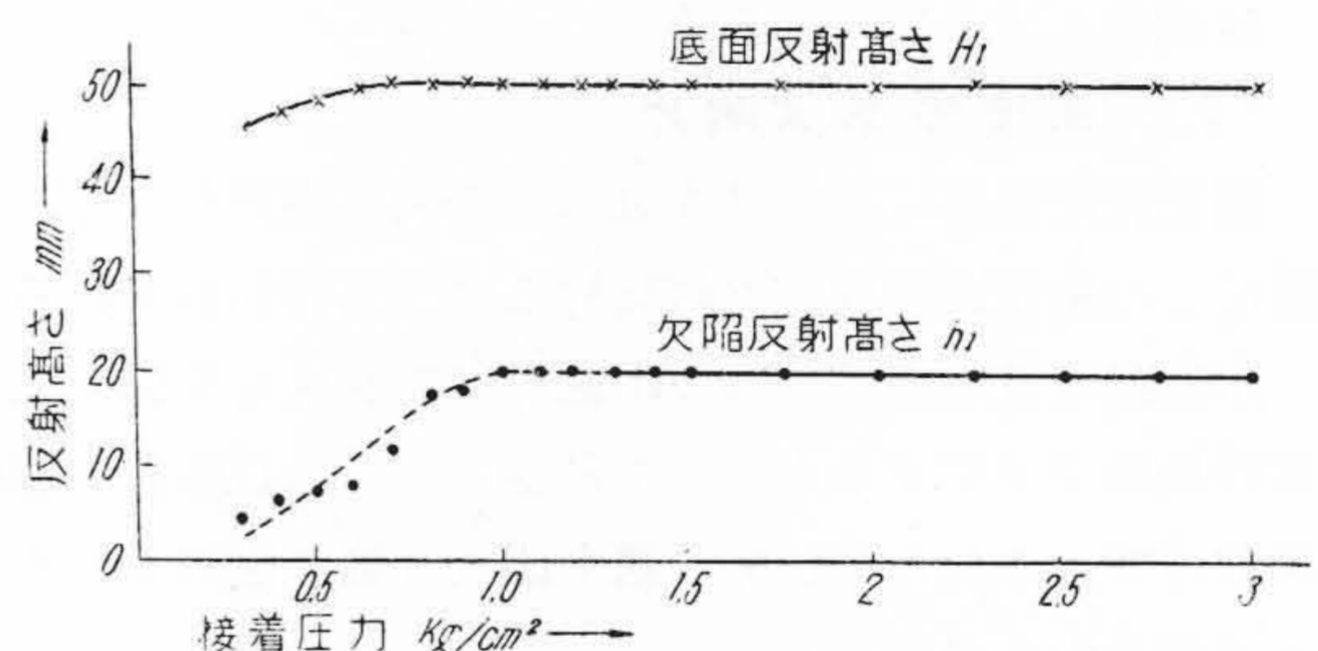
本実験では最短探傷距離の探求には学振制定の1型感度標準試験片を使用した。この試験片で最短探傷距離にある検出対象、即ち穿孔は探査面より 10 mm の距離にある穿孔で、これが検出可能、換言すれば最短探傷距離が 10 mm であれば検出能は良好ということが出来る。

第6図に示すはこの 10 mm 距離にある $0.4\text{ mm}\phi \times 15\text{ mm}$ 深さの穿孔よりの反射図形で、同図Aは 2 Mc 、同図Bは 4 Mc の場合である。Aの 2 Mc では h_1/H_1



第4図 探査子接着圧力測定法

Fig. 4. Contact Pressure Measuring Apparatus for Probe

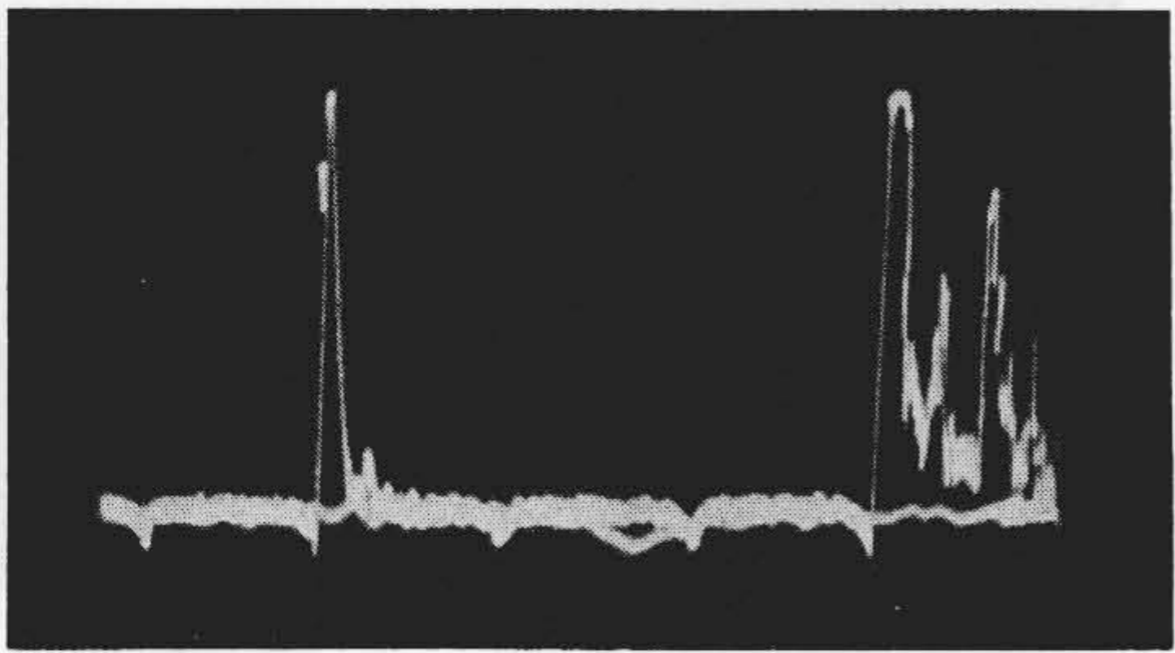
第5図 探査子接着圧力と反射高さ h_1 との関係 (Gain=6)Fig. 5. Relation between Contact Pressure for Probe and Reflect Wave Height h_1 of Defect

$\approx 11\%$ で検出可能、Bの 4 Mc に於ては $h_1/H_1 \approx 58\%$ の反射を示しており検出は明瞭である。即ち最短探傷距離は 10 mm であつて 4 Mc では明確に、 2 Mc これに次ぎ、 1 Mc 以下では最短探傷距離は 20 mm 以上であつた。

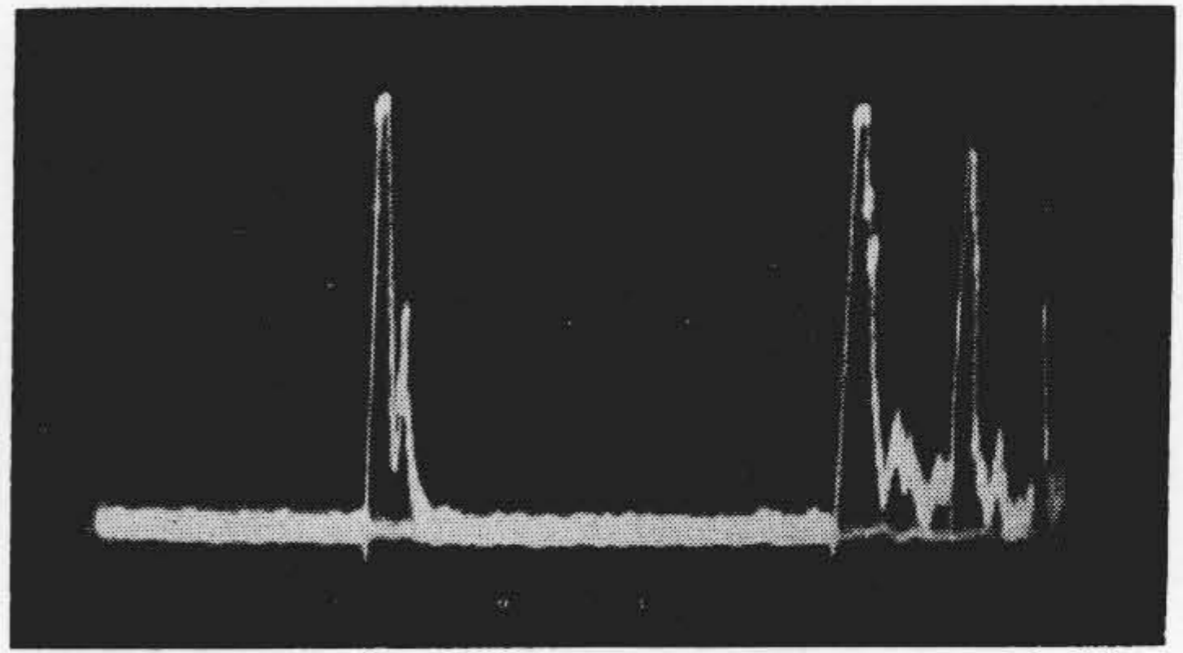
最短探傷距離に関しては従来発表された概数値は、 $15 \sim 30\text{ mm}$ であつたものを 8 mm まで短縮した⁽⁴⁾。或は 20 mm 見当⁽⁵⁾、といわれるのに比して、前者にほぼ等しく、後者にはまさつた数値ということが出来る。

(D) 最小検出寸度

超音波探傷器で検出可能な欠陥の最小寸度は重要な事項である。欠陥検出の難易は、鋼材の諸元、欠陥の種類、形状及び介在条件等により異なるが、一応の目安として単独介在の欠陥を検出対象に考え、その最小の数値を求めため、最も検出容易な欠陥までの距離を求めた。即ち鍛造比約6.0の圧延肌焼鋼の焼鈍材 $100\text{ mm}\phi \times 200\text{ mm}L$



A (2 Mc)



B (4 Mc)

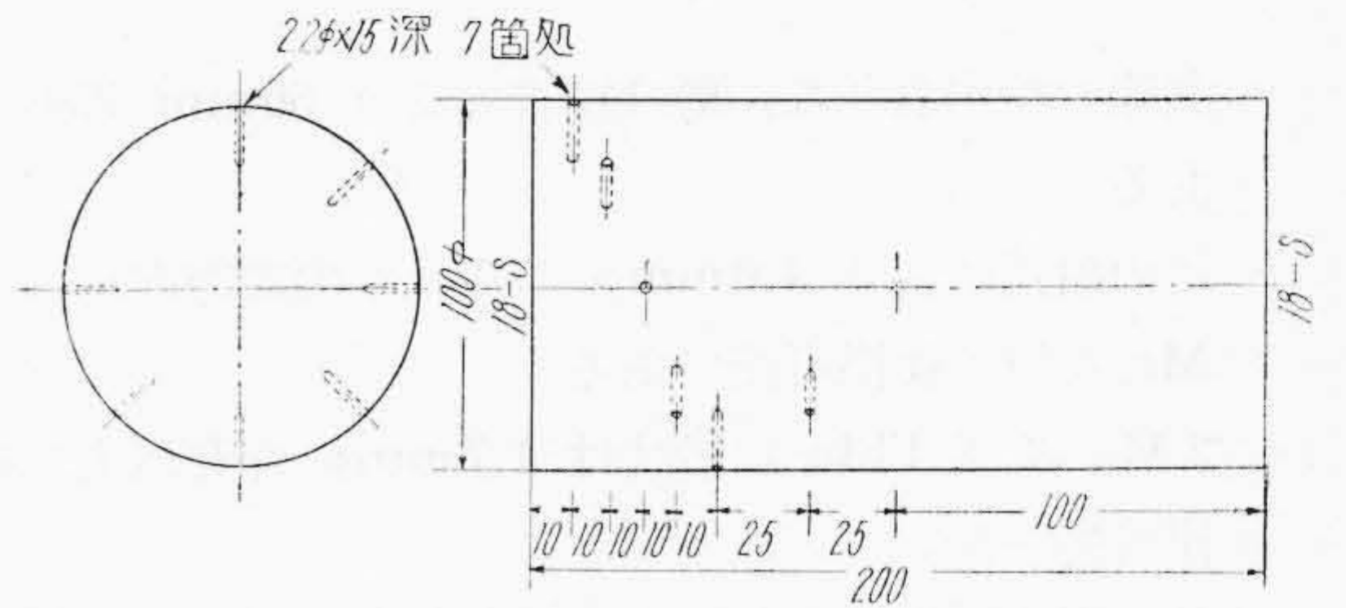
第6図 0.4 mmφ穿孔よりの反射, 探傷距離 10 mm (学振1型試験片)
 Fig.6. Inspected Patterns of Standard Test Piece (Gakushin Type No. 1)
 Defect Diameter 0.4 mm; Inspectable Distance 10 mm

の円筒体に於て, 探査面より 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100 mm と距離を変えて円周上に 2.2 mmφ×15 mm 深さの輻心方向に穿孔した試験片を用いて, 欠陥即ち穿孔までの距離に対する反射高さの変化を求めた。この試験片の仕様は第7図に, 探求結果は第8図にそれぞれ示す通りである。第8図に於て最も反射の高いのは 2 Mc に於て探傷距離 40 mm, 4 Mc に於て 50 mm 附近にあるとみられる。即ち第7図に示す試験片に於ては探傷距離 40~50 mm 附近の検出度が最も高いということになる。距離による検出度の差は探査面に近い程高く, 遠ざかる程減衰度が大きくなるのでそれに従つて低下する。一方送受二探査子と欠陥とを結ぶ角度は遠ざかる程小さくなり, 即ち送受二探査子の中心線が一線上に近くなり従つて反射量が増大する。この相反した両者の交叉が探査面から約 50 mm の点にあることを求めた訳である。

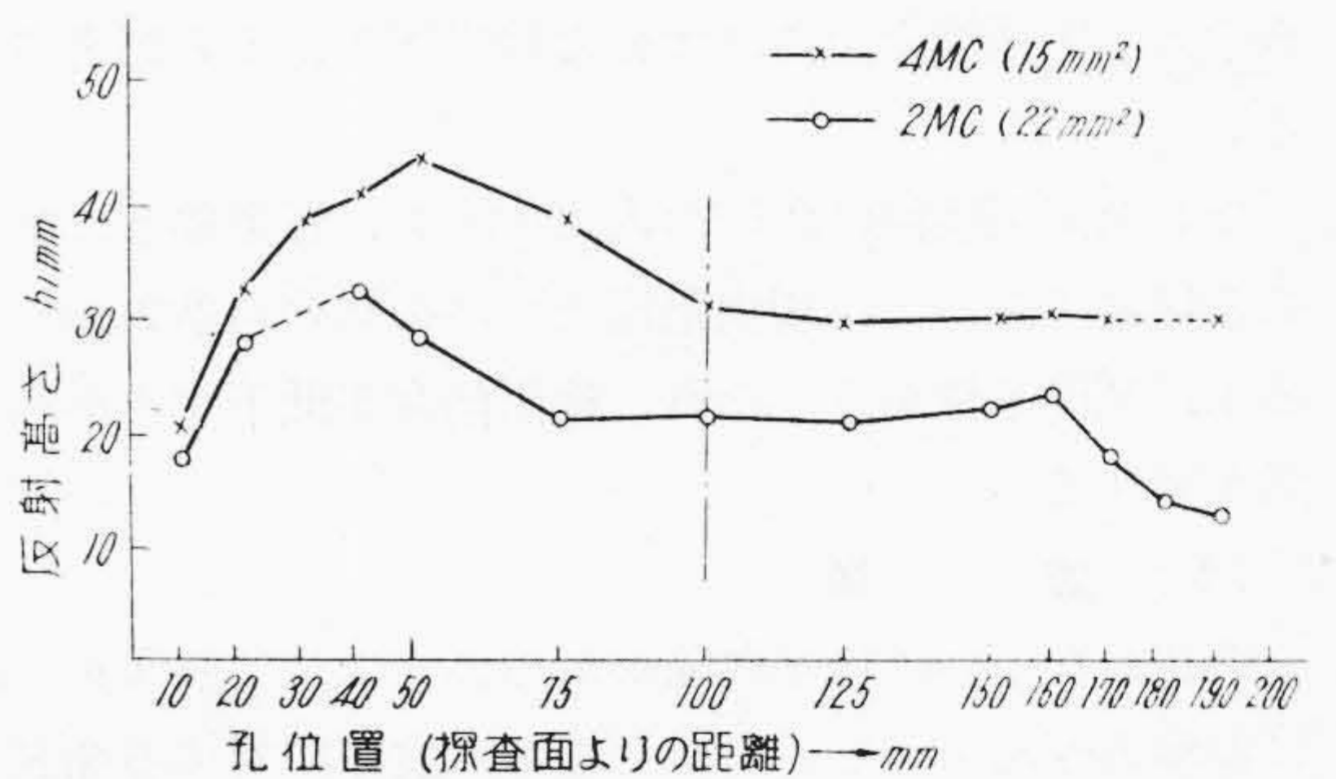
この実験結果に基づいて, 最小検出寸度探求用試験片を製作した。即ち鍛造比 4.1 圧延肌焼鋼の焼鈍材を用い 110 mmφ×80 mm L の円筒体の一端面に直径 85 mm の中心線上に 45° 間隔に穿孔した。この穿孔は孔径を 3.8~1.0 mmφ に 7 種に変えて, 孔底がさきに求めた。「欠陥の検出の容易な距離」にあるように且つ隣接の孔との識別のために孔深さに交互に深浅をつけて軸心方向に 7 箇所の穿孔を行つたもので第9図に示す通りのものである。

