



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0048197

(51)^{2020.01} G01N 29/50

(13) B

(21) 1-2021-07823

(22) 13/06/2019

(86) PCT/JP2019/023485 13/06/2019

(87) WO2020/250378 17/12/2020

(45) 25/07/2025 448

(43) 25/04/2022 409A

(73) JFE STEEL CORPORATION (JP)

2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 1000011, Japan

(72) TERADA, Kazuki (JP); MATSUI, Yutaka (JP); OHTANI, Yoshinori (JP);
MATSUMOTO, Minoru (JP).

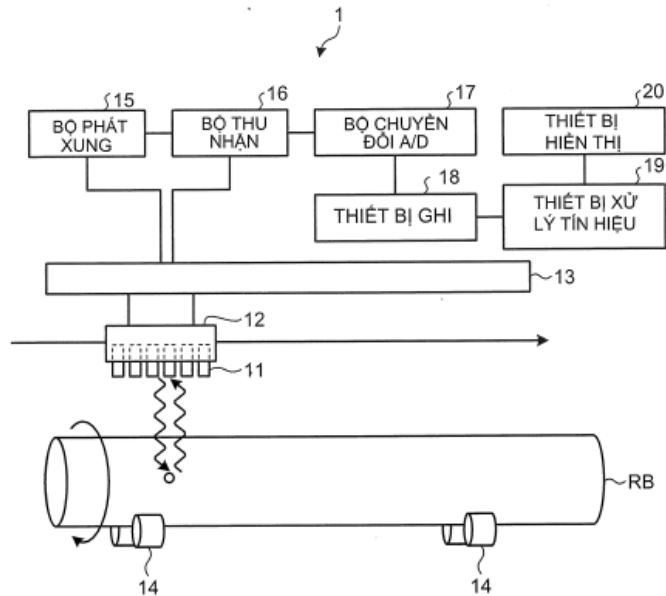
(74) Công ty Cổ phần Sở hữu công nghiệp INVESTIP (INVESTIP)

(54) PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN KHUYẾT TẬT BẰNG SIÊU ÂM, THIẾT BỊ PHÁT HIỆN KHUYẾT TẬT BẰNG SIÊU ÂM, DÂY CHUYỀN THIẾT BỊ SẢN XUẤT VẬT LIỆU THÉP, PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT VẬT LIỆU THÉP VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐẢM BẢO CHẤT LƯỢNG VẬT LIỆU THÉP

(21) 1-2021-07823

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm bao gồm: bước nhận để nhận nhiều tín hiệu khuyết tật thông qua đầu dò siêu âm trong khi thay đổi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm; bước xác định để, trong mỗi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm, tính toán tỷ lệ của áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật đối với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí tham chiếu là tỉ lệ áp suất âm nhận được, và xác định chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ tại mỗi vị trí độ sâu của vật liệu kiểm tra dựa trên tỷ lệ áp suất âm nhận được đã tính toán; và bước kiểm tra để kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng các tín hiệu khuyết tật theo chiều rộng kết hợp đã được xác định. Sáng chế còn đề cập đến thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, dây chuyền thiết bị sản xuất vật liệu thép, phương pháp sản xuất vật liệu thép, và phương pháp đảm bảo chất lượng vật liệu thép.

FIG.1



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, dây chuyền thiết bị sản xuất vật liệu thép, phương pháp sản xuất vật liệu thép và phương pháp đảm bảo chất lượng vật liệu thép.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Khuyết tật bên trong của thanh tròn có thể trở thành điểm bắt đầu của vết nứt khi chi tiết máy được làm từ thanh tròn được sản xuất, và làm giảm độ bền và tuổi thọ của chi tiết máy sau khi được sản xuất. Do đó, thông thường, việc phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được thực hiện trên thanh tròn, và khuyết tật bên trong của thanh tròn đã được đánh giá. Trong thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm thông thường cho thanh tròn, khuyết tật trên toàn bộ bề mặt của thanh tròn được phát hiện bằng cách di chuyển tương đối đầu dò siêu âm đơn đối với các góc vuông góc và xiên dọc theo hướng chu vi và hướng trục của thanh tròn. Tuy nhiên, khi đầu dò không hội tụ được sử dụng cho đầu dò siêu âm, tín hiệu siêu âm sẽ khuếch tán khi khoảng cách từ đầu dò siêu âm tăng lên. Do đó, cường độ của tín hiệu siêu âm phản xạ bên trong thanh tròn (sau đây, tín hiệu này được gọi là tín hiệu khuyết tật) bị giảm. Mặt khác, khi đầu dò hội tụ được sử dụng cho đầu dò siêu âm, cường độ của tín hiệu khuyết tật xung quanh tiêu điểm được tăng lên, nhưng vì tín hiệu siêu âm khuếch tán khi khoảng cách từ tiêu điểm tăng lên, cường độ của tín hiệu khuyết tật bị giảm. Từ những trường hợp như vậy, tài liệu sáng chế 1 bộc lộ phương pháp để cải thiện khả năng phát hiện và khả năng phân giải khuyết tật bằng cách sử dụng đầu dò siêu âm đường kính nhỏ bằng cách nhận tín hiệu khuyết tật trong khi quét đầu dò siêu âm và thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ trên nhiều tín hiệu khuyết tật thu được, đồng thời thiết lập thời gian trễ theo các vị trí thu được của các tín hiệu khuyết tật.

Danh sách trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: Công bố đơn sáng chế Nhật Bản số 2005-233874

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật

Tuy nhiên, trong phương pháp được bộc lộ trong tài liệu sáng chế 1, chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ được cố định. Do đó, tỷ lệ S/N (tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu - Signal to Noise Ratio, S/N) của tín hiệu khuyết tật ở vị trí xa tiêu điểm bị giảm so với ở vị trí tiêu điểm. Hơn nữa, thông thường, chiều rộng kết hợp đã được xác định bằng thí nghiệm hoặc theo thực nghiệm. Tuy nhiên, chiều rộng kết hợp tối ưu thay đổi theo hình dạng và kích thước của đầu dò siêu âm, các điều kiện phát hiện khuyết tật như bước phát hiện khuyết tật và độ sâu phát hiện khuyết tật, và hình dạng và kích thước của vật liệu kiểm tra. Do đó, việc xác định chiều rộng kết hợp theo thí nghiệm hoặc theo thực nghiệm từng cái một là tải nặng. Hơn nữa, theo kết quả nghiên cứu sâu hơn của các tác giả của sáng chế, rõ ràng là các vấn đề được mô tả ở trên cũng xảy ra trên thân hình chữ nhật chẳng hạn như tấm dày ngoài thanh tròn.

Sáng chế đã được thực hiện trên quan điểm của các vấn đề trên, và mục tiêu của sáng chế là đề xuất phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm và thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm mà có thể thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm với khả năng phát hiện cao và khả năng phân giải ở mỗi độ sâu của vật liệu kiểm tra, bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng chiều rộng kết hợp được xác định về mặt lý thuyết mà không sử dụng phương pháp xác định thí nghiệm hoặc thực nghiệm.

