



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I480546 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 04 月 11 日

(21)申請案號：097132055

(22)申請日：中華民國 97 (2008) 年 08 月 22 日

(51)Int. Cl. : G01N27/82 (2006.01)

(30)優先權：2007/08/23 日本

2007-217180

(71)申請人：杰富意鋼鐵股份有限公司 (日本) JFE STEEL CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：腰原敬弘 TAKAHIRO KOSHIHARA (JP)；加藤宏晴 HIROHARU KATO (JP)；長棟章生 AKIO NAGAMUNE (JP)

(74)代理人：賴經臣；宿希成

(56)參考文獻：

TW I241928

JP 2004-191220A

US 3535625

US 2002/0121896A1

審查人員：郭炎淋

申請專利範圍項數：11 項 圖式數：15 共 43 頁

(54)名稱

微小凹凸表面缺陷之檢測方法

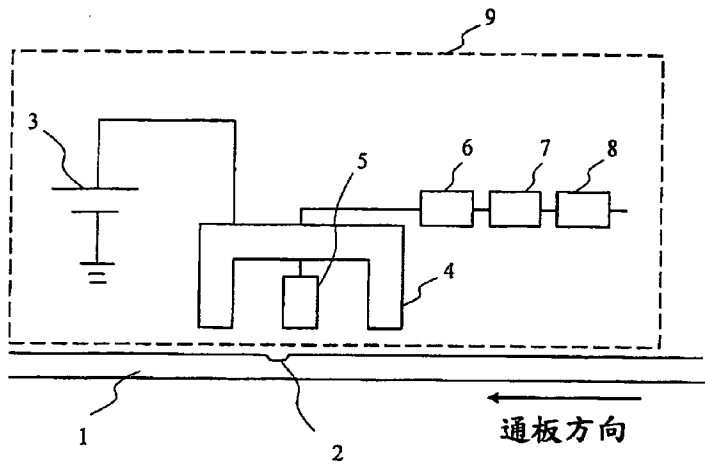
METHOD FOR DETECTING MICRO CONCAVO-CONVEX SHAPE SURFACE DEFECT

(57)摘要

一種磁性金屬之凹凸表面缺陷之檢測方法，係檢測 0.5~6 μ m 之凹凸表面缺陷之應變所引起的信號。該信號為從被施加磁通之該磁性金屬洩漏的磁通。檢測裝置具有使磁性金屬磁化之磁化器、和在與磁性金屬之行走方向垂直方向並排多個之磁性感測器，檢測 0.5~6 μ m 之凹凸表面缺陷之應變所引起的信號。

圖 1

- 1 . . . 鋼板
- 2 . . . 軋輥性微小凹
凸表面缺陷
- 3 . . . 直流電源
- 4 . . . 磁化器
- 5 . . . 磁性感測器
- 6 . . . 放大器
- 7 . . . 濾波器電路
- 8 . . . 缺陷判定器
- 9 . . . 軋輥性微小凹
凸表面缺陷檢測裝置



發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

公告本

※申請案號：97132055

※申請日：97/08/22

※IPC 分類：G01N 27/82 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

微小凹凸表面缺陷之檢測方法

METHOD FOR DETECTING MICRO

CONCAVO-CONVEX SHAPE SURFACE DEFECT

二、中文發明摘要：

一種磁性金屬之凹凸表面缺陷之檢測方法，係檢測 $0.5\sim 6\mu\text{m}$ 之凹凸表面缺陷之應變所引起的信號。該信號為從被施加磁通之該磁性金屬洩漏的磁通。檢測裝置具有使磁性金屬磁化之磁化器、和在與磁性金屬之行走方向垂直方向並排多個之磁性感測器，檢測 $0.5\sim 6\mu\text{m}$ 之凹凸表面缺陷之應變所引起的信號。

三、英文發明摘要：

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|---|-----------------|
| 1 | 鋼板 |
| 2 | 軋輥性微小凹凸表面缺陷 |
| 3 | 直流電源 |
| 4 | 磁化器 |
| 5 | 磁性感測器 |
| 6 | 放大器 |
| 7 | 濾波器電路 |
| 8 | 缺陷判定器 |
| 9 | 軋輥性微小凹凸表面缺陷檢測裝置 |

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明關於一種磁性金屬(ferromagnetic metal)之凹凸表面缺陷(concavo-convex shape surface defect)之檢測方法及裝置，特別關於一種用來檢測板厚 0.4mm~2.3mm 鋼板之 $Ra=0.5\sim 2\mu m$ 之粗面中凹凸量 $0.5\mu m$ 以上 $6\mu m$ 以下，面積 $10mm^2$ 以上之凹凸表面缺陷的凹凸表面缺陷之檢測方法及裝置。

【先前技術】

在磁性金屬特別是薄鋼板之製造處理中，由於附著在製造線內所設置的軋輥之異物，或該異物嚙入到軋輥而在軋輥本身產生之凹凸轉移到鋼板，因此會有發生軋輥性之缺陷之情況。

在該等軋輥性之缺陷之中，鋼板表面之粗度($Ra=0.5\sim 2\mu m$)中具有平穩之輪郭(曲率半徑 $R\geq 10mm$)之凹凸量在 $5\mu m$ 以下，但可看到具有面積為 $10mm^2$ 以上形狀之凹凸表面缺陷。以下將其稱為微小凹凸表面缺陷。圖 4 表示該微小凹凸表面缺陷之剖面概略圖。該微小凹凸表面缺陷大小面積為 $10\text{ mm}^2\sim 1000\text{ mm}^2$ 程度，但是凹凸如先前所述成為 $5\mu m$ 以下，最小者為 $1\mu m$ 前後，是與表面粗度相同階級(order)之非常小者。

因為大部份凹凸量較大之軋輥性缺陷可以辨認，所以在製造線容易被發現，但是該微小凹凸表面缺陷因為其凹凸與鋼板之表面粗度相同程度，所以光學差較小，即使直接在該狀態下觀察亦無法發現，要在製造線發現會有困難。然而，經由塗裝表

面粗度埋入塗料而表面變成平滑，可清晰可見，外觀上成為大問題。因此，在塗裝前發現該微小凹凸表面缺陷在品質管理上成為重要之問題。

微小凹凸表面缺陷之形態亦有如上述軋輥缺陷之點狀缺陷，如線狀痕跡、拉伸痕跡之在鋼板之長度方向連續之缺陷。

該等微小凹凸表面缺陷是在軋輥產生之凹凸轉移到鋼板時產生，一旦產生則會在交換軋輥或改善處理為止連續產生，所以從提高良率之觀點來看謀求早期發現之對策極為重要。

為了發現此種微小凹凸表面缺陷，在製鐵處理之各個檢查線，檢查員對全部線圈使作業中之鋼板行走一度停止，進行砥石研磨後，再進行目視檢查。當進行砥石研磨時，因為砥石反射率在凸部比凹部高，所以凹凸部差變為明確，可目視確認。以下將此稱為砥石研磨檢查。

然而，此種方法必須使檢查線停止，且需要相當之時間，所以有作業效率降低之問題。作為對此之對策是開發對凹凸為數 μm 程度具有平滑輪郭之凹凸性缺陷自動檢查之方法。此種自動表面檢查裝置之例有專利文獻 1、專利文獻 2、專利文獻 3 及專利文獻 4 所揭示之技術。

然而，專利文獻 1 所揭示技術為以鏡面作為對象之檢查技術，當適用在表面粗度較大之對象時，缺陷凹凸引起之收斂光、發散光混入於表面粗度引起之擴散光，所以有無法檢測缺陷之問題。

另外，專利文獻 2 所揭示之技術為以鋼板作為對象者，但若非如不銹鋼板等高鏡面性之對象仍然無效。另外，對於照射光垂直方向之凹凸缺陷有效，但對於平行方向之凹凸缺陷仍有無法獲得充分檢測性能之問題。

更進一步，專利文獻 3 所揭示之技術係以研磨前表面較粗之晶圓作為對象，但是因為藉由全體光量而判定缺陷之有無，所以無法檢測由於缺陷引起之明確信號。因此，會有檢測精確度降低之問題。

因此，開發有一種專利文獻 4 所揭示之技術，該技術為裝置之檢測性能非常高者，但在另外一方面，因為射入角需要接近 90 度之大角度，所以要將裝置配置到實際作業線會有困難。有光學系統之調整變為困難之問題。

當就對象不限定在微小凹凸表面缺陷之較廣缺陷檢測法來看時，關於對被檢測體施加磁通之檢測方法，有揭示在專利文獻 5 使用洩漏磁通探傷方法來檢測內部介設物之技術。而且，有記載利用該洩漏磁通探傷方法，由表面形態變化引起之洩漏磁通信號(形狀變化所引起之磁通流動變化或散亂之信號)，亦可檢測表面缺陷。

然而，該洩漏磁通探傷之信號強度對應到表面缺陷之形狀變化量(凹凸量)，因此在可成為自動檢查對象的表面缺陷之形狀變化量(凹凸量)具有下限，業者間將該下限視作 $100\mu\text{m}$ 程度(非專利文獻 1)。亦即，要確實地檢測形狀變化量為 $100\mu\text{m}$