この試験片により 1, 2, 4 Mc のそれぞれが, 異なる穿孔径に対する反射高さを求めて第10図(次頁参照)に示す。何れの周波数に於ても穿孔径が小さいもの程これに対応する反射は低く, 1 Mc 及び 2 Mc では 1.7 mmφ まで, 1.3 mmφ 以下は反射を認めない。4 Mc は反射高さが最も高いが, 1.3 mmφ に対しては激減している。しかしながら最小径の 1.0 mmφ に於ても約 2 mm 高さの反射を認め, この試験片に対しては最もすぐれた検出能を示している。

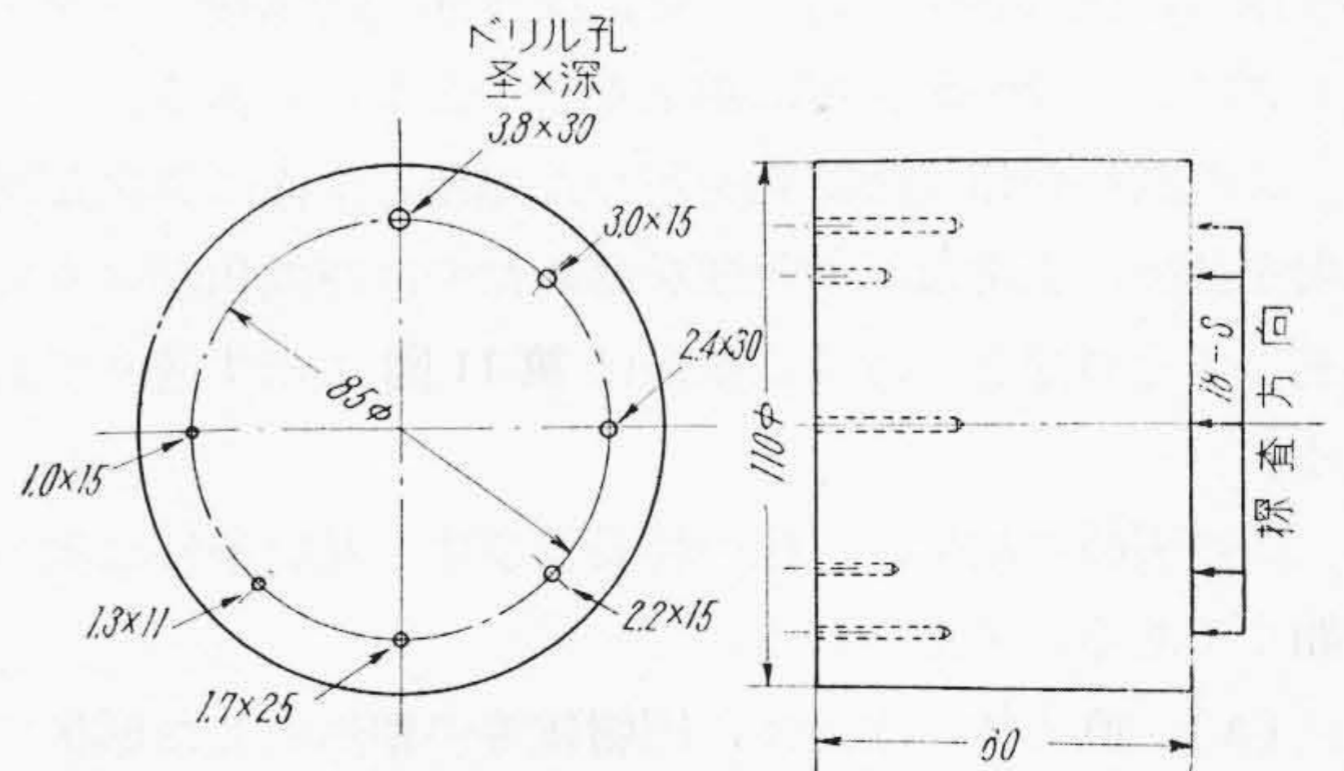
以上を要約すれば, 肌焼鋼焼鈍材製試験片に於ては, 超音波探傷器の検出能は次に示す如くである。



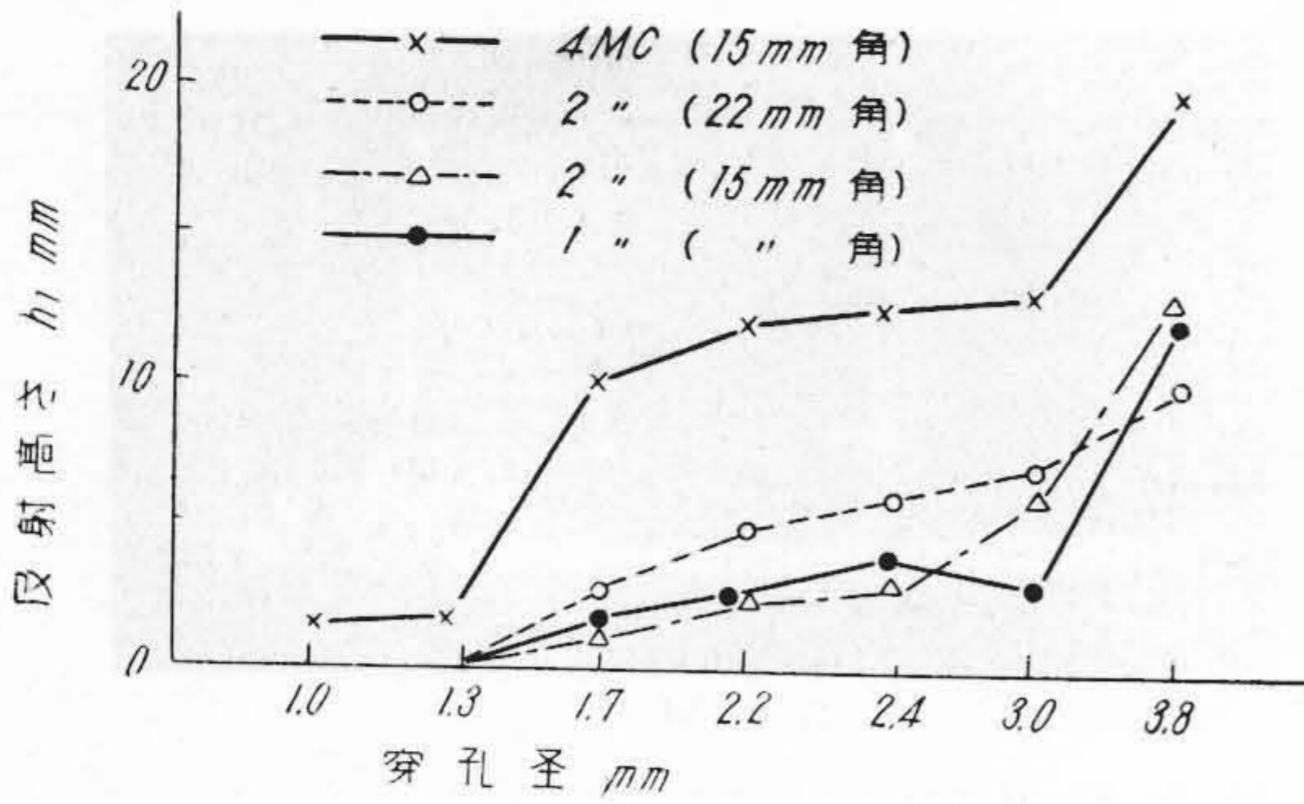
第7図 反射高さ探求用試験片
 Fig.7. Inspected Standard Test Piece for Reflected Wave Height of Defects



第8図 欠陥距離と反射高さ h_1 との関係
 Fig.8. Relation between Inspectable Distance and Reflected Wave Height h_1 of Defect



第9図 最小検出寸度探求用試験片
 Fig.9. Standard Test Piece for Measuring Inspectable Minimum Size of Defect



第 10 図 穿孔径と反射高さ h_1 との関係
Fig. 10. Relation between Reflect Wave Height h_1 of Defects and Its Diameter

欠陥の検出容易な距離は探査面より 50mm 付近である。

この付近にある 1.0mmφ の穿孔を先端方向から 4 Mc を以て検出可能である。

2 Mc 及び 1 Mc に於ては 1.7mmφ 穿孔以上が検出可能である。

上記の最小検出寸度を、従来発表された数値と比較してみるに、概念的には検出欠陥の大きさは 1mmφ×3mmL 見当で欠陥介在位置により差がある⁽⁶⁾。といわれる一例に比較して前記実験結果はやゝまさるとみられるので、実用検査上には十分な検出能であると思われる。

なお上記実験値は既知の人工欠陥を、好条件下に探査せる場合であつて、現場適用上では未知の自然欠陥である上に探傷条件が悪くなり、検出精度が低下するから注意を要する。

(5) 虚 像

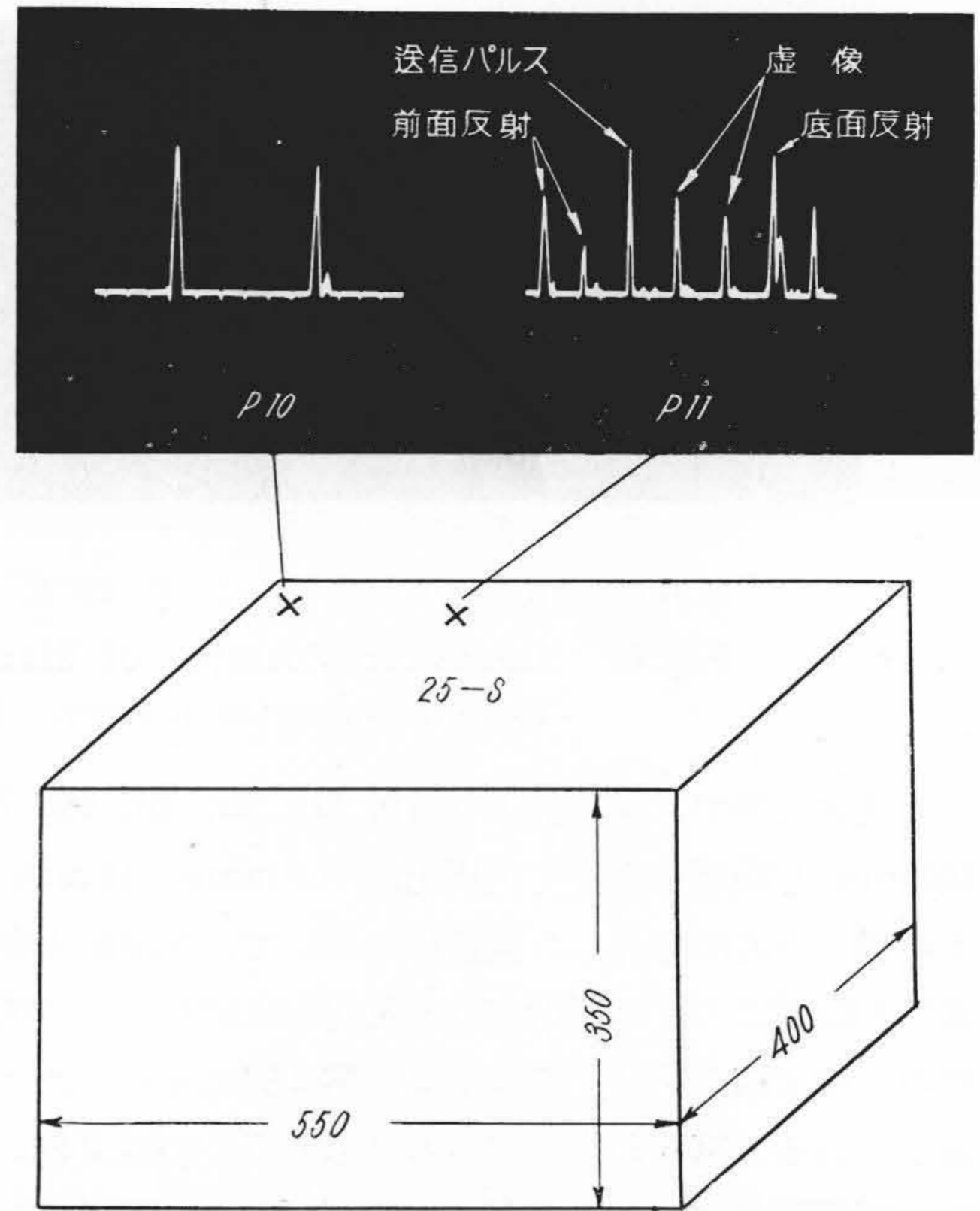
実在しないのに恰も欠陥があるように示す映像を一般に虚像と呼んでいる。しかしながら虚像に対する発表された実験例は乏しいようである。

この予備実験で使用した試料は鍛造型鋼 550×350×400mm といった中型のブロックで全面は 100-S 程度に平削し、焼入焼戻を行い、更に探査面は研削後バッフィングにより 25-S 程度に加工を行つたものである。

この試料の超音波探査を行つた処殆ど全面に異状な反射を認め、正常な反射映像を認めたのは四隅角部のみであつてその探査位置及び映像は第 11 図に示す通りである。

この実験の結果、虚像の特長及び生じ易い条件は次の如くであると考えられる。

- (a) 直方体、立方体、円筒体等の整然とした形状で平行面であり、且つ表面が機械加工等により平坦であるものに生じ易い。
- (b) 探査面を変えると欠陥反射の位置が移動し、各



第 11 図 金型粗材に現われた虚像の例(右側 P11)
Fig. 11. Example of Imaginary Echo Appearing on a Die Block

探査面間で示す欠陥位置がまちまちな場合が多い。

- (c) 送信パルスの前面に前面反射(仮称)が虚像の対象位置に現われる。
- (d) 欠陥反射の幅が小さく且つ尖鋭で平面よりの反射のように見受けられる。
- (e) 欠陥反射にしてはその高さに比して底面反射の減衰が見当たらない。それは底面に到るまでに超音波が減衰する因子即ち内部欠陥が存在しないことを意味すると思ふされる。
- (f) 欠陥反射が時間軸上を移動する場合がある。
- (g) 繰返し周波数を切替えると、送信パルスの発振周期の変化により多くの場合虚像は消失する。

以上を総合して虚像の一因は多重反射にあると思ふされる何れにしても実在欠陥反射と虚像との判別は慎重を期すべきで更に研究を重ねて究明致し度い。

[IV] 実 験 結 果

45箇の試験片に就いて、磁気探傷検査、マクロ検査等の従来の内部検査法と、前項予備実験にて求めた検出特性並びに使用条件に基づいて適用した超音波探傷検査とを併せ行い、内部欠陥別、鋼材別に求めた実験結果のうちの代表例を掲げると第 6 表及び第 12 図～第 25 図に示す如くである。