Ngoài ra, mục tiêu khác của sáng chế là đề xuất dây chuyền thiết bị sản xuất vật liệu thép và phương pháp sản xuất vật liệu thép mà có thể sản xuất vật liệu thép với năng suất tốt.

Hơn nữa, mục tiêu khác của sáng chế là đề xuất phương pháp đảm bảo chất lượng vật liệu thép mà có thể cung cấp vật liệu thép chất lượng cao.

Giải quyết vấn đề

Phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra, bao gồm: truyền tín hiệu siêu âm từ đầu dò siêu âm đến vật liệu kiểm

tra; nhận tín hiệu siêu âm phản xạ bên trong vật liệu kiểm tra thông qua đầu dò siêu âm như tín hiệu khuyết tật; bước nhận để nhận nhiều tín hiệu khuyết tật qua đầu dò siêu âm trong khi thay đổi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm; bước xác định, trong mỗi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm: tính toán tỷ lệ giữa áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật so với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí tham chiếu là tỉ lệ áp suất âm nhận được; và xác định chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ tại vị trí độ sâu của vật liệu kiểm tra dựa trên tỷ lệ áp suất âm nhận được đã tính toán; và bước kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng các tín hiệu khuyết tật theo chiều rộng kết hợp đã được xác định.

Trong phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được mô tả ở trên theo sáng chế, bước xác định bao gồm: tính toán tốc độ thay đổi của tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật thu được thông qua quá trình tổng hợp khẩu độ từ tốc độ thay đổi của tỷ lệ áp suất âm nhận được; và xác định chiều rộng kết hợp mà làm cho tốc độ thay đổi của tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật là giá trị đã được xác định trước hoặc lớn hơn, như là chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ.

Trong phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được mô tả ở trên theo sáng chế, bước xác định bao gồm: tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được R bằng cách sử dụng góc định hướng ψ của tín hiệu siêu âm sử dụng biểu thức (1) và biểu thức (2) khi đầu dò siêu âm là đầu dò siêu âm hình tròn; và tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được R sử dụng góc định hướng ψ của tín hiệu siêu âm sử dụng biểu thức (1) và biểu thức (3) sau đây khi đầu dò siêu âm là đầu dò siêu âm hình chữ nhật:

$$R = Dc^2(\psi) \quad (1)$$

$$Dc(\psi) = \frac{2J_1(m)}{m} \quad (2)$$

$$Dc(\psi) = \frac{\sin m}{m} \quad (3)$$

trong đó tham số m trong biểu thức (2) và biểu thức (3) là hệ số được xác định bởi góc định hướng ψ .

Trong phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được mô tả ở trên theo sáng chế, bước kiểm tra bao gồm hiệu chỉnh cường độ của tín hiệu khuyết tật A thu được

thông qua quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng các biểu thức (4) và (5), bằng cách chia tín hiệu khuyết tật A cho tỷ lệ áp suất âm nhận được sau khi tổng hợp khẩu độ S thu được bằng cách cộng và lấy trung bình các tỷ lệ áp suất âm nhận được R_n ($n = 0$ đến N) đối với số N :

$$B = \frac{A}{S} \quad (4)$$

$$S = \sum_{n=0}^N \frac{R_n}{N+1} \quad (5).$$

Trong phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được mô tả ở trên theo sáng chế, bước xác định bao gồm: thiết lập phạm vi tới của tín hiệu siêu âm bất kỳ trong vật liệu kiểm tra từ tương quan vị trí giữa đầu dò siêu âm và vị trí độ sâu của khuyết tật bên trong; tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm trong phạm vi tới được thiết lập của tín hiệu siêu âm dựa trên định luật Snell; tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đối với từng vị trí sâu của khuyết tật bên trong bằng cách lặp lại phép tính xác định xem đường truyền của tín hiệu siêu âm có đi qua khuyết tật bên trong hay không bằng phép tính tọa độ; và tính toán các khoảng thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật cần thiết cho quá trình tổng hợp khẩu độ dựa trên đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đối với từng vị trí độ sâu được tính toán.

Trong phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được mô tả ở trên theo sáng chế, việc xác định bao gồm: thiết lập phạm vi tới của tín hiệu siêu âm bất kỳ trong vật liệu kiểm tra từ tương quan vị trí giữa đầu dò siêu âm và vị trí độ sâu của khuyết tật bên trong; tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đối với từng vị trí sâu của khuyết tật bên trong bằng cách lặp lại phép tính xác định xem góc giữa đường pháp tuyến của vật liệu kiểm tra tại điểm tới của tín hiệu siêu âm có nằm trong phạm vi tới đã được thiết lập của tín hiệu siêu âm và đoạn thẳng nối đầu dò siêu âm và điểm tới của tín hiệu siêu âm, và góc giữa đường pháp tuyến và đoạn thẳng nối vị trí khuyết tật giả định và điểm tới của tín hiệu siêu âm có thỏa mãn định luật Snell hay không; và tính toán các khoảng thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật cần thiết cho quá trình tổng hợp khẩu độ dựa trên đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đối với từng vị trí độ sâu được tính toán.

Thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra bằng cách truyền tín hiệu siêu âm từ đầu dò siêu âm đến vật liệu kiểm tra,

và nhận tín hiệu siêu âm phản xạ bên trong vật liệu kiểm tra thông qua đầu dò siêu âm dưới dạng tín hiệu khuyết tật, và bao gồm: bộ phận tiếp nhận được cấu hình để nhận nhiều tín hiệu khuyết tật qua đầu dò siêu âm trong khi thay đổi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm; đơn vị xác định được cấu hình để, trong tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm: tính toán tỷ lệ giữa áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật so với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí tham chiếu là tỷ lệ áp suất âm nhận được; và xác định chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khâu độ tại vị trí độ sâu của vật liệu kiểm tra dựa trên tỷ lệ áp suất âm nhận được đã tính toán; và đơn vị kiểm tra được cấu hình để kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khâu độ sử dụng các tín hiệu khuyết tật theo chiều rộng kết hợp đã được xác định.

Dây chuyền thiết bị sản xuất vật liệu thép theo sáng chế bao gồm: thiết bị sản xuất được cấu hình để sản xuất vật liệu thép; và thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế được cấu hình để kiểm tra bên trong vật liệu thép được sản xuất bởi thiết bị sản xuất.

Phương pháp sản xuất vật liệu thép theo sáng chế bao gồm: bước sản xuất để sản xuất vật liệu thép; và bước phát hiện để phát hiện khuyết tật bên trong vật liệu thép được sản xuất ở bước sản xuất bằng cách sử dụng phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế.

