

超音波探傷器について

高田昇平* 安藤文雄**

The Supersonic Flaw Detector

By Shōhei Takada and Fumio Andō

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The flaw detector using supersonic impulse is discussed in this paper. The fundamental principle and the functions of the apparatus are given here under the following items:—

- (1) breadth of impulse
- (2) repeating frequency
- (3) supersonic frequency
- (4) band breadth and amplification of the receiver

The writers also give the description on the standard specimens which need be used with the apparatus in a certain fixed condition. In the latter half of the paper the results of actual applications of the supersonic flaw detector effected at several plants of Hitachi, Ltd. are published.

〔I〕 緒 言

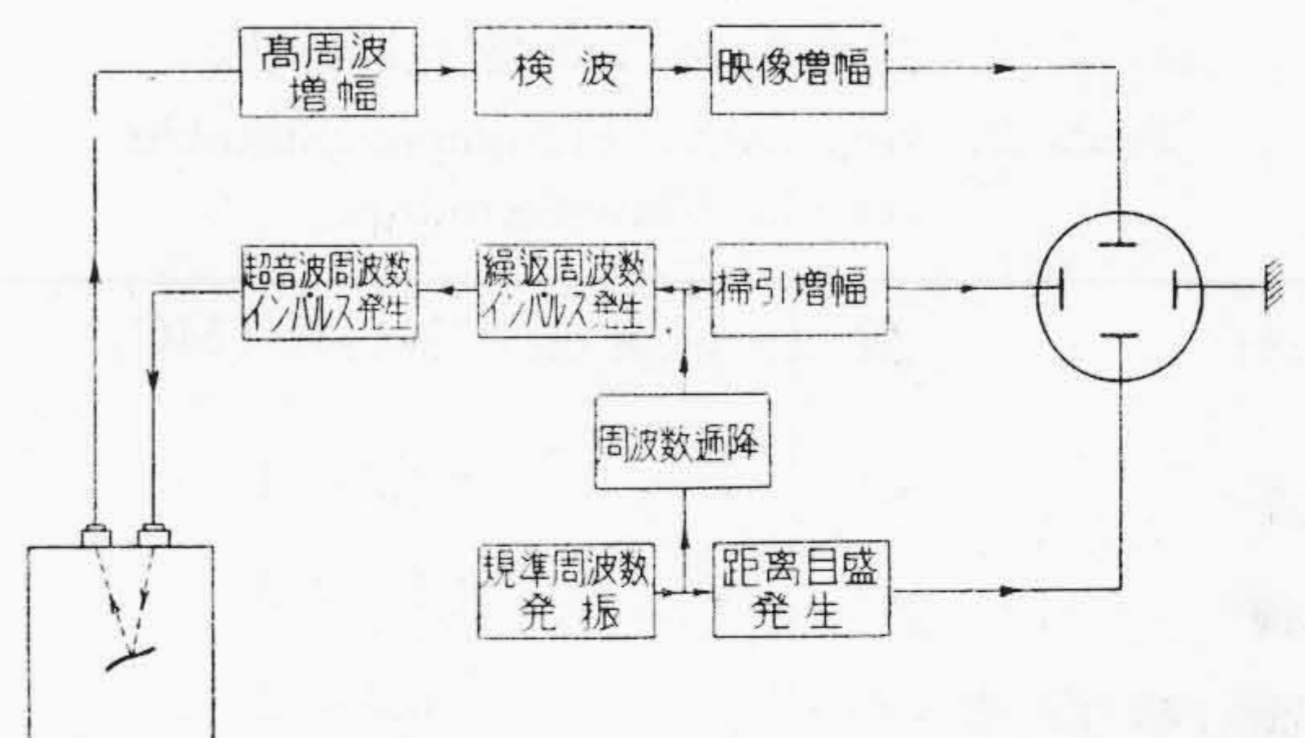
金属材料中の欠陥を外部から調べたいという要望は古くよりあり、X線による透写によつて或程度充されてきた。処が試料の厚さが大になるとそれだけX線が通り難くなり、より高圧のX線を使用しなければならない。それには膨大な設備を要する。

超音波探傷器は第2次世界大戦で活躍したレーダー或は音探と同じ原理で、比較的安価に提供され米英或は我国でも可なり普及されて来た。欠陥の形はX線程ハッキリ出ないが、X線では困難な大型試料にも適用され又表面よりの深淺の度合がわかる。日立製作所でも数年前より本器の試作研究に着手し、既に社内各工場に於て実施試験中である。

〔II〕 基礎原理

試験しようとする金属材の端面より超音波のパルスを入射せしめる。これが金属内部の欠陥の面より反射して帰つて来るのを受信して、波を入射せしめた時からの時間をブラウン管の像で測る。この原理は電波で飛行機を

探知するレーダーと全く同じ原理で、アンテナの代りに水晶片を用いそれに応じた周波数でパルスの励振する。送信水晶片の振動は金属材に伝播して欠陥の処で反射し受信水晶片を振動させる。これが再び電氣的振動となつて受信機で増幅される訳である。ブラウン管の横軸は時間に対して直線的に掃引し送信のパルスと受信のパルスとが超音波の欠陥迄の往復の時間に相当する距離を距て、縦方向に現われる。これによつて欠陥の存在とその位置がわかる。



第1図 超音波探傷器の回路構成の一例
Fig. 1. An Example of the Circuit Diagram of Supersonic Flaw Detector

* ** 日立製作所中央研究所

第1図は超音波探傷器の回路構成の一例である。所定の繰返し数によつて超音波のインパルスが発生し送信用水晶片を励振する一方、これと同期した鋸歯状波を作り、ブラウン管の横軸を直線的に掃引する。又、欠陥の位置をわかりやすくする為めに小さなパルスを反対方向に入れ距離目盛とする。受信したパルスは高周波増幅の後に検波映像増幅してブラウン管の垂直軸に入れ上方に振らせる。

〔III〕装置の機能

(1) パルス巾

表面から欠陥迄の距離が近いとパルスの巾を狭くしなければならない。それは送信のパルスが続いている間に受信のパルスが入ってきて両者の区別が出来なくなるからである。パルスが d なる距離までを往復する時間を t とすると、

$$t = 2d/v \dots\dots\dots (1)$$

なる式が成立つ。但し v は超音波の伝播速度である。一般に v は 10^5 cm/sec の程度である。(第1表参照)。例えば軟鋼 1 cm の距離を往復すると

第1表 各種材質中の超音波速度
Table 1. Supersonic Wave Velocity in Several Materials

材 質	速 度 cm/sec $\times 10^5$
アルミニウム	6.2
銅	4.6
マグネシウム	5.3
軟 鋼	5.8
ニッケル	5.6
真 鍮	4.4

第2表 探傷に適当した超音波周波数
Table 2. Supersonic Frequency Suitable for the Flaw-Searching

材 質	使用周波数 (MC)
鑄 鉄	0.5 ~ 1
鋼 鉄	1 ~ 5
鋼鉄溶接部	0.5 ~ 2
アルミ鑄物	1 ~ 3
マグネシウム	5 ~ 15

$$t = 3.3 \times 10^{-6} \text{ sec}$$

となる。そこでパルス巾はこの値より小さくせねば 1cm 以内の欠陥よりの反射は分離出来ない。又、励振中止後の減衰振動によつて実際のパルスはこれより更に若干広くなることを覚悟しなければならない。

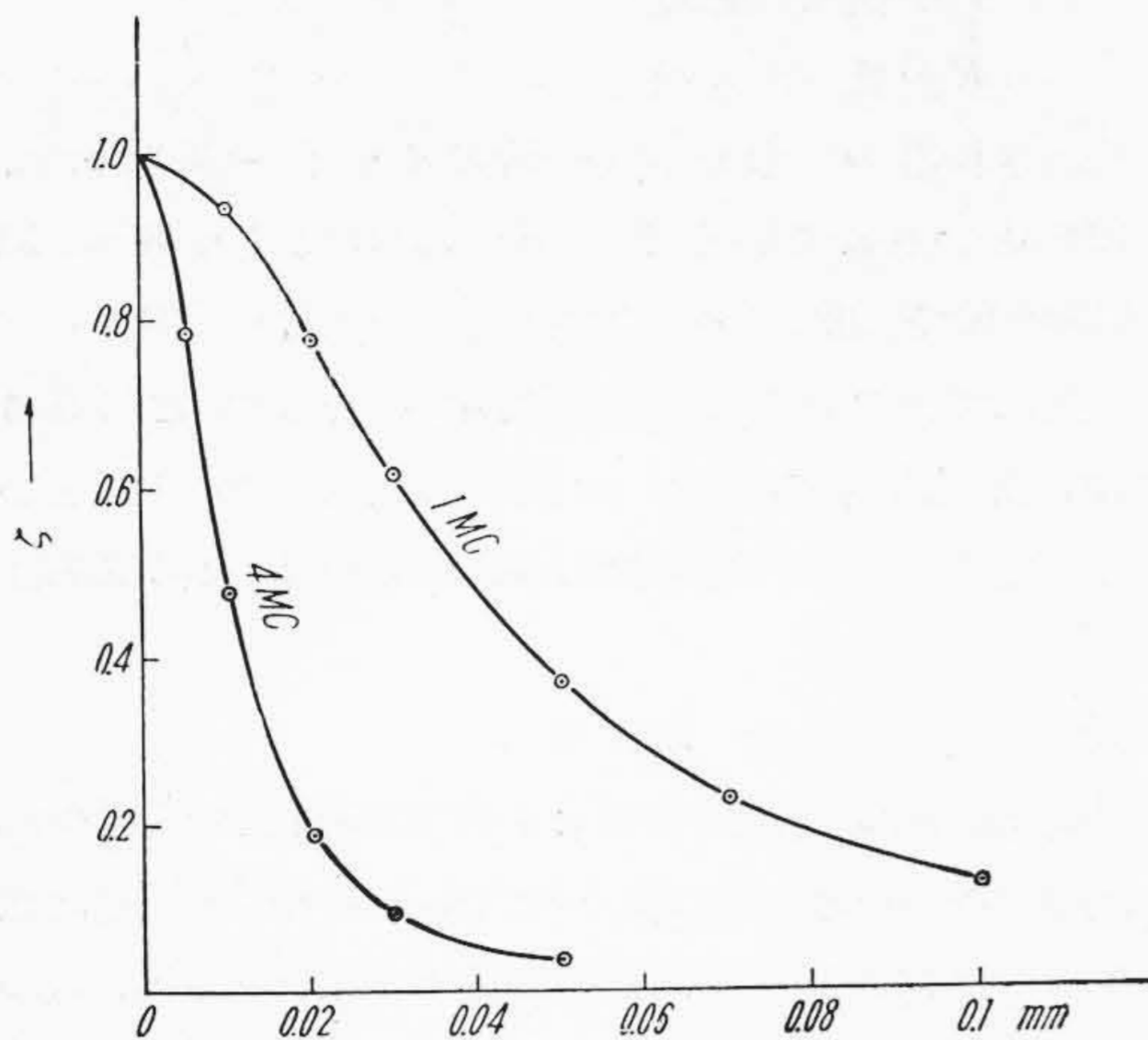
次にパルス巾は超音波の周波数によつて制約を受ける。即ちパルスの中には少くとも数サイクルの波連を必要とするのでパルス巾をいくらでも小さくする事は出来ない。

(2) 繰返し周波数

超音波のパルスは1回だけ出すのではなくブラウン管横軸の掃引と同期して何回も繰返して発射し、眼には静止像として映ぜしむるのである。この繰返しの周波数は被検物の長さで制限される。つまり底面よりの反射パルスが次の入射波より遅れて帰つて来ると近距離の欠陥と誤認するおそれがある。例えば3米迄の軟鋼を試験するにはやはり(1)式を使つて $t = 1 \times 10^{-3}$ 秒 即ち繰返しの周波数は少くとも 1,000 サイクルより低くしなければならない。然し必要以上にこれを低くとると、近距離の場合に時間軸の振幅を拡げる必要があるのでブラウン管の像が暗くなるおそれがある。そこで被試物の大きさに応じた適当な繰返し周波数にしておくことが望ましい。

(3) 超音波の周波数

探傷器に使用される周波数は大体 0.5~5 MC で稀に 15 MC とゆうような高い周波数も用いられる。周波数が高いと一般に材料中の減衰が大となつて反射波が小さくなる。然し低い周波数では前述したように数サイクルをパルスの中に入れねばならぬからパルス巾が大きくなつて近距離の探傷は不能となる。そして低い周波数では極めて小さな傷が廻折作用の為に反射が十分でないというおそれもある。是等の諸点から現行の周波数が決められており、例えば第2表の如き周波数を採るよう提案している文献もある⁽¹⁾。然しこれは勿論決定的なものでなく今後の経験によつて便利な周波数を採られるようになると思はれる。金属材料中の超音波の減衰については色々なデータが出されているが例えばアルミニウムの棒について試験した結果では減衰は周波数の二乗に略比例して増すが、マグネシウムではその結晶の大きさにより、周波数に比例して増す場合と、相当高い周波数まで周波数に殆ど関係がない場合があるという結果が出ている⁽²⁾。又、15 MC とゆう比較的高い周波数ではあるが焼入した鋼とこれを焼鈍したものについて我国で測定された例があり⁽³⁾、前者は 0.6 db/m、後者は 3.5 db/m という値が出されている。かくの如く材質、処理条件等で可なりの範囲に変化する。これは又逆に材質の検査にも用いられる。



第2図 油膜の厚さによる伝送率の変化
Fig. 2. Transfer Coefficient vs. Thickness of Oil Film

超音波の周波数に関連して今一つ注意すべきことは境界面の問題である。送信側の水晶片で発生したエネルギーを有効に金属中に伝播せしめるために、境界面に油膜を介することが普通よく行はれている。油膜が無いと境界面に薄い空気の膜が出来ることになり、波は殆ど被試物に伝らない。油があつても、水晶片、油、被試物がそれぞれ異つた音響インピーダンスを持っているので各々の境界面で反射が起る筈である。音響インピーダンスとは

$$r = \rho \cdot v \dots\dots\dots(2)$$

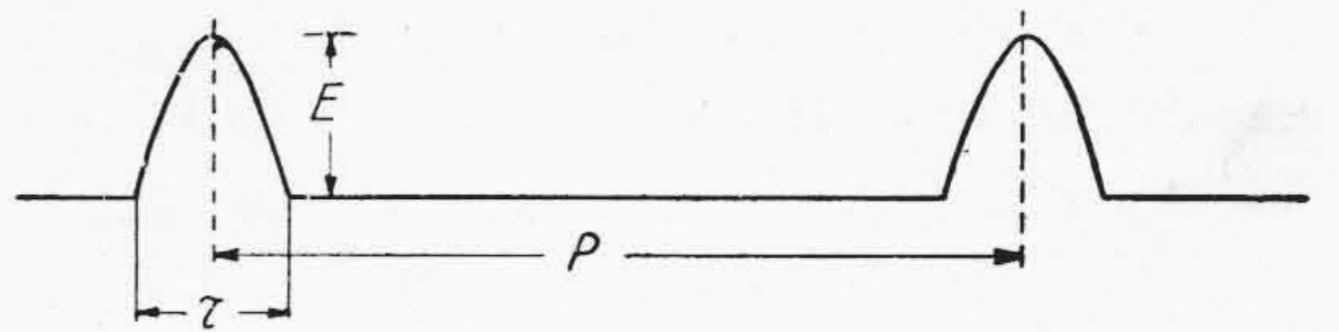
で表される量である。但し、 ρ は密度、 v は超音波のこの材質中の速度である。かゝる媒体の不連続面に於ける伝送率は均質媒体中にこれと質を異にする薄膜がある場合の次式を流用して大体的見積りをする事が出来る⁽⁴⁾。

$$\zeta = \frac{1}{\cos^2 \alpha + \frac{1}{4} \left(\frac{r_0}{r_1} + \frac{r_1}{r_0} \right)^2 \sin^2 \alpha} \dots\dots\dots(3)$$

但し $\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot t_0$

- 茲に r_0 = 薄膜の媒体の音響インピーダンス
- r_1 = 均質媒体の音響インピーダンス
- λ_0 = 薄膜媒体中の超音波の波長
- t_0 = 薄膜の厚さ

今一例としてアルミニウムの材料について試験を行つたとすると、その音響インピーダンスは 1.39×10^6 、水晶の音響インピーダンスは 1.44×10^6 にて殆ど等しいので(3)式の流用は安全である。更に油の音響インピーダンスを 0.12×10^6 とすると油膜が十分薄い場合には



第3図 計算に用いられたるパルス波型
Fig. 3. Wave Form of the Pulse used in Calculation

$$\zeta = \frac{1}{1 + 1,360 \left(\frac{t_0}{\lambda_0} \right)^2} \dots\dots\dots(4)$$

となる。 λ_0 は 1 MC, 4 MC に於てそれぞれ 1.4 mm, 0.35 mm である。そこで t_0 の大小により如何に伝送率が変化するかこの式から計算される。第2図にその計算結果が示される。欠陥等からの反射波も再びこの境界面を通らなければならないから結局 ζ^2 で利いて来ることになる。これより見ても如何に油膜の厚さがてき面に利くか分かる。特に周波数の高い場合には注意を要する。表面の仕上げがわるいと接触面積の大部分に於て t_0 を十分小にとり得ないことになる。周波数が高い程表面をよく仕上げなければならないわけである。この点からも使用周波数に制限が加えられる。序でながら折角表面を仕上げても小さなゴミが水晶片と被試物との間に介在するとやはり悪影響を与えるので極力避けなければならない。油膜の代りにグリースを用いることもある。又、鋼等と音響インピーダンスの近いアマルガムを使うという提案もあるが、あまり実用されていない模様である。最近水ガラスを用うるとよいとゆう報告があり成績はわるくない。