次にこの実験結果のうちで特に注目すべき諸点は次に記する如くである。

第6表 実験結果一覧表

Table 6. Result of Experiment

試料 番号	鋼 類	加工別	試験片形状寸度 (mm)	内部欠陥 名 称	参照図 表番号	超音波検査 と比較した 検査法	超 音 波 探 査 結 果				摘 要
							H_1/H_0 (%)	h_1/H_1 (%)	減衰波回 数 (N)	欠陥検出 の可否	
5	鍛造型鋼	据込鍛錬	550×400×350	—	第11図	—	—	—	—	—	明瞭な虚像の実例
6	不 銹 鋼	鋼 塊	角 型	S.C.	第12図	マ ク ロ	70~80	7~15	4	明 瞭	鋼塊検査に超音波探傷法の適用可能
7	高速度鋼	据込鍛造	150φ×170L	S.C.	第13図	磁気探傷 及びマクロ	95	16	4	明 確	—
8	特殊工具鋼	圧 延 材	120φ×100L	S.C.	第14図	磁気探傷 及びマクロ	74	22	—	明 確	S.C. に偏析を伴っている
9	強 靱 鋼	圧 延 材	80φ×110L	毛 割	第15図	磁気探傷 及びマクロ	37	38	3	頗る明確	横目日点状の欠陥
10	打抜型鋼	据込鍛造	170φ×440L	偏析及び S.C.	第16図	マ ク ロ	14	180	—	頗る明確	稍強度の偏析に S.C. を伴っている
11	高速度鋼	鍛 伸 材	130φ×150L	偏析 (及び 時効割)	第17図	マ ク ロ	100	0	約 2	困 難	一般的な偏析は検出困難
12	炭 素 鋼	鍛 造	148φ×21 t	ゴースト	第18図	硫 貼 写 及びマクロ	}	3	—	困 難	中目鏡 25-S 程度の円周面探査の場合
					第7表	化学分析					
					第19図	顕微鏡検査					
13	高速度鋼	据込鍛造	140φ×200L	収 縮 管	第20図	マ ク ロ	37~100	3~24	3~5	頗る明確	探査方向による欠陥反射高さの相異に注意
14	高速度鋼	据込鍛造	130φ×300L	揉 割	第21図	マ ク ロ	3~40	115~600	—	頗る明確	探査方向による欠陥反射高さの相異に注意
15	特殊工具鋼	鍛 伸 材	150φ×1,130L	毛 割	第22図 第23図	磁気探傷 及びマクロ	0~18	155~700	0	頗る明確	両端部には欠陥なく、中間部に大なる欠陥あり
16	鍛造型鋼	据込鍛錬	500×450×350	毛 割	第24図	マ ク ロ	0	—	—	頗る明確	マクロ面に長さ7~22mm 介在密度約 2~3 箇/cm ² の毛割あり
17	ダイス鋼	据込鍛錬	140φ×140L	鍛 造 疵	第25図	マ ク ロ	73	20	—	明 確	外部より観測困難なる開口せる疵の深さの観測可能
11	高速度鋼	鍛 伸 材	130φ×150L	時効割 (及び 偏 析)	第29図	マ ク ロ	12	0	—	頗る明確	底面反射の異状に低いのは時効割の故による

(註) 発振周波数は、鋼塊のみは 0.5 Mc, 他は全部 2 Mc.
欠陥名称中 S.C. と記せるは Shrinkage Cavity の略号。

(1) 鋼塊の Shrinkage Cavity

鋼塊の一面を平削盤にて黒皮を除去後鏡均らし又はバッフィングによる 25-S 程度の加工面に対し、0.5 Mc を以て探査し、なおギーエ氏液法によるマクロ試験を併用して第12図に示す如き結果を得た。

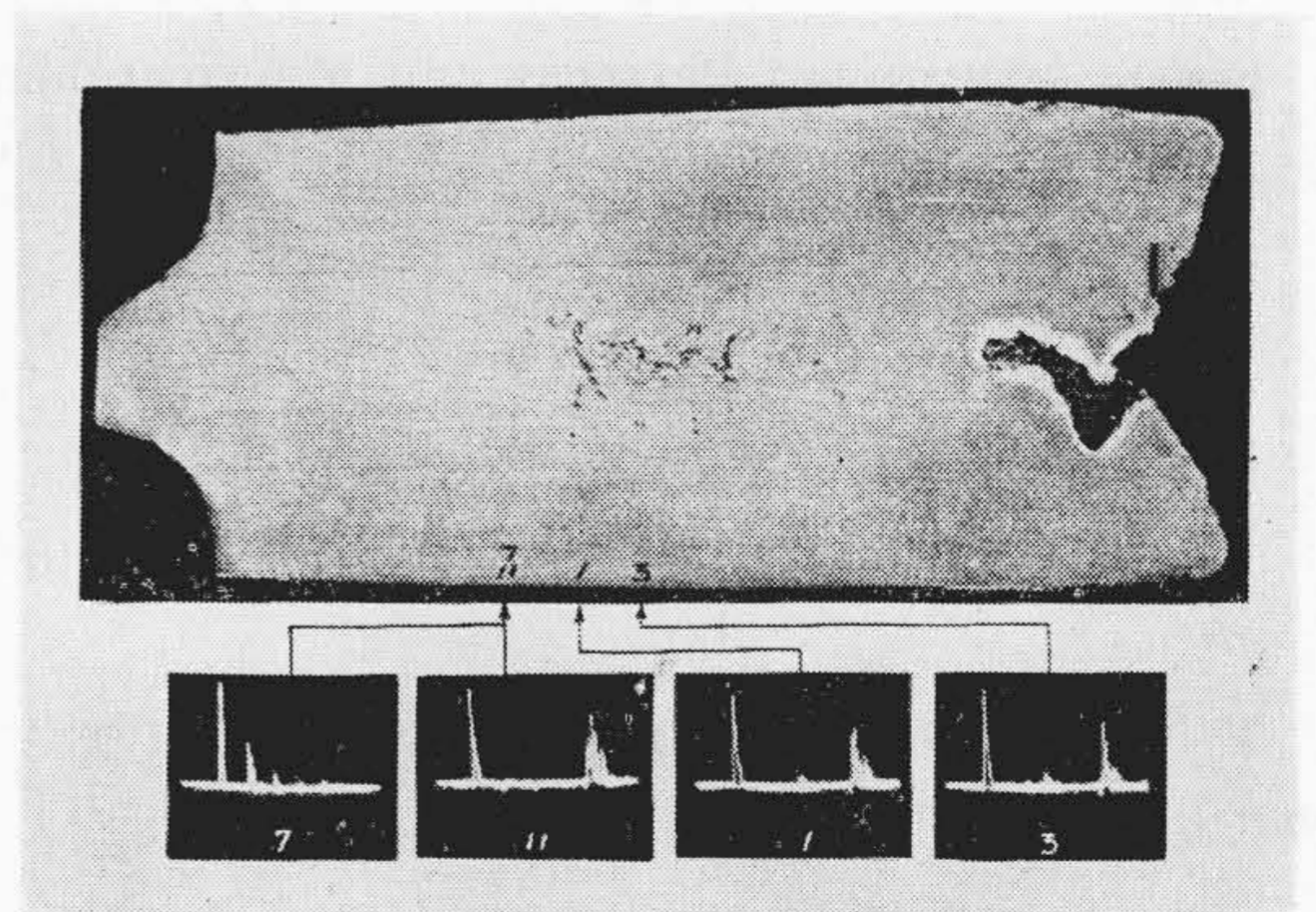
- (a) 欠陥反射は $h_1/H_1 \approx 7 \sim 15\%$ で検出は稍々明瞭である。
- (b) 超音波透過度は $H_1/H_0 \approx 70 \sim 80\%$ で減衰は予想外に少い傾向を示していた。
- (c) 縦断面のマクロ検査に於て欠陥反射の対応部にのみ Shrinkage Cavity を検出している。

以上を総合して、小型鋼塊の内部欠陥検出に対する超音波探傷検査は有効とみられる。

(2) 偏 析

(A) Shrinkage Cavity を伴う強度の偏析

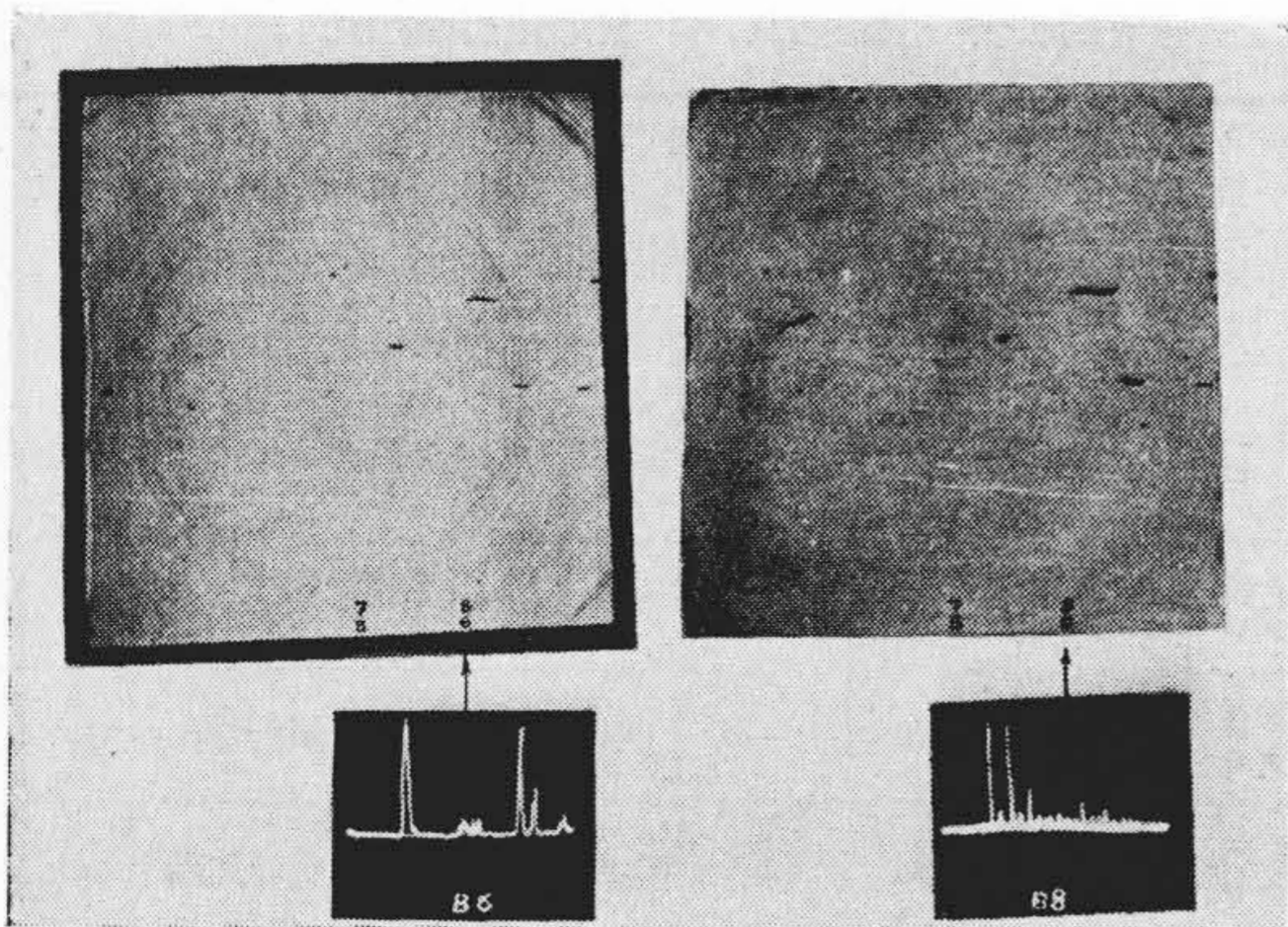
- (a) 超音波検査では欠陥反射は $h_1/H_1 \approx 180\%$, 超音波透過度は $H_1/H_0 \approx 14\%$ で内部欠陥検出は明瞭



(角型鋼塊, Shrinkage Cavity)

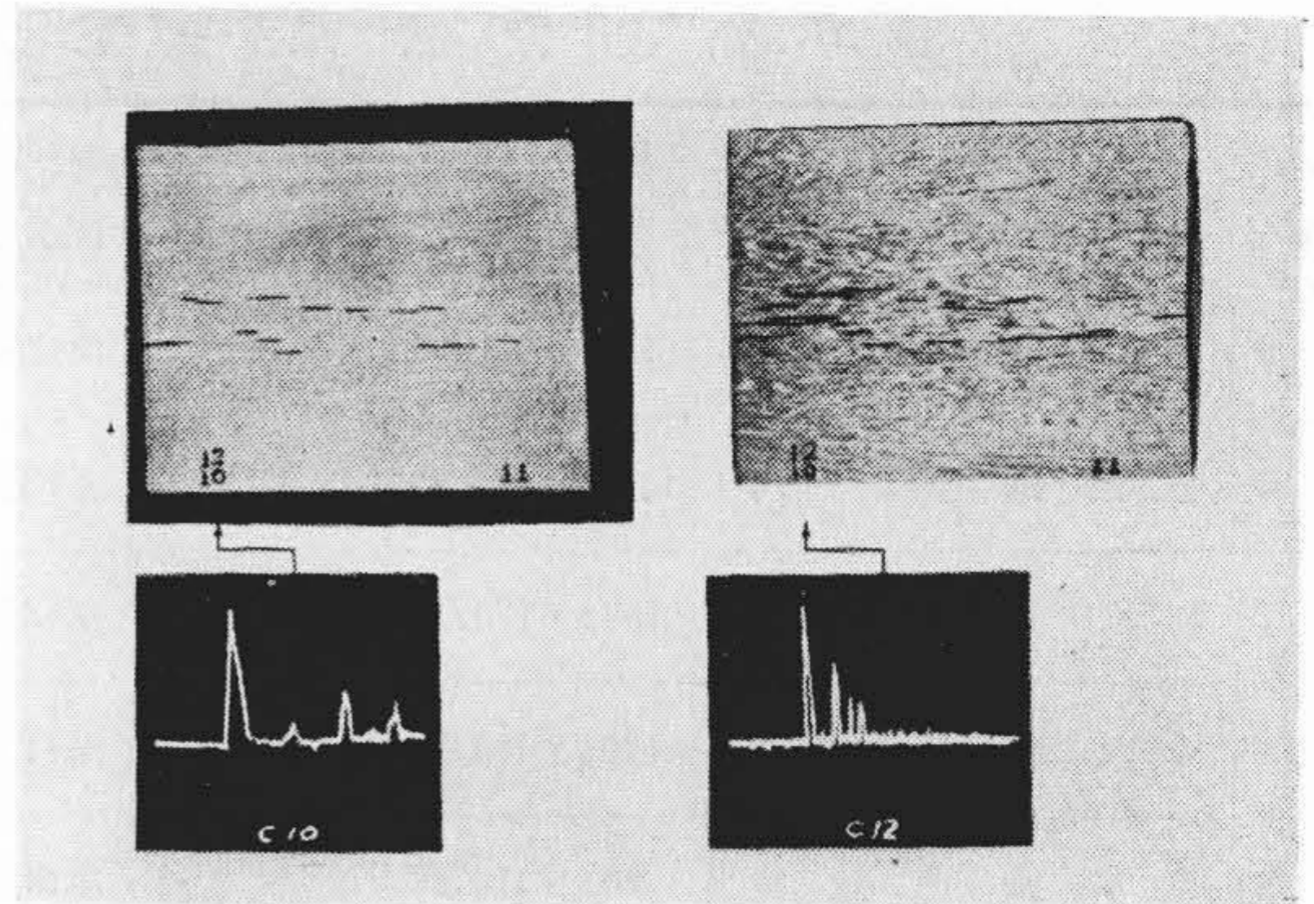
第12図 縦断マクロ面及び探傷図形 (0.5 Mc)

Fig. 12. Inspected Patterns and Macro-etching on the Longitudinal Section of an Ingot (0.5 Mc)