程度以下之表面缺陷會有困難， $100\mu\text{m}$ 程度以下之形狀變化起因產生的信號，只被辨認作為其他目的(例如，內部介設物之檢測)之探傷中雜訊源程度之信號。

另外一方面，雖無法單純比較，但在內部介設物之檢測情況時，亦同樣地，因為檢測信號對應到缺陷大小，所以在檢查對象之鋼板板厚方向之缺陷大小亦存在下限，業者間將該下限視為 $10\mu\text{m}$ 程度(非專利文獻 2 至 5)。

更進一步而言，在洩漏磁通探傷中當板厚變厚，厚度方向之探傷範圍變廣，因而鋼板引起之質地雜訊變大、鋼板之磁化所需要的磁化力變大、鋼板表面平坦度變差、感測器和鋼板之仿形變為困難等理由，而有板厚越厚探傷越困難之傾向。在先前非專利文獻所示之介設物計中，若考慮以針對罐用用途之薄鋼板作為對象，在本案對象的鋼板板厚之上限值 2.3mm 中，即使檢測內部介設物，當與該可檢測的缺陷大小之下限值為 $10\mu\text{m}$ (鋼板板厚方向之大小)之情況比較時為大幅變大。

另外，在非專利文獻 6 揭示鐵鋼聯盟之鐵鋼技術政策委員會之壓延精整系統冷延調查 WG 關於在 1994 年 9 月~1995 年 7 月進行之砥石檢查位準之缺陷檢測的探索調查結果(關於砥石檢查位準之缺陷檢測磨損技術之探索調查結果報告書)，但是關於本發明對象的微小凹凸表面缺陷之自動檢測，過去研究之例子以使用光之檢測方法為主，未看到利用洩漏磁通探傷方法研究之例子。

由上，利用洩漏磁通探傷對本發明檢測對象之鋼板表面砥石研磨，利用洩漏磁通探傷對勉強可目視確認程度之微小凹凸表面缺陷進行檢測，此對洩漏磁通探傷之技術者而言完全無法輕易思及。

(專利文獻 1)日本專利特開昭 58-86408 號公報

(專利文獻 2)日本專利特開平 5-256630 號公報

(專利文獻 3)日本專利特開平 6-58743 號公報

(專利文獻 4)日本專利特開 2000-298102 號公報

(專利文獻 5)日本專利特開平 8-160006 號公報

(非專利文獻 1)日本鐵鋼協會 品質管理部會 NDI 部門
(技能傳承技術檢討會)編 2001 年 2 月 28 日 鐵鋼製品之洩漏磁通探傷法

(非專利文獻 2)CAMP-ISIJ Vol.10(1997) -289 薄鋼板
高精確度介設物檢查裝置之開發

(非專利文獻 3)日本鐵鋼協會 生產技術部門 第 131 次控制技術部會 千葉 2CGL 半圓鑿缺陷裝置之開發 2004 年 6 月

(非專利文獻 4)CAMP-ISIJ Vol.7(1994) -1270 線上微小非金屬介設物檢查裝置之開發

(非專利文獻 5)川崎製鐵技報 31 1999 4.211-215 薄鋼板製造中內部品質之線上計測及檢查技術

(非專利文獻 6)鐵鋼聯盟 鋼技術政策委員會 壓延精整系統冷延調查 WG 1995 年 7 月 關於砥石檢查位準之缺陷檢測

磨損技術的探索調查結果報告書

【發明內容】

本發明目的在於提供一種實用之凹凸表面缺陷之檢測方法及裝置，可確實地檢測表面粗度為 $Ra=0.5\sim 2\mu m$ 程度之粗度的被檢查對象物中通常辨認困難，且如由砥石研磨檢查所檢測之自動檢測困難的凹凸為數 μm 程度之凹凸缺陷。

本發明根據以上發現完成，其要旨如下所述。

[1]一種磁性金屬之凹凸表面缺陷之檢測方法，用來檢測由於 $0.5\sim 6\mu m$ 之凹凸表面缺陷之應變所引起的信號。

[2]如[1]所記載之檢測方法，該磁性金屬之厚度為 $0.4\sim 2.3mm$ 。

[3]如[1]所記載之檢測方法，該凹凸表面缺陷之該厚度方向之大小 $s(\mu m)$ 對該磁性金屬之厚度 $t(mm)$ 之比 s/t 為 $9.0\sim 0.63$ 。

[4]如[1]所記載之檢測方法，該信號為從施加磁通之該磁性金屬洩漏之磁通。

[5]如[4]所記載之檢測方法，施加有該磁通的該磁性金屬之磁通密度為磁性飽和情況時之磁通密度 75% 以上未滿 95%。

[6]如[4]所記載之檢測方法，組合多個條件來進行該檢測，該多個條件包含施加該磁通的該磁性金屬之磁通密度為磁性飽和情況之磁通密度 75% 以上未滿 95% 之條件、和為磁性飽和情況之磁通密度 95% 以上之條件。

[7]如[4]所記載之檢測方法，施加在該磁性金屬之磁場強度為

4000A/m 以上未滿 25000A/m。

[8]如[4]所記載之檢測方法，組合施加在該磁性金屬的磁場強度為 4000A/m 以上未滿 25000A/m 之情況、和為 25000A/m 以上之情況來進行該檢測。

[9]如[1]所記載之檢測方法，將該磁性金屬和檢測該信號之檢測裝置之間隔設定在 0.5~1.5mm 來進行。

[10]如[1]~[9]中任一項所記載之檢測方法，該信號為在成為發生缺陷原因之軋輥下游步驟、且有退火作用步驟之上游步驟所產生的該凹凸表面缺陷之應變所引起之物理量。

[11]如[1]~[9]中任一項所記載之檢測方法，該信號是在成為發生缺陷原因之軋輥下游步驟、且調質壓延後之步驟所產生的該凹凸表面缺陷之應變所引起的物理量。

[12]一種微小凹凸表面缺陷之檢測方法，係檢測磁性金屬被檢測體之凹凸量為 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $6\mu\text{m}$ 以下的微小凹凸表面缺陷；其特徵在於，經由檢測上述被檢測體之缺陷部應變所引起的信號，來檢測上述表面缺陷。

[13]一種磁性金屬之製造方法，係使用[1]~[9]中任一項所記載之檢測方法。

[14]一種磁性金屬之製造方法，係使用[10]項所記載之檢測方法。

[15]一種磁性金屬之製造方法，係使用[11]項所記載之檢測方法。

[16]一種微小凹凸表面缺陷之檢測裝置，係檢測磁性金屬被檢測體之凹凸量為 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $6\mu\text{m}$ 以下的微小凹凸表面缺陷；其特徵在於，經由檢測上述被檢測體之缺陷部之應變所引起的信號，來檢測上述表面缺陷。

[17]一種磁性金屬之凹凸表面缺陷之檢測裝置，係藉由使磁性金屬磁化之磁化器、和在與磁性金屬之行走方向垂直方向並排多個的磁性感測器，而檢測由於 $0.5\sim 6\mu\text{m}$ 之凹凸表面缺陷之應變所引起的信號。

本發明可確實檢測表面粗度較粗之被檢查對象物中通常辨認困難、且如由砥石研磨檢查所檢測到之自動檢測困難的凹凸數 μm 程度之具平滑輪郭的微小凹凸表面缺陷。

【實施方式】

本發明人等為了計測由本發明對象之軋輥所產生的微小凹凸表面缺陷(軋輥性微小凹凸表面缺陷)，首先，對該等多片缺陷進行 X 射線繞射測定，解析其物理特性。其結果是確認到該等軋輥性微小凹凸表面缺陷在其發生過程中，經軋輥而轉移缺陷時所產生之應變存在。

因此，本發明人等著眼於雖只利用形狀引起之信號無法充分地檢測，但是經由配合應變進行檢測，可檢測本發明對象之軋輥性微小凹凸表面缺陷的可能性，該缺陷產生時所產生之應變無法由磁性手法計測，但以實驗確認。因此，首先組合簡易之洩漏磁通探傷裝置，確定對軋輥性微小凹凸表面缺陷進行多片

探傷來檢測信號。然後，為充分除去該樣本之應變，以 850°C 施加 10 分鐘之退火(annealing)，再度進行洩漏磁通探傷。結果是確認到退火前檢測到之信號在退火後信號位準會大幅降低。圖 2 表示退火前後之洩漏磁通探傷結果和形狀計測結果之 1 例。

圖 2 所示缺陷表示凹凸量 $5\mu\text{m}$ 和微小凹凸表面缺陷是比最小位準稍大的缺陷資料。圖 2(a)、(b)為退火前之狀態，圖 2(c)、(d)為退火後之狀態。又，圖 2(a)、(c)為對長度方向(通板方向)之形狀分佈，圖 2(b)、(d)為對長度方向(通板方向)之洩漏磁通探傷裝置的檢測信號值。另外，得到在缺陷部中退火前後由 X 射線繞射測定所計測之應變量從 0.00217 大幅減少為 0.00067 之結果。從圖 2(b)、(d)之結果亦可明白退火前後，缺陷部中洩漏磁通信號亦從 0.85V 減半為 0.41V。該缺陷由於為比最小位準稍大之缺陷，所以洩漏磁通信號位準即使為大約 $1/2$ 仍為勉強可檢測之位準，但確認到經由除去應變可使信號大幅降低。

