

《解 說》

超音波 探傷檢査에서의 D.G.S.線度 利用方法 (I)

박 은 수

유 양원 자 공 업 주 식 회 사

1984年 6月 2日 接受

Utilization of D.G.S. Diagram in Ultrasonic Testing (I)

1. 머릿 말

最近 우리나라에서도 초음파 탐상 검사의 수요가 급增하고 있으나, 그간 放射線 투과검사에 주로 의존해 왔던 국내 여건으로 인하여 초음파 탐상 검상에 대한 多樣한 經驗을 가진 技術者를 充分히 확보하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 때에 超音波探傷檢査 技術을 익히려는 분들에게 적으나마 埋解에 도움을 주려고 D.G.S. 선도를 利用한 缺陷의 크기를 추정하는 方法을 紹介하고자 한다.

D.G.S. 선도는 그림 1 과 같이 거리 (distance; A) 와 이득차 (gain difference; V)을 반대수 그래프의 橫 종축으로 하고 등가 반사원의 크기* (size; G)를 파라미터로 한 도표로서 크고 작은 반사원에 대한 에코우 높이의 依存性을 감쇄가 없는 媒體에 나타낸 것이다.

이 선도는 缺陷의 크기가 超音波빔의 퍼짐에 비해 비교적 작을 때, 결함의 에코우 높이를 이용하여 등가 반사원의 크기를 결정하는 방법이지만 결함의 배향이나 형상 및 반사성능에 따라 에코우의 높이가 달라짐으로 결함의 실크기와 등가 반사원의 크기에는 차이가 클 경우가 많다. 따라서 D.G.S. 선도를 사용할때 이러한 점을 충분히 인식하고 측정에 주의하지 않으면 안된다.

2. D.G.S. 선도의 작성

펄스 반사식 超音波探傷檢査에서 결함의 크기를 평가하기 위한 정보는 피검체로 입사한 超音波가 결함면으로 부터 반사하여 진동자로 되돌

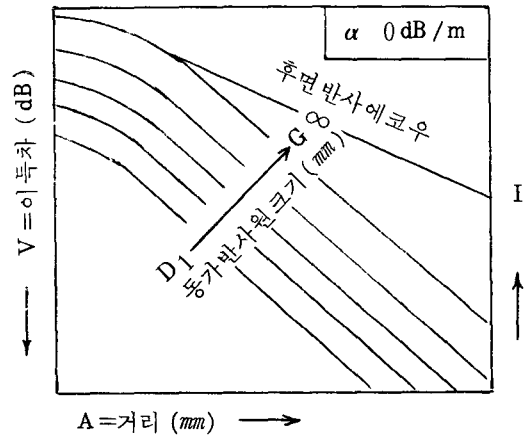


그림 1. D. G. S. 선도의 구성

아온 것을 수신하여 얻는다. 이때 缺陷면으로 입사한 超音波는 빛이 물체면에 입사했을 때 일으키는 현상과 비슷한 物理的 現象을 일으키게 된다. 그러므로 自然缺陷은 現象, 位置 및 超音波의 反射特性이 多樣하여 振動子에 受信되는 音壓과 自然缺陷의 크기와와 關係를 簡單하게 수리적으로 표현하기는 매우 어렵게된다. 따라서 自然缺陷에서 수신되는 音壓 즉, 에코우의 높이와 自然缺陷의 크기와와 關係를 이에 對應하는 人工缺陷의 크기 即 超音波 비임의 중심축상에 있고 비임에 수직인 원형 평면 缺陷 (등가 반사원)의 크기와와 關係로 나타낸 것이 Kraut Krämer 가 처음 제안한 D. G. S 선도이다.