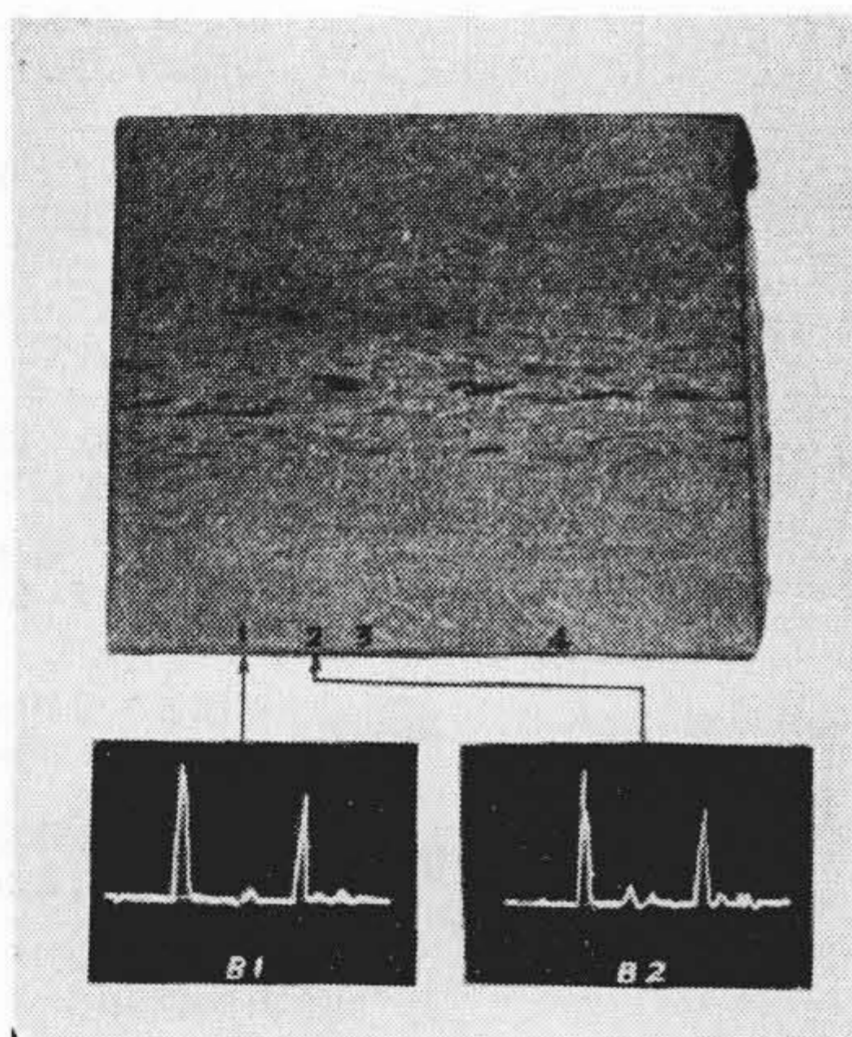
磁気探傷 マクロ検査
高速度鋼, 150 mmφ, Shrinkage Cavity

第 13 図 縦断面磁気探傷, マクロ, 探傷図形 (2 Mc)
Fig. 13. Inspected Patterns and Macro-etching and Its Magnaflux Testing on the Longitudinal Section of a Bar (2 Mc)



磁気探傷 マクロ検査
Cr-Mo 鋼, 80 mmφ 毛割

第 15 図 縦断面磁気探傷, マクロ, 探傷図形 (2 Mc)
Fig. 15. Inspected Patterns and Macro-etching and Its Magnaflux Testing on the Longitudinal Section of a Bar (Cr-Mo Steel, 2 Mc)



特殊工具鋼, 120 mmφ 偏析及び Shrinkage Cavity

第 14 図 縦断マクロ面及び探傷図形 (2 Mc)
Fig. 14. Inspected Patterns and Macro-etching on the Longitudinal Section of a Bar (Special Tool Steel, 2 Mc)

である。

(b) 横断面マクロ検査に於ては欠陥反射対応部に Shrinkage Cavity を伴うやゝ強度の偏析を検出している。

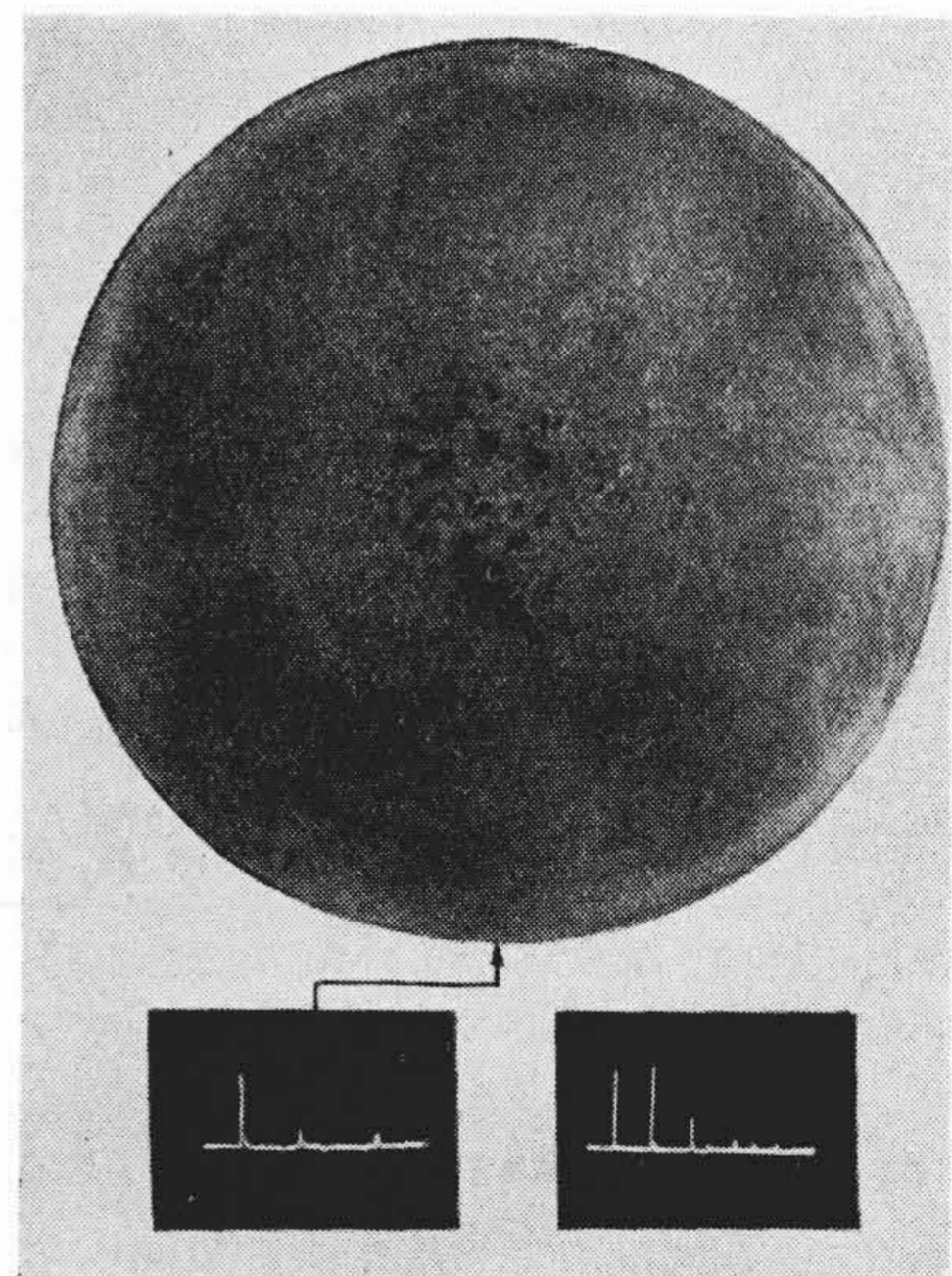
実験結果は第 16 図に示す如く, 超音波探査にて検出可能である。

(B) 一般的偏析

(a) 超音波検査に於ては欠陥反射及び超音波の減衰を認め難い。

(b) 縦断面マクロ検査に於ては, 一般に散見するよりやゝ強度の偏析を鋼材の中央部に検出している。

これらの結果は第 17 図の B15 に示す如くで, こゝに示す偏析は超音波検査では検出困難とみられる。



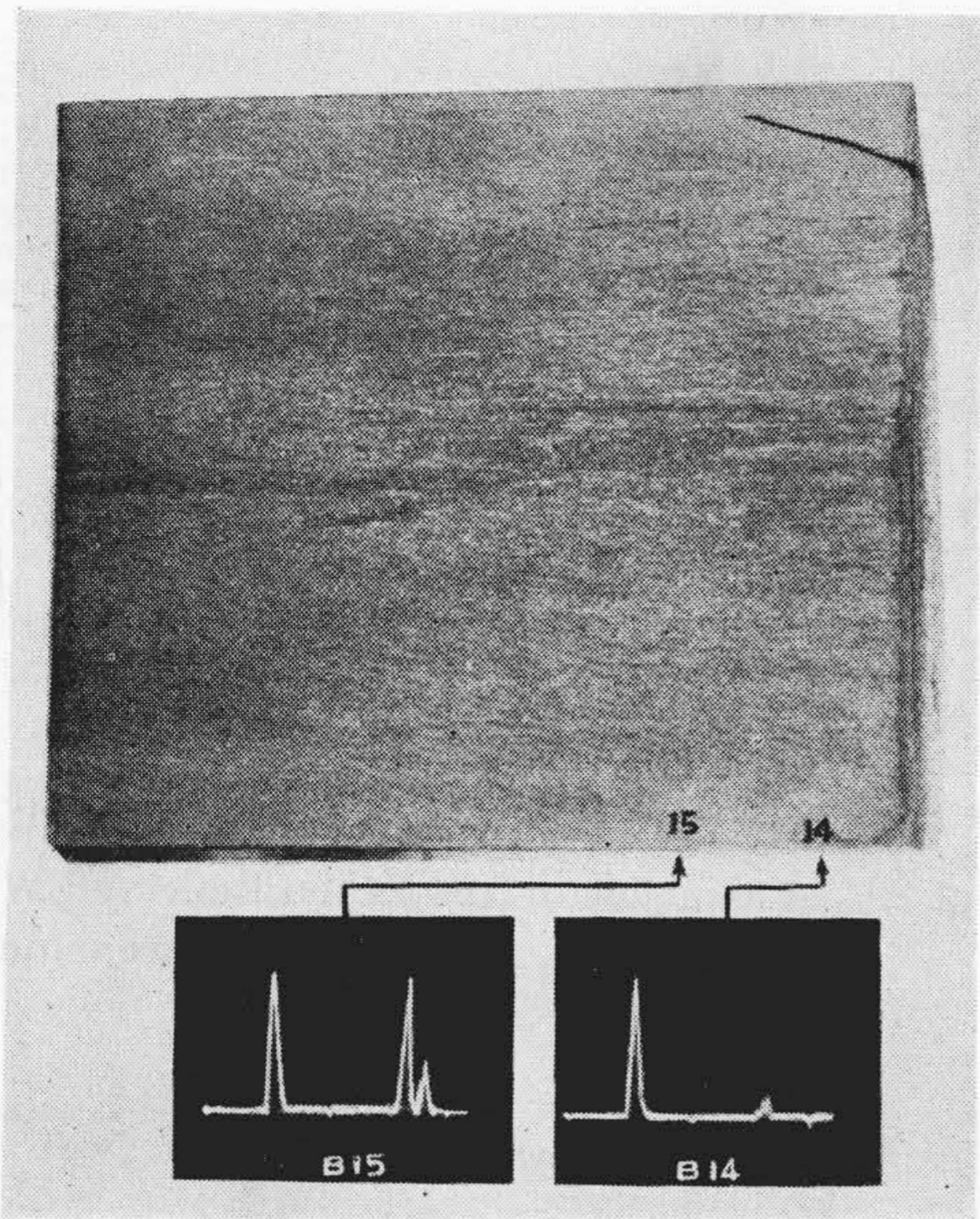
欠陥多き部分 一応無欠陥部分
打抜型鋼, 170 mmφ 偏析及び Shrinkage Cavity

第 16 図 横断マクロ面, 探傷図形 (2 Mc)
Fig. 16. Inspected Patterns and Macro-etching on the Cross Section of a Bar (Punching Die-Steel, 2 Mc)

(3) ゴースト

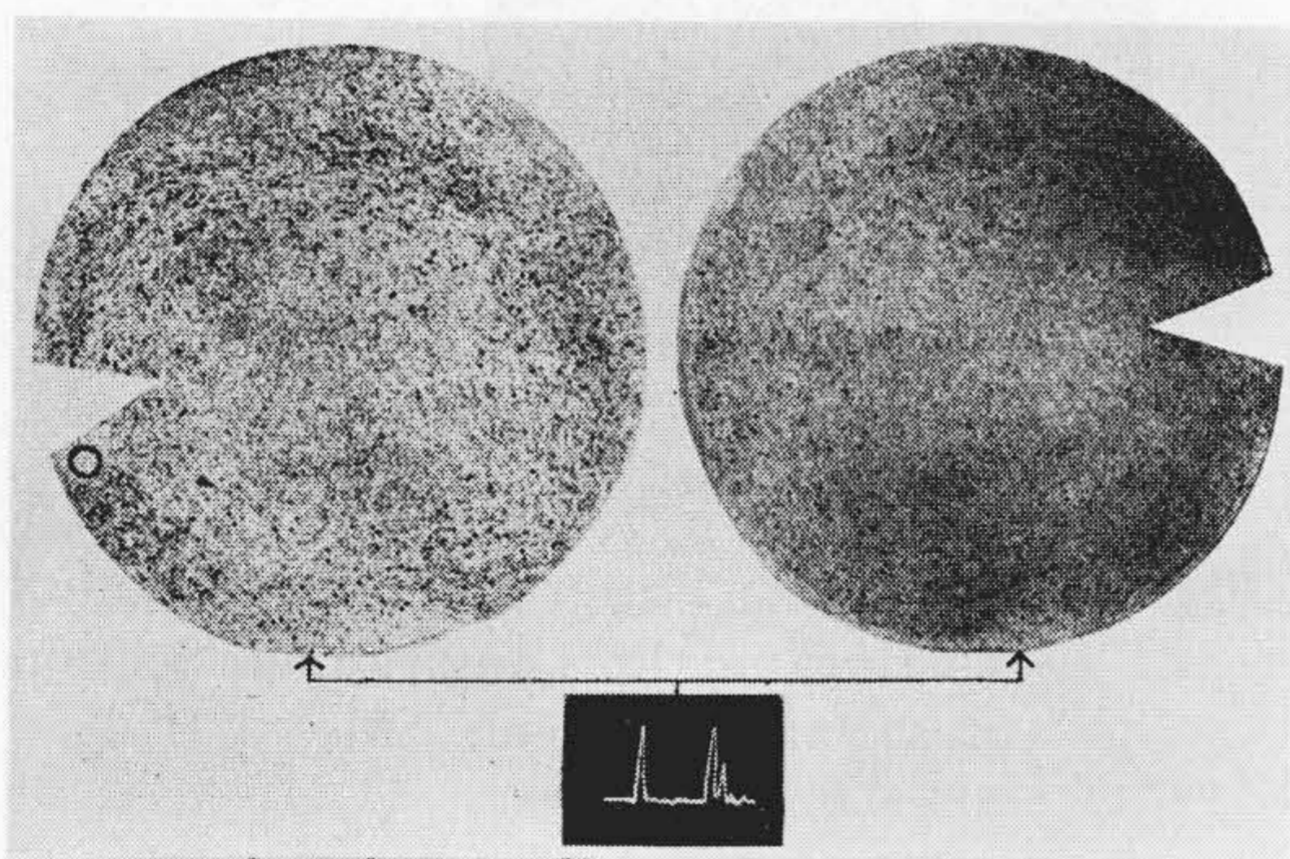
某社製鍛鋼材の硫貼写に於て輪状ゴーストを検出し, 同一面のマクロ検査に於ても硫貼写と同一の腐蝕像を得た。この鋼材の超音波探査結果は, 探査面の加工状況により次に示すように異なる結果を得た。