另外，圖 3 表示應變和洩漏磁通之關係。對凹凸大致相同程度之多個軋輥性微小凹凸表面缺陷進行 X 射線繞射測定，計測應變，對洩漏磁通探傷結果進行描繪。由圖 3 可知應變和洩漏磁通信號具有較強相關性。因此，可視作利用洩漏磁通來檢測應變。

由上，本發明人等發現只以單與粗度為相同階級凹凸的軋輥

性微小凹凸表面缺陷之凹凸形狀引起的信號，則無法檢測缺陷，但是配合凹凸引起之信號檢測產生軋輥性微小凹凸表面缺陷時，所產生的內部應變之信號，而可由使用磁通之檢測手法（此處使用磁通之檢測手法為指例如直流洩漏磁通探傷、交流洩漏磁通探傷、渦流探傷、殘留磁通測定、磁紛探傷等）進行檢測。根據此種發現，配合該微小凹凸表面缺陷之特性使各種條件最佳化而成為本發明。

此處，對於洩漏磁通探傷之應變檢測原理進行以下說明。應變導致洩漏磁通信號產生之原因在於，因應變而使被檢查對象物之結晶格子間隔發生變化，由此自旋轉間之相互作用產生變化，結果磁性特性發生變化。對此，在通常之洩漏磁通探傷中，因為提高信號位準並除去由於測定對象之磁性特性（導磁率）不均造成雜訊之影響，所以一般以飽和磁性位準來進行計測。

但是，如同通常之洩漏磁通探傷，當使被檢測體非常強地磁化成為磁飽和時，則自旋轉在同一方向對齊，因為可預料應變信號較難出現，所以在比磁飽和低之磁化位準（旋轉磁化區域）之一方，應變信號可獲得更強，該磁化位準被視為較佳。此可視作，將從外部對鋼板施力在鋼板整體產生應變之狀態下 $B-H$ 曲線之測定資料、和未施加應變狀態下 $B-H$ 曲線之測定資料進行比較時，可認為對應於在比磁飽和區域小的磁化位準區域（旋轉磁化區域）中會產生較大差異。

由上，在軋輥性微小凹凸表面缺陷之計測中，亦計測應變信

號，在以良好敏感度計測該應變引起之信號時，小磁化位準之計測較飽和磁化可視作有利。另外，在此處所稱施加在被檢測體之磁場強度並非指從使被檢測體磁化之磁化器所產生的磁場總和，而是直接施加在被檢測體之被檢測對象區域的磁場，亦即，為在被檢測體之被檢測對象區域描繪 B-H 曲線時與 H 相當之量。

另外，通常該等洩漏磁通探傷裝置使用在最終線上之製品檢查，在從缺陷發生時起到探傷為止之期間存在各種步驟。在該等步驟中，例如，具有缺陷發生時所產生之應變經熱去除，由通板時之張力等其他應力使應變開放等之現象產生，應變成為開放狀態之步驟，在此種步驟中，會有無法檢測應變引起的信號之問題，檢測場所亦必須檢討。

圖 8 為冷延鋼板之製造步驟例之概略圖。冷延鋼板之主要製造步驟是在冷間壓延後，進行退火(annealing)、進而調壓。通常，本發明檢測對象之軋輥性微小凹凸表面缺陷是經由冷間壓延之壓延軋輥、冷間壓延後之退火步驟之退火爐內之軋輥、和退火後之調壓軋輥而產生。

在冷延鋼板之製造步驟中，通常為了除去壓延時所產生之硬化影響，而施以退火步驟等之熱步驟。在該熱步驟中可升溫至再結晶溫度。經該熱步驟加熱時，有與上述實驗相同地缺陷信號變弱之問題。因此，需要在如圖 8 所示之「位置 A」成為缺陷發生原因之軋輥後、或如「位置 B」成為缺陷發生原因之軋

輥後、且應變開放的位準之熱步驟(有退火作用之步驟)前進行計測。

另外，一旦在經熱步驟除去應變後，利用調質壓延(調壓)再度附加應變。此處，缺陷部由於凹凸影響當與正常部比較時，因為賦予不同之較大應變，所以即使在熱步驟後若在如圖 8 所示「位置 C」之調壓後亦可檢測缺陷。

在檢測由上述發生原因之全部軋輥所產生的缺陷時，最好在調壓後進行計測，更進一步，因為考慮缺陷發生時之回饋、位置追蹤之容易性，和在製造線通板時之張力等應變狀態之變化，所以最好在圖 8 所示「位置 C」之調質壓延後進行計測。

另外，在 CGL、EGL 等線上所製作之鍍鋅金鋼板或鍍錫金鋼板等表面處理鋼板中，步驟中除了施加電鍍處理等之表面處理步驟外，至調壓為止之基本步驟相同，對於設置位置亦相同。

又，在退火步驟(CAL)，鍍金步驟(CGL、EGL)不進行調壓之情況下，例如，亦可在再繞線等之精整線上進行調壓，之後再進行設置亦同。

尤其在鍍金步驟和之後步驟中，有只在表面之鍍金層轉移凹凸，產生不影響底層金屬之缺陷的情形，但在檢測該等缺陷之情況時，利用調壓使底層金屬發生應變來進行檢測較好，特別在調壓後進行計測之手法最好。

另外，當利用再壓延等施以較大壓下率之壓延時，因為缺陷本身消滅，所以從檢測軋輥性缺陷之觀點來看時，在缺陷發生

後到較大壓下率之壓延前進行計測尤其重要。另外，雖由於較大壓下率之壓延而缺陷本身消滅，但從防止缺陷再發生之觀點來看時，在進行此種較大壓下率之壓延的情況時檢測缺陷亦尤其重要。

[實施例]

圖 1 表示本發明實施例之裝置構造例。圖 1 中元件符號 1 表示鋼板，2 表示軋輥性微小凹凸表面缺陷，3 表示直流電源，4 表示磁化器，5 表示磁性感測器，6 表示放大器，7 表示濾波器電路，8 表示缺陷判定器和 9 表示軋輥性微小凹凸表面缺陷檢測裝置。

在鋼板 1 於厚度方向存在有數 μm 與粗度相同階級之軋輥性微小凹凸性缺陷 2。在鋼板 1 設有軋輥性微小凹凸表面缺陷檢測裝置 9。軋輥性微小凹凸表面缺陷檢測裝置由以下構造構成。磁化器 4 和磁性感測器 5 被配置在鋼板 1 之同側。在磁化器 4 供給來自直流電源 3 之直流電流而磁化。

由磁化器 4 在兩個磁間產生的磁通通過鋼板 1。當在鋼板 1 存在缺陷 2 時，缺陷 2 發生時所產生的應變位在缺陷 2 之周圍，因此磁通受妨礙，藉由磁性感測器 5 可檢測其變化。透過放大器 6 對磁性感測器 5 之輸出信號進行信號放大，然後，由濾波器電路 7 除去雜訊，由元件符號 8 之缺陷判定達一定值以上信號之處為缺陷。

本實施例中，所示例子是使用直流信號進行洩漏磁通探傷，

但是亦可以使用交流信號。該情況下需要同步檢波電路。另外，將磁化器和磁性感測器配置在鋼板之同側，但是在使用直流信號之情況時，亦可隔著鋼板對向配置，即使在使用交流信號之情況下，當激磁頻率對板厚很小之情況時，亦可同樣隔著鋼板對向配置。

另外，缺陷判定器 8 中，根據缺陷之信號強度進行缺陷之判定，但是亦可組合信號強度達某值以上點之長度、寬度、面積來進行判定，亦可組合該等 2 個以上來進行判定。另外，在使用交流信號之情況時，亦可使用交流信號之相位來進行判定。

本發明人等對成分變化之數種鋼種，首先進行 B-H 曲線之測定，其結果於圖 7 所示。圖中顯示 C% 不同之 3 種鋼中 B-H 曲線，A 表示極低碳鋼(C%—0.0—0.002)，B 表示低碳鋼(C%—0.03—0.06)、及 C 表示琺瑯鋼(C%大約 0.0009)，但依鋼種不同，B-H 曲線未顯示差異。又，然後對該等鋼種進行軋輥性微小凹凸表面缺陷之探傷。以下表示其結果之代表例(極低碳之例子)。

圖 5 表示強磁化條件和弱磁化條件之比較，其為強磁化條件(48000A/m)和弱磁化條件(8000 A/m)中軋輥性微小凹凸表面缺陷之探傷例。從圖中可知信號位準降低。一邊變化磁場值，一邊重複同樣測定，描繪信號位準、雜訊位準、S/N 對磁場關係為圖 6 所示者。

如圖 6 所示，在 4000A/m 以上，未滿 25000A/m 且 S/N 高

達 5 以上時適於檢測。該磁場如圖 7 所示，以鋼作為對象之情況時的磁通密度，相當於飽和磁化狀態下磁通密度之 95% 至 75%。

又，圖 6 中 25000A/m 以上特別是超過 40000A/m 之磁場下，信號位準增加(然而，在另一方面，雜訊位準亦增加，因此 S/N 無大幅增加)。此可視作因來自缺陷凹凸之信號成分增加之緣故。來自缺陷凹凸之信號最好以習知所使用之飽和磁化位準來計測。此處，磁場達 25000A/m 以上之磁通密度相當於圖 7 飽和磁化狀態之 95% 以上。特別是 40000A/m 以上相當於 99%。