Phương pháp đảm bảo chất lượng vật liệu thép theo sáng chế bao gồm: bước phát hiện để phát hiện khuyết tật bên trong vật liệu thép bằng cách sử dụng phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế; và bước đảm bảo chất lượng để đảm bảo chất lượng vật liệu thép từ kết quả phát hiện khuyết tật thu được ở bước phát hiện khuyết tật.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Với phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm và thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế, có thể thực hiện phát hiện khuyết tật siêu âm với khả năng phát hiện và khả năng phân giải cao ở mỗi độ sâu của vật liệu kiểm tra, bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khâu độ sử dụng chiều rộng kết hợp được xác định theo lý thuyết mà không sử dụng phương pháp xác định thí nghiệm hoặc thực nghiệm. Hơn nữa, với dây chuyền thiết bị sản xuất vật liệu thép và phương pháp sản xuất vật liệu thép theo

sáng chế, có thể sản xuất vật liệu thép với năng suất tốt. Hơn nữa, với phương pháp đảm bảo chất lượng vật liệu thép theo sáng chế, có thể cung cấp vật liệu thép chất lượng cao.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

FIG.1 là sơ đồ dạng giản đồ minh họa cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, mà là phương án đầu tiên của sáng chế.

FIG.2 là lưu đồ minh họa quá trình xác định các điều kiện của quá trình tổng hợp khâu độ, là phương án đầu tiên của sáng chế.

FIG.3 là giản đồ để giải thích một khía cạnh của quá trình tính toán đường lan truyền, mà là phương án đầu tiên của sáng chế.

FIG.4 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích khía cạnh khác của quá trình tính toán đường lan truyền, mà là phương án đầu tiên của sáng chế.

FIG.5 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích quá trình tính toán thời gian trễ, mà là phương án đầu tiên của sáng chế.

FIG.6 là biểu đồ minh họa ví dụ về sự thay đổi tương quan giữa độ sâu khuyết tật và tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật theo sự chênh lệch về chiều rộng kết hợp.

FIG.7 là giản đồ để giải thích quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu, mà là phương án đầu tiên của sáng chế.

FIG.8 là lưu đồ minh họa trình tự quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu, mà là phương án đầu tiên của sáng chế.

FIG.9 là biểu đồ minh họa ví dụ về tương quan giữa tỷ lệ áp suất âm nhận được và góc quay.

FIG.10 là biểu đồ minh họa mối tương quan giữa chiều rộng kết hợp được tính toán dựa trên sự phân bố của tỷ lệ áp suất âm nhận được được minh họa trên FIG.9 và hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E.

FIG.11 là sơ đồ minh họa các kết quả của việc thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm khi quá trình xử lý tín hiệu của sáng chế không được thực hiện.

FIG.12 là biểu đồ minh họa các kết quả của việc thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm khi quá trình xử lý tín hiệu của sáng chế được thực hiện.

FIG.13 là sơ đồ dạng giản đồ minh họa cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, là phương án thứ hai của sáng chế.

FIG.14 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích một khía cạnh của quá trình tính toán đường lan truyền, mà là phương án thứ hai của sáng chế.

FIG.15 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích khía cạnh khác của quá trình tính toán đường lan truyền, mà là phương án thứ hai của sáng chế.

FIG.16 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích quá trình tính toán thời gian trễ, mà là phương án thứ hai của sáng chế.

FIG.17 là biểu đồ minh họa các kết quả mô phỏng mối tương quan giữa chiều rộng kết hợp và hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E.

FIG.18 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu, mà là phương án thứ hai của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, cấu hình và hoạt động của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, là phương án thứ nhất và thứ hai của sáng chế sẽ được mô tả chi tiết với tham chiếu đến các bản vẽ kèm theo.

Phương án thứ nhất

Cấu hình

Đầu tiên, cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, mà là phương án đầu tiên của sáng chế sẽ được mô tả với sự tham chiếu đến FIG.1.

FIG.1 là sơ đồ giản đồ minh họa cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, mà là phương án đầu tiên của sáng chế. Như minh họa trên FIG.1, thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm 1, mà là phương án đầu tiên của sáng chế, là thiết bị thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm trên thanh tròn RB được sản xuất bằng cách cán phôi thép đúc, bằng phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm sử dụng phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm nước. Thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm 1 bao gồm nhiều đầu dò siêu âm 11, đầu thăm dò 12, bàn đỡ 13, thiết bị truyền động quay 14, bộ phát xung 15, bộ thu nhận 16, bộ chuyển đổi A/D (bộ chuyển đổi tương tự sang số - Analog to Digital Converter, A/D) 17, thiết bị ghi 18, thiết bị xử lý tín hiệu 19, và thiết bị hiển thị 20 làm các thành phần chính.

Thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế bao gồm bộ phận tiếp nhận mà nhận tín hiệu khuyết tật thông qua đầu dò siêu âm, trong khi thay đổi tương

quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm. Trong thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm 1 được minh họa trên FIG.1 được mô tả ở trên, bộ thu nhận 16, bộ chuyển đổi A/D 17 và thiết bị ghi 18 tương ứng với bộ thu. Hơn nữa, thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế bao gồm đơn vị xác định mà xác định chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ tại mỗi vị trí độ sâu của vật liệu kiểm tra, bằng cách tính toán tỷ lệ của áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật đối với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí tham chiếu là tỷ lệ áp suất âm nhận được, trong tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm, và trên cơ sở tỷ lệ áp suất âm nhận được đã tính toán. Ngoài ra, thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế bao gồm đơn vị kiểm tra mà kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra, bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng nhiều tín hiệu khuyết tật theo chiều rộng kết hợp đã được xác định. Trong thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm 1 được minh họa trên FIG.1 được mô tả ở trên, thiết bị xử lý tín hiệu 19 tương ứng với đơn vị xác định và đơn vị kiểm tra.

Mỗi đầu dò siêu âm 11 được bố trí trên vị trí được ngăn cách với thanh tròn RB với khoảng cách xác định trước được đặt xen giữa vị trí đó, qua nước, mà là môi trường trong phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm trong nước. Trong quá trình phát hiện khuyết tật bằng sóng siêu âm, tín hiệu siêu âm được truyền đến thanh tròn RB, khi đầu dò siêu âm 11 được kích thích bởi đầu ra tín hiệu xung từ bộ phát xung 15. Tín hiệu siêu âm lan truyền bên trong thanh tròn RB và được phản xạ (sau đây gọi là tín hiệu khuyết tật) được bộ thu nhận 16 nhận qua đầu dò siêu âm 11.