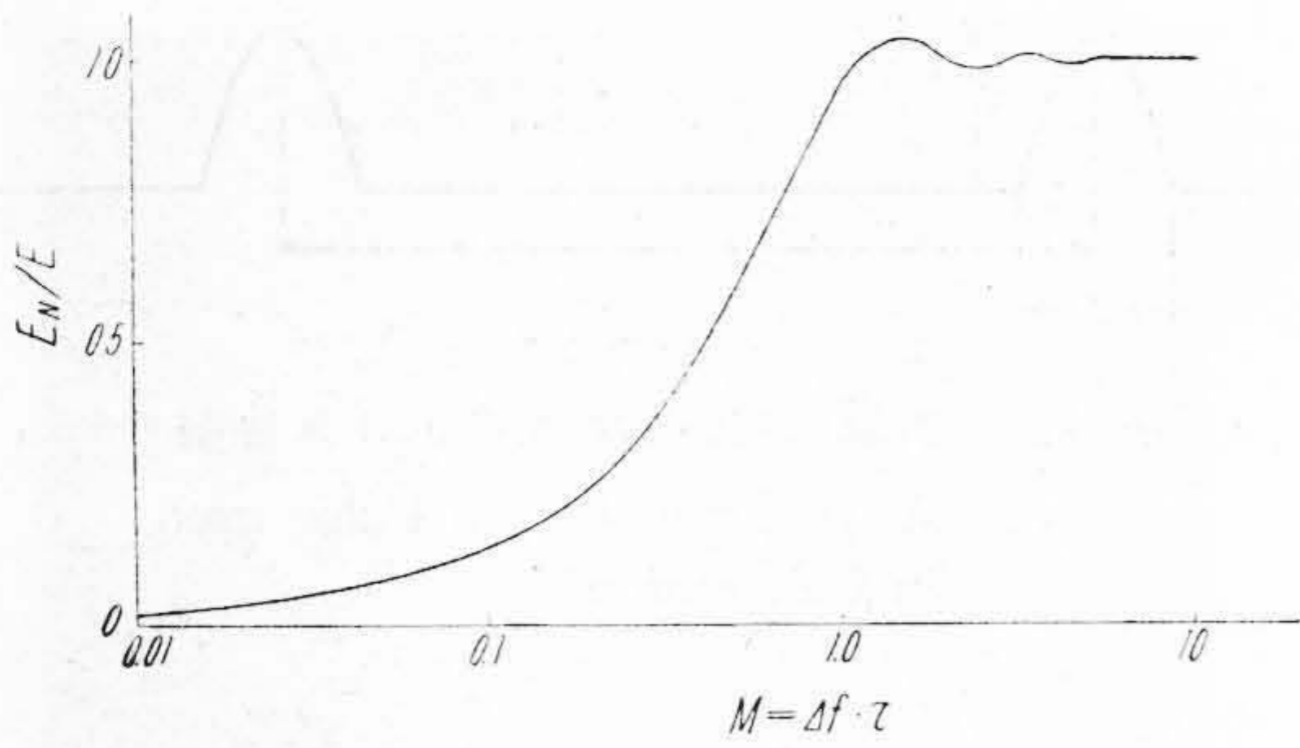
(4) 受信機の帯域と増幅度

先づ受信機の帯域について述べる。これは受信機が何サイクルから何サイクル迄を大体一様に増幅するかという周波数の幅のことである。パルスを歪なく増幅するにはこれに含まれる高調波を相当次数まで増幅しなければならないので或る程度の帯域が必要となる。例えば第3図の如きパルス幅 τ なる半正弦波の波形は次式で表わされる⁽⁵⁾。

$$e_t = \frac{E}{b} \left\{ \frac{2}{\pi} + \pi \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{n\pi}{b}}{\left(\frac{\pi}{2} \right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2} \times \cos \frac{n\pi}{b} \frac{t}{\tau} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

但し $b = P/\tau$

上式に於て n を $n=1$ より $n=N$ 迄の高調波をとつてこれを合成した振幅を E_N とすれば



第4図 周波数帯数と出力波高値との関係

Fig. 4. Peak Value of Output vs. Frequency Band

$$E_N = \frac{E}{b} \left\{ \frac{2}{\pi} + \pi \sum_{n=1}^N \frac{\cos \frac{n\pi}{b}}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \right\} \dots\dots(6)$$

これより E_N/E と $N/b(\equiv M)$ の関係を示すと第4図の如くなる。茲に M は

$$M = N/b = N \cdot \frac{\tau}{P} = N \cdot f \cdot \tau$$

$N \cdot f$ は f なる基本波の N 番目の高調波であつてこの周波数までを増幅するのであるから N が十分大きければこれはとりも直さず帯域 Δf に略々等しい。(実際は $\Delta f = (N-1)f$)

そこで

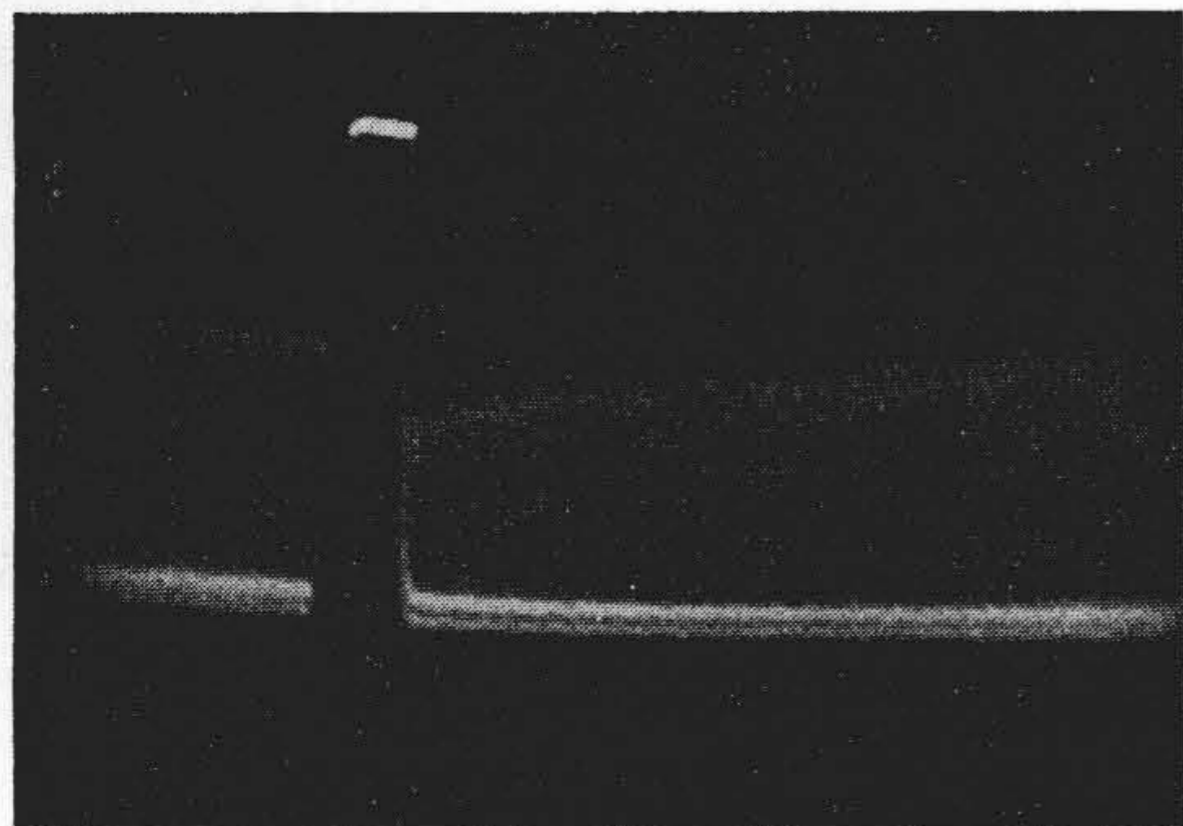
$$M = \Delta f \cdot \tau \dots\dots(7)$$

となる。今 $\tau = 1 \mu\text{sec}$ とすれば第4図より $\Delta f = 1 \text{ Mc}$ となる。

次に増幅度について述べる。増幅度は極力上げたい処であるが雑音によつて制限をうける。増幅器入力に於ける雑音は入力抵抗の熱擾乱雑音が主であつてこれは

$$\bar{e}^2 = 4kTR\Delta f \dots\dots(8)$$

但し $k = \text{Boltzmann}$ の定数



第5図 追い込み現象
Fig. 5. Returned Pulse, Back from Slight Flaw

$T = \text{絶対温度}$

$R = \text{抵抗}$

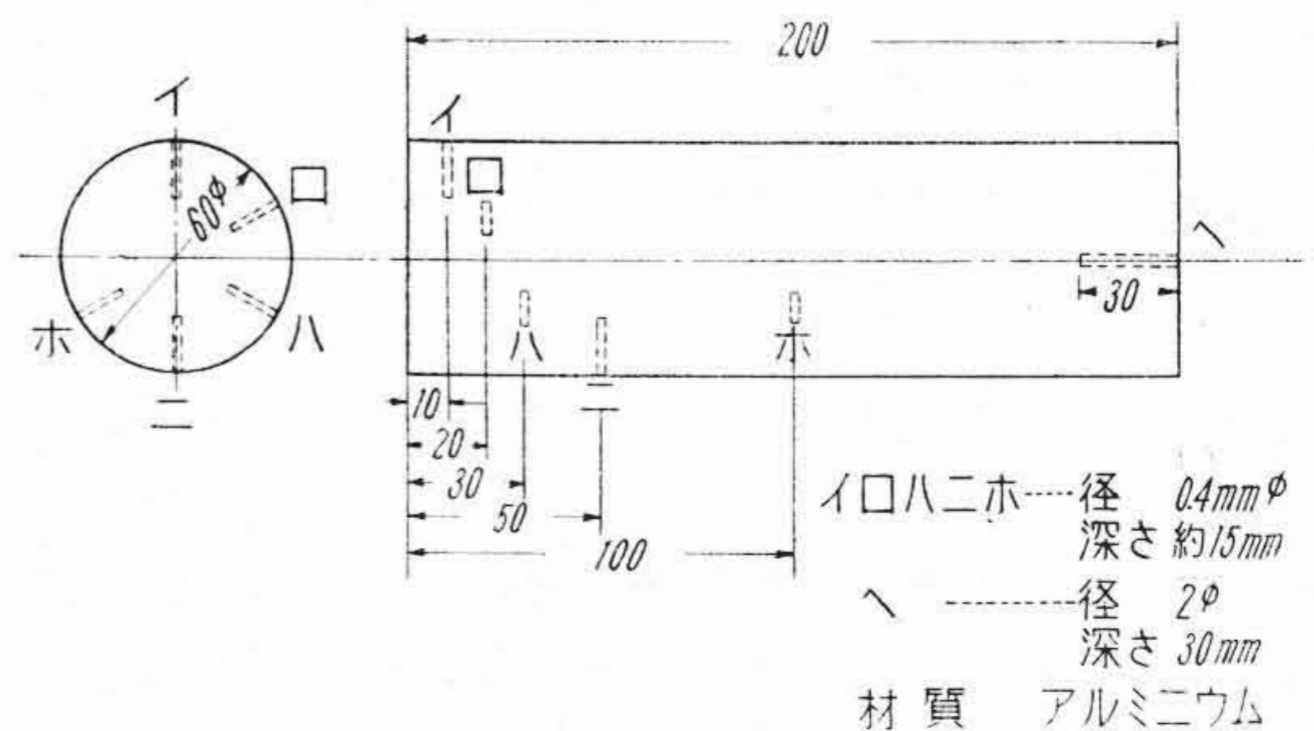
で表わされる⁽⁶⁾。水晶の共振時のインピーダンスは約 $10 \text{ k}\Omega$ といわれているので $R = 10^4 \Omega$ とし $\Delta f = 1 \text{ Mc}$, $T = 300^\circ\text{K}$ と共に上式に代入すると e は約 $10 \mu\text{V}$ となる。次にブラウン管の偏向感度を 3 V/mm とし雑音を 3 mm まで許容するとすれば雑音出力は 9 V 迄ということになる。そこで増幅度は約 120 db 以上にはあげられない。

(5) 追込み限界

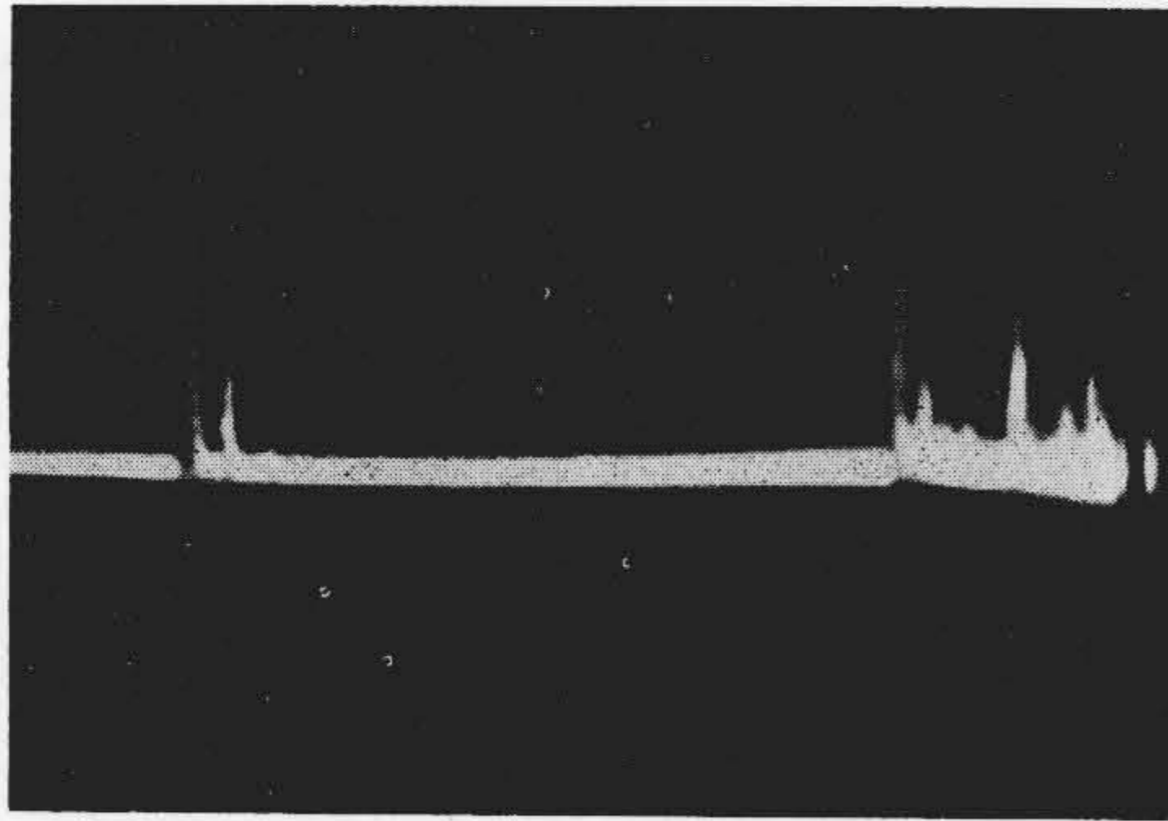
探傷器は送信機と受信機とが非常に接近して置かれ、又、水晶片を送受共通に使う場合もあるので、強力な送信パルスが出た直後受信機の感度が一時的に低下し、これが回復までに若干時間がかかるという現象が起る。即ち送信パルスの後の経過時間によつて感度が異なることとなる。これを「追込み」現象といつている。具体的にいえば極めて浅い欠陥から帰つて来たパルスは受信機の感度のわるい処で受信しなければならない。そこで傷を見逃したり或は小さな傷だと誤つたりする。これはパルス増幅器共通の問題で回路の撰定により或程度避け得られるものである。第5図の写真は日立製作所で試作した探傷器に就てこの追込み現象を測定したものである。Signal Generator よりの出力を重畳して受信機に入れ送信パルスの前後の受信機出力の比をとると約 3 db 程落ちてゐるが、この程度ならば傷を見逃すとゆうことは先づ無い。

[IV] 標準試料について

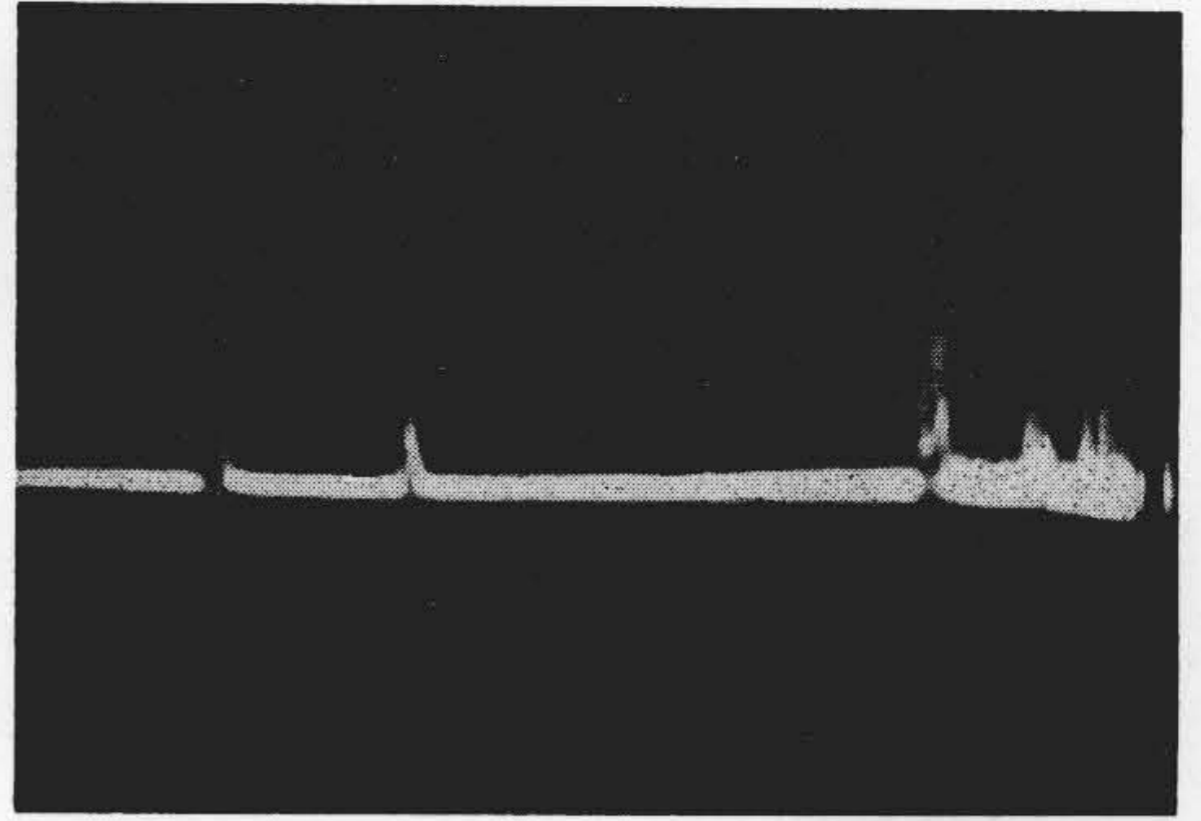
一般にかゝる工業測定器に於ては何等かの簡易な較正方法が望ましい。超音波探傷の際には試料の仕上げの程度、水晶片の当て方等によつて超音波エネルギーの入り方が違う。そして水晶励振の強さ、受信機の増幅度等も電圧変動その他長期の使用による常数の変化によつて違つて来る。そこで一定の標準試料を作つておいてこれで探傷器を試してみると都合がよい。このことは器械の時