在軋輥性微小凹凸表面缺陷中，在較小之情況時，雖達極微小數 μm ，但仍存在凹凸，因此，如此亦可獲得凹凸起因之信號。因此，藉由透過未滿 25000A/m 磁場強度之探傷檢測應變信號，和透過 25000A/m 以上磁場強度之探傷時檢測凹凸信號之 2 條件探傷組合，可提高缺陷之檢測性能。又，比較凹凸信號成分和應變信號成分，而可進行凹凸量和應變量之比較，例如，在凹凸量小且應變量大之情況時，推定為在壓下率較高之軋輥發生的缺陷等作為缺陷發生原因之軋輥位置可被指定。

另外，在本實施例中，磁通密度值根據預先測定之 $B-H$ 曲線，由磁場強度求得。另外，關於磁場強度，亦可測定被檢測體之對象位置之附近空間之值來使用。

另外，本實施例中是使用直流之洩漏磁通來進行計測，但是

若檢測應變起因之信號時，亦可使用交流之洩漏磁通法，渦流探傷法，磁粉探傷法。

另外，本實施例中係使用霍爾元件作為磁性感測器，但是只要為可感測磁性者則亦可使用線圈、磁阻元件、SQUID 等。另外，磁性感測器可使用單數亦可使用多數。在使用多個磁性感測器之情況，藉由與非檢體之行走方向垂直且與非檢體平行並排使用，而可同時進行廣大面積之檢查。此種情況下，會有磁性感測器和磁性感測器之間距太大時，缺陷在通過磁性感測器間時會發生看漏，反之，間距太小時則效率不良之問題。磁性感測器之間距若在 0.5mm~3mm 間時則可進行檢測，但是從檢測敏感度和效率之觀點而言在 0.8mm~2mm 間最佳。

又，本實施例中，剝離為 1mm。此為依照以下發現而設者。在軋輥性微小凹凸表面缺陷之中，於特別小缺陷的洩漏磁通信號位準非常小。為了檢測該等缺陷，除上述工夫外，更需要使感測器和非檢測體距離之剝離最佳化。

通常，在鐵鋼線上由砥石研磨檢查成為問題之缺陷如上述為粗度數 μm 中與粗度相同程度(數 μm 程度)之凹凸且曲率半徑 R 為 10mm 以上之缺陷。該等大多為鋼板面上 $\phi 4\text{mm}\sim 30\text{mm}$ 程度、面積 $10\text{mm}^2\sim 1000\text{mm}^2$ 程度之大小缺陷。通常，在洩漏磁通探傷方法中，若剝離越小則越有利於敏感度提高。然而，該等凹凸量小至數 μm ，為檢測面積較大之缺陷，當剝離過小時，則會只檢測來自缺陷之極小個部份之信號，在缺陷檢測上產生需要

排列多個感測器等效率不良之問題。

圖 9 表示剝離和 S/N 之關係例 1。圖 10 表示剝離和 S/N 之關係例 2。該等分別為研究剝離和 S/N 之關係之圖形，在圖 9 中，對本發明主要檢測對象之凹凸為較小之數 μm 程度、面積較大、樣本 a：長 15mm 寬 4mm 和樣本 b：長 10mm 寬 4mm，變化剝離而進行測定，圖 10 中對凹凸為比較大之數 $10 \mu m$ 程度、面積較小、樣本 c：長 1mm 寬 2mm 和樣本 d：長 1mm 寬 2mm 進行測定。在上述實施例中，利用感磁部面積為 $\phi 0.2mm$ 以下程度之霍爾元件作為感測器。

在圖 10 所示面積較小之缺陷情況下，如習知，確認到剝離較小者會有 S/N 較高之傾向，但對此，在圖 9 所示，面積較大之缺陷情況時(以上述缺陷 a、b 之實效缺陷直徑考慮時，為 $\phi 5mm$ 以上之程度)，確認到剝離在 1mm 前後會有 S/N 變成最高之傾向。另外，在剝離 0.5~1.5mm 由於 $S/N=2$ 以上所以可以適用，但圖 9 中央一點鏈線所示 $S/N=3$ 之線表示可自動檢測之位準，由此剝離 0.8mm~1.2mm 之範圍為可自動檢測之較佳範圍。另外，可知尤其在剝離 1mm 中， S/N 良好，0.9mm~1.1mm 為最佳範圍。

以下，對該現象使用圖 11 進行觀察。圖 11 概略表示面積較小(對應於上述缺陷之 c、d)和面積較大(對應於上述缺陷之 a、b)的缺陷測定情況。

通常，在洩漏磁場探傷中習知，越接近被檢測體，缺陷之洩

漏磁通密度越高，因此剝離越小，會檢測越強缺陷信號，剝離越大，會檢測越低缺陷信號。此處，更進一步考察時，感測器檢測之檢測區域隨剝離變大而變大。

通常，檢測困難之缺陷為隨著凹凸變小面積亦變小之缺陷。此種缺陷當與感測器之檢測區域比較時，因為原本很小，所以當剝離變大時，感測器檢測區域內所佔用缺陷面積變小(參照圖 11(a))。此時，因為檢測區域所含之信號經平均化而檢測，所以缺陷信號與來自周邊正常部之信號(地面雜訊信號)平均，信號強度更進一步下降。另外一方面，由於來自正常部之信號大致為相同之位準，所以不像缺陷信號之信號強度會下降。如此，在面積較小之缺陷情況下，該缺陷信號降低之程度因為比被檢測體起因的雜訊之降低程度強，所以可認為剝離越遠離， S/N 越減小。因此，在習知檢測之面積較小之缺陷中，剝離較小者有利於檢測。

另外一方面，此次測定對象之凹凸量為微小但面積較大之缺陷(相當於 $\phi 5\text{mm}$ 以上)。在檢測該缺陷之情況時，當剝離變大時，缺陷信號和被檢測體引起之雜訊信號均變小，但因缺陷大小較大，即便使剝離變大，在對感測器之檢測區域達缺陷較大狀態之期間為止(參照圖 11(b))，感測器之檢測區域內缺陷之佔用面積不變，因此未與來自正常部之信號平均，所以缺陷信號大致不會降低。

另外一方面，雜訊信號在剝離大到某種程度之前，可視為隨

機雜訊成分由加算平均之效應而降低。因此，由於缺陷雜訊和隨機雜訊之加算平均關係，在達某剝離前， S/N 實質增加。更進一步，當剝離變大時，與較小缺陷同樣地，因為缺陷信號之降低變大，所以可認為 S/N 降低。

如此，即使某種程度之剝離變大，在缺陷比會對感測器造成影響之被檢測體範圍還大前，除了被檢測體起因之雜訊降低外，缺陷信號之降低程度大致沒有，因此 S/N 增加，可認為具有最佳範圍。

另外，在通常鐵鋼線上砥石研磨檢查，以如上述凹凸量數 μm 在鋼板面上對 $\phi 5mm \sim 30mm$ 程度之大小缺陷施以砥石研磨而可目視檢查，但是大多是即使在相同步驟不施以砥石研磨亦可檢查可檢測到之微小缺陷。該等缺陷因為不需要進行砥石研磨，所以不作為本發明之對象。

對於作為本發明對象之不容易辨認缺陷(通常辨認困難，且由砥石研磨檢查所檢測到之缺陷)，使用實際資料之結果如下所示。圖 12 表示使用在本發明評估對象之缺陷樣本形態。圖 12(a)表示不容易辨認的缺陷在鋼板厚度方向之大小(凹凸變化量)和頻率(樣本數)，圖 12(b) 表示鋼板面上之面積和頻率(樣本數)。

本發明中，如圖 12 所示，以缺陷之凹凸量(鋼板厚度方向之形狀變化量)為 $0.5 \mu m$ 以上 $6 \mu m$ 以下，鋼板面上之面積為 $10mm^2 \sim 1000 mm^2$ 程度(對應於 $\phi 4mm \sim 30mm$)之微小凹凸表面缺陷

作為檢測對象。另外，該等缺陷發生在板厚 0.4mm 以上 2.3mm 以下、表面粗度 $Ra=0.5\sim 2\mu m$ 之鋼板，在鋼板厚度方向之剖面中，曲率半徑 R 為 10mm 以上。

而且，圖 13 表示洩漏磁通信號之 S/N 對圖 12(a)之缺陷之厚度方向大小的關係。如圖 13 所示，對該等之缺陷全部，洩漏磁通信號之 S/N 達 2 以上，可知利用本發明可充分檢測。另外，在圖 13 中，對於凹凸方向之大小(凹凸變化量)為 $0.5\mu m$ 之缺陷， S/N 為大約 3 者有 4 個樣本，因此重疊描繪。

更進一步，圖 14 表示缺陷厚度方向之大小和測定對象鋼板之板厚關係。圖 12 和 13 所示本發明對象之資料以○表示，由被設置在冷延步驟以後之線上的鋼板用洩漏磁通探傷裝置測定到之習知洩漏磁通探傷對象以x表示。另外，在先前揭示之文獻中所示之實例只表示「以罐用鋼板作為對象」，未明示對象板厚，此實例可整理罐用鋼板良好使用板厚 0.2mm。