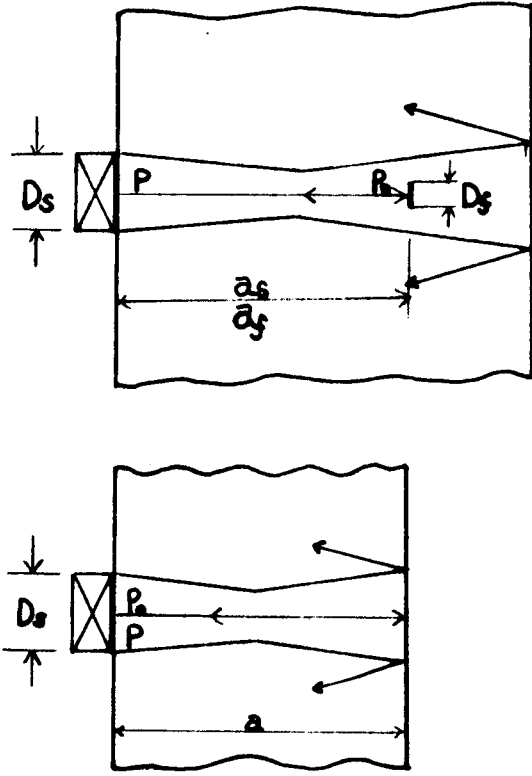


그림 2. 작은 반원과 큰 반사원에서 초음파의 반사

그림 2와 같이 음원 (진동자) 으로부터 거리 A_s 에 있는 직경 D_f 인 원형 평면결함 (등가 반사원) 에서 반사되는 음壓, 即 缺陷에서 發信되는 음壓을 P_0 과 하면 缺陷으로부터 거리 A_f 에 있고 직경 D_s 인 원형 振動子에 수신되는 음壓 P 는 다음 식으로 구해진다. (1)

$$P = P_0 \cdot \frac{S_s}{a_s \lambda} \cdot \frac{S_f}{a_f \lambda} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 λ 는 超音波의 파장이고 S_s 와 S_f 는 진동자와 缺陷의 면적이다. $a_s = a_f$ 일 경우, $P_0 = 1$ 라 하면 작은 반사원인 缺陷에서 얻은 에코우의 높이 H_f 는 다음과 같은 關係를 갖는다.

$$H_f = \frac{S_s S_f}{a^2 \lambda^2} \dots\dots\dots (2)$$

또한 위의 원형평면 결함과 같은 거리 a 에 있으며 반사면이 음원보다 매우 큰 即 後面과 같

은 큰 반사원일 경우에 얻어지는 에코우의 높이는

$$H_r = \frac{S_s}{2a\lambda} \dots\dots\dots (3)$$

이다.

수치를 簡單하게 하기위하여 $A = \frac{a}{N}$,

$G = \frac{D_f}{D_s}$ 라 하면 ②식과 ③식은

$$H_f = \pi^2 \frac{G^2}{A^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$H_r = \frac{\pi}{2} \frac{1}{A} \dots\dots\dots (5)$$

가 된다. 단 $N = \frac{D_s^2}{4\lambda}$ 이며 근거리 음장의 길이이다.

이와 같은 理論的 바탕위에서 원형 평면 결함이 직경 D_f 와 振動子 缺陷間 距離 a 를 변화시키면서 에코우 높이 H_f 를 實驗的으로 구해서 圖表化한 것이 그림 3 과 같은 D.G.S. 선도이다.

여기서 종축 V 는 무한 평면에서 얻은 H_r 에 코우를 기준으로하여 작은 원형 평면 缺陷으로부터 얻은 에코우 높이 H_f 가 H_r 의 에코우 높이와 같아지는데 요하는 증폭량을 dB 값으로 나타낸 것이며, 횡축 A 는 대수 눈금으로 되어 있고 探傷面에서 缺陷까지 距離를 近距離 음장의 倍數로 표시한 것이다.

④, ⑤ 식과 그림 3 에서 무한평면 (큰반사원) 으로부터 얻은 에코우의 높이는 거리에 역비례하고, 缺陷 (작은 반사원) 으로부터 얻은 에코우의 높이는 거리의 제곱에 역비례함을 알 수 있다. 이것을 "거리 법칙" 이라고 한다.