(a) 8" 中目鑢を外周旋削面に長軸方向にかけて, バイト目を削り 25-S 程度に均らした探査面ではかろうじて $h_1/H_1 \approx 3\%$ の欠陥反射をみるのみで検出はやゝ困難である。



高速度鋼, 130 mmφ, 偏析 (及び時効割)

第17図 縦断マクロ面, 探傷図形 (2Mc)
Fig.17. Inspected Patterns and Macro-etching on the Longitudinal Section of a Bar (High Speed Steel, 2 Mc)



硫貼写 1:1 HCl 腐蝕
鍛鋼材, 148 mmφ 偏析 (ゴースト)

第18図 横断面硫貼写, マクロ, 探傷図形 (2Mc)
Fig.18. Inspected Patterns and Macro-etching and Its Sulphur-prints on the Cross Section of a Bar (2 Mc)

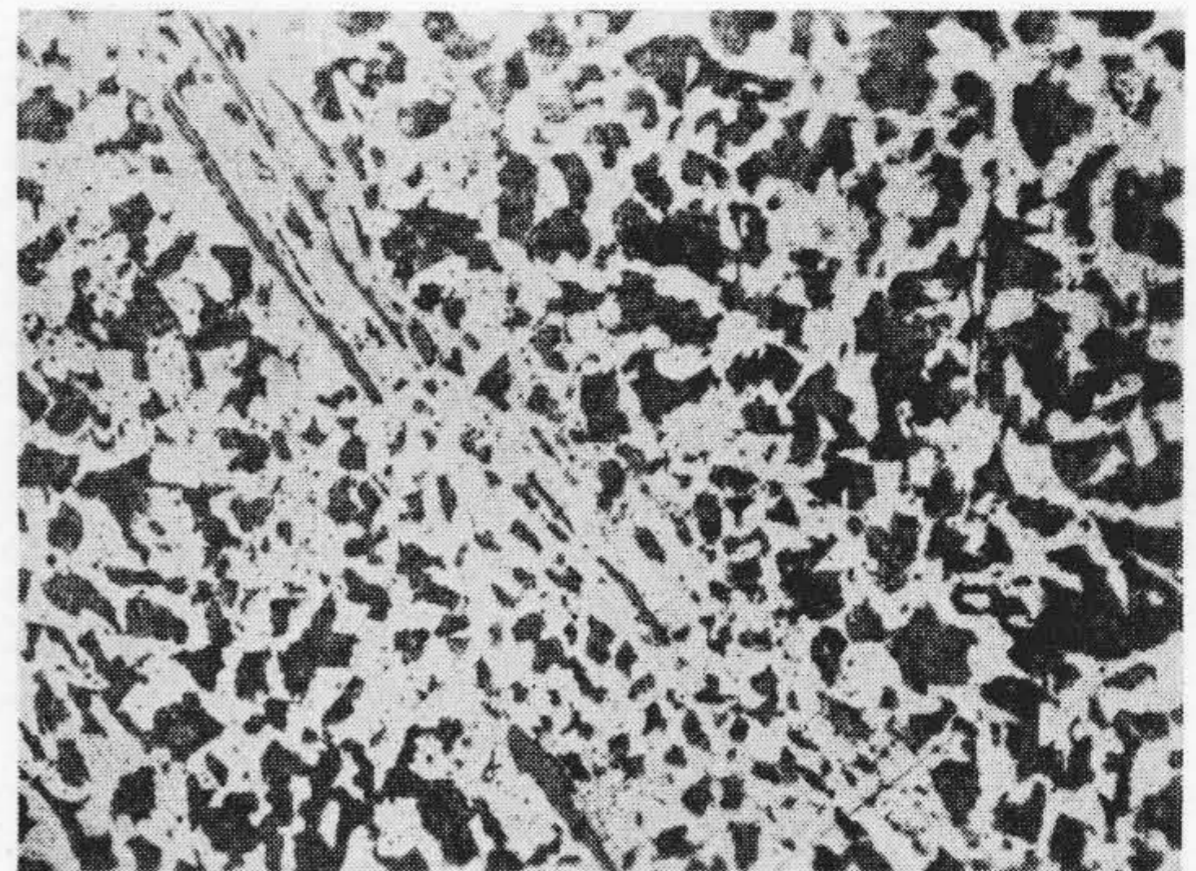
(b) 円周上縦方向に幅約 20mm に, 相接した切線方向の二面を平削した後 8" 中目鏡で 25-S 程度に均らした探査面では $h_1/H_1=6\sim 12\%$ で (a) の 3% に比して検出はやゝ明瞭である。

即ちゴーストに対しては, 探査面を平面とし且つ 25-S 程度の加工面とすれば検出は可能である。

次に反射欠陥の本質を確めるために 4 項に亘る調査を行った。

(A) 硫貼写

Baumann 氏法によるプリントでは第18図に示すよう



第19図 顕微鏡組織 ×100
(ゴースト部の組織及び介在物を示す)

Fig.19. Microscopic Structure Showing Slag Inclusion and Parts of Ghost Structure ×100

第7表 ゴースト部の化学成分差 (鍛鋼材 148 mmφ, ゴースト)

Table 7. Different Chemical Analysis of a Part of Ghost Structure

位置	化学成分 (%)					備考
	C	Mn	P	S	Cr	
中心部	0.34	0.58	0.028	0.021	0.033	基地
外周部	0.39	0.59	0.032	0.034	0.029	偏析部を含む

な明瞭な偏析を認めている。

(B) マクロ検査

硫貼写に次いで同一面のマクロ検査に於ても前者と同様な像を得たことは第18図に示す通りであるがクラックは認めなかつた。

(C) 顕微鏡検査

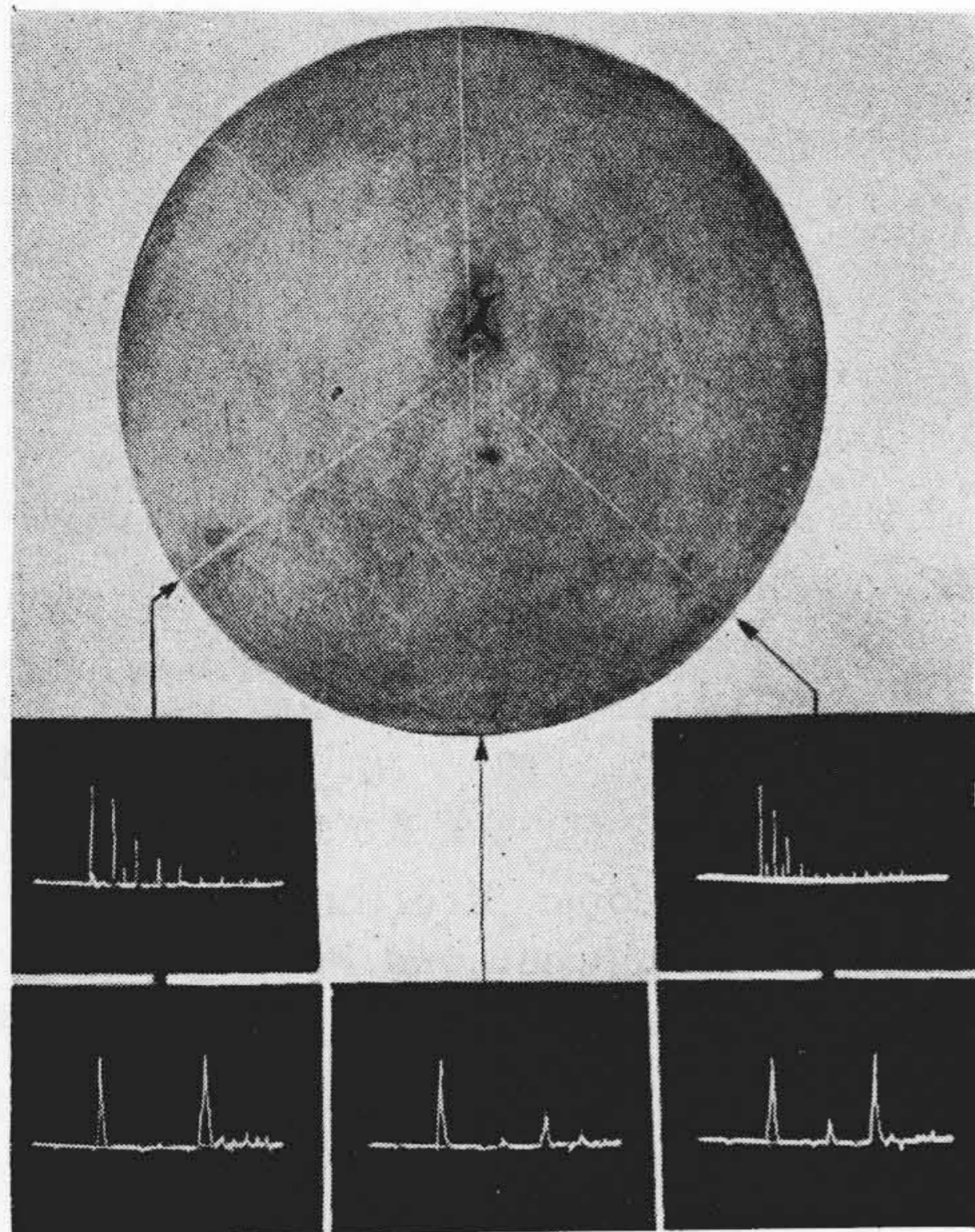
第18図硫貼写像の○内の偏析部を含む試料を切り出し, これの縦断方向の顕微鏡検査を行った。この偏析部は幅約 1mm 長さ 5~6mm 以上で長軸方向にのびており, 偏析部のパーライトは基地よりも細粒で且つそこには A 系介在物が群集していた。その状況は第19図に示す如くである。又 2 cm² の視野中に 0.1~0.2 mm 程度の点在せる Cavity 4 箇所を認めた。

(D) 化学分析

更に偏析部の本質確認のために偏析大なる外周部と, これに対し中心部よりそれぞれ試料をとり, 化学分析を行った結果第7表に示す通り外周部は中心部に比して S が高く, C, P がこれに次ぎ, ゴーストの様相を呈している。

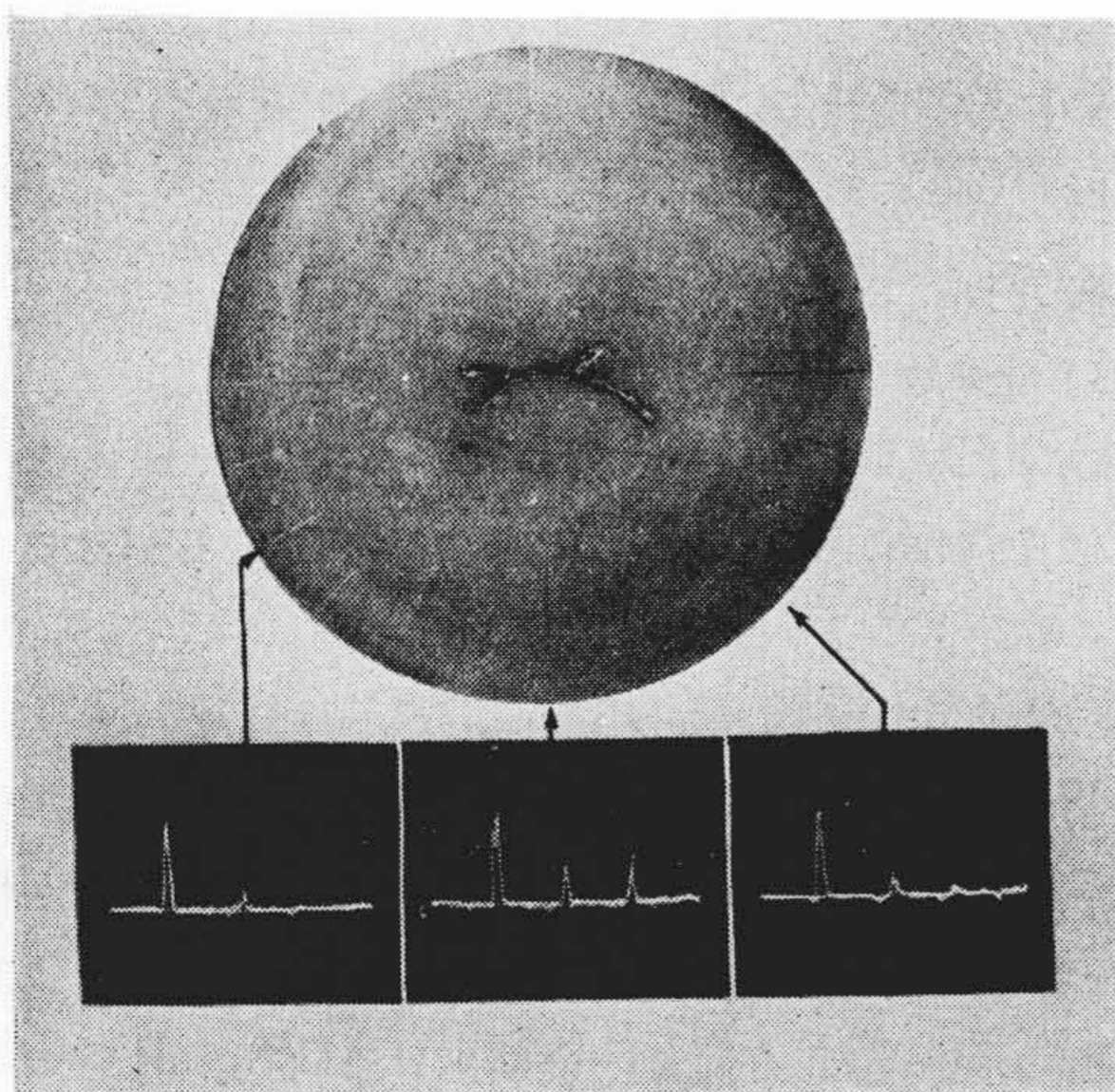
(4) 内部欠陥の特異な形態の検出例

鋼材に内蔵された収縮管, 揉割, 毛割, 時効割, 或は開口せる鍛造疵の特異な形態及び検出例に就いて述べる。



高速度鋼, 140 mmφ 収縮管

第 20 図 横断マクロ面及び探傷図形 (2Mc)
Fig. 20. Inspected Patterns and Macro-etching on the Cross Section of a Bar (High Speed Steel, 2 Mc)