從圖 14 可知在習知洩漏磁通探傷之例子中，計測對象之缺陷厚度方向之大小 s (單位 μm)除以計測對象之板厚 t (mm)所獲得之值 s/t 為從 40 至 250 程度之較大值，對此，以○表示本發明對象之 s/t 為非常小值。其中，將圖 14 之縱軸為 $0\sim 10\mu m$ ，橫軸為 $0\sim 1.5mm$ 之範圍擴大者以圖 15 表示。

在圖 13 和圖 14 所示之本發明中，是將 0.4mm 以上 2.3mm 以下板厚之凹凸量 $0.5\mu m$ 以上 $6\mu m$ 以下之微小凹凸表面缺陷作為對象，但是缺陷之鋼板厚度方向大小 s (凹凸變化量，單位

μm)除以計測對象之板厚 $t(\text{mm})$ 所獲得之值 s/t 如圖 15 所示，可知 9.0 以下 0.63 以上之顯著較小值。如上，本發明之檢查對象當以鋼板厚度 $t(\text{mm})$ 和缺陷之鋼板厚度方向大小 $s(\mu\text{m})$ 之關係 s/t 表示時，可導出為 9.0 以下 0.63 以上之微小凹凸表面缺陷。

【圖式簡單說明】

圖 1 表示本發明實施例之裝置構造例。

圖 2(a)至圖 2(d) 表示退火前後之洩漏磁通探傷結果和形狀計測結果之 1 例。

圖 3 表示應變和洩漏磁通之關係。

圖 4(a)及(b)是概略圖，用來表示凹凸表面缺陷之剖面形狀。

圖 5(a)及(b)表示強磁化條件和弱磁化條件之比較。

圖 6 表示磁場強度、信號位準、和 S/N 之關係。

圖 7 表示 C%不同之 3 種鋼中 $B-H$ 曲線。

圖 8 為冷延鋼板之製造步驟例之概略圖。

圖 9 表示剝離和 S/N 之關係例 1。

圖 10 表示剝離和 S/N 之關係例 2。

圖 11(a)及(b)概略比表示小或大缺陷測定之情況。

圖 12(a)及(b)表示本發明評估對象所使用之缺陷樣本之形態。

圖 13 表示洩漏磁通信號之 S/N 對圖 12(a) 之缺陷厚度方向大小的關係。

圖 14 表示缺陷之厚度方向大小和測定對象鋼板板厚的關係。

圖 15 為將圖 14 之縱軸以 $0\sim 10\mu\text{m}$ 、橫軸以 $0\sim 1.5\text{mm}$ 之範圍擴大的圖。

【主要元件符號說明】

1	鋼板
2	軋輥性微小凹凸表面缺陷
3	直流電源
4	磁化器
5	磁性感測器
6	放大器
7	濾波器電路
8	缺陷判定器
9	軋輥性微小凹凸表面缺陷檢測裝置
R	曲率半徑
Ra	表面粗度

七、申請專利範圍：

1. 一種微小凹凸表面缺陷之檢測方法，係檢測鋼板被檢測體之凹凸量為 $0.5\mu\text{m}$ 以上且 $6\mu\text{m}$ 以下之微小凹凸表面缺陷，其特徵為，

將磁通(magnetic flux)施加至上述被檢測體，檢測屬於在上述被檢測體發生缺陷時所產生之內部應變所引起之信號的從被檢測體洩漏的磁通，藉此來檢測上述表面缺陷。

2. 如申請專利範圍第 1 項之檢測方法，其中，該被檢測體之厚度為 $0.4\sim 2.3\text{mm}$ 。

3. 如申請專利範圍第 1 項之檢測方法，其中，該凹凸表面缺陷之該厚度方向之大小 $s(\mu\text{m})$ 對該被檢測體之厚度 $t(\text{mm})$ 之比 s/t 為 $9.0\sim 0.63$ 。

4. 如申請專利範圍第 1 項之檢測方法，其中，施加有該磁通的該被檢測體之磁通密度為磁性飽和情況時之磁通密度之 75% 以上且未滿 95%。

5. 如申請專利範圍第 1 項之檢測方法，其中，組合多個條件來進行該檢測，該多個條件包含施加該磁通的該被檢測體之磁通密度為磁性飽和情況之磁通密度的 75% 以上且未滿 95% 之條件、和為磁性飽和情況之磁通密度的 95% 以上之條件。

6. 如申請專利範圍第 1 項之檢測方法，其中，施加在該被檢測體之磁場強度為 $4000\text{A}/\text{m}$ 以上且未滿 $25000\text{A}/\text{m}$ 。

7. 如申請專利範圍第 1 項之檢測方法，其中，組合施加在該

被檢測體的磁場強度為 $4000\text{A}/\text{m}$ 以上且未滿 $25000\text{A}/\text{m}$ 之情況、和為 $25000\text{A}/\text{m}$ 以上之情況來進行該檢測。

8. 如申請專利範圍第 1 項之檢測方法，其中，將該被檢測體和檢測該信號之檢測裝置之間隔設定在 $0.5\sim 1.5\text{mm}$ 來進行。

9. 如申請專利範圍第 1 至 8 項中任一項之檢測方法，其中，該信號為在成為發生缺陷原因之軋輥下游步驟、且有退火作用步驟之上游步驟所產生的該凹凸表面缺陷之應變所引起之物理量。

10. 如申請專利範圍第 1 至 8 項中任一項之檢測方法，其中，該信號是在成為發生缺陷原因之軋輥下游步驟、且調質壓延後之步驟所產生的該凹凸表面缺陷之應變所引起的物理量。

11. 一種微小凹凸表面缺陷之檢測方法，係檢測磁性金屬被檢測體之凹凸量為 $0.5\mu\text{m}$ 以上且 $6\mu\text{m}$ 以下之微小凹凸表面缺陷，其特徵為：

將磁通施加至上述被檢測體，檢測屬於在上述被檢測體發生缺陷時所產生之內部應變所引起之信號的從被檢測體洩漏的磁通，藉此來檢測上述表面缺陷。

八、圖式：

圖 1

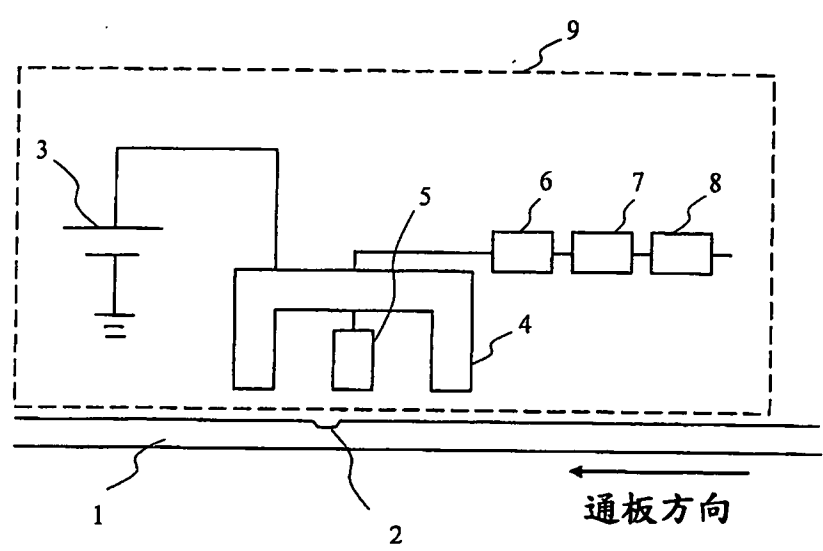


圖 2(a)

退火前

利用 X 射線繞射之應變量計測結果 0.00217

形狀計測結果

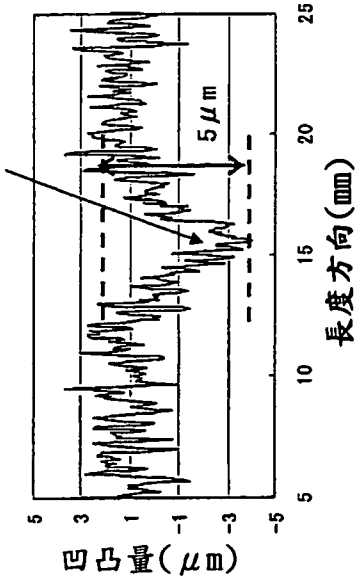


圖 2(b)

洩漏磁通
探傷結果

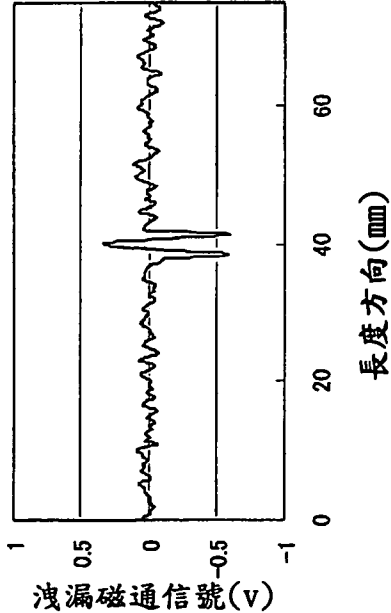


圖 2(c)