3. D.G.S. 선도의 이용

3.1 decibel (dB)

초음파 탐상 장치의 계인은 dB 단위로 읽을 수 있게 되어있다. decibel 은 두 개의 수치의 비를 대수를 써서 수치를 축소시켜 표시하는 단위이다. 실제로 나타난 두 수의 비 $\frac{H_r}{H_f}$ 를 dB 로 표시하면 다음과 같다.

$$B = 20 \log_{10} \left(\frac{H_r}{H_f} \right) \dots\dots\dots (6)$$

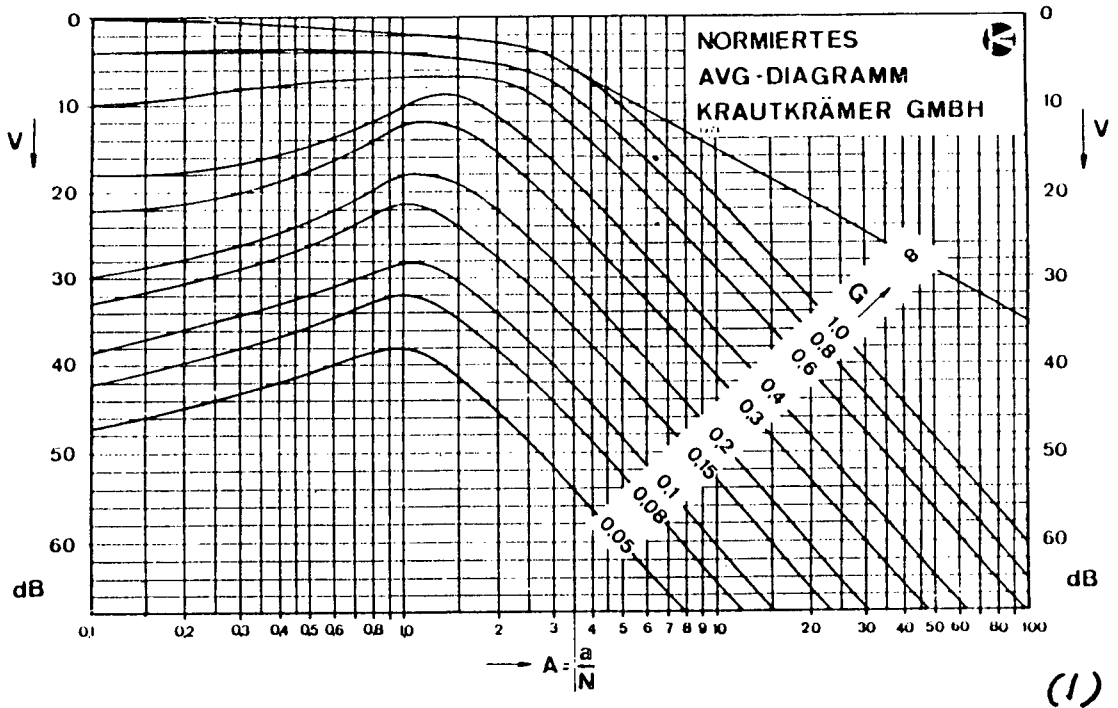


그림 3 . D.G.S 선도의 일례

예를들어 후면반사 에코우의 높이가 결함 에코우의 높이의 2배일때 이 두 에코우의 높이의 비에대한 dB 값은 0이 된다.

3.2 에코우 높이의 比較

앞에서 말한바와 같이 D.G.S. 선도는 超音波의 감쇄가 없는 시험재에 대해 작성한 것이다. 그러므로 실제 D.G.S. 선도를 적용할 피검사체가 超音波의 감쇄를 가진다면 이것을 고려해 주지 않으면 안된다. 超音波의 감쇄가 없는 시험편에 그림 4와 같은 인공결함을 가지고 있을 때 여기서 얻어지는 에코우의 높이의 차를 그림 5의 D.G.S. 선도로부터 구해본다.

1) 탐촉자를 ②의 위치에 놓았을 때 B₁ 과 B₂ 에코우의 높이의 차를 이 선도에서 구해 보면 6 dB가 된다.