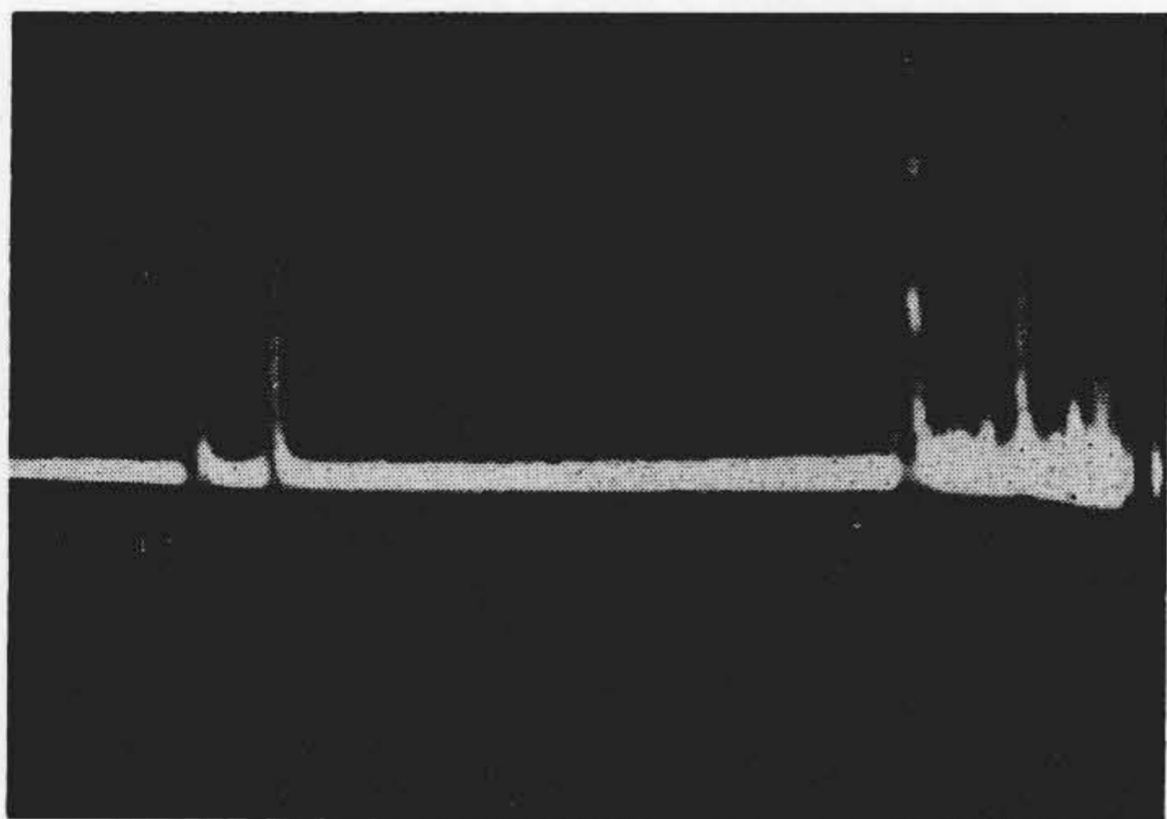
第6図 標準試料寸法図
Fig. 6. Size of the Standard Specimen



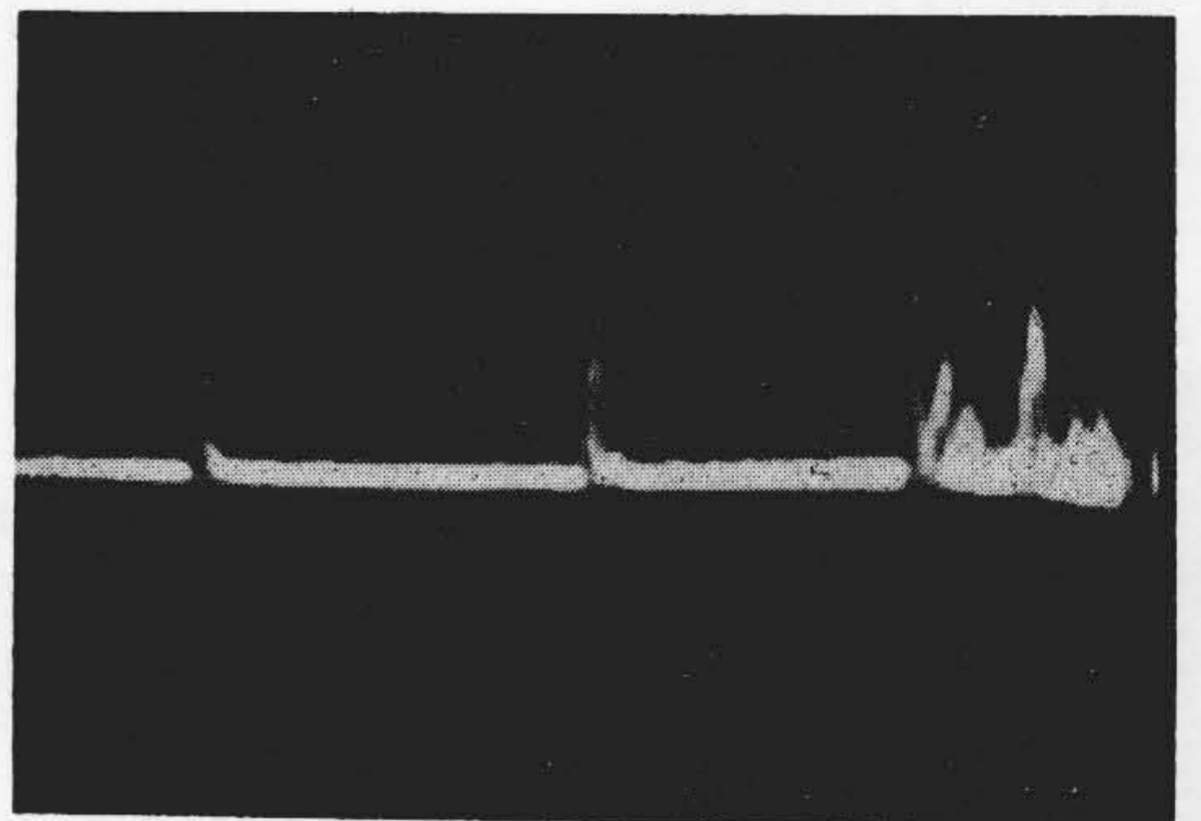
第7図 標準試料の深さ 10mm の孔(イ)よりの反射
Fig. 7. Reflection from a Hole in the Standard Specimen, 10 mm from Its Surphase



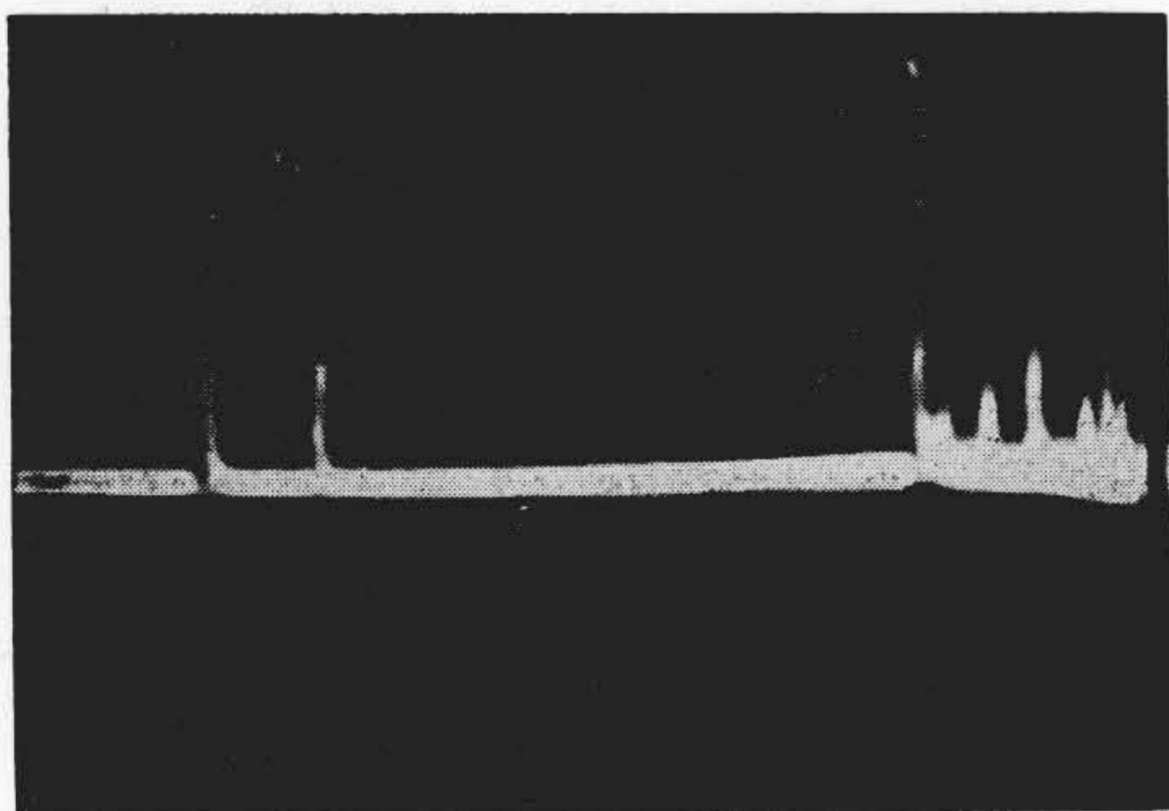
第10図 標準試料の深さ 50mm の孔(ニ)からの反射
Fig. 10. Reflection from a Hole in the Standard Specimen, 50 mm from Its Surphase



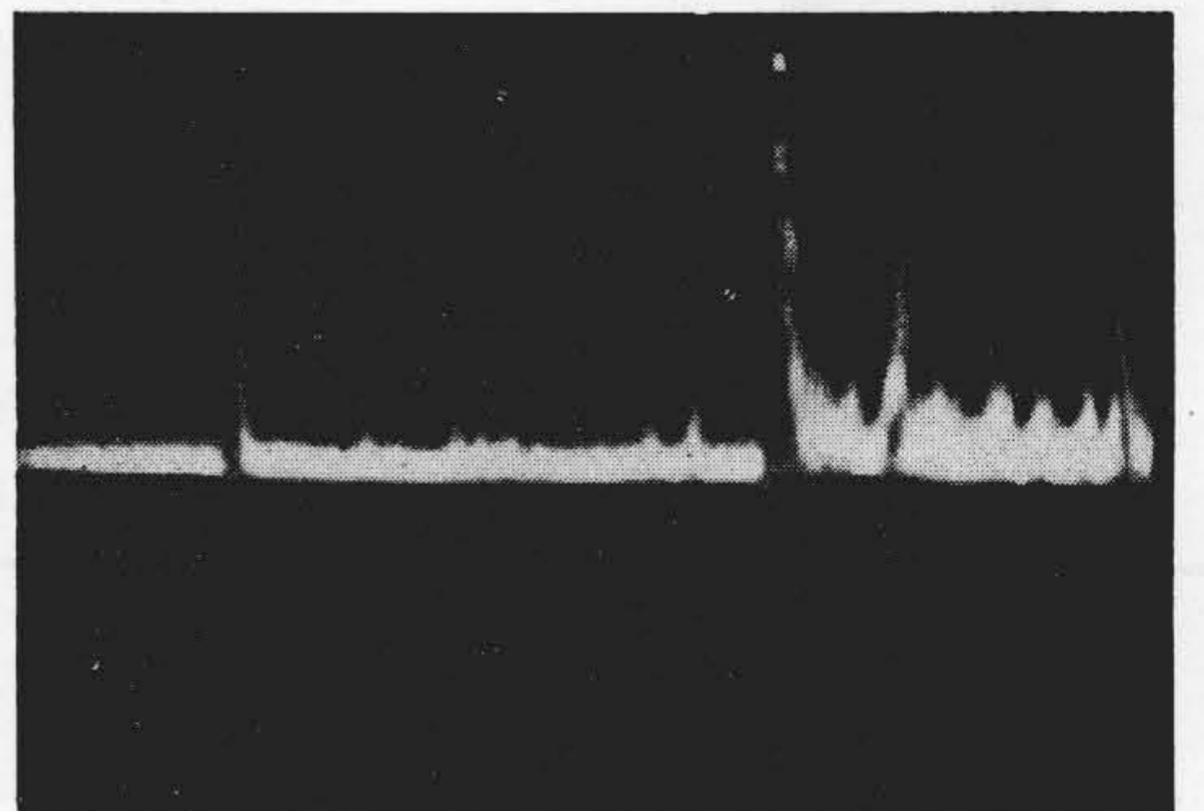
第8図 標準試料の深さ 20mm の孔(ロ)よりの反射
Fig. 8. Reflection from a Hole in the Standard Specimen, 20 mm from Its Surphase



第11図 標準試料の深さ 100mm の孔(ホ)からの反射
Fig. 11. Reflection from a Hole in the Standard Specimen, 100 mm from Its Surphase



第9図 標準試料の深さ 30mm の孔(ハ)よりの反射
Fig. 9. Reflection from a Hole in the Standard Specimen, 30 mm from Its Surphase



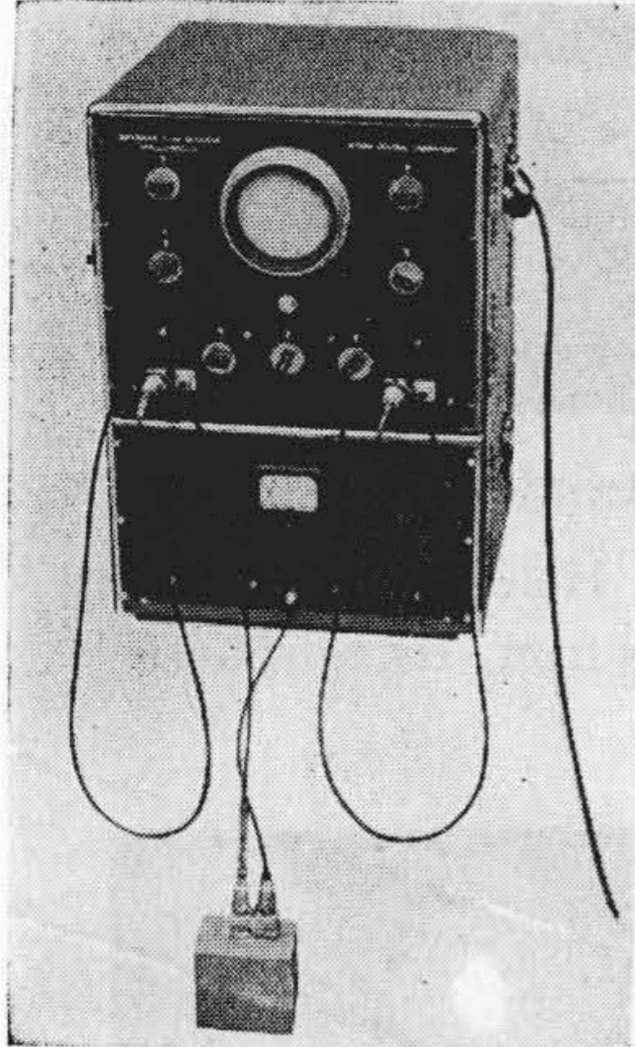
第12図 標準試料の底面に於ける孔(ヘ)よりの反射
Fig. 12. Reflection from a Hole at the Bottom of the Standard Specimen

間的な変化を較正するばかりでなく、工場間の技術連絡にも重宝であり、又、材料の売買の時の原料供給者と使用者との間の話し合いにも、若し違つた処で作つた探傷器で両者が試験したとしても、比較的誤り無きを得るであらう。日本学術振興会では製鋼第 19 委員会に超音波探傷協議会を設けて超音波探傷の発展に尽しているが、標準試料の必要を認めて第 6 図の如きものが制定された。

材質はアルミニウム。60φ、200 mm 長の丸棒で一端面より深さそれぞれ 10 mm、20 mm、30 mm、50 mm、100 mm に側面より 0.4φ のドリル孔、又、底面より 2φ のドリル孔を穿つてある。第 7 図乃至第 12 図の写真はこれ等の人工欠陥を日立製作所中央研究所で試作した探傷器にて 4 Mc で探傷したものである。