Đầu dò 12 bao gồm các đầu dò siêu âm 11 và quét thanh tròn RB theo hướng trục, bằng cách di chuyển trên bàn đỡ 13 được bố trí phía trên thanh tròn RB. Khi đầu thăm dò 12 quét thanh tròn RB trong khi thanh tròn RB được quay theo hướng chu vi, mà được chỉ ra bằng mũi tên, bởi thiết bị truyền động quay 14, và khi bộ thu nhận 16 nhận được tín hiệu khuyết tật, phát hiện khuyết tật bằng siêu âm có thể thực hiện trên toàn bộ thể tích của thanh tròn RB. Tốc độ quay của thiết bị truyền động quay 14 và tốc độ quét của đầu thăm dò 12 được đặt sao cho việc phát hiện khuyết tật bằng siêu âm có thể được thực hiện đủ trên toàn bộ thể tích của thanh tròn RB.

Tín hiệu khuyết tật ở dạng tương tự được nhận bởi bộ thu nhận 16 được chuyển đổi thành dữ liệu kỹ thuật số bởi bộ chuyển đổi A/D 17 đồng bộ hóa với đầu ra tín hiệu

xung từ bộ phát xung 15, và được lưu trữ trong thiết bị ghi 18. Do đó, tín hiệu khuyết tật trong toàn bộ thể tích của thanh tròn RB được lưu trữ trong thiết bị ghi 18. Tín hiệu khuyết tật được lưu trữ được xử lý tín hiệu bởi thiết bị xử lý tín hiệu 19 và các kết quả của quá trình xử lý tín hiệu được hiển thị trên thiết bị hiển thị 20. Quá trình xử lý tín hiệu có thể được thực hiện trên tín hiệu khuyết tật được lưu trữ bất kỳ lúc nào trong quá trình phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, hoặc có thể được thực hiện sau khi tất cả các tín hiệu khuyết tật được lưu trữ.

Thiết bị xử lý tín hiệu 19 xác định các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ như một quá trình xử lý tín hiệu. Để xác định điều kiện quá trình tổng hợp khẩu độ, thiết bị xử lý tín hiệu 19 tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật từ góc định hướng của đầu dò siêu âm 11 và xác định chiều rộng kết hợp tối ưu cho mỗi khu vực phát hiện khuyết tật bằng siêu âm trên cơ sở tỷ lệ áp suất âm nhận được được tính toán. Sau đó, thiết bị xử lý tín hiệu 19 sẽ thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ như một quá trình xử lý tín hiệu. Bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng các tín hiệu khuyết tật theo chiều rộng kết hợp đã được xác định, bên trong thanh tròn RB được kiểm tra và bằng cách phát hiện khuyết tật bên trong của thanh tròn RB, khuyết tật bên trong thanh tròn RB được phát hiện.

Tiếp theo, phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế sẽ được mô tả. Phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế bao gồm ba bước là (I) bước nhận, (II) bước xác định và (III) bước kiểm tra. Các bước này được thực hiện theo thứ tự (I) bước nhận, (II) bước xác định và (III) bước kiểm tra.

Ở bước nhận, tín hiệu khuyết tật được nhận qua đầu dò siêu âm, trong khi thay đổi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm. Ở bước nhận, có thể sử dụng phương pháp tiếp nhận tín hiệu khuyết tật đã biết của đầu dò siêu âm. Ví dụ, bước nhận có thể được thực hiện bằng cách vận hành bộ thu nhận 16, bộ chuyển đổi A/D 17, và thiết bị ghi 18 được mô tả ở trên.

Tại bước xác định, chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ tại mỗi vị trí độ sâu của vật liệu kiểm tra được xác định, bằng cách tính toán tỷ lệ giữa áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật so với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí tham chiếu như tỷ lệ áp suất âm nhận được, trong mỗi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm, và trên cơ sở tỷ lệ áp suất âm nhận được đã tính

toán. Việc tính toán chiều rộng kết hợp tại mỗi vị trí chiều sâu của vật liệu kiểm tra là kỹ thuật quan trọng nhất trong sáng chế. Phương pháp tính toán chiều rộng kết hợp sẽ được mô tả chi tiết dưới đây.

Ngoài ra, ở bước xác định, thời gian trễ được sử dụng trong quá trình tổng hợp khẩu độ cũng sẽ được tính toán. Hơn nữa, về mặt nâng cao khả năng phát hiện, tốt hơn là tính toán chiều rộng kết hợp và thời gian trễ cho mỗi độ sâu khuyết tật ở bước xác định. Phương pháp đã biết có thể được sử dụng làm quá trình tổng hợp khẩu độ để tính toán thời gian trễ. Trong bản mô tả, ví dụ về tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm truyền trong vật thể kiểm tra, và xác định thời gian trễ trên cơ sở đường lan truyền đã tính toán sẽ được mô tả bên dưới.

Tại bước kiểm tra, bên trong của vật liệu kiểm tra được kiểm tra, bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ đối với tín hiệu khuyết tật nhận được ở bước nhận, theo thời gian trễ và chiều rộng kết hợp được xác định ở bước xác định, và trên cơ sở các kết quả của quá trình tổng hợp khẩu độ. Phương pháp đã biết có thể được sử dụng cho quá trình tổng hợp khẩu độ được thực hiện ở bước kiểm tra. Trong bản mô tả, ví dụ về việc thực hiện quá trình trong đó thời gian trễ, mà được xác định ở bước xác định, được nhân với nhiều dạng sóng, mà được bao gồm trong chiều rộng kết hợp cũng được xác định ở bước xác định, và được cộng vào, sẽ được mô tả bên dưới.

Trên cơ sở các kết quả thu được của quá trình tổng hợp khẩu độ, có thể kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra, và bằng cách hiểu trạng thái bên trong vật liệu kiểm tra, có thể thực hiện phát hiện khuyết tật. Ví dụ, trạng thái bên trong vật liệu kiểm tra mà việc phát hiện khuyết tật có thể được thực hiện, bao gồm cường độ, thời gian nhận được, và tương tự của tín hiệu phản xạ từ khuyết tật, sự hiện diện của khuyết tật, vị trí của khuyết tật, kích thước của khuyết tật, và tương tự. Phương pháp xuất các kết quả thu được của quá trình tổng hợp khẩu độ có thể được xác định một cách thích hợp tùy theo mục đích sử dụng của các kết quả và tương tự. Tuy nhiên, tốt hơn là xuất kết quả thu được ở định dạng dạng sóng hoặc ở định dạng hình ảnh liên quan đến vị trí (hướng chiều rộng, hướng cán, chiều sâu, độ dày, và tương tự) vì khả năng hiển thị cao.

Với phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế, khả năng phát hiện có thể được cải thiện, vì tỷ lệ (tỷ lệ S/N) của nhiễu đối với tín hiệu khuyết tật sẽ được cải thiện.