탐촉자에서 후면까지의 거리가 70 mm 이므로 도표의 횡축에 이 거리를 잡아 후면 반사 에코우 선과 교차하는 점의 dB를 읽으면 15가 되고, 2차후면 반사 에코우는 초음파의 진행 거리가 70 mm의 배가 되므로 이때 교차점의 dB는 21이된

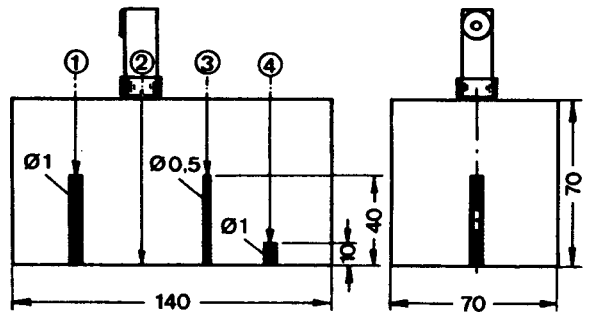


그림 4 . 인공결함을 가진 시험편

다. 두 값의 차는 6 dB가 되며 이것은 거리가 2배가 됨으로 에코우의 높이가 반으로 준 것을 나타내 준다.

2) 또 ①과 ④위치에서 깊이 30 mm와 60 mm에 있는 직경 1 mm의 평저공의 에코우 높이 차를 이 선도에서 구하면 12 dB이다. 같은 크기의 결함이 거리가 2배로 멀어졌을때 에코우의 높이가 1/4로 작아지는 것을 보여준다.

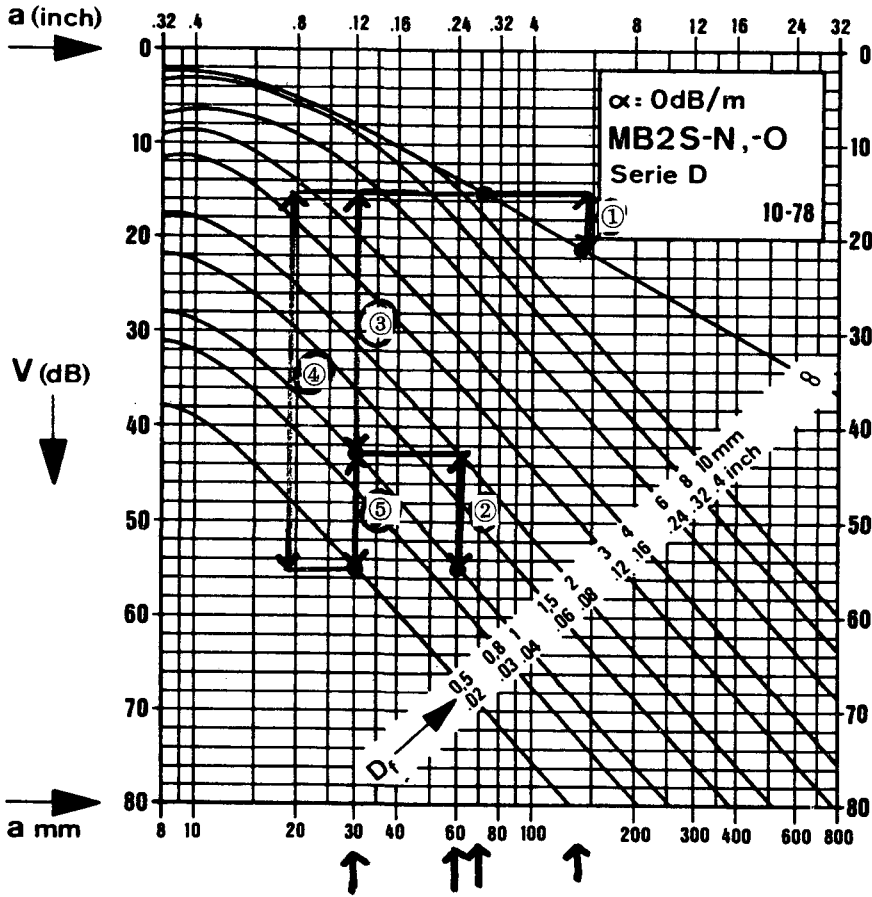


그림 5 . D . G . S 선도

3) 후면 에코우 높이와 30 mm 깊이에 있는 직경 1 mm인 평저공의 에코우 높이의 차를 위와 같은 방법으로 구하면 28 dB이다.