退火後

利用 X 射線繞射之應變量計測結果 0.00067

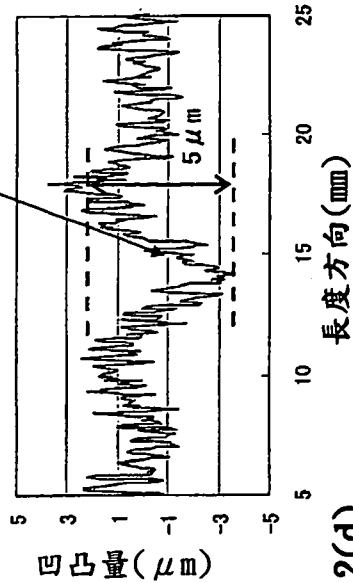


圖 2(d)

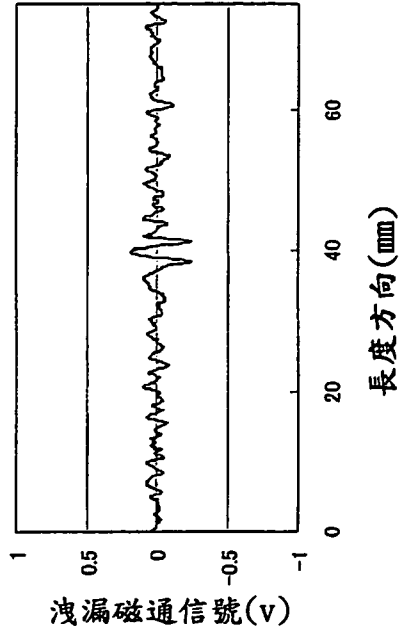


圖 3

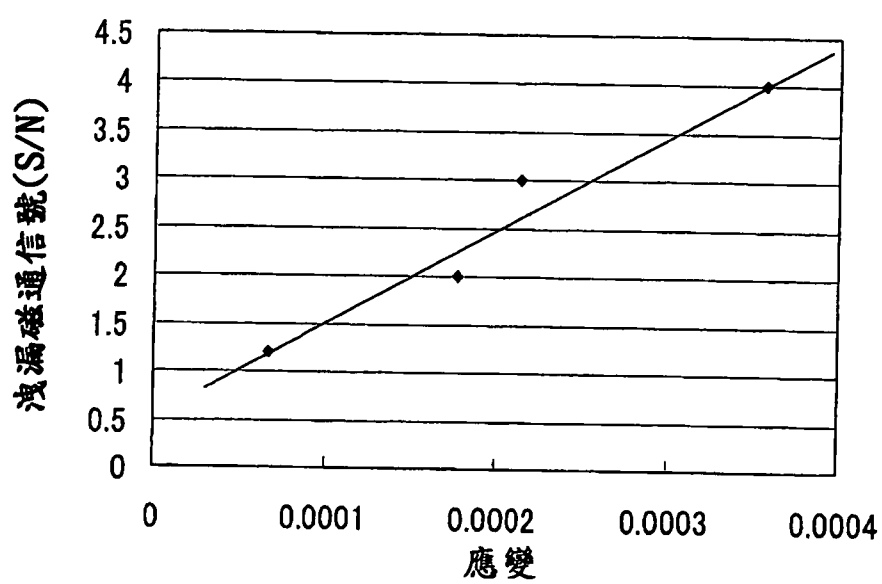


圖 4(a) 凸缺陷

圖 4(b) 凹缺陷



圖 5(a)

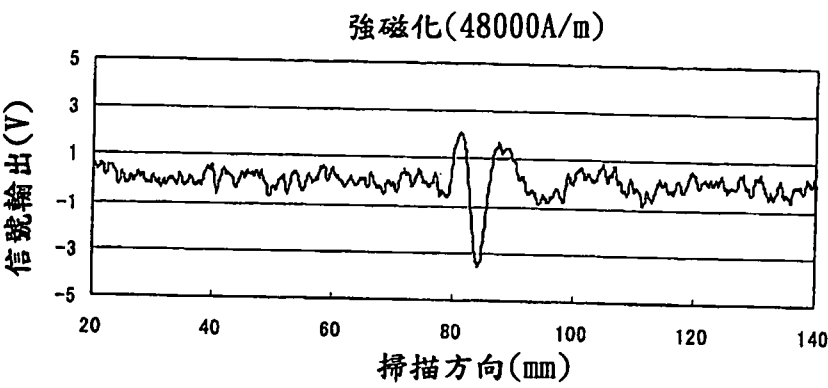


圖 5(b)