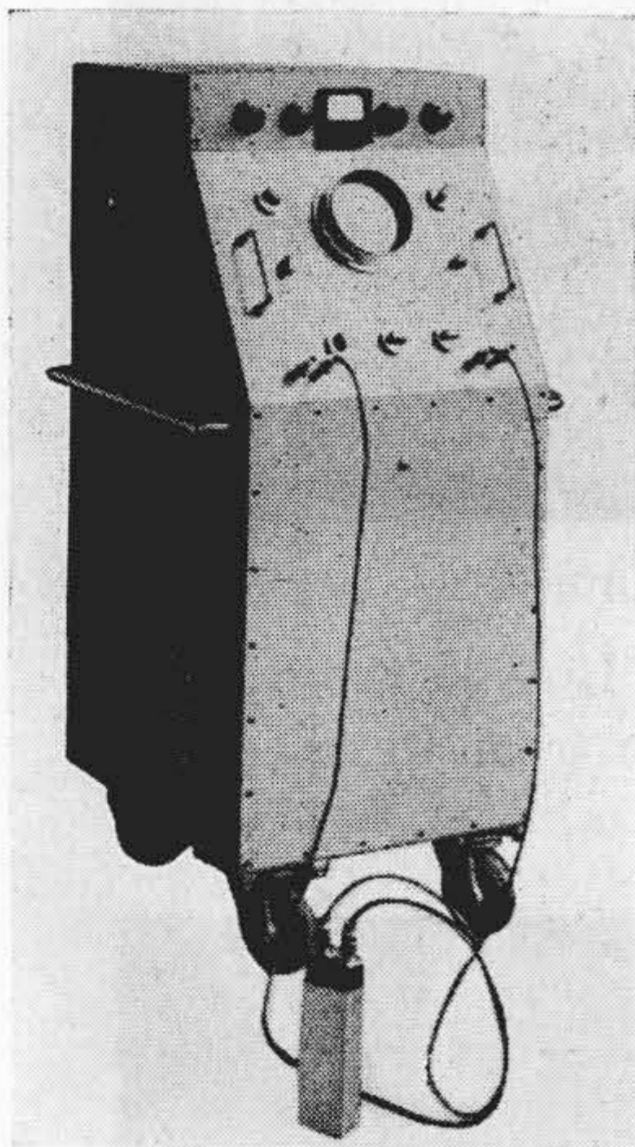
〔V〕 応 用 例

本器の応用範囲は非常に広く、素材の製造時の検査から加工して製品となつてゆく過程に於て、或は長期使用



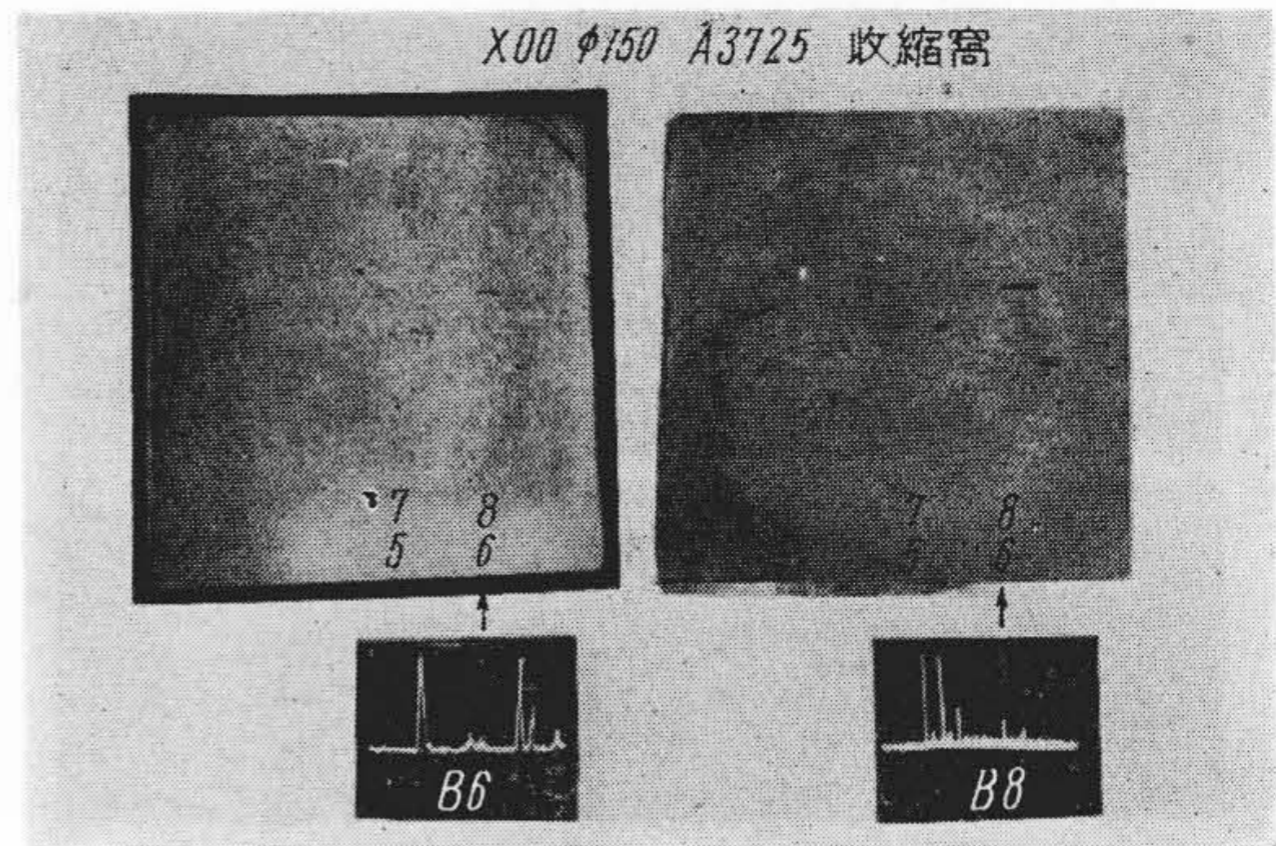
第13図 日立製作所中央研究所に於て試作せる超音波探傷器の例(1)

Fig. 13. An Example of the Supersonic Flaw Detector Developed at the Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.



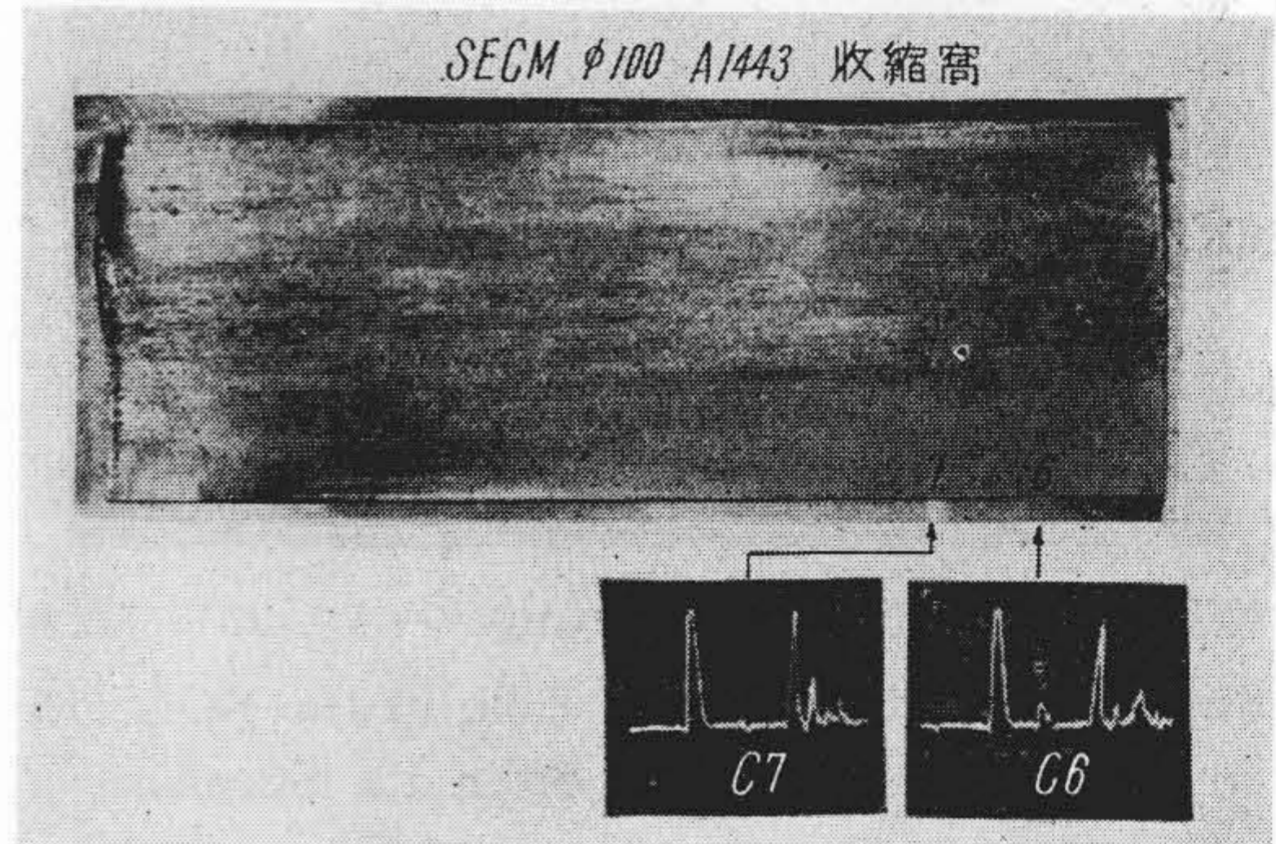
第14図 日立製作所中央研究所に於て試作せる超音波探傷器の例(2)

Fig. 14. Another Example of the Supersonic Flaw Detector Developed at the Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.



第15図 高速度鋼に於ける収縮窩欠陥の検出(日立製作所安来工場)

Fig. 15. Detection of Shrinkage Cavities in the High Speed Steel (Yasugi Works, Hitachi, Ltd.)



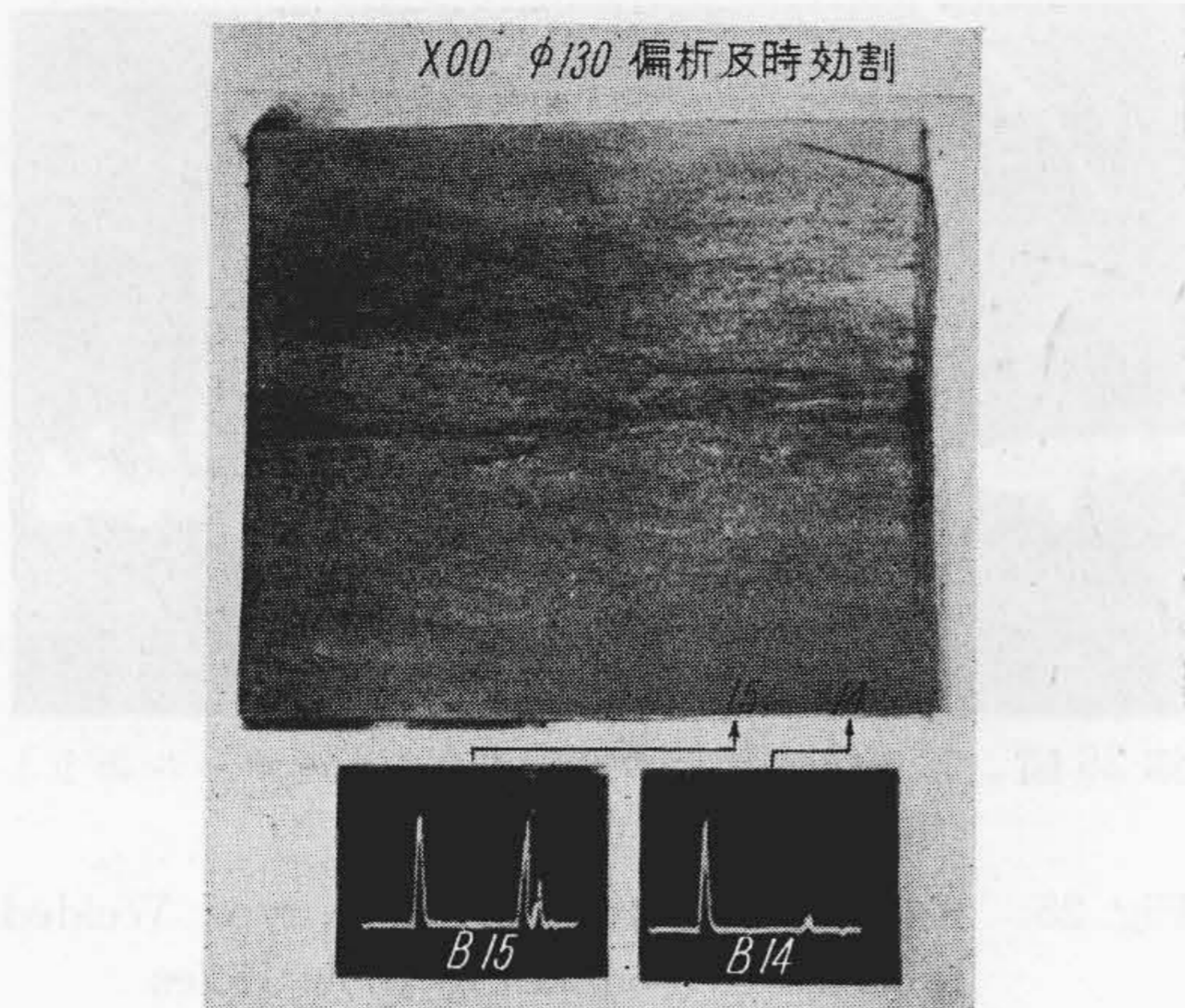
第16図 不銹鋼に於ける収縮窩欠陥の検出(日立製作所安来工場)

Fig. 16. Detection of Shrinkage Cavities in the Stainless Steel (Yasugi Works, Hitachi, Ltd.)

第3表 日立製作所安来工場に於ける予備実験一覧表
Table 3. Preliminary Tests at Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

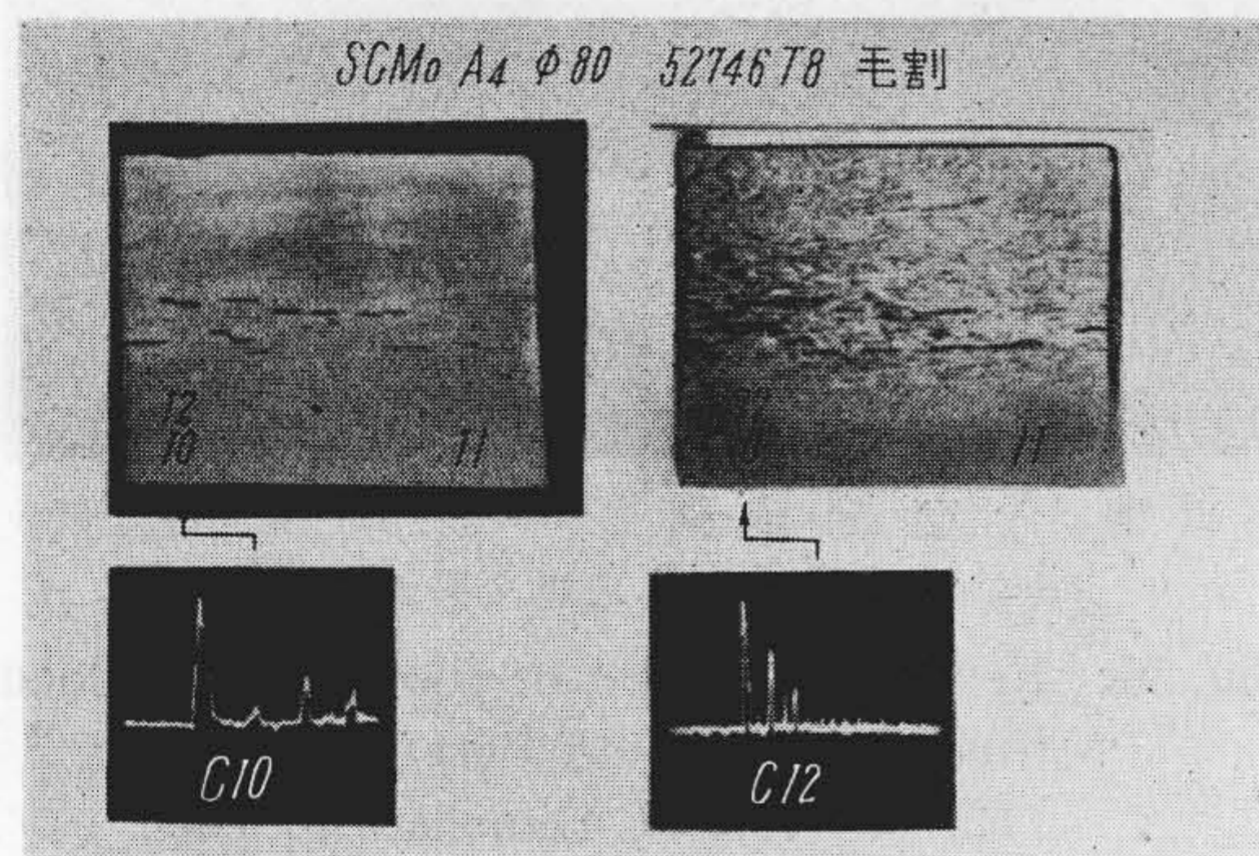
図 番	鋼 種		形 状	欠 陥 名	検 出 の 可 否*			
	名 称	JIS 記号			超 音 波 査 検	肉 眼	磁気検査	マ ク ロ 査 検
第15図	高 速 度 鋼 3 種	SKH 3	φ 150	収 縮 窩	可 能	稍 困 難	僅かに認 め得	可 能
第16図	不 銹 鋼 11 種 甲	SEC 11 A	φ 100	収 縮 窩	可 能	辛うじて 認め得	—	可 能
第17図	高 速 度 鋼 3 種	SKH 3	φ 130	偏折時効割	困 難	不 能	不 能	可 能
第18図	クロム・モリブデン 1 鋼 種	SCM ₀ 85	φ 80	白 点	可 能	不 能	不 能	可 能
第19図	特 殊 工 具 鋼 1 種	SKS 1	φ 150	白 点	可 能	微かに認 め得	不 能	可 能
第20図	特 殊 鋼 材	—	φ 140	鍛 造 疵	可 能	—	—	—

* 外部から探知し得るのは超音波検査のみである。他の三方法は何れも超音波検査後縦断して検査して始めて認め得たものである。



第17図 高速度鋼に於ける時効割れの検出
(日立製作所安来工場)

Fig. 17. Detection of Season-Cracking in the High Speed Steel
(Yasugi Works, Hitachi, Ltd.)