4) 그리고 후면 에코우 높이와 30 mm 깊이에 있는 직경 0.5 mm 평저공의 에코우 높이 차는 40 dB이다.

5) 30 mm 깊이에 있는 직경 1 mm와 0.5 mm 평저공의 에코우 높이 차는 위 4)와 3)의 차포도 구할 수 있다. 이것은 12 dB의 차를 가지며 같은 거리에서 결함의 직경이 반이 되면 에코우 높이가 낮음을 보여주고 있다.

《最新技術文獻紹介》

超音波 探傷法の 信賴度 向上

Improving ultrasonic inspection reliability. DOCTOR S.R., AVIOLI M.D., BARRON R.L., BEVERLY R.L. (Battelle, Washington): EPRI-NP-2568 Page 129 '82.

UT의 信賴度向上을 위해 다음의 세 가지 方法을 試圖

(1) 結合層의 두께와 不均質性이 UT信號의 時間 domain과 周波數 spectrum에 끼치는 影響을 圖示한다음, 適切한 結合條件을 얻기 위한 알고리즘을 開發, (2) UT信號를 digital化하여 記錄하기 위한 새로운 方案提供, (3) system의 性能을 把握하기 위해 測定할 수 있는 諸要因 및 測定法開發

熔接缺陷에 對한 水中超音波 探傷時의 變換器 移動位置 測定法

Method for masuring transducer movement during underwater ultrasonic evaluation of weld flaws. BURKLE W.S. (Phillips Petroleum Co., OK): Mater Eval Vol. 41, No. 5, Page 579-581 '83.

水中에서의 超音波를 利用한 熔接檢査는 陸上에서의 作業에 比해 어렵다. 特히 缺陷의 크기를 正確히 測定하는데 많은 어려움이 있다. 이 論文에서는 새로히 開發한 探傷用變換器의 位置를 測定하는 方法이 報告되어 있다. 測定할 때 變換器의 移動量을 感知할 수 있는 역시 超音波를 利用한 測長器를 미리 固定시켜 놓고, 그로부터 얻은 信號로 缺陷部位의 길이를 알 수 있도록 되어 있다.

鋼構造物에서의 腐蝕自動檢査

Automated inspection of corroded steel structures. SINGH A, McCLINTOCK R, RUDWICK T.W. III (SWRI, Texas: Mater Eval Vol. 41, No. 5, Page 568-570 '83.

鋼構造物의 腐蝕檢査는 주로 肉眼檢査에 依存하여 왔다. 한편 NDT에 의한 두께測定은 表面探傷을 評價하는데 지나지 않아 그저 信賴할 수도 없는 狀況이다. 그래서 새로운 超音波檢査概念을 開發하여 自動的으로 精密檢査할 수 있는 시스템을 고안하였다.

즉, 原理는 腐蝕孔이 音波렌즈役割을 하도록 한 것이며 거기에 超音波變換器의 焦點을 맞추도록 하는 것이다. 變換器自體의 改良과 pattern解析技術의 改善이 雜音信號의 作用을 抑制시켜줄 수가 있었다. 이 裝置에서는 腐蝕部位의 走査, 焦點을 맞추기 위한 變換器의 調整, 腐蝕鋼의 두께測定이 自動的으로 이루어진다.

複合體檢査를 위한 低 KV 透過探傷試驗

Low-kilovoltage radiography of composites. FASSBENDER R.H., HAGEMAIER D.J. (Douglas Aircraft Co. CA): Mater Eval. Vol. 41, No. 7, Page 831-838 '83.

黑鉛과 Epoxy의 複合體를 檢査할 때 쓰이는 10 ~ 50KV의 X-線 適用에 대해서 필름과 contrast, 後方增感紙, Cassette 材料, 逆自乘法則, Penetrameter 等 各 因子의 影響을 檢討하고 있다.