Xác định các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ

Với tham chiếu đến FIG.2, hoạt động của thiết bị xử lý tín hiệu 19 khi các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ, nghĩa là, chiều rộng kết hợp và thời gian trễ sẽ được xác định ở bước xác định, sẽ được mô tả. Ngoài ra, ở bước xác định, ví dụ về phương pháp tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm được sử dụng để xác định thời gian trễ sẽ được mô tả. Trong ví dụ này, đường lan truyền là đường lan truyền của tín hiệu siêu âm trong vật thể kiểm tra. Theo nhu cầu, đường lan truyền cũng có thể là đường lan truyền của tín hiệu siêu âm trong vật thể kiểm tra và môi trường. Hơn nữa, sau đây, ví dụ về phương pháp tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được mà là tỷ lệ giữa áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật so với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí tham chiếu, được sử dụng để xác định chiều rộng kết hợp cũng sẽ được mô tả.

FIG.2 là lưu đồ minh họa trình tự xác định các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ, mà là phương án đầu tiên của sáng chế. Các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ không chỉ được xác định trước khi phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được thực hiện, mà còn có thể được xác định sau khi phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được thực hiện trên cơ sở giá trị thu được trong quá trình phát hiện khuyết tật bằng siêu âm chẳng hạn như khi độ dày của thanh tròn RB được đo sử dụng tín hiệu siêu âm.

Các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ được xác định theo thứ tự của bước đưa vào các điều kiện phát hiện khuyết tật (S1), bước tính toán đường lan truyền (S2), bước tính toán thời gian trễ (S3), bước tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được (S4), và bước tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu (S5). Bằng cách sử dụng thanh tròn RB làm vật thể kiểm tra, từng bước sẽ được mô tả chi tiết.

Trong quá trình ở bước S1, thiết bị xử lý tín hiệu 19 thu được các điều kiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm như kích thước của thanh tròn RB, kích thước và hình dạng của đầu dò siêu âm 11, bước đo, mối tương quan vị trí với thanh tròn RB, và khu vực phát hiện khuyết tật bằng siêu âm. Các điều kiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm không chỉ có được trước khi thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, mà còn có thể đạt được trong quá trình phát hiện khuyết tật bằng siêu âm hoặc sau khi phát hiện khuyết tật bằng siêu âm. Điều này hoàn tất quá trình ở bước S1, và việc xác định các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ sẽ chuyển sang quá trình ở bước S2.

Trong quá trình ở bước S2, bằng cách sử dụng các điều kiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm có được trong quá trình ở bước S1, thiết bị xử lý tín hiệu 19 tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm mà được tạo ra trên thanh tròn RB từ đầu dò siêu âm 11 và đi qua vị trí khuyết tật giả định theo định luật Snell (quá trình tính toán đường lan truyền). Chi tiết của quá trình tính toán đường lan truyền sẽ được mô tả dưới đây. Điều này hoàn tất quá trình ở bước S2, và việc xác định các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ sẽ chuyển sang quá trình ở bước S3.

Trong quá trình ở bước S3, thiết bị xử lý tín hiệu 19 tính toán thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật khác đối với tín hiệu khuyết tật tham chiếu tại mỗi vị trí nhận được (quá trình tính toán thời gian trễ). Chi tiết của quá trình tính toán thời gian trễ sẽ được mô tả dưới đây. Điều này hoàn tất quá trình ở bước S3, và việc xác định các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ được chuyển sang quá trình ở bước S4.

Trong quá trình ở bước S4, thiết bị xử lý tín hiệu 19 tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại mỗi tương quan vị trí giữa thanh tròn RB và đầu dò siêu âm 11 (quá trình tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được). Chi tiết của quá trình tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được sẽ được mô tả dưới đây. Điều này hoàn tất quá trình ở bước S4, và việc xác định các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ sẽ chuyển sang quá trình ở bước S5.

Trong quá trình ở bước S5, thiết bị xử lý tín hiệu 19 xác định chiều rộng kết hợp tối ưu trong quá trình tổng hợp khẩu độ tại mỗi vị trí độ sâu của thanh tròn RB, trên cơ sở tỷ lệ áp suất âm nhận được tính toán trong quá trình ở bước S4. Điều này hoàn tất quá trình ở bước S5 và một loạt các xác định điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ đã hoàn tất.

Quá trình tính toán đường lan truyền

Tiếp theo, tham chiếu đến FIG.3 và FIG.4, quá trình tính toán đường lan truyền ở bước S2 sẽ được mô tả chi tiết.

Để thu được tín hiệu khuyết tật với tỷ lệ S/N cao bằng quá trình tổng hợp khẩu độ, tốt hơn là tính toán các khoảng thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật để được kết hợp một cách chính xác. Đặc biệt, để thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm trên vật liệu thép có hình dạng bề mặt cong như thanh tròn RB, đường lan truyền của tín hiệu siêu âm thay đổi đáng kể bởi sự khúc xạ của bề mặt cong. Do đó, tốt hơn là tính toán

các khoảng thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật được kết hợp một cách chính xác. Do đó, theo phương án, trên cơ sở các tọa độ của đầu dò siêu âm 11 và vị trí khuyết tật giả định, đường lan truyền của tín hiệu siêu âm mà được tạo ra trên thanh tròn RB từ đầu dò siêu âm 11 và đi qua vị trí khuyết tật giả định được tính toán trong khi thỏa mãn định luật Snell.

Sau đây, có tham chiếu đến FIG.3 và FIG.4, một khía cạnh và khía cạnh khác của quá trình tính toán đường lan truyền, mà là phương án đầu tiên của sáng chế, sẽ được mô tả.

FIG.3 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích một khía cạnh của quá trình tính toán đường lan truyền, mà là phương án đầu tiên của sáng chế. Sau đây, P biểu thị vị trí của đầu dò siêu âm 11, P_F cho biết vị trí khuyết tật giả định, O biểu thị tâm của thanh tròn RB, V_w biểu thị tốc độ âm trong nước, là môi trường trong phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm trong nước, và V_s chỉ tốc độ âm trong thanh tròn RB. Hơn nữa, như được minh họa trên FIG.3 giả định rằng vị trí khuyết tật giả định P_F nằm trên chu vi của đường tròn có bán kính là đoạn thẳng OR.