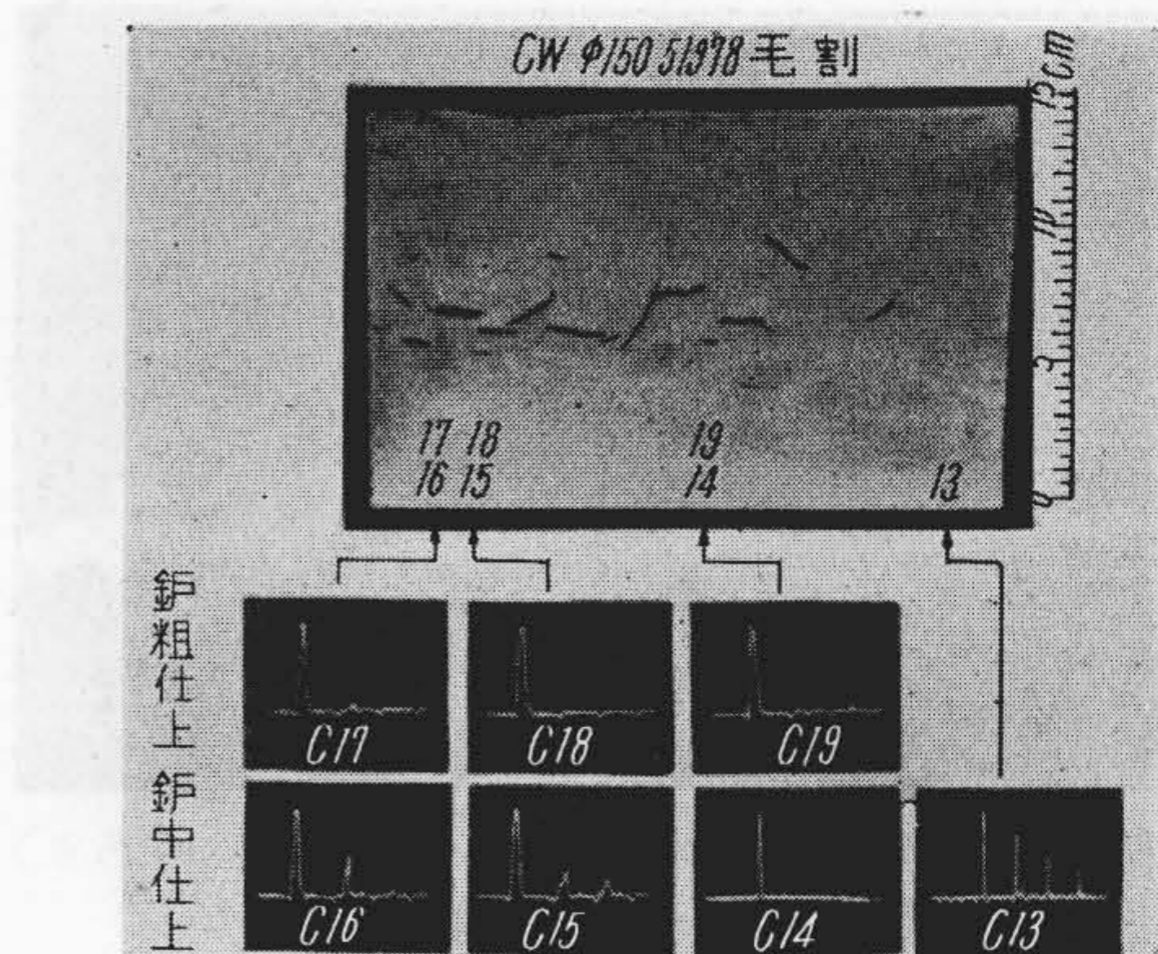
第18図 クロム・モリブデン鋼に於ける白点の検出
(日立製作所安来工場)

Fig. 18. Detection of White Spot in the Cr-Mo-Steel
(Yasugi Works, Hitachi, Ltd.)

した機械の疲労その他による欠陥の生長を検知するに至るまで、その活用が期待される。例えば鋳物の巣或いはくされの探知、熔接部の検査、鋼材の収縮窩・白点・毛割れ或いは鍛造疵の発見、シャフト類の点検等、枚挙に暇がない。是等の欠陥は明かな反射像として検知されるのが普通であるが、底面迄往復して出る底面パルスがその往復を繰り返す数即ち素材中の減衰度によつて判定する場合もある。これは被試物の寸法の小さい場合、欠陥がハッキリした面を形成していない場合等に有効である。

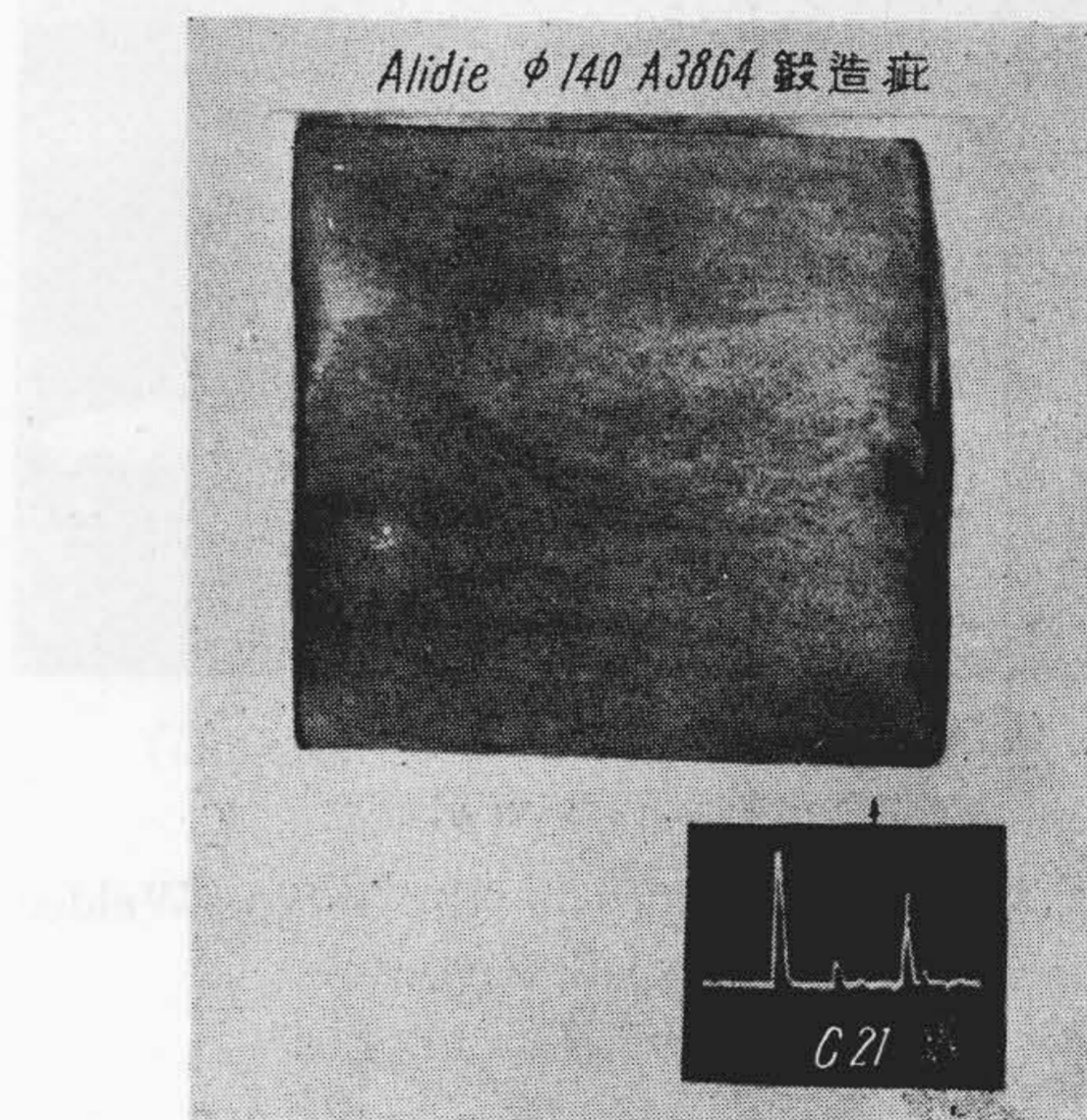
次に日立製作所各工場に於ける二三の応用例を述べることにする。茲に記載したものは何れも日立製作所中央研究所に於て試作した探傷器によつて、実験されたもので、第13図及び第14図は各工場に提供された二種類の探傷器の外観を示す。

(1) 日立製作所安来工場に於ける鋼材への応用



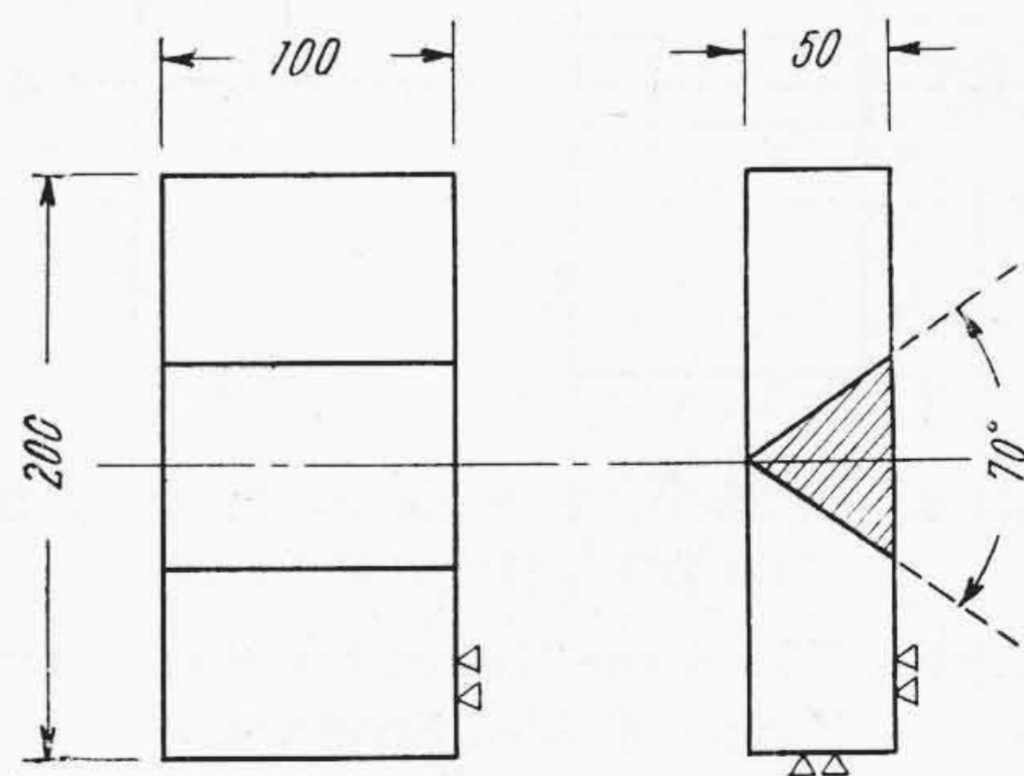
第19図 特殊工具鋼に於ける白点の検出
(日立製作所安来工場)

Fig. 19. Detection of White Spot in the Special Tool Steel (Yasugi Work, Hitachi, Ltd.)



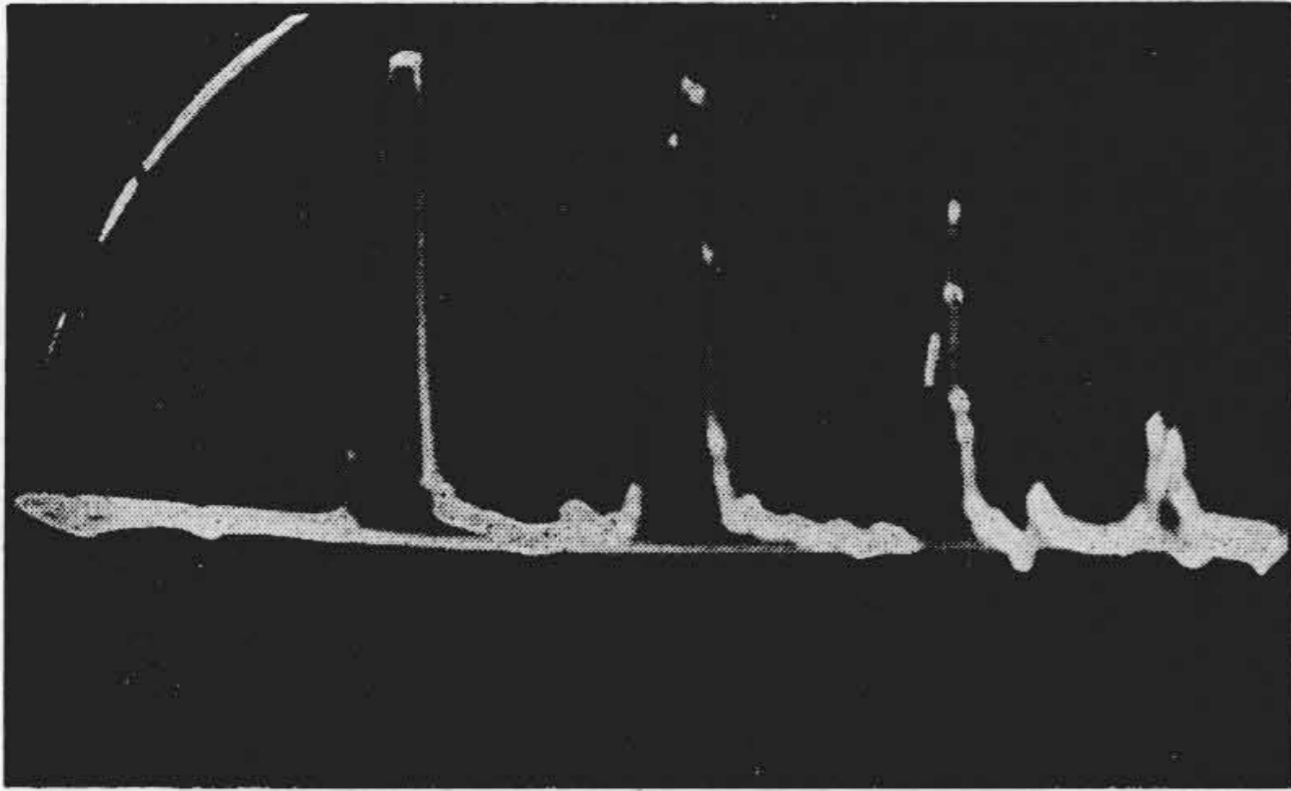
第20図 特殊鋼材に於ける鍛造疵の検出
(日立製作所安来工場)

Fig. 20. Detection of Forging Defects in the Special Steel (Yasugi Works, Hitachi, Ltd.)



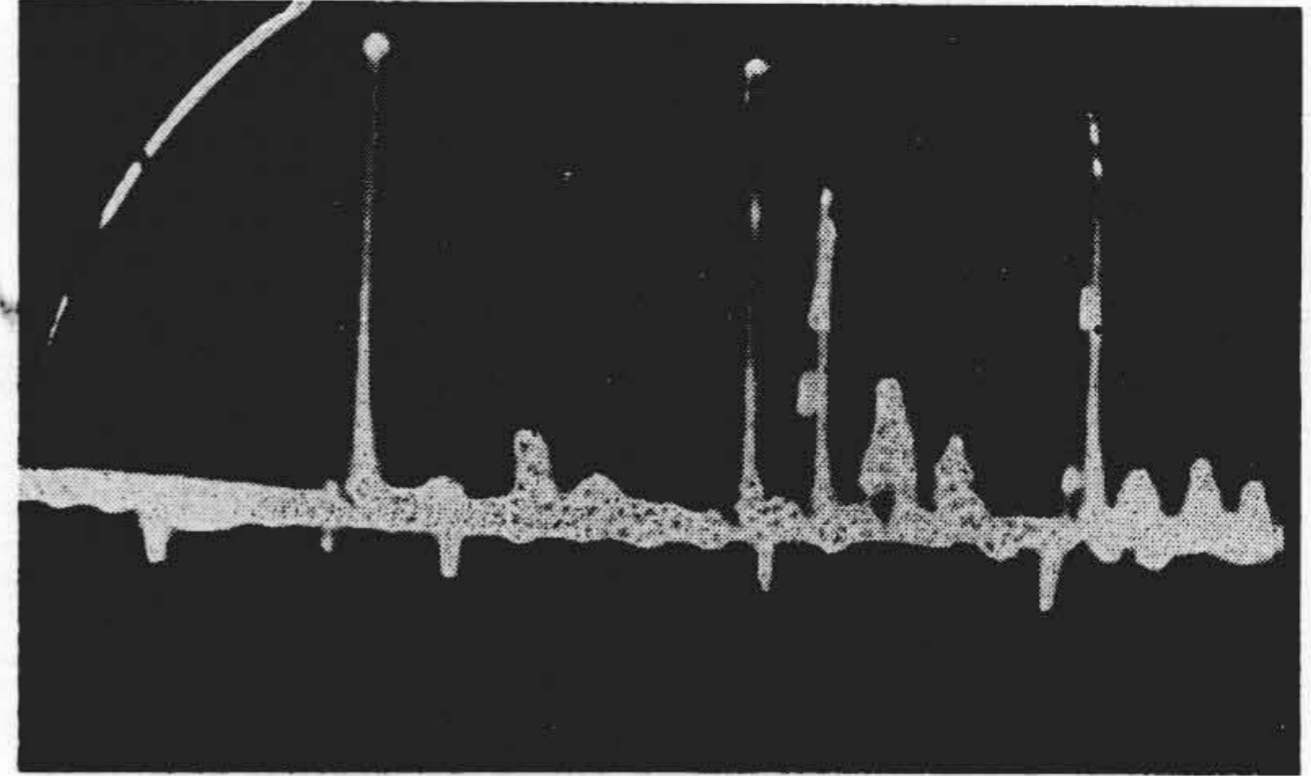
第21図 供試V型熔接鋼の寸法
(日立製作所日立工場)

Fig. 21. Size of the Tested Specimen of the V-type Welded Steel Plate
(Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)