透過探傷 畫像變數에 對한 定量的 評價

Quatitative evaluation of radiographic imaging variables. WYSNEWSKI R.E. (E.I. du Pont de Nemours & Co. Inc.): Mater Eval. Vol. 41, No. 7, Page 826-830 '83.

畫質을 維持하면서도 檢査費用을 低感시키기 위해서는 寫眞撮影에 關한 變數가 畫質이나 撮影時間에 어떻게 影響을 미치는가를 熟知할 必要가 있다. 필름의 種類, X-線의 에너지값, 필름 및 現像溫度, 線源과 필름間거리, 增感紙, base溫度等 7個의 畫像變數와 相對 penetramer 識別度와의 關係를 檢討, 分析

파이프 熔接部の 品質評價 System

A system for assessing pipe weld quality. BURNS D (Kernkraftwerk Leibstadt A.G. Switzerland), KROLICKI R.P. (Washington Public Power Supply System): Mater Eval. Vol. 41, No. 6, Page 720-731 '83.

原子力發電所의 建設費에서 熔接費用이 차지하는 比率이 增大하고 있다. 實際의 경우에 있어서의 放射線透過撮影, 破壞力學的 解析, 熔接缺陷에 대한 評價와 分類時의 統計學的 適用에 대해서 報告하고 있으며 熔接修理計劃樹立에 有用함을 여러 資料로 提示하고 있다.

Pipe Line 熔接 Codes : NDT와의 關係

Pipeline welding codes: the interface with nondestructive testing. LUMB R.F. (CMPS Engineers, Chatswood, NSW, Australia): NDT Australia Vol. 20, No. 7, Page 11-22 '84.

現行 關聯 code에 따라 pipeline의 girth welds를 檢査할 때의 放射線透過探傷法과 超音波探傷法の 適用現況을 細密히 檢討分析하였다.

二次元的 放射線 透過探傷畫像分析

Two dimensional radiographic imaging analysis. WYMAN D.R., HARMS A.A. (McMaster Univ., Canada): J. of NDT Eval. Vol. 3, No. 4 Page 221-227 '82.

二次元的 映像特性을 研究한 것이며, 특히 二次元的 wedge 型의 被寫體에 대한 radiography 特性이 映像에서 wedge 의 모소리를 區分 識別할 수 있게 하는 몇가지 特徵들을 가지고 있음이 밝혀짐으로서 映像強化技術의 必要를 輕減시킬 수 있다는 事實이 證明되었다. 아울러 平坦한 edge 의 境界位置 確認問題에의 適用도 分析·檢討되고 있다.

非破壞的 吸收法에 의한 中性子 Radiography 裝置 開發

Neutron radiometric instruments and installations for nondestructive absorption inspection. PEKARSKII G. SH. (Res. Inst. of Electronic Introscopy, Tomsk, USSR): Sov. J. of NDT. Vol. 19, No. 11 Page 814-823.

複雜하고 非均質인 構造體에 있어서의 中性子 輸送問題를 理論 및 實驗的으로 究明하였으며 그 結果를 根據로 하여 中性子透過探傷法 適用可能性의 여러 方法과 手段을 提示하였다.

Computer 信號解析 機能을 具備한 渦電流 探傷法の 熱交換器 傳熱管檢査에의 適用實驗

Testing heat exchanger tubes using eddy current techniques with computerised signal analysis. NEUMAIER P. (Inst. Dr Foerster, W. Germany): Br. J. NDT. Vol. 25, No. 5, Page 233-237 '83.

缺陷을 明確하게 檢出·分析하기 위한 信號解析目的의 渦電流試驗法開發을 다룬 論文으로서 여러 形狀의 코일에 의한 信號를 檢討하고 信號解析을 可能케 하기 위한 回轉 probe 方式을 提示하고 그 方式을 利用한 實驗結果도 記述되어 있다. 코일과 probe 의 選定 如何에 따라 200mm/s 以上の 速度에서도 檢出可能하다.