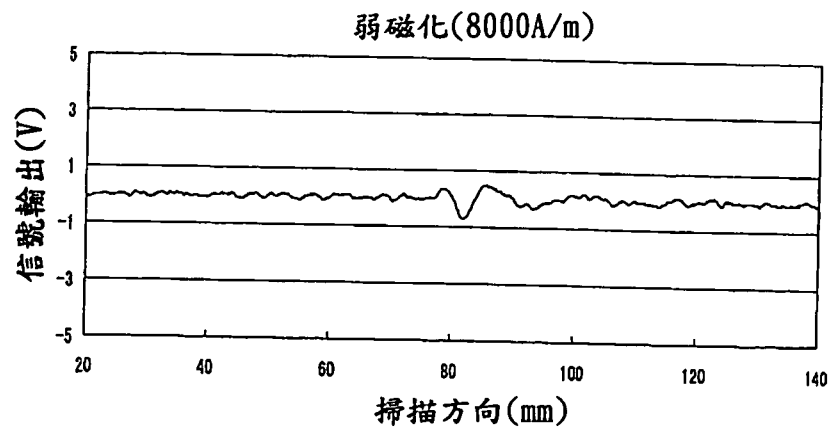


圖 6

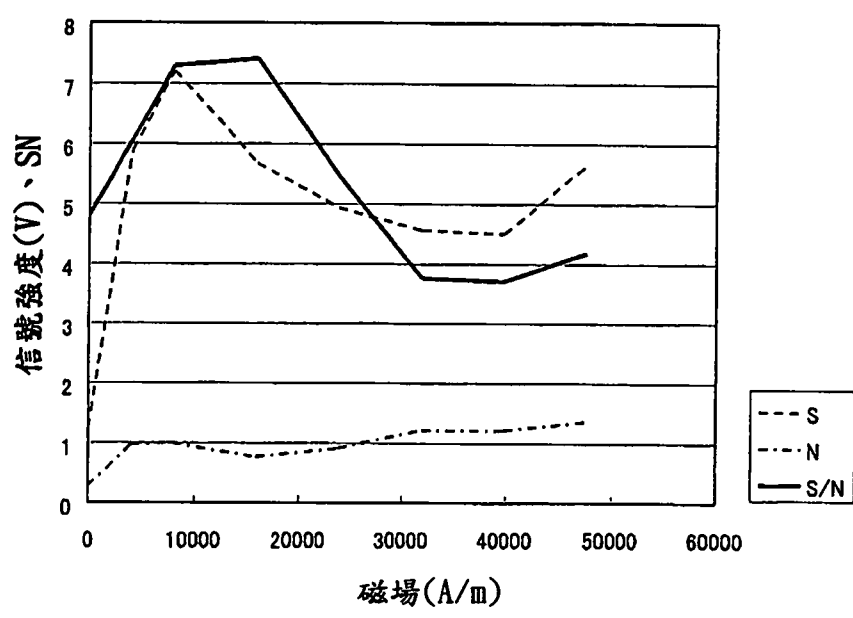


圖 7

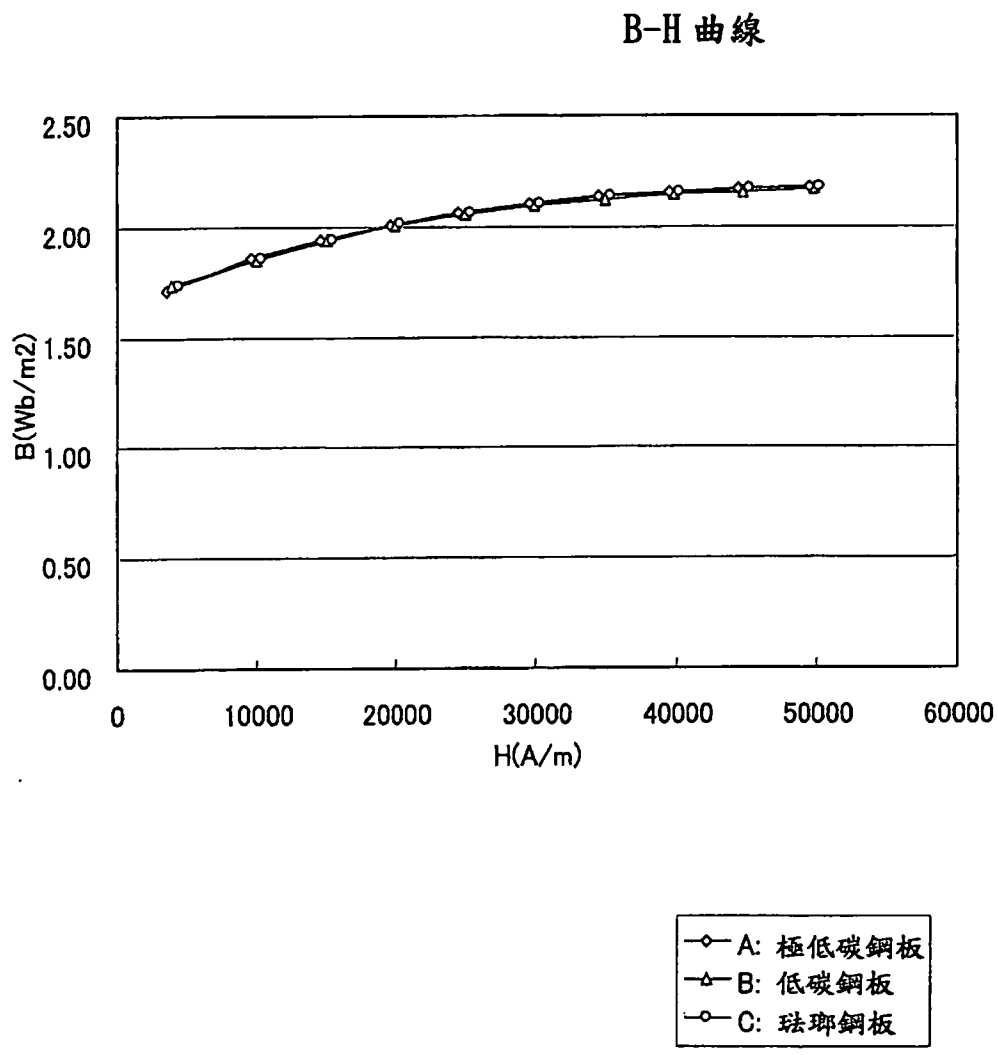


圖 8

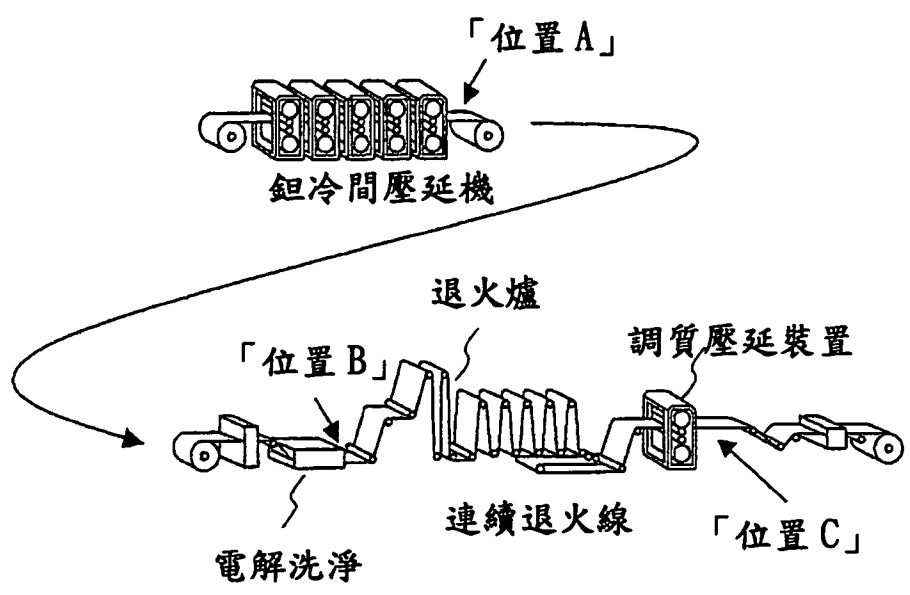


圖 9

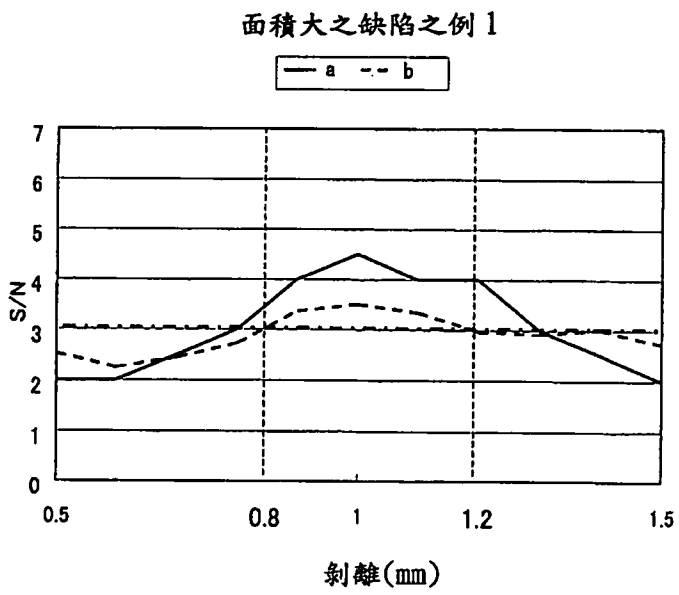


圖 10

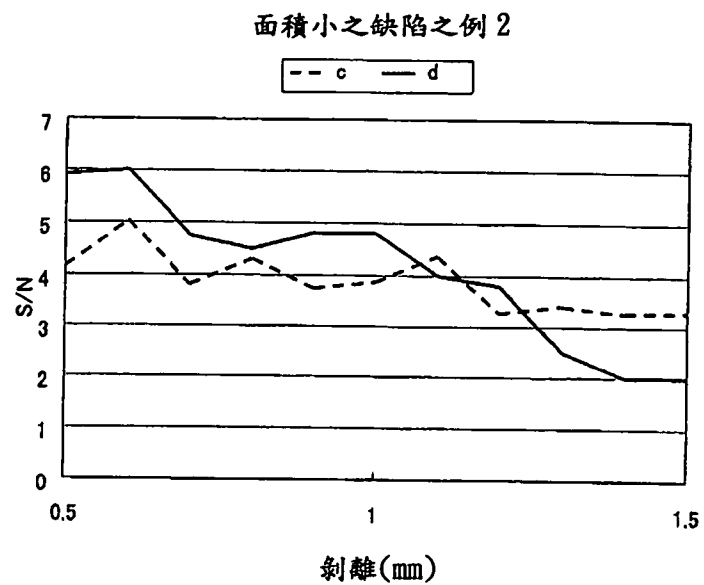


图 11(a)
小缺陷测定影像图

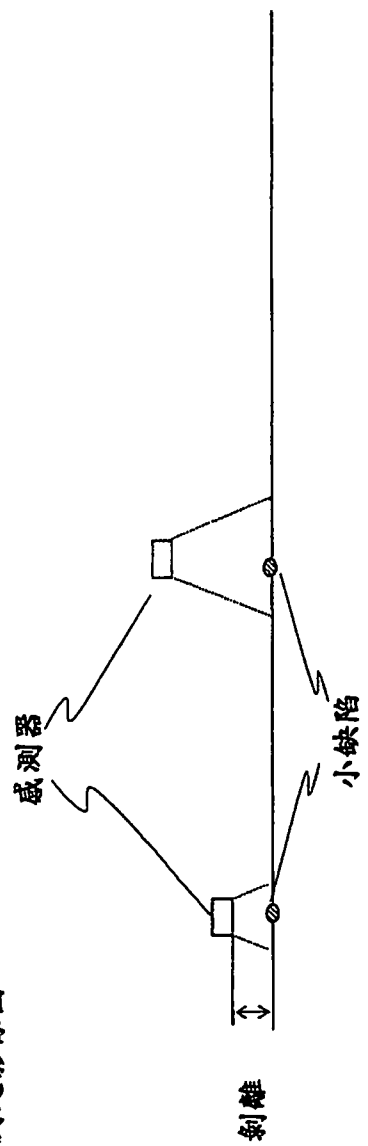


图 11(b)
大缺陷测定影像图

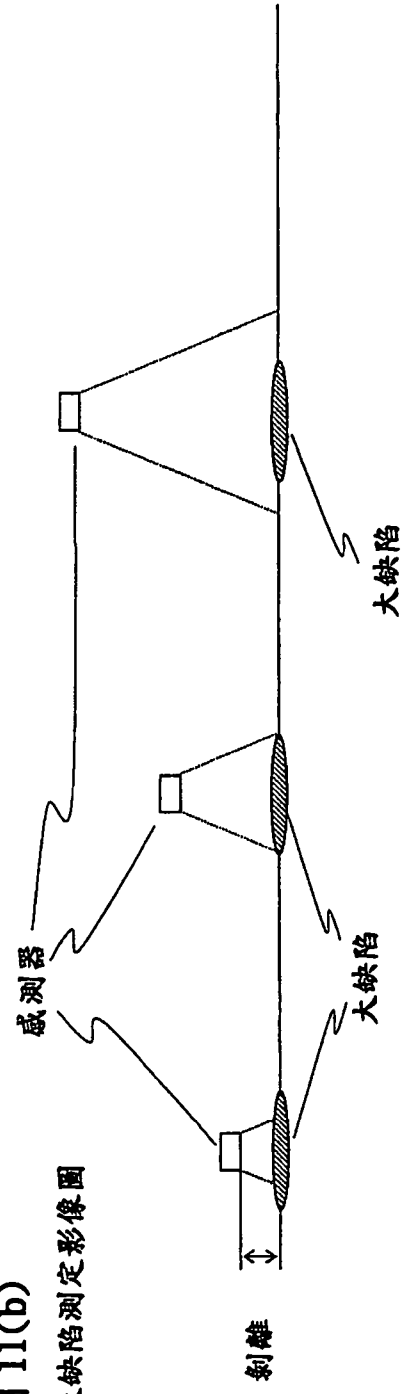


圖 12(a)