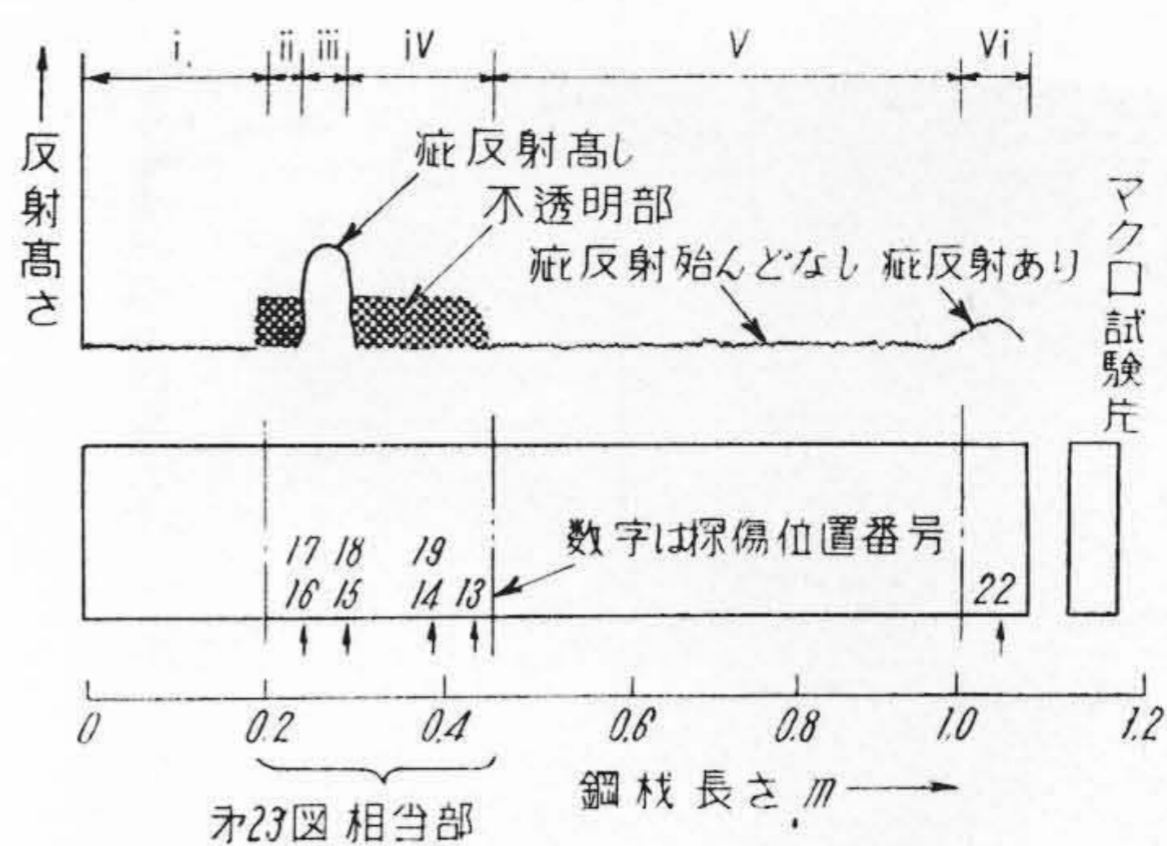


高速度鋼 130 mmφ 採割

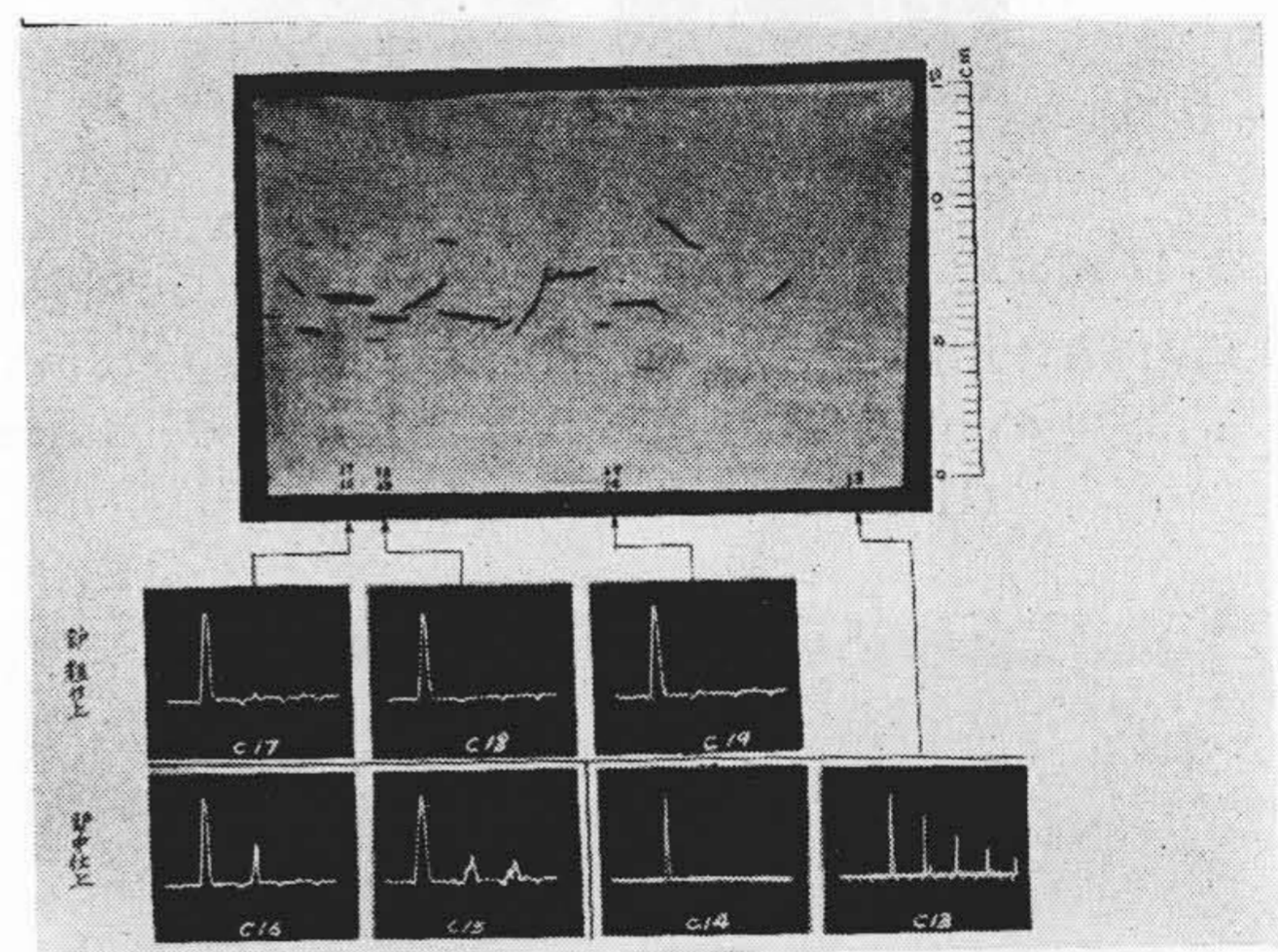
第 21 図 横断マクロ面及び探傷図形 (2Mc)
Fig. 21. Inspected Patterns and Macro-etching on the Cross Section for a Bar (High Speed Steel, 2 Mc)

(A) 探傷方向により反射状況の変化する場合

収縮管等の内在する円筒体試験片の直径方向探査に於て、探査子を円周方向に移動した際に欠陥反射並びに底面反射の状況は多くの場合変化する。又採割の如き偏平状乃至は圧潰状の内部欠陥の際には探査方向に対する欠陥反射及び底面反射の変動は更に大きい。これらの状況は第20図及び第21図に示す通りで数方向探査の総合観察



第 22 図 探傷反射状況 (ダイス鋼 150 mmφ, 毛割)
Fig. 22. Variation of Inspected Reflected Wave Height throughout the Extension of a Bar (Die-Steel)



ダイス鋼 150 mmφ, 毛割

第 23 図 縦断面磁気探傷, 探傷図形 (2Mc)
Fig. 23. Inspected Patterns and Magnaflux Testing on the Longitudinal Section of a Bar (Die-Steel, 2 Mc)

により検出は明確である。

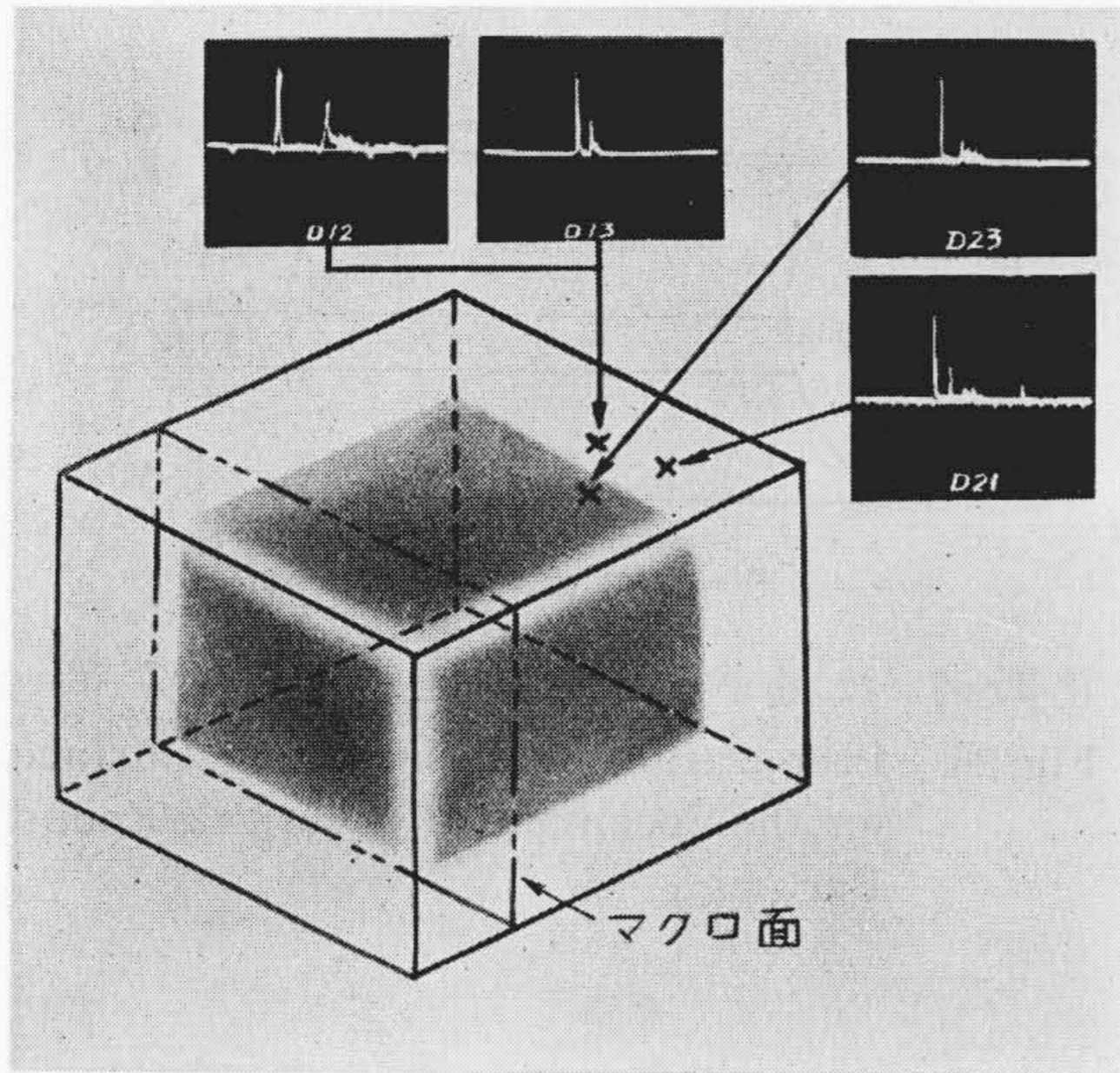
(B) 毛割の不均質的介在の場合

鍛伸材の一端部のマクロ検査では内部欠陥を認めなかつたが、これに対して全長に亘る超音波検査では第22図に示す如く両端には認めなかつたが中間部にのみ異常反射部を検出した。この異常反射部の縦断面の磁気探傷並びにマクロ検査結果は第23図に示す如く 5~25 mm の毛割状のクラックを検出した。

鋼材の両端即ちマクロ試験片採取部は正常でありながら中間部のみにクラックを内蔵するといった極端な不均質性を示した代表例で内部欠陥検出上警戒を要する事例である。

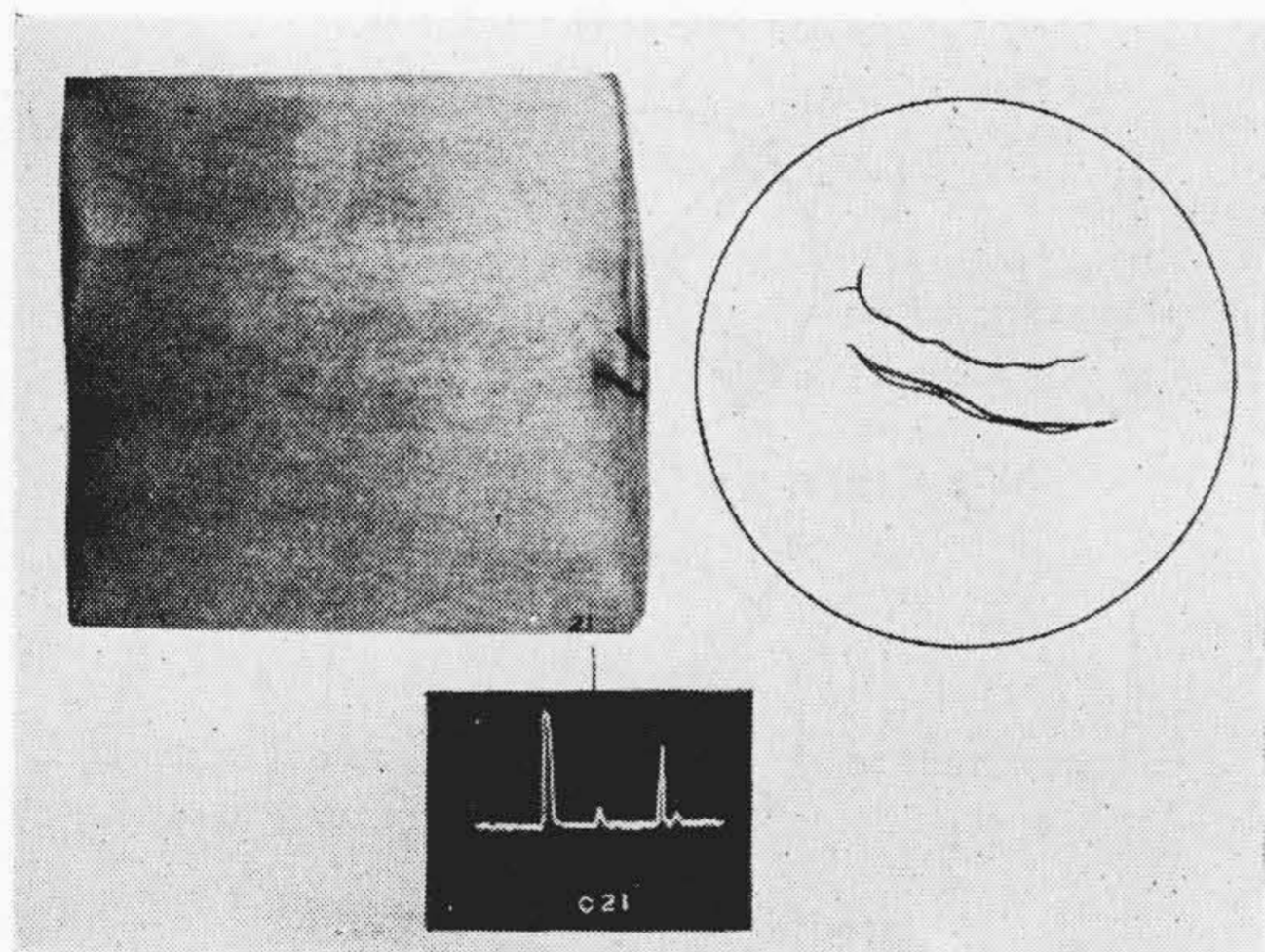
(C) 鋼片に於ける毛割の検出例

表面を平削せる直方体の金型粗材に於て、表層部約 60 mm の範囲内には欠陥反射を認めないが、それより更に内方に進めば 7~20 mm の欠陥反射と $H_1/H_0 \approx 18\%$ 程



鍛造型鋼, 500×450×350, 毛割

第24図 探傷図形, 内部欠陥見取図 (2Mc)
Fig. 24. Inspected Patterns and a Rough Sketch from which Supposed Internal Defect of Die Block (2 Mc)



ダイス鋼, 140mmφ, 鍛造疵

第25図 縦断マクロ面, 探傷図形 (2Mc)
Fig. 25. Inspected Patterns and Macro-etching on the Logitudinal Section of a Bar (Die-Steel, 2 Mc)

度の低い底面反射を示し, 更に内方に進むに従い欠陥反射は 20~30mm に増大すると共に底面反射は殆ど消失した。この異状反射部は第24図の陰影を付した部分に相当する。

この異状部の本質を確かめるために同図見取図に「マクロ面」と記した面を塩化銅系の試薬でマクロ検査を行った結果, 7~22mm の毛状割が 2~3箇/cm² の密度で陰影部に介在せるを検出した。