두터운 表面層을 갖는 金屬表面에서의 平面型 龜裂近傍의 交流電場

The ac field around a plane crack in a metal surface when the skin depth is large. MICHAEL D.H., COLLINS R (University College, London): J. Nondestruct. Eval. Vol. 3, No. 1, Page 19-24 '82.

表面層의 두께와 平面龜裂의 깊이와의 比를 定數로 하여 Helmholtz 微分方程式을 세워, 表面層두께가 平面龜裂의 깊이에 비해 크게 될 경우 方程式은 準靜의 取扱이 可能해진다. 電場의 函數가 交流電場에서 上記한 두 變數의 比의 自乘이라는 函數型을 取한다는 結果를 밝히고, 表面龜裂깊이測定法의 理論解析에 應用하여 龜裂깊이와 電位差와의 相關式을 導出하였다.

漏洩磁束檢査法에서의 缺陷幅과 깊이의 推定 Simulation

Simulation for estimating breadth and depth of defect in magnetic leakage flux testing method. KATOH M. MUKAE S. NISHIO K. MASUMOTO A (Kyushu Inst. of Technology, Japan): J. of NDI, Japanese Soc. for NDI. Vol. 33, No. 2, Page 59-67 '84.

人工缺陷이 있는 試驗體를 極間法에 의해 磁化시켰을 때의 漏洩磁束密度分布를 有限要素法을 利用하여 數值計算하였고 缺陷의 크기와 漏洩磁束密度와의 相關關係를 檢討하였다. 또한 이 結果를 써서 漏洩磁束密度를 推定할 수 있는 回歸式을 檢討하였으며 漏洩磁束密度分布로부터 缺陷의 幅과 깊이를 推定하는 方法에 對해서도 Computer에 의한 simulation을 行하였다.

AE法을 利用한 大型物體 探傷을 위한 多처널 裝置

Multichannel device for inspecting large objects by the method of acoustic emission. PASTERNAK V.B., BUDENKOV B.A. (All Union Sci. Res. Inst. of NDT, Kishinev, USSR): Sov. J. of NDT. Vol. 19, No. 10, Page 786-788 '84.

이 論文에서는 AE法을 써서 큰 物體를 探傷하기 위한 多처널裝置開發에 關해서 記述하고 있다. 電子裝置, AE部位 및 制御用 Computer로 이루어진 裝置體系를 說明하고 또 動作原理와 그 特性을 記述하고 있다.

原子爐 壓力境界에 있어서의 AE와 缺陷의 重要度 評價

Acoustic emission and estimation of flaw significance in reactor pressure boundaries. HUTTON P.H., KURTZ R.J. (Pacific Northwest Lab., WA): US DOE Rep. NO. PNL-SA-10396. Page 11 '82.

USNRC 支援下에 實施되고 있는 原子爐壓力境界에서의 AE와 缺陷重要度 評價프로그램의 現況과 計劃에 對해서 說明하고 있다. phase 1은 破壞力學因子와 缺陷의 AE信號와의 相關關係를 究明하여 缺陷의 重要度を 評價하는 일이며 phase 2 및 3은 疲勞에 起因한 半圓形表面缺陷을 內·外面에 지닌 鋼製試驗壓力容器를 monitor 試驗後, 稼動중에 있는 實際의 原子爐에서 實證試驗中

強磁性體棒에서의 彈性縱圓筒波의 電磁 Acoustic 勵起

Electromagnetoacoustic excitation of elastic longitudinal cylindrical waves in ferromagnetic bars. KULEEF V.G., KONONOV P.S., TELEGINA I.A. (Inst. of Metal Phys., Ural Sci. Center, USSR): Sov. J. of NDT. Vol. 19, No. 9 Page 690-699 '83.

強度 H_0 의 定磁場內에 있는 強磁性體棒을 감싼 loop에 交流를 흘리므로서 勵起된 彈性縱圓筒波의 amplitude를 計算하였다. K_1 을 最低位 wave mode의 wave vector, a 를 棒의 直徑이라 할 때, $K_1 a \ll 1$ 이라는 극단적인 경우의 長波에 대해서 특히 細密히 調査하였다. 勵起된 超音波의 amplitude의 場依存性を 決定해주는 여러 因子에 對해서도 檢討·分析하였다.