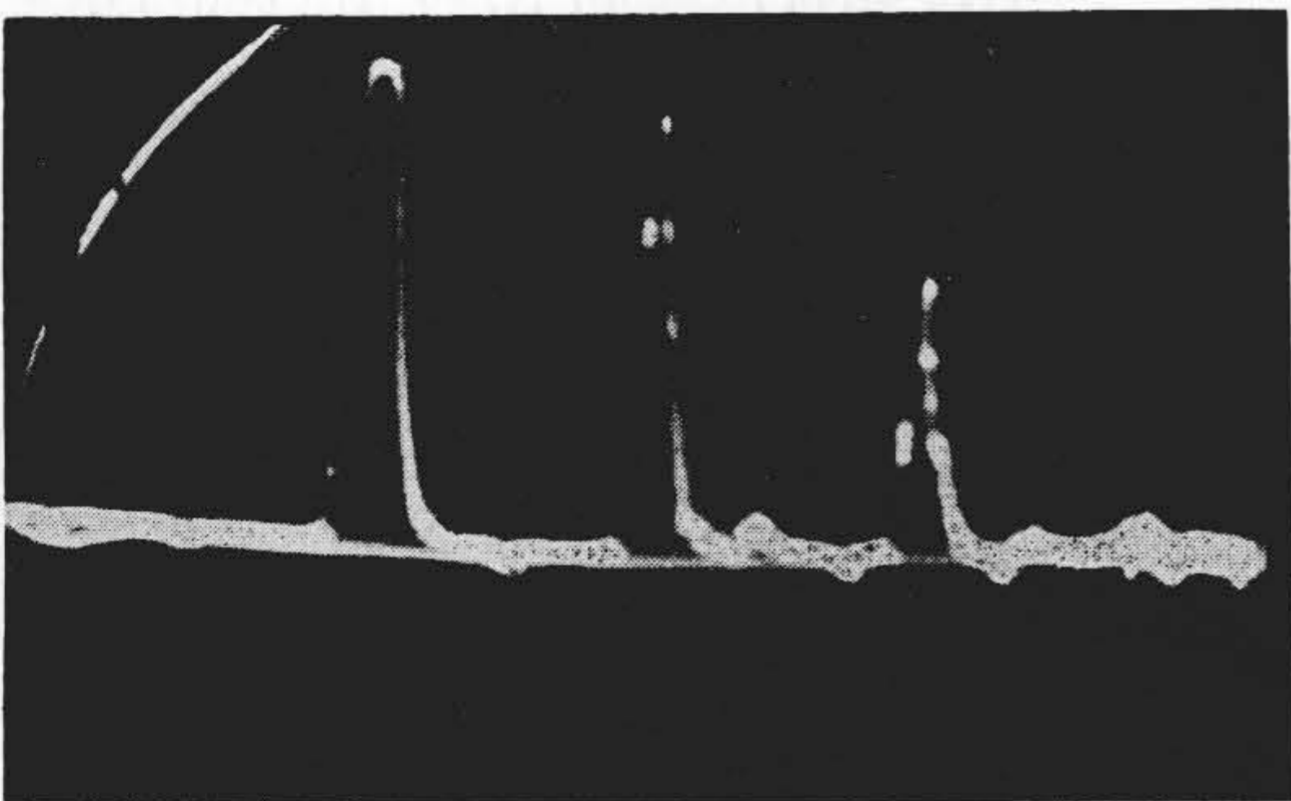
第22図 V型熔接鋼板の反射像(ブローホールあり)
(日立製作所日立工場(製罐))

Fig. 22. Reflection Pattern of the V-type Welded Steel Plate with Blow Holes
(Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)



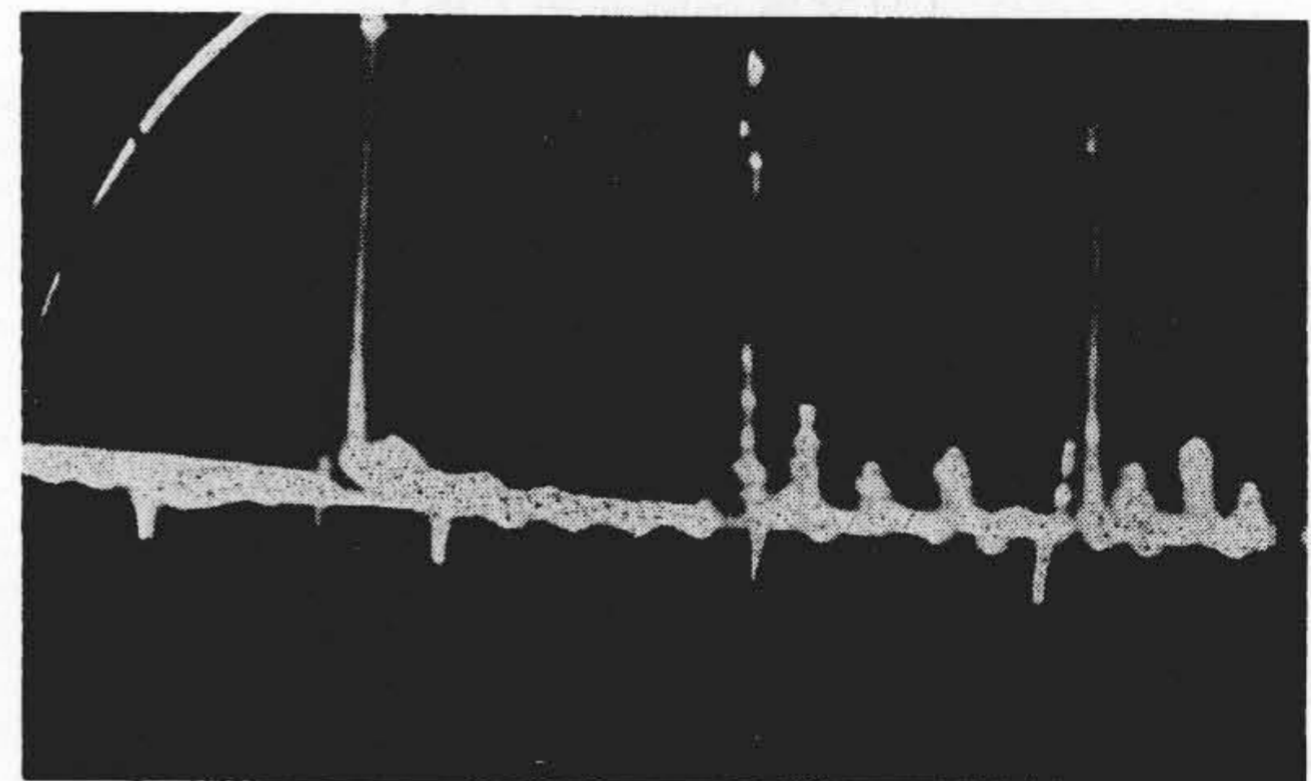
第25図 X型熔接鋼板の反射像(ブローホールあり)
(日立製作所日立工場(製罐))

Fig. 25. Reflection Pattern of the X-type Welded Steel Plate Containing Blow Holes
(Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)



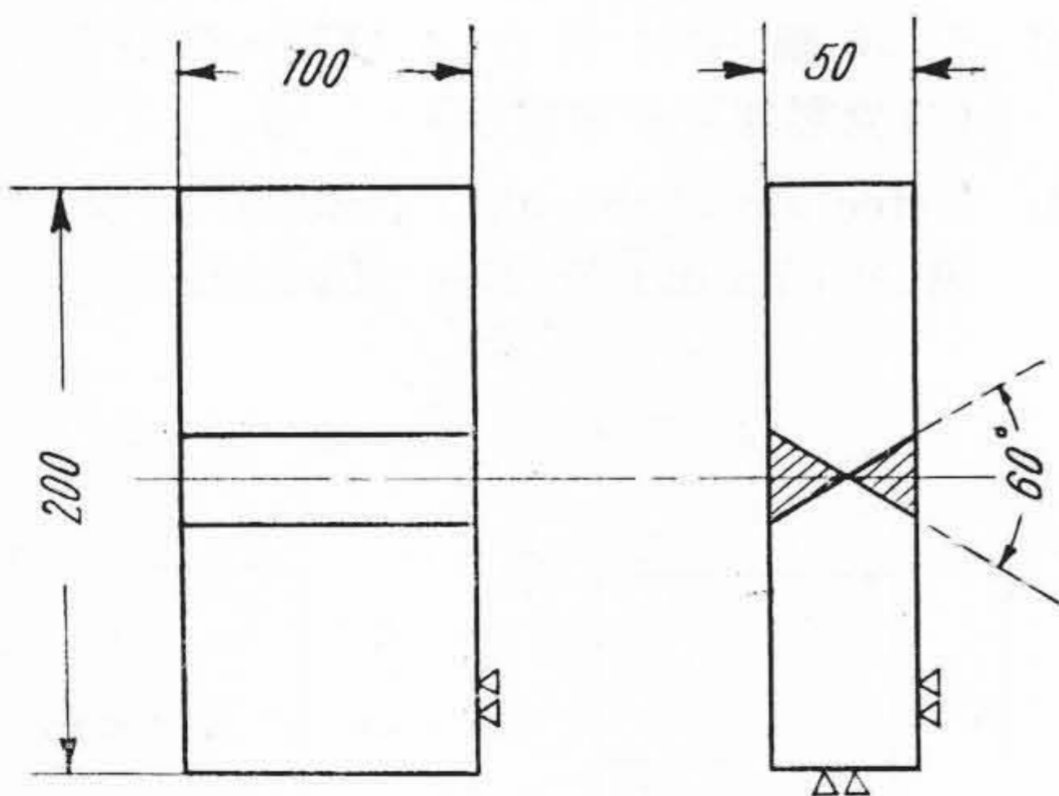
第23図 V型熔接鋼板の反射像(健全部)
(日立製作所日立工場(製罐))

Fig. 23. Reflection Pattern of the V-type Welded Steel Plate (Sound Part)
(Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)



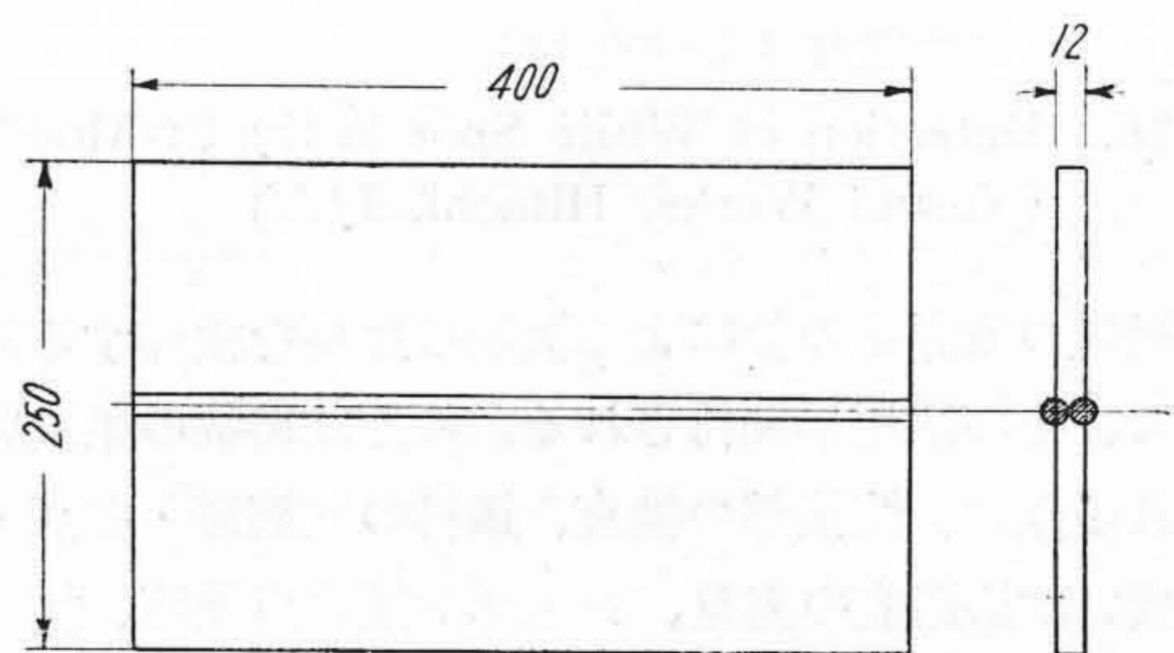
第26図 X型熔接鋼板の反射像(健全部)
(日立製作所日立工場(製罐))

Fig. 26. Reflection Pattern of the X-type Welded Steel Plate (Sound Part)
(Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)



第24図 供試X型熔接鋼板の寸法
(日立製作所日立工場(製罐))

Fig. 24. Size of the Tested Specimen of the X-type Welded Steel Plate
(Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)

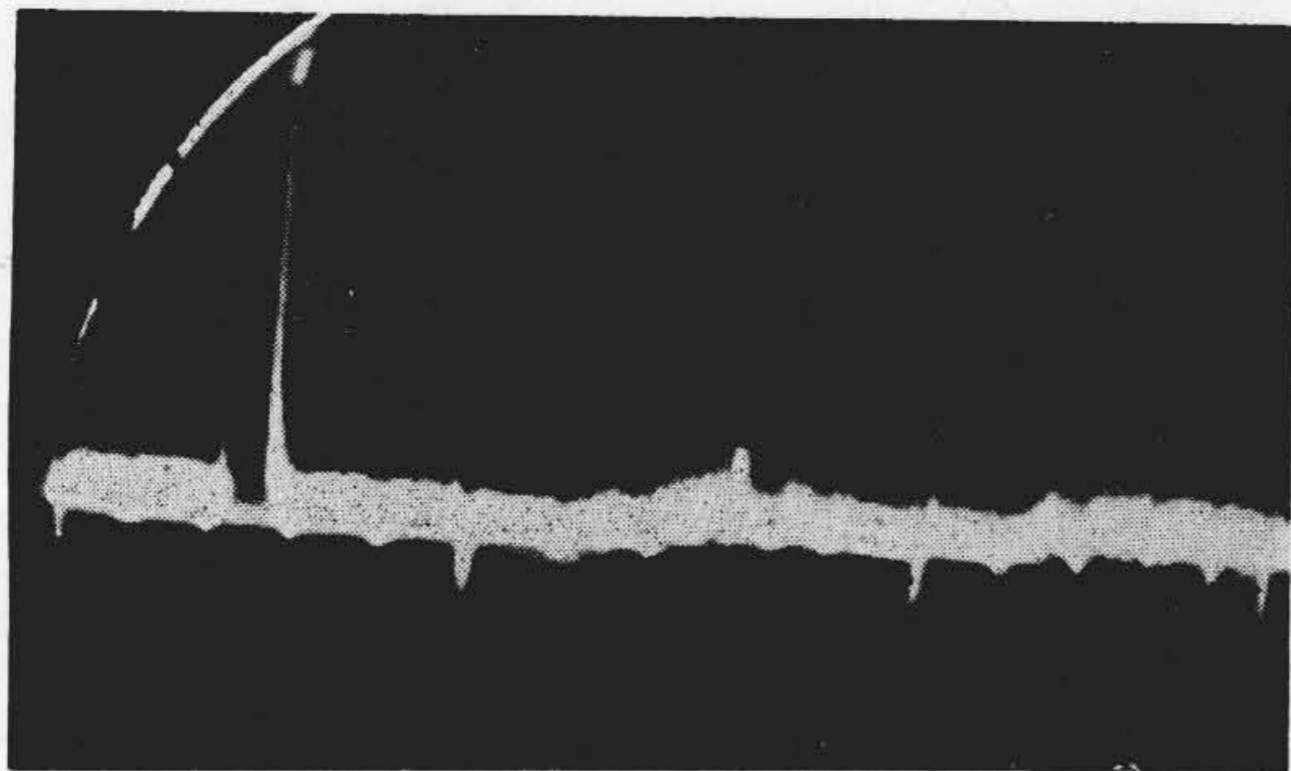


第27図 供試ユニオンメルト型熔接鋼板の寸法
(日立製作所日立工場(製罐))

Fig. 27. Size of the Tested Specimen of the Union Melt Type Welded Steel Plate
(Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)

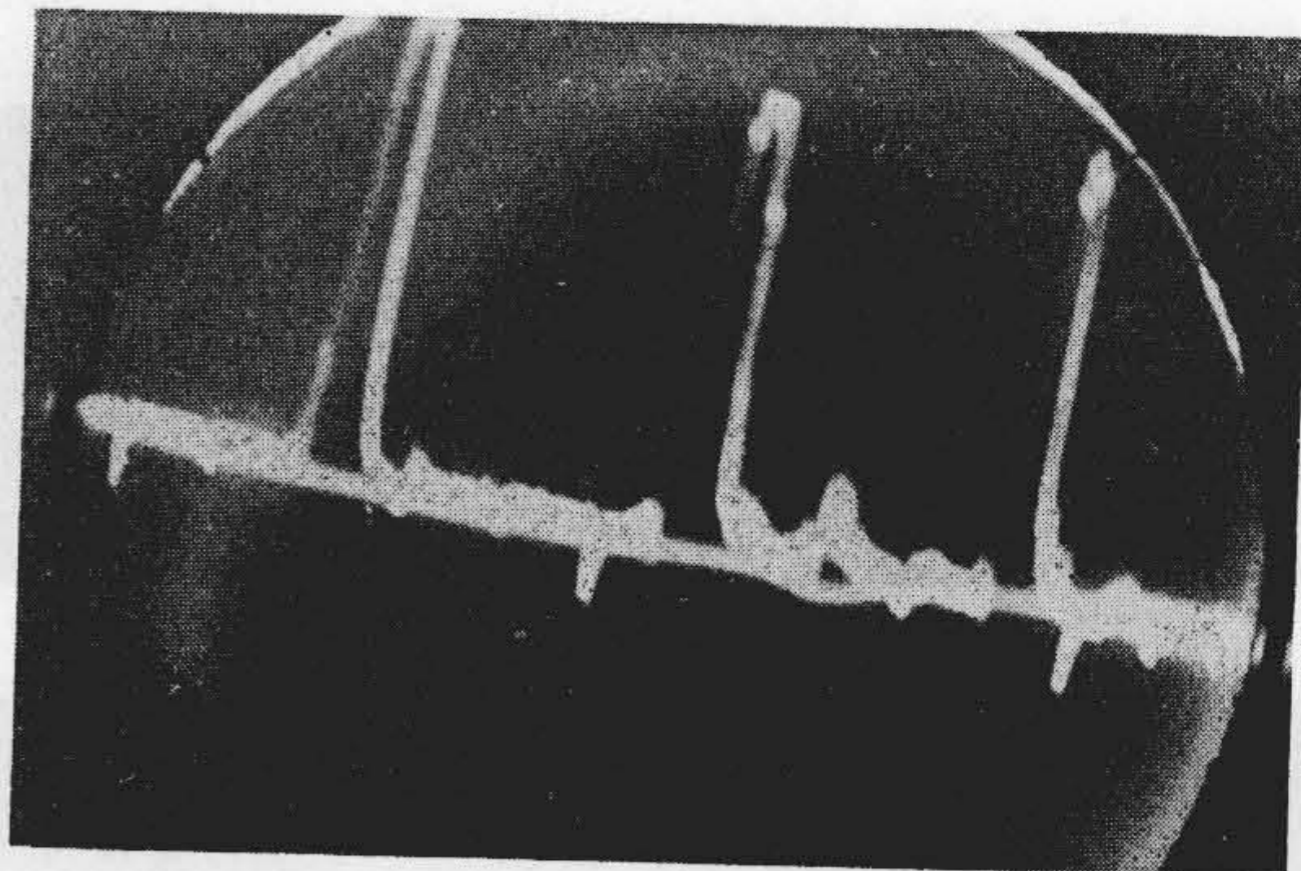
同工場では a) 鋼塊、b) 鋼片、c) 鍛造材、d) 圧延材の諸欠陥を検出するために使用される。即ち最終製品の欠陥検査による不良品の摘出と不良成因の探究に資するは