本実験に於ても超音波検査による検出結果をマクロ検査によつて確認した訳である。

(D) 鍛造疵の深さの観測例

鍛造材の一端面に直径の 1/2 にも及ぶ 2 条の開口せる鍛造疵を認めたがその深さは外部より測り得なかつた。

この鍛造材の長軸方向に探査子を移動して長さ方向の疵深さを探査した結果, 右端面より約 10mm の点で欠陥反射は消失した。

その縦断面のマクロ検査に於ては第25図に示す如く疵深さは 8mm を示し, 超音波探査結果と符合した訳である。

(E) 時効割の検出例

前記 (2)-B, 偏析に於ける第17図に示す試験片に於て長軸方向に探査子を移動した場合, 時効割の対応位置⑭に於ては欠陥反射は現われず, $H_1/H_0 \approx 12\%$ の如き低き底面反射のみを示すにすぎず, 異状反射部として超音波探査で検出可能である。

[V] 実験結果の検討

上記 13 例の実験結果のおのののに就いて検討を加える。

(1) Shrinkage Cavity

鋼塊には Shrinkage Cavity 系統の欠陥の内蔵は避け難いものといわれている。鍛接性のある鋼種, 例えば炭素鋼や低合金鋼等では適応した熱間加工により鍛接されて, 鋼材には有害な跡を残さないが, 鍛接性の低い高合金鋼或は熱間加工を誤ると有害な欠陥を残すといわれる。

この Shrinkage Cavity の検出には従来マクロ検査法を用いてきた。

(A) 角型鋼塊

本実験試料は不銹鋼の研究試料であるが, 第12図の縦断マクロ面に於て Shrinkage Cavity は侵蝕拡大されて 0.2~0.3mm, 最大 2mm にも及ぶ。この欠陥に対する超音波探査結果は 0.5Mc に於て $h_1/H_1 \approx 4 \sim 15\%$, $H_1/H_0 \approx 70 \sim 80\%$ を示している。欠陥反射なく且つ底面反射の高い部分はマクロ検査でも欠陥を認めず, 即ち健全部と見られる。欠陥の箇々の大いさは大きくはないがその介在状況よりしてやゝ幅広い欠陥反射を示したものと思考される。

鋼塊は鑄造組織の儘で中心部即ち自由晶部は粗鬆組織であり易く, 超音波減衰度が大きいから, 透過度の比較的良好な柱状晶部と比較探査を行えば内部の推測が可能である。

(B) 鍛造材 150mmφ (高速度鋼)

第13図に認める Shrinkage Cavity は決して大きいとはいわれないが, 一縦断面に 5 箇を認めており, 総数はやゝ多数分布しているとみられる。又超音波の減衰度が欠陥の箇数及び大いさに比してやゝ大きいことも併せ考えると, この種のものには鍛造効果を検討の余地があると思考される。

(C) 圧延棒鋼 120mmφ (特殊工具鋼)

この実験で検出したのは第14図に見る通り Shrinkage Cavity とみられ、またマクロ検査に於て偏析を検出している点をも併せ考えると切捨不足部と見られる。

この種類の不良部の検討には超音波探傷法が適当であると思ふ。

(2) 収縮管, 鍛造材 140 mmφ (高速度鋼)

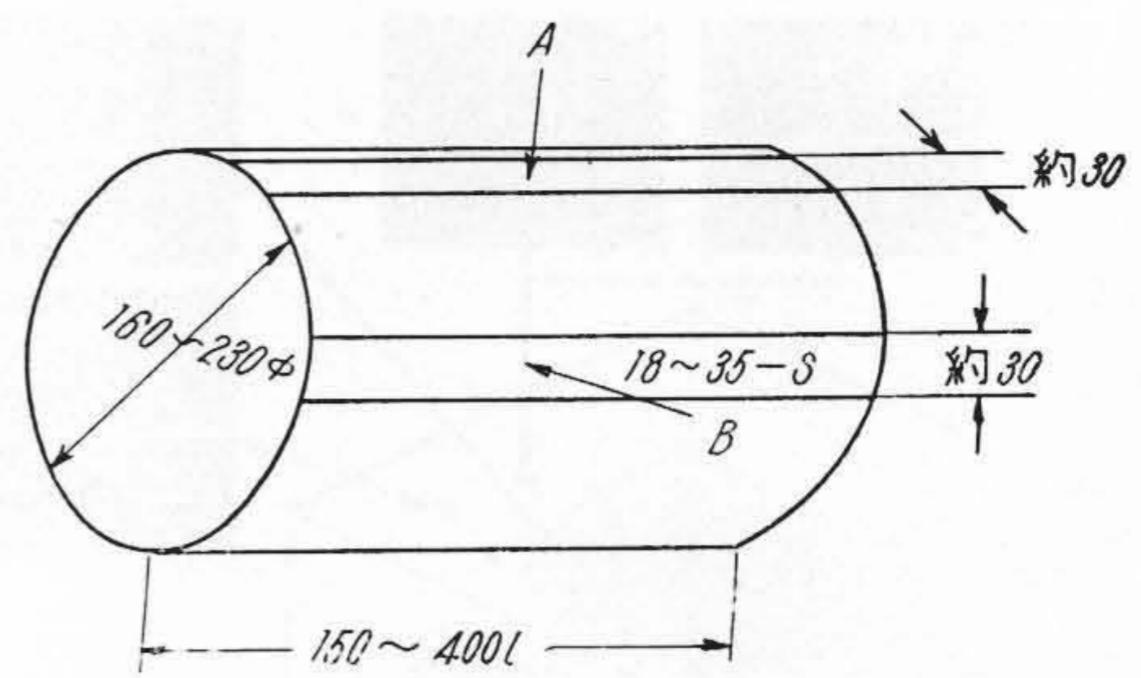
二次収縮管は Shrinkage Cavity の腔内容積の大きさの更に大きいものであり、中心部にあるから穿孔検査で大半は検出し得ていた。

本実験では鋼材の外周面上、約50°間隔の3方向から探査を行い、それぞれ異つた探傷図形を得ている。これを第20図に就いて説明すれば、左側は $h_1/H_1 \approx 7\%$, $H_1/H_0 \approx 100\%$ であつて欠陥は小と示し、中央は $h_1/H_1 \approx 19\%$, $H_1/H_0 \approx 45\%$ であつて欠陥は大と示し、更に右側では $h_1/H_1 \approx 25\%$, $H_1/H_0 \approx 95\%$ で欠陥は左側より大きく、中央部より小と表示している。このように同一の欠陥に対する探査結果の差異は、欠陥の形状及び介在位置の差異より生ずることが考えられ、欠陥形状の上からみる時は光学的反射と一致する訳である。もし鋼材に同心円状の欠陥があつたとしたならば、鋼材円周上の任意点に於て等量の反射を示し、従つて1点探査で足りる筈である。しかし事實は一般的な鋼材欠陥は不規則な形態が殆どである。本実験でも左側の1点探査のみで判断していたならば恐らく「小さい疵」と軽視して処理したかも知れない。

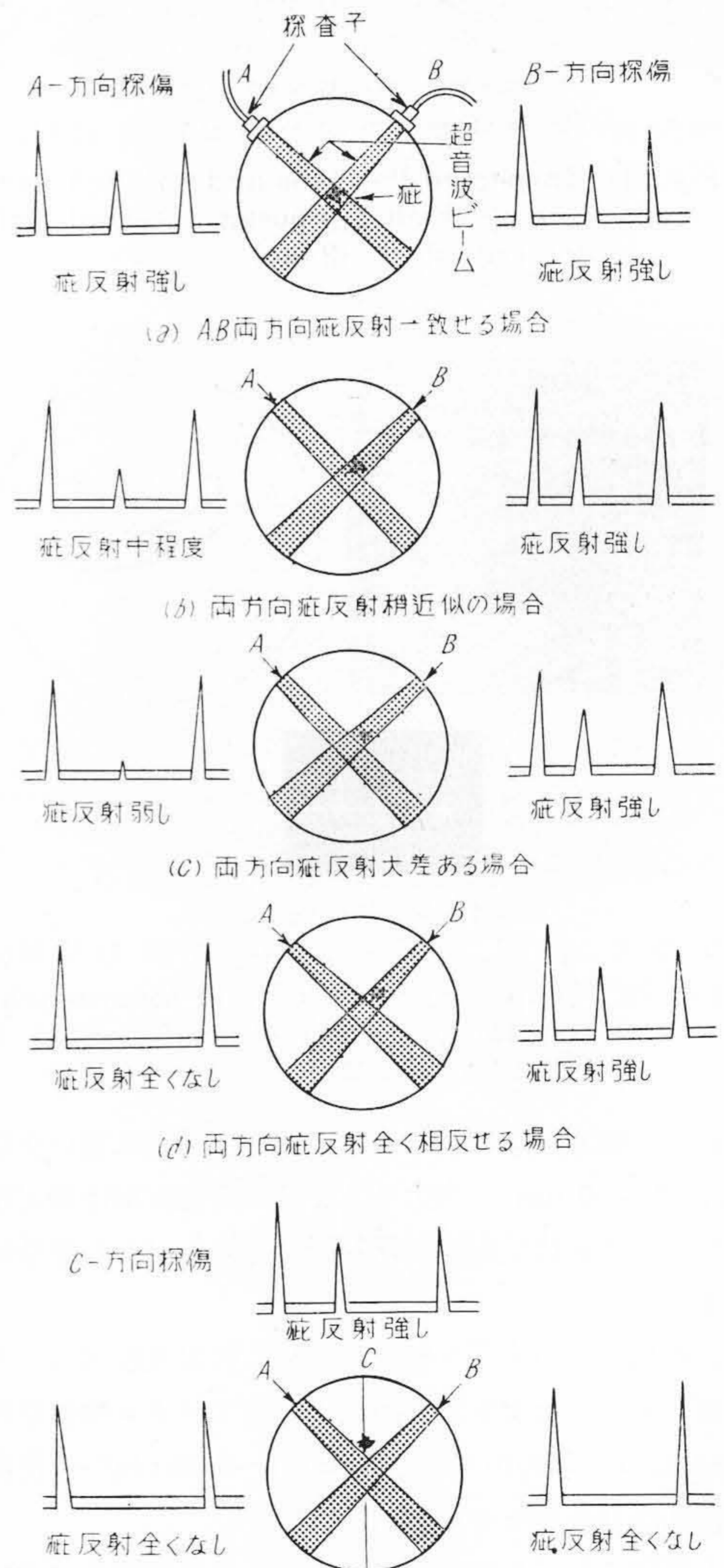
又別に調査した 160~230mmφ×150~400mmL の鍛造材 183 箇に対し、第26図に示す如き A, B 2 方向探査の結果は第 8 表に示す通りである。即ち A, B 両方面共に反射を認めず一応健全材と見られるものが 158 箇で全数の 86% を占め、残りの 25 箇には欠陥反射を認めている。この 25 箇は A, B 両方面の反射の一致したものと、不一致のものに分けられる。第20図に示したのも不一致の例である。

第 8 表 二方向探査結果の抜萃 (鍛造材)
Table 8. Selection of Inspected Result in the Different Directions

探 傷 結 果 内 訳		本 数
全 検 査 数		183
A, B 2 方向の 疵反射状況	全く認めないもの	158
	a 一致したもの	11
	b ほぼ相似したもの	5
	c 大差あるもの	4
	d 1方向にのみ認め他方向に全く認めないもの	5



第 26 図 鍛造丸材の探査面加工要預
Fig. 26. Preparation of Researching Surface on the Specimen of a Forging Round Bar



第 27 図 探傷方向による疵反射状況の変化
Fig. 27. Variation of Reflected Wave Height According to Researching Direction

かくの如く一つの欠陥に対する判断は1方向のみでは危険であるといひ得る。更にこれを詳記すれば、今この25箇に就き第8表のa~dのそれぞれに対し検討を加えて第27図に図解を試みる。a)は疵が中心部にある場合でA、B両方向の反射はほぼ等しい訳である。b)は疵がやや右寄りにあり、B方向の反射量がやや大きい。c)は疵が更に右寄りにあるためにA方向では疵の一部を照射しているにすぎない。d)は疵が更に右上寄りにある場合でB方向のみが検出している。次にe)に於てはA、B両方向共に探知することが出来ず、C方向探傷で始めて検出可能な訳で、1方向探傷の危険性が肯定される。次に多方向探査の各反射量がそれぞれ異つた場合、何れをとるか、少く共最大の反射量に相当する欠陥があると見做される。

(3) 揉割、鍛造材 130 mmφ (高速度鋼)

鍛接性の低い高合金鋼で、鍛造加工の誤りから Shrinkage Cavity 系の欠陥が鍛接しない例があり得る。未鍛接に止らず、条件が悪い時には更に割疵にまで進展する場合も考えられる。割疵の形態は鍛造の影響をうけて、扁平状、X-状、H-状等を呈し大きさもやや大きい。第21図に示すは据込鍛造材で、両端面は鍛錬効果により鍛接され、内部に割疵を包蔵している訳で、鍛造法は検討を要する。

超音波検査に於てはこのような大きい割疵は見逃すことはない。しかも反射状況に特長があり判別可能である。即ち扁平状、X-状、H-状であれば、投射方向により反射状況に変化を示し、殊に送受信子を分割して探査すると興味深い反射状況の変化を示し、引続き研究の予定である。

(4) 毛割

毛割は適切な熱間加工によつて鍛接されるが、熱間加工後の冷却を誤ると再現するといわれ、従つて冷却法の如何により消長があり、不均質、不連続の場合が考えられる。従つて従来とり来つた抽出試料によるマクロ検査及び破面検査では、検出は可能ではあつたが、超音波検査では検出信頼度がより大である。

(A) 圧延棒鋼 80 mmφ (強靱鋼)

この実験材は鍛造比もやや大きく、自硬性は大きくはないが、成分的に毛割を生じ易いものと見られ、縦断マクロ面より横目白点状の欠陥と思考される。

超音波検査に於ては $h_1/H_1 \approx 60\%$ 、 $H_1/H_0 \approx 37\%$ で検出は明瞭である。

(B) 鍛造材 150 mmφ (特殊工具鋼)

この実験材の内部欠陥は不連続であつた。即ち実験材の両端にはないが中間部に欠陥を内蔵せるを検出し、マクロ検査による誤つた判定を超音波検査により是正した訳である。この鋼材の鍛造比は標準値以上で、横断マクロ検査では軽度の結晶偏析を認めたのみで、樹枝状晶は大半破壊されており、粗鬆組織も認められない。結局内部欠陥の成因は鍛伸後の冷却法にあつたものと思考される。

従来超音波探傷に於て音波的不透明といわれたものの例は多孔質或は粗鬆組織によるものが多く、ここに示す例は鋼材自身の超音波減衰度は高くなくても欠陥のために減衰を示したものである。第23図に示す通り最大 25 mmにも及ぶ割疵が重畳しておれば超音波ビームは一次反射を示し難く、即ち欠陥反射は低く、また底面にも達し難く、たとえ達したにしても反射波は受信子には到達せず、従つて底面反射もみとめ難い訳である。

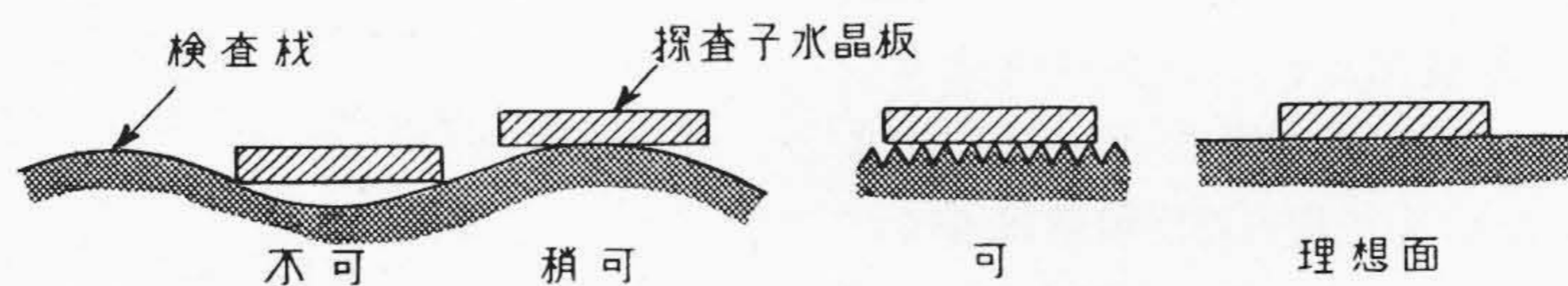
探査面加工状況の差異が反射状況に及ぼす差異を求めてみたが、第23図探傷図形の上下を比較した場合、上部は鑪掛け 35-S 程度、下部は更に鑪掛けを丁寧に行い 25-S 程度とした場合で、後者が反射量が多く検出度が高い。それは探査接着面の増大に伴うパワー伝受量の増大による。