Acoustic Lens : 缺陷에의 集束

Acoustic lenses: Focusing on defects. KITTNER C.A. (AECL, Canada): AECL-7981 Page 25 '83.

平面 또는 曲面對象物을 垂直 또는 傾斜 beam mode로 液中檢査나 接觸檢査할 때의 音響렌즈 設計프로그램을 開發한 것이며 厚板內의 缺陷크기測定에 쓰이는 帶狀集束, 管의 熔接檢査用의 線集束 등 여러 應用例도 아울러 檢討하고 있다.

Caustics를 利用한 金屬薄板의 KI測定法

Determination of KI of metal sheet by the method of caustics. SHIMADA H. (Fac. of Engin., Tohoku Univ.) SASAKI T. (Inst. of Vocational Training): J. of NDI, Japanese Soc. for NDI, Vol. 33 No. 3 Page 230-236 '84.

龜裂等 應力集中部位에 있어서의 光의 屈折이나 反射에 의해 생겨나는 caustic像으로부터 材料의 strain狀態를 推定하려는 試圖가 今年에 活潑히 進行되고 있다. 이 研究에서는 珪素鋼板, Al合金 및 Stainless鋼의 薄板을 使用해서 이들 材料에 대한 Caustics法의 K_I 值測定에의 適用可能性與否를 檢討하고 있다.

疲勞龜裂先端의 變形舉動測定에의 Caustics의 利用

Application of caustics to the measurement of fatigue crack-tip deformation. FURUYA Y. SHIMADA H. (OBATA M. (Faculty of Engin., Tohoku Univ.): J. of NDI, Japanese Soc. for NDI. Vol. 33, No. 1 Page 13-17 '84.

疲勞龜裂先端的變形舉動을 調査할 目的으로 Caustics 法을 適用하여 實驗을 수행하였으며 다음과 같은 實驗結果를 얻었다. (1) 外荷重과 龜裂先端周邊部の 面外變形的 函數를 反映하는 Caustic 像의 變化는 反復速度에 關係없이 時間的으로 잘 對應된다. (2) 疲勞龜裂傳播速度는 Caustic 像의 直徑의 크기에 의해 整理될 수 있다. (3) 疲勞龜裂先端後方에서의 直徑變化에 의해 crack closure 的 時間的 舉動에 關한 情報를 얻을 수 있다.

錄音用 磁氣 Tape를 利用한 Strain測定

Strain measurement by magnetic recording tape. FUJINAKA Y. (Faculty of Eng., Kyoto Univ., Japan): J. of NDI, Japanese Soc. for NDI Vol. 33, No. 5, Page 369-374 '84.

對象物의 어느 길이에 따른 strain의 分布를 連續的으로 計測할 수 있는 strain 檢出體로서 미리 細密한 磁氣格子를 着磁시킨 錄音用磁氣 tape를 사용한 새로운 strain 計測法의 開發에 關한 것이며 그 原理와 實現方法의 檢討結果가 담어져 있다.

個人用 Computer를 利用한 光彈性 Fringe에 의한 自動應力 解析裝置

Development of automatic stress analyzer from photoelastic fringes using personal computer. UMEZAKI E, TAMAKI T. (Nippon Inst. of Tech.) TAKAHASHI S. (Kanto Gakuin Univ.) J. of NDI, Japanese Soc. for NDI. Vol. 33, No. 2, Page 68-77 '84.

Personal computer를 써서, TV Camera에 나타나게 한 光彈性 fringe를 畫像處理하고 有限要素法을 利用하여 應力를 解析하였으며 그 結果를 表示하는 光彈性 fringe의 自動應力解析裝置를 考察하였다. 等色線抽出에 있어 抽出線과 fringe 次數의 關係를 明確하게 함으로서 餘分の 線이 들어오지 않으며 處理時間을 短縮시켰음이 特色이다.