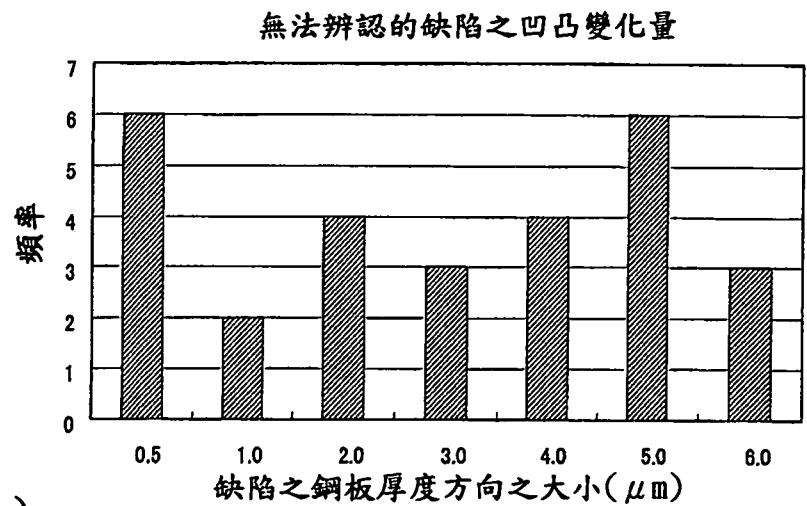


圖 12(b)

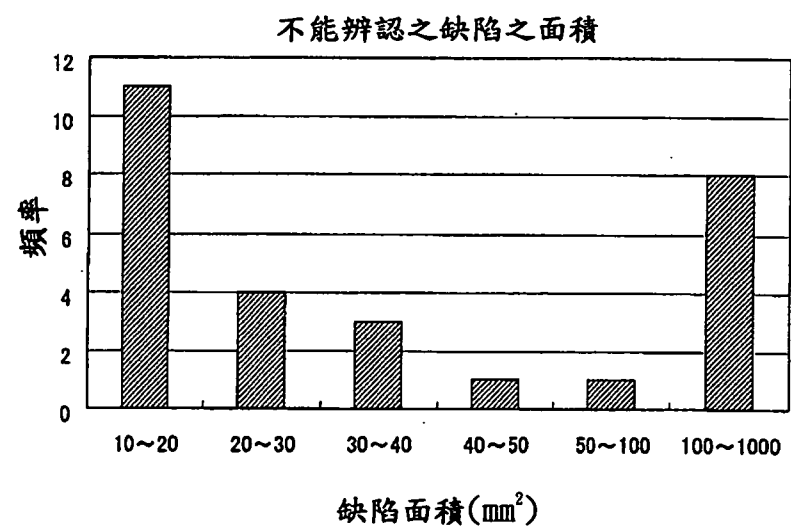


圖 13

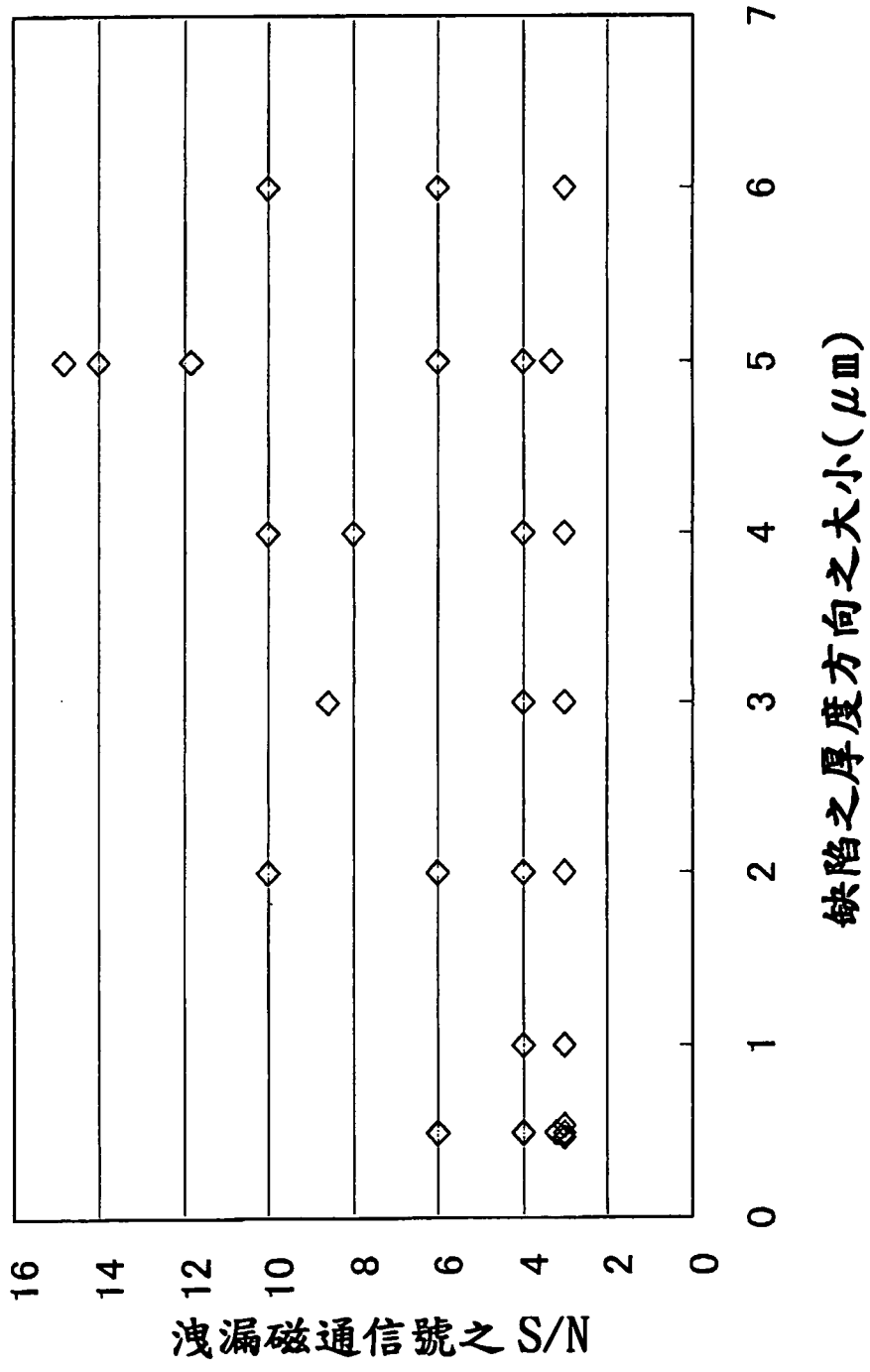


圖 14

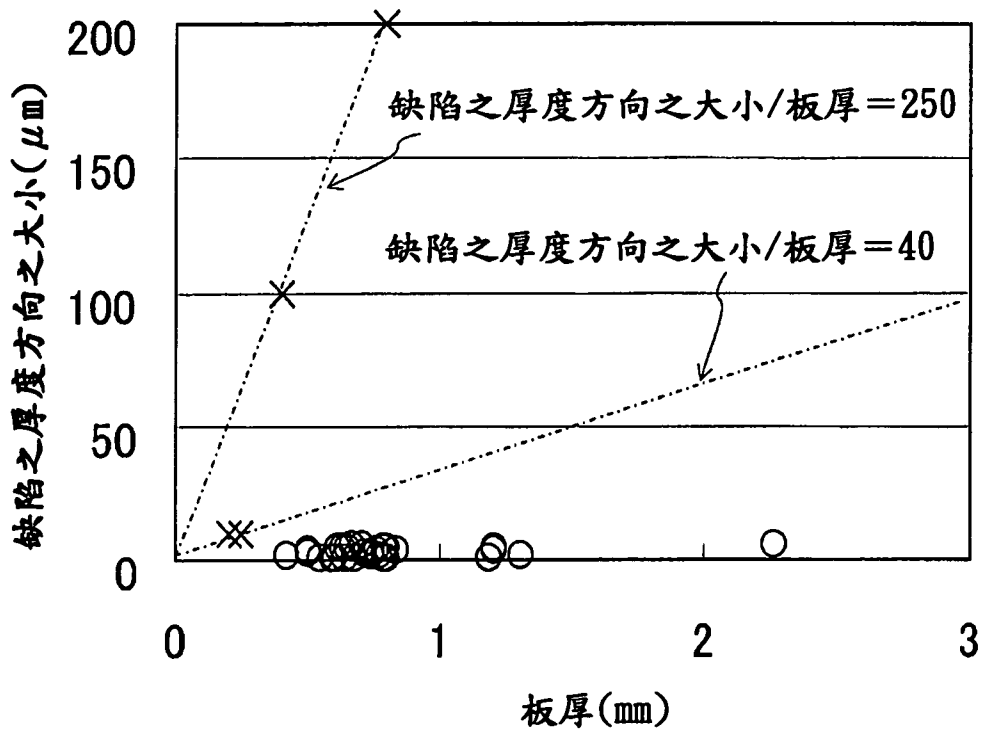


圖 15