Đầu tiên, ở khía cạnh hiện tại, điểm tới X của tín hiệu siêu âm được thiết lập và góc tới θ_w của tín hiệu siêu âm nhận được từ một góc giữa đoạn thẳng PX và đoạn thẳng OX. Tiếp theo, theo định luật Snell, góc khúc xạ θ_s của tín hiệu siêu âm thỏa mãn biểu thức sau (6). Do đó, bằng cách thay góc tới θ_w của tín hiệu siêu âm vào biểu thức (6), có thể thu được góc khúc xạ θ_s của tín hiệu siêu âm. Hơn nữa, cũng có thể thu được giao điểm C của đường thẳng đi qua điểm tới X của tín hiệu siêu âm và bị khúc xạ ở góc khúc xạ θ_s, và đường tròn bán kính là đoạn thẳng OR. Do đó, bằng cách tìm điểm tới X của sóng siêu âm tại đó giao điểm C trùng với vị trí khuyết tật giả định P_F, trong khi thay đổi điểm tới X của tín hiệu siêu âm, có thể tính được đường lan truyền của tín hiệu siêu âm mà là đường tới được tạo ra trên điểm tới X và đi qua vị trí khuyết tật giả định P_F.

$$\frac{\sin \theta_w}{V_w} = \frac{\sin \theta_s}{V_s} \quad (6)$$

FIG.4 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích khía cạnh khác của quá trình tính toán đường lan truyền, mà là phương án đầu tiên của sáng chế. Ở khía cạnh hiện tại, điểm tới X của tín hiệu siêu âm được thiết lập đầu tiên, và góc tới θ_w của tín hiệu siêu âm nhận được từ góc giữa đoạn thẳng PX và đoạn thẳng OX. Sau đó, bằng cách tìm góc θ giữa

đoạn thẳng OX và đoạn thẳng P_FX thỏa mãn định luật Snell được chỉ ra trong biểu thức (7), trong khi thay đổi điểm tới X của tín hiệu siêu âm, có thể tính được đường lan truyền của tín hiệu siêu âm mà là đường tới được tạo ra từ điểm tới X và đi qua vị trí khuyết tật giả định P_F.

$$\frac{\sin \theta_w}{V_w} = \frac{\sin \theta}{V_s} \quad (7)$$

Trong quá trình tính toán đường lan truyền được mô tả ở trên, chỉ tính đến chuyển động của vị trí khuyết tật giả định P_F theo chuyển động quay của thanh tròn RB. Tuy nhiên, khi đầu dò siêu âm 11 được quét theo hướng trục, tốt hơn là tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm bằng cách tính đến lượng chuyển động của đầu dò siêu âm 11 theo hướng trục. Hơn nữa, quá trình tính toán đường lan truyền được mô tả ở trên về cơ bản được thực hiện trước khi việc phát hiện khuyết tật bằng sóng siêu âm được bắt đầu trên cơ sở kích thước của thanh tròn RB và các điều kiện phát hiện khuyết tật. Tuy nhiên, nếu có khả năng đường lan truyền của tín hiệu siêu âm khác đáng kể so với kết quả tính toán trước, do hình dạng bề mặt không đồng đều và tốc độ ngoại vi của thanh tròn RB, tốt hơn là tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm trong thời gian thực trên cơ sở thông tin thu được trong quá trình phát hiện khuyết tật bằng siêu âm.

Quá trình tính toán thời gian trễ

Tiếp theo, tham chiếu đến FIG.5, quá trình tính toán thời gian trễ ở bước S3 sẽ được mô tả chi tiết.

FIG.5 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích quá trình tính toán thời gian trễ, mà là phương án đầu tiên của sáng chế. Như minh họa trên FIG.5, vị trí của khuyết tật bên trong, được biểu thị bằng dấu tròn màu trắng, di chuyển theo chuyển động quay của thanh tròn RB. Do đó, cường độ và thời gian tiếp nhận của tín hiệu khuyết tật mà đầu dò siêu âm 11 nhận được thay đổi. Cụ thể hơn, tín hiệu khuyết tật đầu tiên RW1 và tín hiệu khuyết tật thứ hai RW2 được minh họa trên FIG.5 là các tín hiệu phản xạ của tín hiệu siêu âm từ các khuyết tật ở vị trí khuyết tật thứ nhất P1 và vị trí khuyết tật thứ hai P2 mà đầu dò siêu âm 11 nhận được. Trong ví dụ này, nếu tốc độ âm trong nước, là môi trường trong phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm trong nước, được gọi là V_w và tốc độ âm trong thanh tròn RB được gọi là V_s, thời gian truyền T1 của tín hiệu khuyết tật đầu tiên RW1 được biểu diễn bằng biểu thức (8), thời gian lan truyền T2 của tín hiệu

khuyết tật thứ hai RW2 được biểu thị bằng biểu thức (9) và thời gian trễ ΔT là hiệu số giữa thời gian lan truyền T1 và thời gian lan truyền T2, được biểu diễn bằng biểu thức (10) dưới đây.

$$T1 = 2 \left(\frac{Lw}{Vw} + \frac{Ls}{Vs} \right) \quad (8)$$

$$T2 = 2 \left(\frac{Lw'}{Vw} + \frac{Ls'}{Vs} \right) \quad (9)$$

$$\Delta T = T1 - T2 \quad (10)$$

Trong ví dụ này, các tín hiệu khuyết tật được kết hợp bằng cách tính toán các khoảng thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật khác đối với tín hiệu khuyết tật tham chiếu tại mỗi vị trí nhận được. Do đó, nhiễu ngẫu nhiên loại bỏ lẫn nhau, và tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật sẽ được cải thiện. Nếu tín hiệu khuyết tật thứ hai RW2 được sử dụng làm tham chiếu, tín hiệu khuyết tật đầu tiên RW1 bị trễ bởi thời gian trễ ΔT được chỉ ra trong biểu thức (10) và được cộng vào. Do đó, nhiễu ngẫu nhiên loại bỏ lẫn nhau, và các tín hiệu khuyết tật, các giai đoạn được căn chỉnh, tăng cường lẫn nhau. Do đó, tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật trở nên cao hơn so với trước khi quá trình tổng hợp khẩu độ được thực hiện. Hơn nữa, bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ bằng cách tính toán thời gian trễ tại vị trí của đầu dò siêu âm 11 và tại mỗi vị trí độ sâu của thanh tròn RB, có thể phát hiện tín hiệu khuyết tật ở tỷ lệ S/N cao, bất kể độ sâu của khuyết tật trong thanh tròn RB.

Quá trình tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được và quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu

Tiếp theo, với tham chiếu đến từ FIG.6 đến FIG.9, quá trình tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được ở bước S4 và quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu ở bước S5 được minh họa trên FIG.2 sẽ được mô tả chi tiết.