勿論中間工程に於ける素材の中間検査により不良材の流れるのを阻止して後続の加工合理化を図るを目的としている。本装置の現場使用に先立つて予備実験として第3表に示す試料についての超音波探傷と磁気或いはマクロ検査とを対比せしめた。いづれも外部から探知し得るの



第28図 ユニオンメルト型熔接鋼板 30° 斜角探傷による反射像 (日立製作所日立工場 (製罐))

Fig. 28. Reflection Pattern of the Union Melt Type Welded Steel Plate by 30° Oblique Throw (Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)



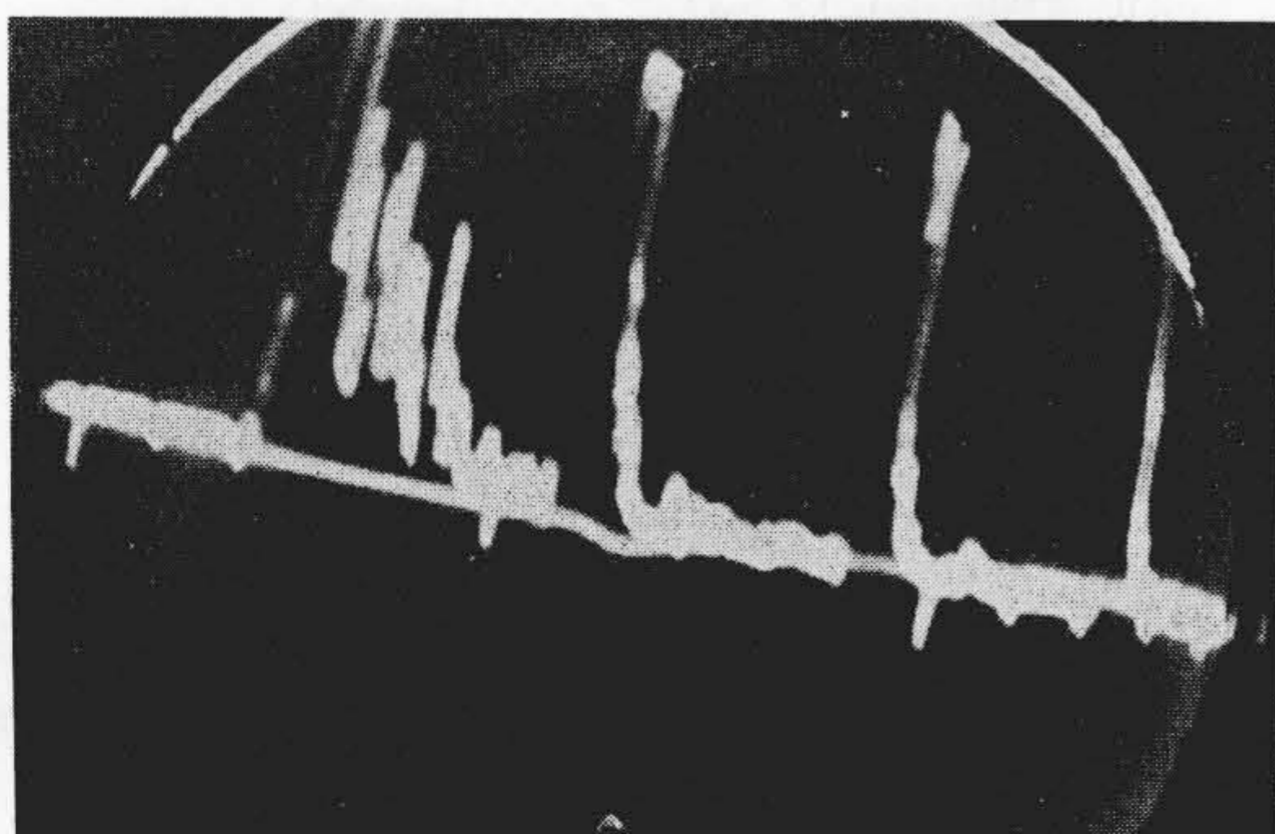
第31図 ペルトン水車バケットの健全部の反射像 (日立製作所日立工場 (製罐))

Fig. 31. Reflection Pattern from Sound Part of the Bucket of the Pelton Wheel (Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)



第29図 供試ペルトン水車バケット (日立製作所日立工場 (製罐))

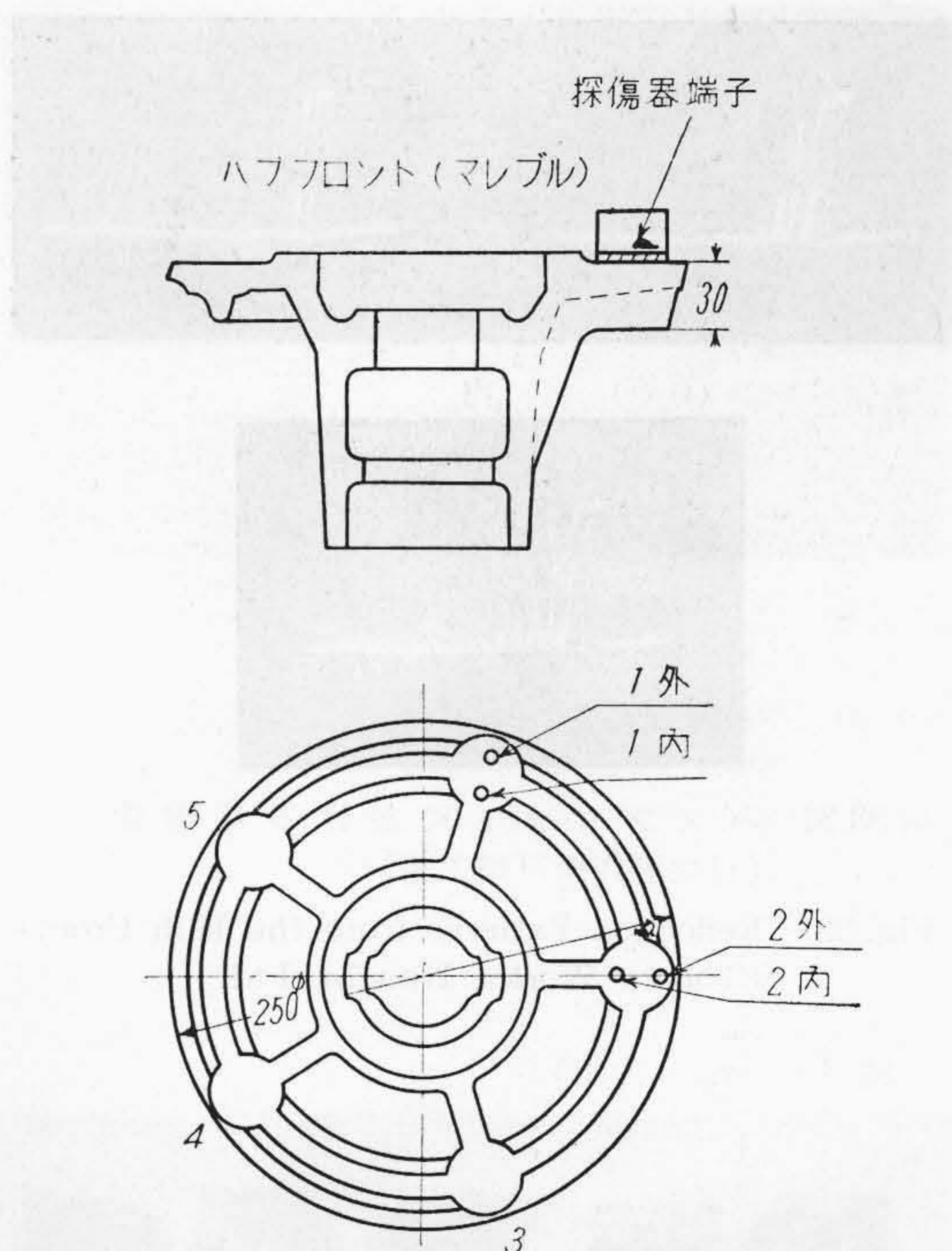
Fig. 29. Buckets of the Pelton Wheel Tested (Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)



第30図 ペルトン水車バケット中の大きな巣からの反射 (日立製作所日立工場 (製罐))

Fig. 30. Reflection from Large Flaws in the Bucket of the Pelton Wheel (Hitachi Works, Hitachi, Ltd.)

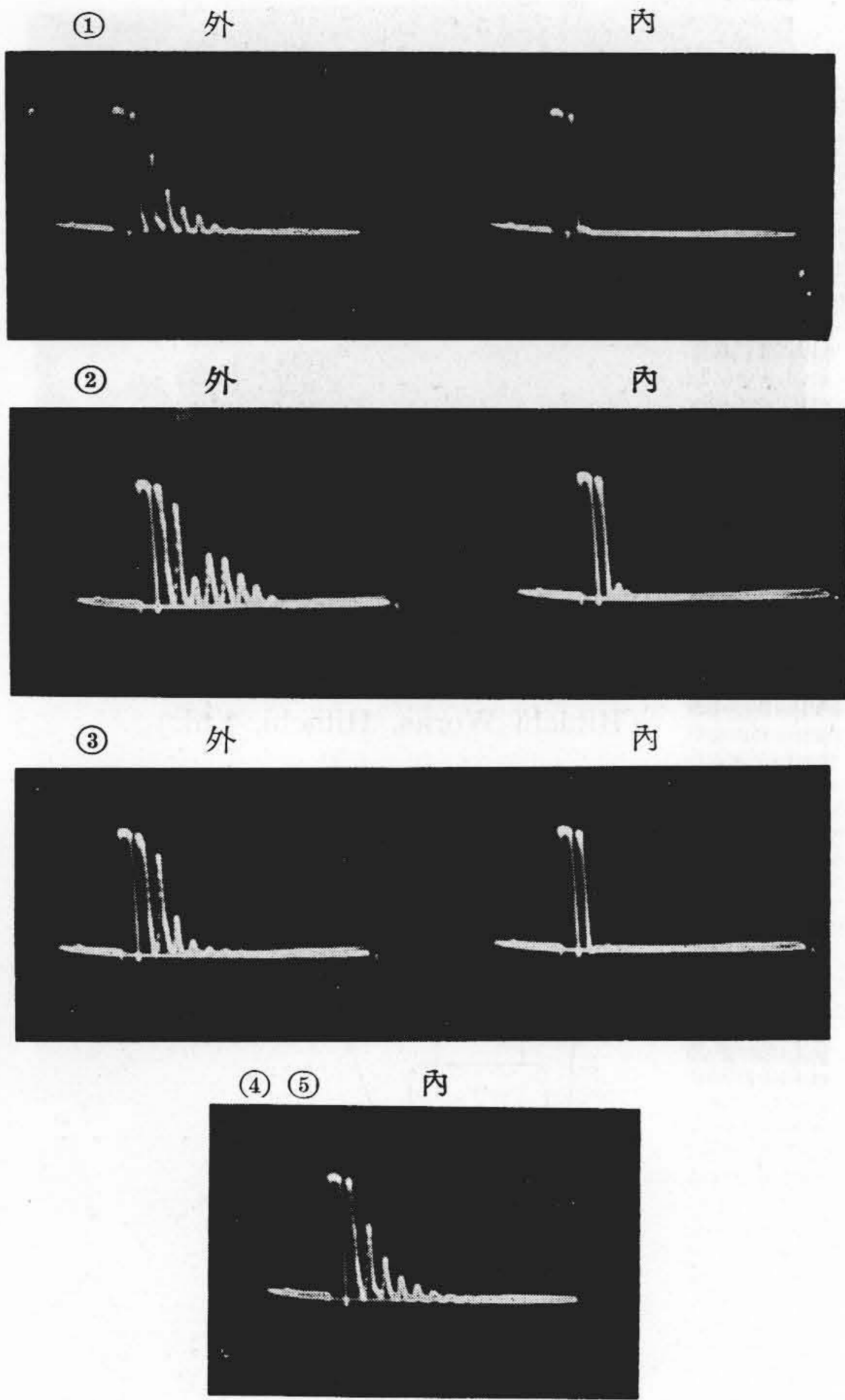
は超音波検査のみで、他の検査は超音波検査後縦断して調べた。これ等の結果を第15図より第20図に示す。第15図 B6は高速度鋼に於ける収縮窩欠陥の超音波探傷像を



第32図 供試自動車部品(ハブフロント)の構造 (日立製作所戸畑工場)

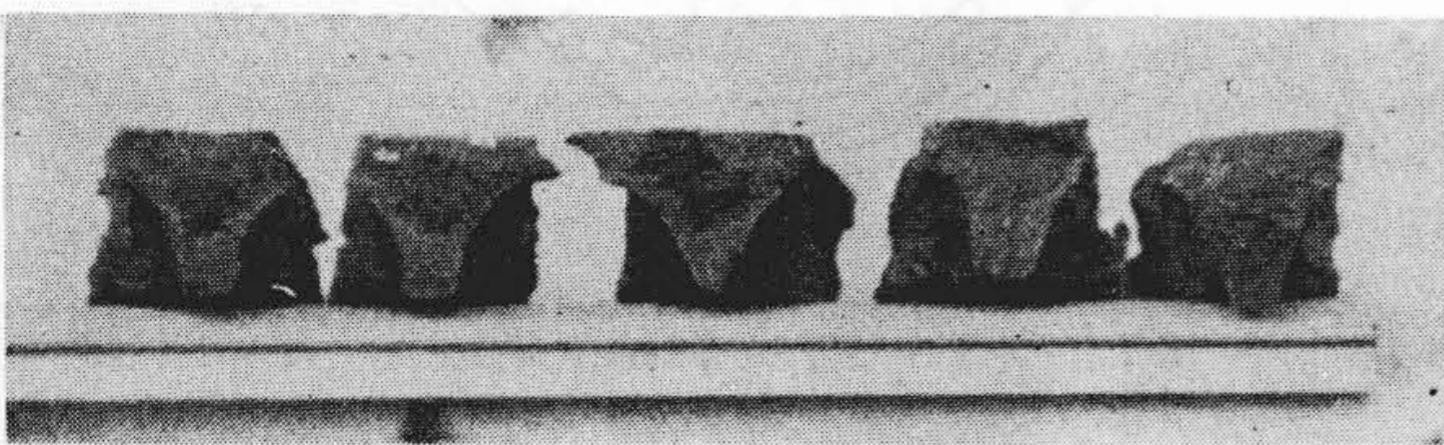
Fig. 32. Structure of the Tested Automobile Part—Hub Front (Tobata Works, Hitachi, Ltd.)

示す。B8は時間軸を圧縮したものである。明かな欠陥反射は材料を切断後、磁気検査及びマクロ検査によつて欠陥の存在が確認された。第16図は不銹鋼の収縮窩欠陥でC6に明瞭な欠陥反射像を示す。C7は略々健全な場所の像である。第17図は高速度鋼に於てマクロ検査では偏折を示したが超音波探傷では発見困難であつた。但し写真右上隅の時効割の処では反射波の大部分が他の方向に



第33図 ハブフロントに於ける反射像
(日立製作所戸畑工場)
Fig. 33. Reflection Patterns from the Hub Front
(Tobata Works, Hitachi, Ltd.)

破面 (内側)

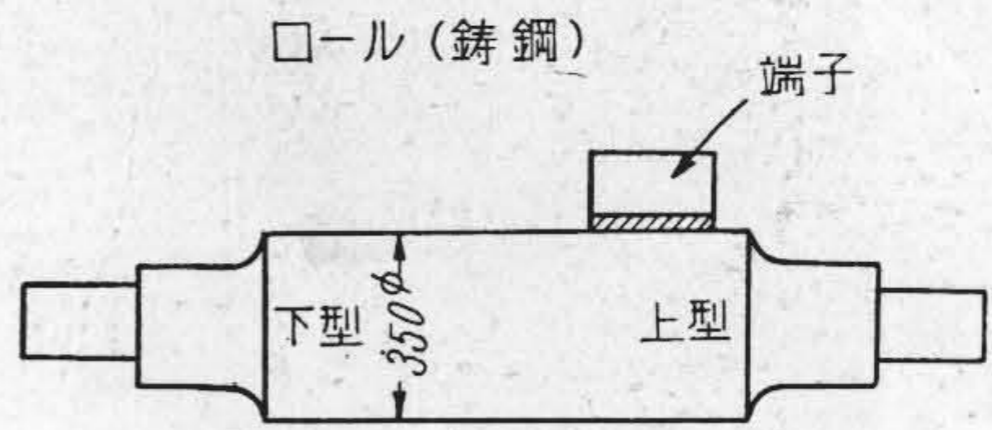


① ② ③ ④ ⑤

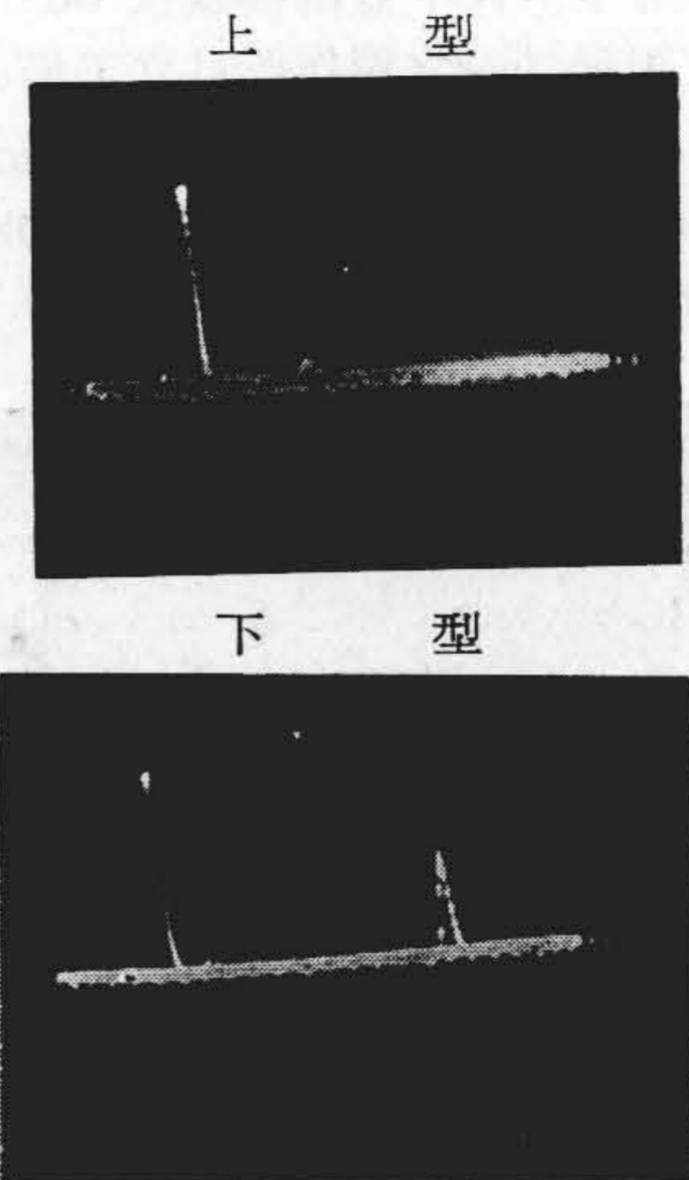
第34図 ハブフロントの破面
(日立製作所戸畑工場)

Fig. 34. Fractures of the Hub Front
(Tobata Works, Hitachi, Ltd.)