更に探査面加工につき二、三検討を加える。探査面状況は可及的良好条件に加工せねばならないが、現場検査上多数の製品の探査面加工は、最適な検出能を保有する探査面を、最少工数で能率的に加工せねばならない。探査面は平滑よりもむしろ平坦である方が望ましい。即ち 18-S の曲面よりも 25-S の平面の方が検出成績が良好でありこの推論は第28図に図解する通りである。

(C) 鍛造材 500×450×350 (鍛造型鋼)

中寸度以上の鍛造粗材には鍛造機能力、鋼塊の大きさ及び鍛造比の関係で鍛造効果が芯部にまで及び難い時は欠陥を内蔵する惧れがあり、従来より樹枝状晶破壊状況の観察と兼ねてマクロ検査を行つてきた。

本実験材の超音波探査に於ては周縁部約 60 mm の表層の底面反射を認める部分は柱状晶部に相当するから超音波透過度は自由晶部より高い訳である。中心部に進み



第28図 探査面状況による水晶板接着状況

Fig. 28. Effect of State of Researching Surface on Contact of Crystal Surface with the Specimen

全体積の約1/3を占める芯部即ち自由晶部は底面反射を示さない。表層部を削除して芯部を露出し、この面のマクロ検査で約7~22mmの毛割状の欠陥を認めており、鋼の致命的欠陥を内蔵していた訳で超音波検査でこそ検出可能である。

(5) 偏折

偏折はマクロ検査及び硫貼写によつて検出される。

また超音波探査ではクラックを伴わない偏折は検出困難であるが、ゴーストにまで進んだものは検出の可能性があるとされる。

(A) 鍛造材 170mmφ (打抜型鋼)

打抜型鋼には諸種の性質が要求されるが、要は鍛造が芯部にまで及び鑄造組織は十分破壊された緻密な組織でなければならない。第16図に示す横断マクロ面の中心部にやや著しい偏折を認める。その中心部に1~2mmの9点の孔蝕がある。この孔蝕のうち小さいものはShrinkage Cavityとみられ、2mm見当のものは円形で且つ孔底は海綿状を呈しており、偏折部が偏蝕されたものとみられる。このように偏折が著るしく且つ Shrinkage Cavity を伴つておるので超音波の吸収が大きいと考えられる。

また底面反射が高く健全部とみられる部分も減衰波回数は4回であり、マクロ検査面で樹枝状晶は一応破壊の跡がみられるが中心部は粗鬆組織を呈しており、鍛造効果不十分と推測される。

(B) 鍛造材 130mmφ (高速度鋼)

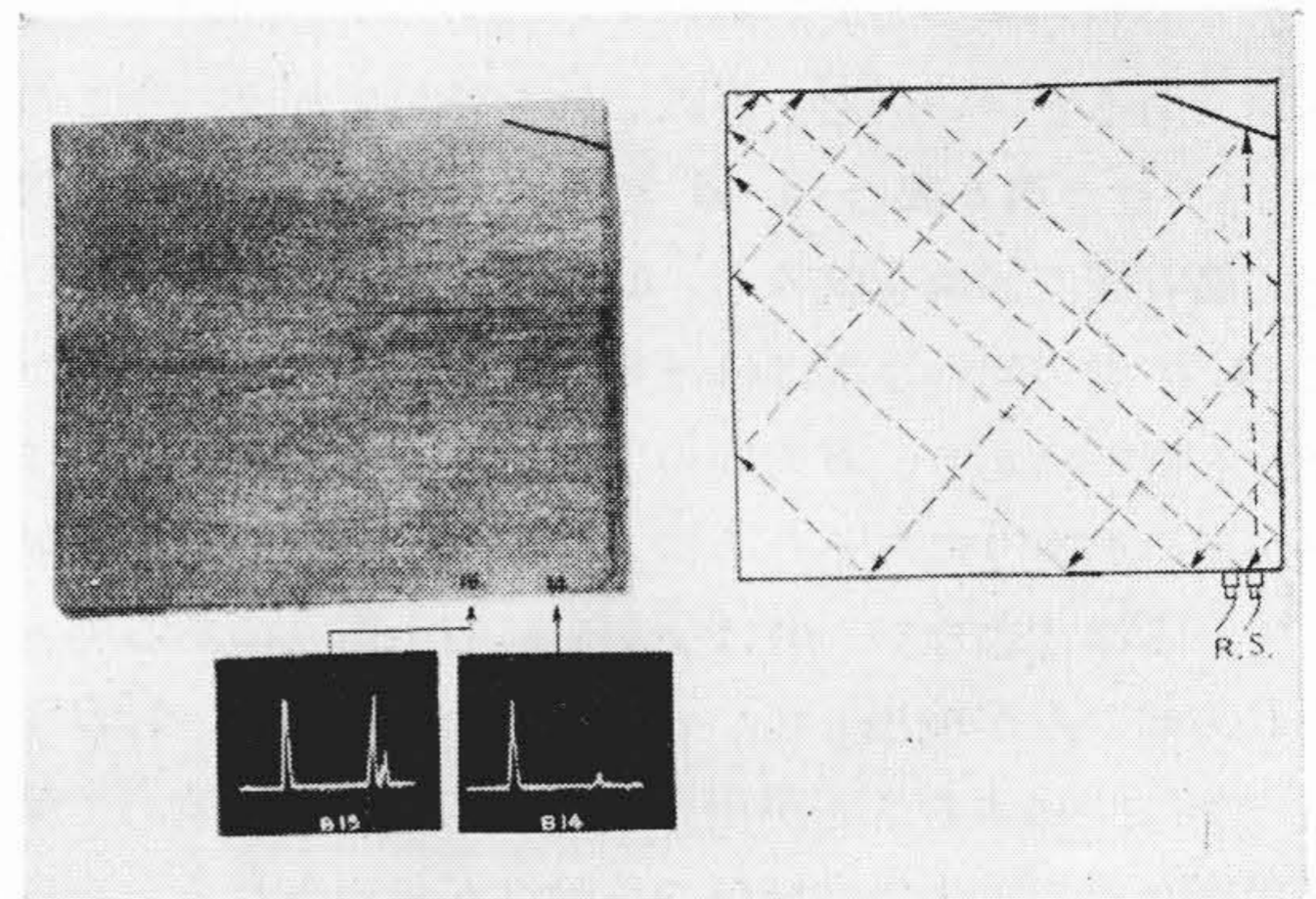
第17図に示す縦断マクロ面の中央部にくろずんだ偏折帯を認める。偏折の程度はゴーストよりはるかに軽度ではあるが、高級切削工具用鋼としては偏折の軽減が望ましい。

超音波を反射する程の材質的变化ではないので、この程度の偏折検出は困難とみられる。

(6) ゴースト, 鍛造材 148mmφ (炭素鋼)

バイト掛りに異状条痕, 即ち幽痕として認められる程度の異状部の本質に就き, 硫貼写及びマクロ検査で得た検出像により判別した区域の化学分析結果より偏折部のS量は基地のその1.5倍にも及んでいる。

顕微鏡検査ではゴースト部の組織は基地よりもやゝ密で, 且つ A-系介在物の群集をみとめる。化学的組成の差, 組織差及び介在物の群集等の合成により超音波透過度に差異を生じ, 即ち異質部として反射の対象となつたものと思ふ。しかしながら割痕や Cavity のような不連続の変化ではないので超音波反射量は少く, 従つて探査面は平坦に加工して探査子の接着状況を良好に保つ必要がある。即ち精細な探査により検出可能である。



高速度鋼, 130mmφ, 時効 (割及び偏折)

第29図 縦断面マクロ, 探傷図形 (2Mc) 及び多重反射説明図

Fig. 29. Inspected Patterns and Macro-etching on the Longitudinal Section of a Bar (High Speed Steel, 2 Mc) and an Explanation of the Multiple Reflection

(7) 時効割, 鍛造材 130mmφ (高速度鋼)

超音波探傷に於て底面反射が低い或は現われないのは, 多くは自由晶部の欠陥が超音波を散乱したためによるものであつたのに対し, この実験例では超音波ビームは底面, 即ち本実験材に於ける円周部の直前にある約20°傾斜の時効割により反射されて底面に達しないのみか, 第29図に示す通り鋼材内を多重反射を繰返し, 容易に探査点に到達しないので反射が現われ難いと推論される。

(8) 鍛造疵

可鍛性の低い合金鋼は鍛造法如何により第25図に示す本実験材のようにしわ状の疵が深く進行することはあり得る。

このようにして疵の状況を探知するには疵面に対し直角方向から探査すれば有効であると思ふ。

(9) 総括

以上の検討を総括すれば次の通りである。

従来より実施し来つた内部検査法に対し新らしく透視検査である超音波探傷法を採用して内部検査合理化への革新を図つた。しかし従来よりの内部検査法の何れにしてもそれぞれに検出特長があり, 今後も併用されるであろう。これらの検出特性に就き比較検討を加えて第9表に示す。同図に示す通り超音波検査では, 砂疵, 軽度の偏折, 組織等を除く内部欠陥は非破壊の儘殆ど検出可能である。なお参考までに放射線検査法も掲げているが, 同法は検出度は高いが実用上の難点があるといわれる。

[VI] 結 言

本研究は各種の内部欠陥を有する特殊鋼々材の試料に対し, マクロ検査, 磁気探傷, 硫貼写, 顕微鏡検査等の

第9表 内部欠陥検査法対照

Table 9. Comparison of Inspecting Method for the Internal Defect

検査区分	検査別	欠陥名称													
		収縮管	S.C.	気泡	毛割点	初晶割	ゴースト	偏析	砂疵	揉割	焼割	時効割	粗粒	組織	
非破壊検査	肉眼	○	△	△						○	○	△	△		
	表面検査														
	熱間剪断面	○	○	△		○					○	○	○		
	磁気探傷	○	○	○	○	○				○	○	○	○		
透視検査	超音波探傷	○	○	△	○	○	△				○	○	○	△	
破壊検査	マクロ	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	△	(マクロ) ◎
	破面	○	○	○	◎	○	△				○	○	○	◎	
	穿孔	○	○	○							○	△	△		
	据込			○		○				△				△	
	硫貼写						◎	◎							
	顕微鏡									○				◎	(ミクロ) ◎
	周面削									◎					

(註) ○=内蔵欠陥検出可能 ◎=検出特長 ○=検査面にある欠陥に限り検出可能 △=欠陥検出可能な場合もある。
欠陥名称中 S.C. は Shrinkage Cavity の略号である。

従来より行い来つた検査法と、新に採用した超音波探傷法とを併せ行い、これらの検出結果の比較検討を試みて次に示すような結論を得た。

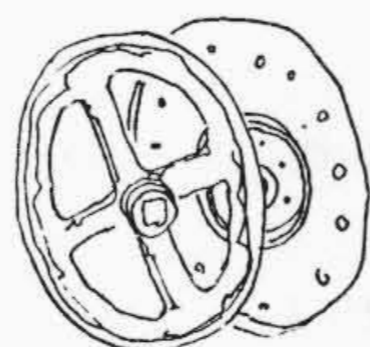
- (1) 超音波探傷法は非破壊的に鋼材の有害な内部欠陥の殆どを検出可能で、実用性が大きい、使用法の適正と、技術的知見による正しい判断に俟たねばならない。
- (2) マクロ検査、磁気探傷、硫貼写、破面検査、顕微鏡検査等は抽出検査の欠点があるが、内部欠陥の本質確認には、それぞれの検出特長の利用が有効である。
- (3) 従つて検査面から、鋼品質の保証、生産技術の向上、加工合理化を企図するためには先づ超音波探傷法を以て内部欠陥の外廓を検出し、更に進んでは、これに従来より行い来つた内部検査法を以て欠陥の

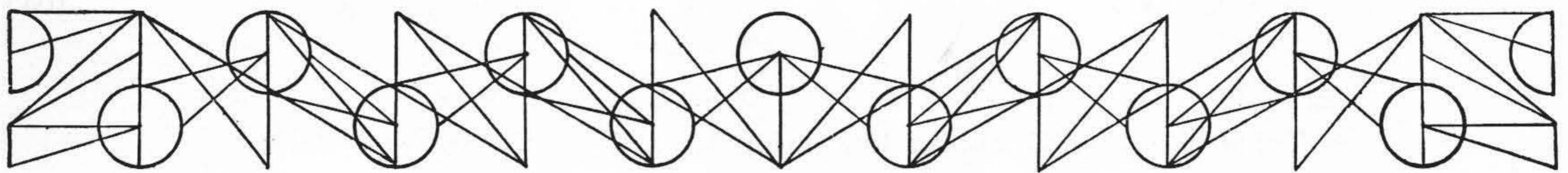
本質確認を行うならば、内部欠陥検出信頼性は更に期待されるであろう。

最後に超音波探傷器の設置並びに本実験の遂行に関し、深き御理解と御鞭撻を賜つた土器屋日立製作所安来工場長に対し深甚の謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) 古川：日立評論 26 384 (昭 18-6)
- (2) 報告集：学振製鋼 19 小委第 3 分科会超音波探傷法協議会
- (3) Schinn：St. u. Eisen, 72 695 (1952)
- (4) J. et H. Krautkrämer；Metaux, 318 89 (1952)
- (5) 報告集：学振製鋼 19 小委第 3 分科会超音波探傷法協議会
- (6) Carlin：Ultrasonics (1950)





第 36 卷 日 立 評 論 第 7 号

- ◎ 姫川電力株式会社納
姫川第七発電所用水車および発電機について.....日立製作所・日立工場 {伴海考名 文啓 雄吾豊
北野
- ◎ ダム工事骨材採集用としての
タワーエクスカベータの実績について..... {佐藤工業株式会社椿原出張所 徳竹 功治
日立製作所・亀有工場 松島 為治
- ◎ 回転増幅機を用いた最近のケーブルクレーン用電気設備.....日立製作所・日立工場 {西角 政隆雄
村正
- ◎ 日立高速多気筒圧縮機.....日立製作所・栃木工場 須藤 清治
- ◎ 真空晶析装置について.....日立製作所・日立工場 高正 収
- ◎ 二重ポリュウト型渦巻ポンプおよび
強制ポリュウト型渦巻ポンプ.....日立製作所・亀有工場 寺田 進
- ◎ 客電車塗装の特質について.....日立製作所・笠戸工場 {宝迫 一郎
松本 三郎
- ◎ 蛍光放電管の探針特性.....日立製作所・中央研究所 中村 純之助
- ◎ 発電所主幹ケーブルの経済的計画..... {九州電力株式会社 {田中 照敏
日立製作所 {日立電線工場 石橋 本五郎
日立研究所 {橋本 博治
加子 清隆彦
泰彦
- ◎ タービン潤滑油の検討(第3報).....日立製作所・日立研究所 {高橋 治男弘
茂庭 喜
- ◎ チタニウムの二次電子放射抑制効果(第2報)
——二次電子利得に対する表面蒸着層の影響——.....日立製作所・茂原工場 北川 賢司

東京都千代田区丸の内1ノ4
(新丸の内ビルディング7階)

日 立 評 論 社

誌代 { 1冊分 ¥100 下12
6冊分 ¥430(送料共)
12冊分 ¥840(送料共)

「日立評論」綴込みカバー発売

(上製綴込み紐付) 特價1組 ¥100 (郵送料共)

「日立評論」の綴込み用として写真に示すような堅牢美麗な綴込みカバーを発売致しております。

御希望の方には特に実費にてお頒ち致しておりますから、直接下記に御申込み下さい。

日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
(新丸の内ビルディング7階)
振替口座 東京 7 1 8 2 4