Cường độ của tín hiệu khuyết tật thay đổi theo tương quan vị trí giữa đầu dò siêu âm 11 và khuyết tật bên trong. Cụ thể hơn, trong trường âm xa, cường độ của tín hiệu khuyết tật được tối đa hóa, khi có khuyết tật trên trục trung tâm của đầu dò siêu âm 11, và cường độ của tín hiệu khuyết tật bị giảm khi góc giữa trục trung tâm của đầu dò siêu âm 11 và đường lan truyền của sóng siêu âm đi qua khuyết tật bên trong được tăng lên. Để thu được tín hiệu khuyết tật với tỷ lệ S/N cao bằng quá trình tổng hợp khẩu độ, các

tín hiệu khuyết tật phải được cộng lại với nhau trong phạm vi mà tín hiệu khuyết tật có đủ cường độ. Nếu các tín hiệu khuyết tật với cường độ thấp được cộng lại với nhau, hiệu quả của việc cải thiện tỷ lệ S/N sẽ giảm. Hơn nữa, do đầu ra tín hiệu siêu âm từ đầu dò siêu âm 11 khuếch tán và lan truyền, sự phân bố áp suất âm được tăng lên khi khoảng cách tăng lên. Trong quá trình này, nếu có khuyết tật trong phân bố áp suất âm, thì có thể thu được tín hiệu khuyết tật với cường độ đủ lớn. Có nghĩa là, chiều rộng kết hợp (số lượng tín hiệu khuyết tật được cộng vào) với cường độ đủ được thay đổi bởi sự phân bố áp suất âm của tín hiệu siêu âm và vị trí của khuyết tật di chuyển trong phân bố áp suất âm. Do đó, để thu được tín hiệu khuyết tật với tỷ lệ S/N cao bằng quá trình tổng hợp khẩu độ, chiều rộng kết hợp phải được đặt phù hợp dựa trên vị trí của khuyết tật bên trong và các điều kiện phát hiện khuyết tật. Do đó, theo phương án này, chiều rộng kết hợp thích hợp được tính toán cho từng vị trí độ sâu của khuyết tật bên trong, trên cơ sở tỷ lệ áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật.

FIG.6 là biểu đồ minh họa ví dụ về sự thay đổi mối tương quan giữa độ sâu khuyết tật và tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật theo sự chênh lệch về chiều rộng kết hợp. Cụ thể hơn, FIG.6 minh họa các kết quả thử nghiệm thu được bởi phát hiện bốn khuyết tật nhân tạo có đường kính 0,2 mm được tạo ra ở các độ sâu bên trong 5 mm, 21 mm, 42 mm và 63 mm trong thép thanh tròn có đường kính $\phi 169$ mm, và bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ với chiều rộng kết hợp $2,4^\circ$, chiều rộng kết hợp $8,4^\circ$, chiều rộng kết hợp $22,8^\circ$ và theo sáng chế. Trong thí nghiệm này, một đầu dò siêu âm tròn có đường kính 6,4 mm và tần số 5 MHz được sử dụng làm đầu dò siêu âm 11. Các đồ thị có chiều rộng kết hợp $2,4^\circ$, chiều rộng kết hợp $8,4^\circ$ và chiều rộng kết hợp $22,8^\circ$ cho biết các kết quả của việc thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ trên bốn tín hiệu khuyết tật nhân tạo ở các độ sâu bên trong khác nhau với chiều rộng kết hợp cố định ($2,4^\circ$, $8,4^\circ$ và $22,8^\circ$). Lưu ý rằng các chiều rộng kết hợp $2,4^\circ$, $8,4^\circ$ và $22,8^\circ$ là mỗi chiều rộng kết hợp tối ưu ở độ sâu bên trong 5 mm, 21 mm hoặc 42 mm được xác định theo sáng chế.

Như được minh họa trên FIG.6, tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật ở độ sâu 5 mm được tối đa hóa khi chiều rộng kết hợp là $2,4^\circ$, tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật ở độ sâu 21 mm được tối đa hóa khi chiều rộng kết hợp là $8,4^\circ$, và tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật ở độ sâu 42 mm được tối đa hóa khi chiều rộng kết hợp là $22,8^\circ$. Do đó, chiều rộng kết hợp mà tối đa hóa tỷ lệ S/N khác nhau ở mỗi độ sâu khuyết tật và nó chứng tỏ rằng

tỷ lệ S/N tối đa có thể đạt được ở mọi độ sâu khuyết tật, bằng cách thiết lập chiều rộng kết hợp phù hợp ở mọi độ sâu khuyết tật. Trên thực tế, trong sáng chế, so với khi chiều rộng kết hợp được cố định ở mọi độ sâu khuyết tật, tùy thuộc vào vị trí độ sâu, tỷ lệ S/N được cải thiện thêm 10 dB hoặc hơn, và nó đã được xác nhận rằng sáng chế là có hiệu quả.

FIG.7 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu, là phương án đầu tiên của sáng chế. Như được minh họa trên FIG.7, theo phương án, góc định hướng ψ của tín hiệu siêu âm được tính từ đường truyền của tín hiệu siêu âm, mà được tính toán trong quá trình tính toán đường lan truyền, sự thay đổi trong tỷ lệ áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật khi vị trí khuyết tật giả định được quay được tính toán, và chiều rộng kết hợp được tính toán từ sự phân bố tỷ lệ áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật. Trong ví dụ này, ϕ biểu thị đường kính của thanh tròn RB, V_1 biểu thị tốc độ quay của thanh tròn RB, V_s biểu thị tốc độ lan truyền của sóng siêu âm trong thanh tròn RB, f biểu thị tần số lặp lại xung (PRF) của đầu dò siêu âm 11, F cho biết tần số của đầu dò siêu âm 11, D cho biết chiều dài của đầu dò siêu âm 11 (bán kính khi đầu dò siêu âm 11 được tạo thành dạng hình, tròn và chiều dài cạnh khi đầu dò siêu âm 11 được hình thành trong hình chữ nhật), W cho biết khoảng cách giữa đầu dò siêu âm 11 và bề mặt của thanh tròn RB, V_w cho biết tốc độ âm trong nước, là môi trường trong phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm trong nước, P_F cho biết vị trí khuyết tật giả định trên trục trung tâm của đầu dò siêu âm 11, d cho biết độ sâu của vị trí khuyết tật giả định P_F tính từ bề mặt của thanh tròn RB, P_F' cho biết vị trí khuyết tật giả định sau khi quay khi khuyết tật giả định đã quay và di chuyển d từ vị trí khuyết tật giả định P_F bằng góc θ , và ψ chỉ ra góc (góc định hướng) giữa đường truyền của tín hiệu siêu âm và trục tâm của đầu dò siêu âm 11 khi quá trình tính toán đường lan truyền được thực hiện trên vị trí P của đầu dò siêu âm 11 và vị trí khuyết tật giả định P_F' .

Về cơ bản, áp suất âm nhận được được tính toán bằng cách giả sử một trường âm xa, và vị trí khuyết tật giả định P_F cần thỏa mãn biểu thức sau (11). Trong ví dụ này, khoảng cách giới hạn trường âm gần x_0 được biểu thị bằng biểu thức sau (12). Tuy nhiên, nếu vị trí khuyết tật giả định P_F không thỏa mãn biểu thức (11), thì chiều rộng kết hợp cũng có thể được tính bằng cách thu áp suất âm trong trường âm gần.