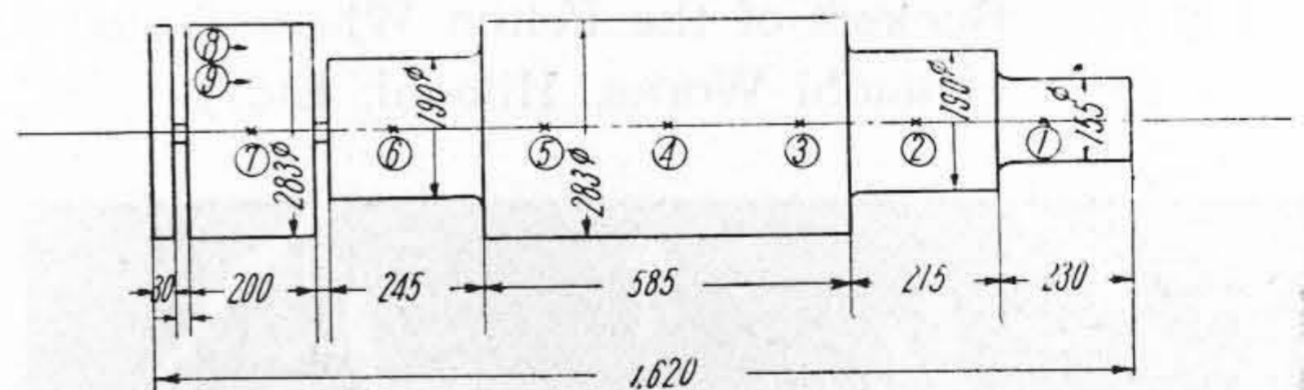
進むため反射像が小さく出ている。第18図はクロム・モリブデン鋼に於て白点中の毛割れを検出した例である。又第19図は特殊工具鋼に於て白点中の毛割れを検出したものである。欠陥部では欠陥反射を示すと共に底面反射が殆ど見えなくなっている。仕上の程度によつて欠陥反



第35図 供試ロール構造
(日立製作所戸畑工場)
Fig. 35. Structure of the Tested Roll
(Tobata Works, Hitachi, Ltd.)



第36図 ロールの反射像
(日立製作所戸畑工場)
Fig. 36. Reflection Patterns of the Roll
(Tobata Works, Hitachi, Ltd.)



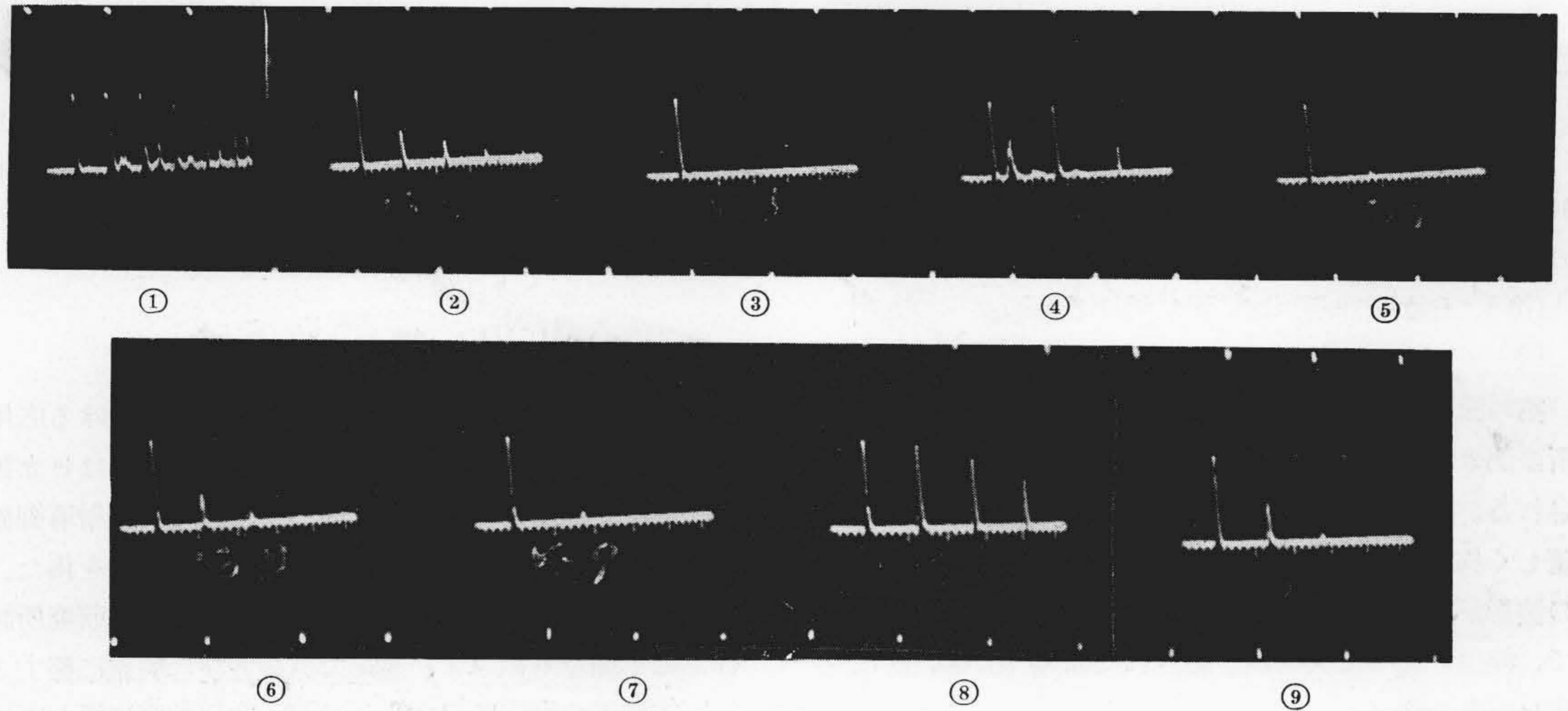
第37図 供試ピニオン材の寸法
(日立製作所水戸工場 (製鋼))
Fig. 37. Size of the Tested Pinion Material
(Mito Works, Hitachi, Ltd.)

射が可なり違つて来ることが示されている。C13は健全部の像で底面反射が数回繰返されている。第20図は特殊鋼材の鍛造疵を探傷した結果である。

(2) 日立製作所日立工場(製罐)に於ける熔接部その他への応用

i) 熔接部の探傷

第21図に示す如き 50mm 鋼板のV型突合せ熔接のブローホールの探傷を行つた結果が第22図(ブローホールあり)及び第23図(健全部)の写真である。又、第24図のX型突合せの場合の探傷結果を第25図及び第26図に示す。第27図のユニオンメルト熔接部のブローホールを斜

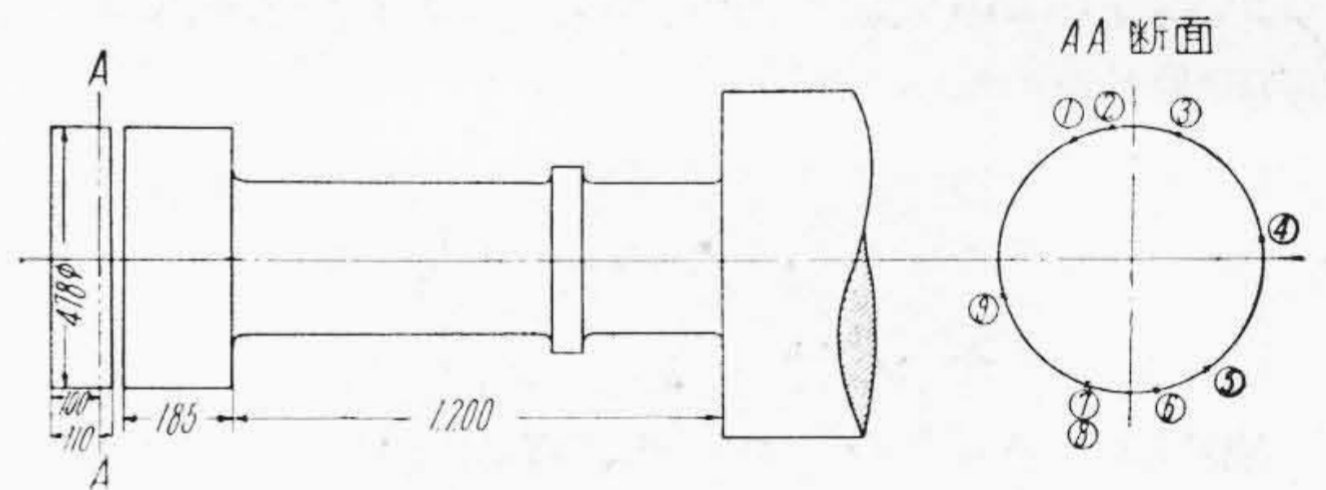


第38図 ピニオン材の反射像 (日立製作所水戸工場 (製鋼))
 Fig. 38. Reflection Patterns of the Pinion Material (Mito Works, Hitachi, Ltd.)

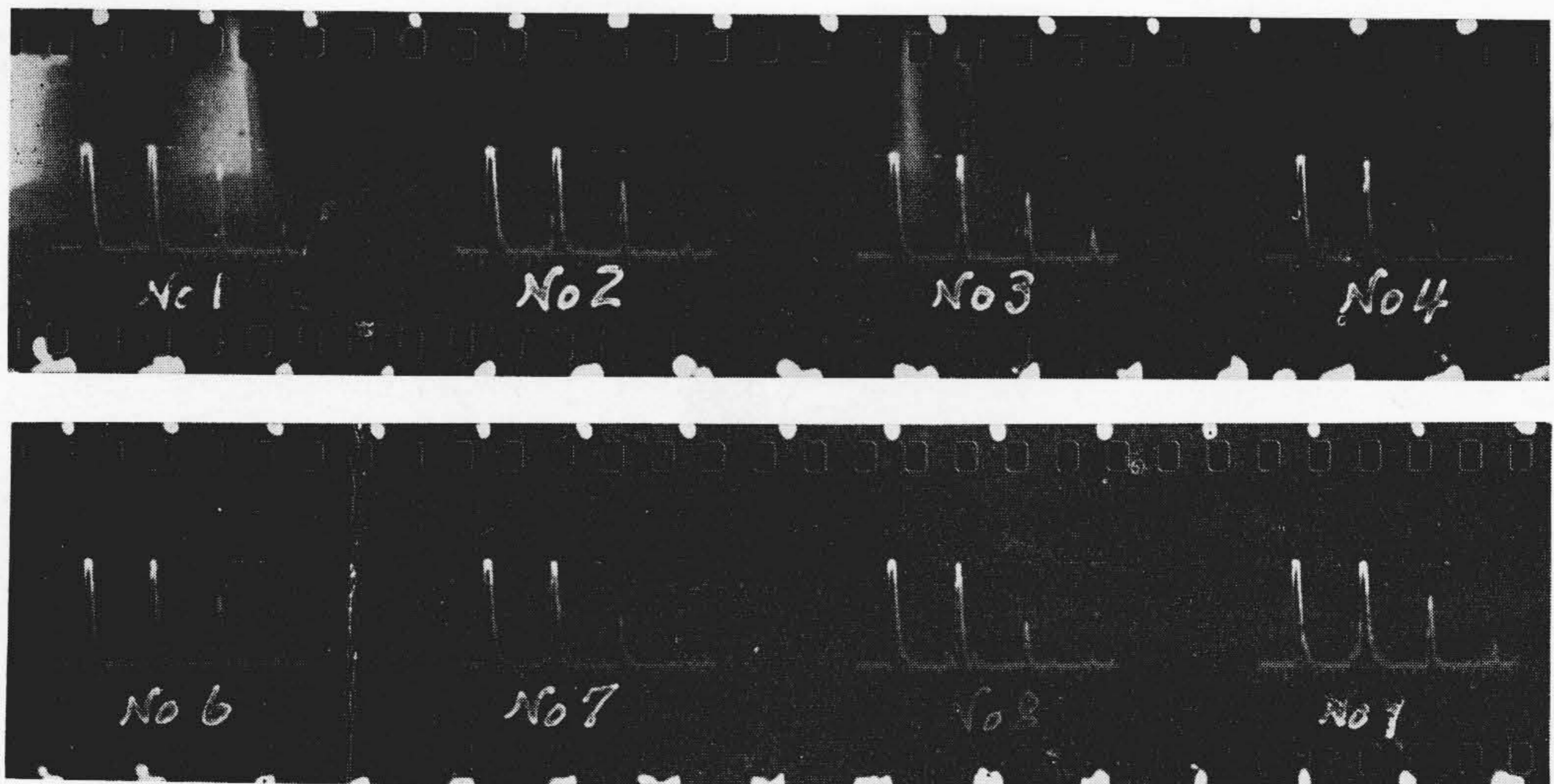


第39図 ピニオン材破断面に現れた銀白点
 (日立製作所水戸工場 (製鋼))
 Fig. 39. White Spots Appeared in the Fracture
 of the Pinion Material
 (Mito Works, Hitachi, Ltd.)

角探傷により検査した結果が第28図に示される。斜角探傷とは水晶片に楔型の蹄をつけて超音波を斜めに送り欠陥からの反射をも斜めに受けて検査する方法で、超音波



第40図 供試ローターシャフトの寸法
 (日立製作所水戸工場 (製鋼))
 Fig. 40. Size of the Tested Rotor Shaft
 (Mito Works, Hitachi, Ltd.)



第41図 ローターシャフトの反射像 (日立製作所水戸工場 (製鋼))
 Fig. 41. Reflection Patterns of the Rotor Shaft (Mito Works, Hitachi, Ltd.)

の進行距離を長くしたり又端面直下から入り込んだ場所の検査が出来るという利点がある。

ii) ペルトン水車バケットの巣の検査

第29図の写真に示す如きバケットの探傷を行つた。第30図と第31図は相当大きな巣のある所と殆どない場所との像を示す。

(3) 日立製作所戸畑工場に於ける鍛造品への応用

i) ハブフロント (マレブル)

第32図の構造の自動車部品を探傷した。図示した五ヶ所の部分の内側と外側との探傷図形が第33図の写真に示される。即ち ①, ②, ③ に於ては反射の繰返しが内外で著しく異つてゐるが ④, ⑤ に於ては内側も外側も同様の波形が得られた。その破面は第34図の写真に示す如くで、探傷によつて欠陥が予想された如く ①, ②, ③ はクサレがあつた。

ii) ロール (鋳鋼)

第35図の寸法のロールの上型と下型とを探傷した結果は第36図の写真に示す通りで、下型では底面波が出てゐるが上型では中央より引け巣の反射が帰つて来ており、底面波は見えない。

(4) 日立製作水戸工場 (製鋼) に於ける鍛鋼品への応用

i) ピニオン材

第37図はピニオン材の構造と探傷位置を示す。探傷像は第38図に示す如く場所により著しく異なる。明瞭な欠陥反射を生ずるもの、減衰の甚しいもの、及び比較的健全と思われるものが見られる。この材料の一部の破断面には第39図写真に示す如き銀白点が現出した。

ii) ローターシャフト

第40図の如きローターシャフトのAA断面を図示の如くその周囲より探傷した結果が第41図の写真であつて不規則な小さな反射が出てゐる。この部分をヘールバイト仕上後 10% 硝酸アルコールでマクロエッチングを行つた処多くのピンホールが検出された。

〔VI〕 結 言

超音波探傷器に関する解説と日立製作所に於ける応用例の一部を述べた。本装置の試作研究に当つては日立製作所中央研究所前所長鳥山博士、浜田部長の御指導御鞭撻を辱うし、又池上和一氏、府川憲氏の御協力を得た。茲に厚く謝意を表す。又各工場の担当の方々には研究所試作品の不備をも顧みず、進んで試験並びに実施に努力され、本装置の育成に尽力され且つ、本稿執筆に際しては実施データを提供されたことに対し深甚の謝意を表す。又、各工場へ実施を慫慂されその普及に御尽力され、常に御指導を賜る中央研究所々長菊田多利男氏、副所長豊田博司氏に対して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 間野：機械学会誌 54, 290 (昭和26年)
- (2) W. P. Mason: Piezo-Electric Crystals and their Application to Ultrasonics. p. 426, 429 (1950)
- (3) 菊地：東北大学通信研究所報告 Vol. 10. p. 12
- (4) 按山、菊地：電学誌 55, 818 (昭和10年)
- (5) 今井：電気通信学会論文集 (第一輯) 131頁 (昭和23年)
- (6) H. Nyquist: Phys. Rev. 32, 110 (1927)