Biểu thức 11

$$W + d \frac{V_s}{V_w} = x_0 \quad (11)$$

Biểu thức 12

$$x_0 = D^2 \times \frac{F}{4V_w} \quad (12)$$

Nếu đầu dò siêu âm 11 được tạo thành dạng hình tròn, tỷ lệ (tỷ lệ áp suất âm nhận được) R của áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật từ vị trí khuyết tật giả định sau khi quay P_F' đối với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật từ vị trí khuyết tật giả định P_F có thể được biểu diễn bằng các biểu thức từ (13) đến (15) dưới đây, sử dụng góc định hướng ψ . Lưu ý rằng J_1 trong biểu thức (14) chỉ ra hàm Bessel, và m trong các biểu thức (14) và (15) là hệ số được xác định bởi góc định hướng ψ .

$$R = Dc^2(\psi) \quad (13)$$

$$Dc(\psi) = \frac{2J_1(m)}{m} \quad (14)$$

$$m = \frac{V_w D}{F} \pi \times \sin \psi \quad (15)$$

Mặt khác, khi đầu dò siêu âm 11 được tạo thành dạng hình chữ nhật, tỷ lệ áp suất âm nhận được R có thể được biểu thị bằng biểu thức (13) và (15), và biểu thức sau (16), sử dụng góc định hướng ψ . Khi đầu dò siêu âm 11 không được tạo thành dạng hình tròn hoặc hình chữ nhật, và được tạo thành hình dạng phức tạp, tỷ lệ áp suất âm nhận được R có thể được xác định bằng cách sử dụng các kết quả của các thí nghiệm và phân tích vật lý thông qua phương pháp phần tử hữu hạn hoặc tương tự. Nếu khuyết tật được phát hiện có định hướng mạnh, đôi khi tỷ lệ áp suất âm nhận được R bằng cách nhân hàm định hướng phản xạ của khuyết tật với biểu thức (13). Theo phương án, chiều rộng kết hợp được tính toán bằng cách sử dụng tỷ lệ áp suất âm nhận được R được tính theo quá trình được mô tả ở trên.

$$Dc(\psi) = \frac{\sin m}{m} \quad (16)$$

Cụ thể hơn, đầu dò siêu âm 11 nhận được tín hiệu khuyết tật mỗi khi vị trí khuyết tật giả định P_F được quay theo bước góc $\Delta\theta$. Bước góc $\Delta\theta$ được biểu diễn bằng biểu thức (17) sau.

$$\Delta\theta = \frac{V1}{\varphi f} \quad (17)$$

Tỷ lệ áp suất âm S nhận được sau tổng hợp khâu độ thu được bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khâu độ, trong đó thời gian trễ được nhân với tín hiệu khuyết tật thu được trong phạm vi mà vị trí khuyết tật giả định P_F đã chuyển từ $-n_1\Delta\theta$ đến $n_2\Delta\theta$, và được cộng vào và tính trung bình. Tỷ lệ áp suất âm S nhận được sau tổng hợp khâu độ được biểu thị bằng biểu thức (18) sau đây. Trong biểu thức (18), $R(n\Delta\theta)$ cho biết tỷ lệ áp suất âm nhận được tại vị trí mà khuyết tật giả định được quay từ vị trí khuyết tật giả định P_F bởi $n\Delta\theta$. Vị trí khuyết tật giả định P_F không chỉ được đặt trên trục trung tâm của đầu dò siêu âm 11, và có thể được thiết lập theo các điều kiện phát hiện khuyết tật.

$$S = \sum_{n=-n_1}^{n_2} \frac{R(n\Delta\theta)}{n1 + n2 + 1} \quad (18)$$

Nếu giả định rằng nhiễu trở thành $1/(N+1)^{1/2}$ bằng cách cộng và lấy trung bình số lần cộng ($N+1 = n_1 + n_2 + 1$), thì hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E sau quá trình tổng hợp khâu độ là được thực hiện theo tỷ lệ S/N tại vị trí khuyết tật giả định P_F được biểu diễn bằng biểu thức (19) sau đây.

$$E = 20 \log_{10} \left(S \sqrt{n1 + n2 + 1} \right) \quad (19)$$

Do đó, bằng cách thiết lập chiều rộng kết hợp N mà tối đa hóa hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E bằng biểu thức (19), và thực hiện quá trình tổng hợp khâu độ, có thể tối đa hóa tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật. Hơn nữa, bằng cách xác định số lần phép cộng ($N+1 = n_1 + n_2 + 1$) mà thỏa mãn biểu thức (20) sau đây, và thực hiện quá trình tổng hợp khâu độ, có thể cải thiện đầy đủ tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật.

$$E \geq E_{\max} \times 0,7 \quad (20)$$

Để đánh giá tín hiệu khuyết tật trong phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, cường độ của tín hiệu khuyết tật cũng rất quan trọng ngoài tỷ lệ S/N. Nếu cường độ của tín hiệu khuyết tật thay đổi đáng kể trước và sau quá trình tổng hợp khâu độ, thì không thể đánh giá chính xác khuyết tật bên trong. Do đó, tốt hơn hết là khôi phục cường độ, mà bị giảm bởi quá trình tổng hợp khâu độ, về cường độ trước khi quá trình này được thực hiện. Cụ thể hơn, bằng cách xuất ra giá trị đầu ra hiệu chỉnh B, được hiệu chỉnh bằng biểu thức (21) sau sử dụng tỷ lệ áp suất âm nhận được sau tổng hợp khâu độ S được biểu thị bằng biểu thức (18), thành giá trị đầu ra A sau quá trình tổng hợp khâu độ được thực hiện,

cường độ của tín hiệu khuyết tật trước quá trình tổng hợp khẩu độ có thể trùng với cường độ sau quá trình tổng hợp khẩu độ. Bằng cách làm cho cường độ của tín hiệu khuyết tật trước quá trình tổng hợp khẩu độ trùng với sau quá trình tổng hợp khẩu độ, việc đánh giá định lượng có thể được thực hiện đối với đường kính khuyết tật và chiều dài khuyết tật.

$$B = \frac{A}{S} \quad (21)$$

Tóm tắt các quá trình được mô tả ở trên, quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu sẽ như được minh họa trong lưu đồ được chỉ ra trên FIG. 8. FIG.8 là lưu đồ minh họa trình tự tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu, mà là phương án đầu tiên của sáng chế. Như minh họa trên FIG.8, trong quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu theo phương án hiện tại, thiết bị xử lý tín hiệu 19 trước tiên đặt tạm thời chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ (bước S51). Tiếp theo, thiết bị xử lý tín hiệu 19 tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được sau tổng hợp khẩu độ (tốc độ thay đổi tỷ lệ áp suất âm nhận được) S bằng cách cộng và lấy trung bình tỷ lệ áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật, sử dụng chiều rộng kết hợp tạm thời được đặt và biểu thức (18) (bước S52). Tiếp theo, thiết bị xử lý tín hiệu 19 tính toán hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E (tốc độ thay đổi tỷ lệ S/N) thu được thông qua quá trình tổng hợp khẩu độ, bằng cách thu được tỷ lệ giữa tỷ lệ áp suất âm nhận được sau tổng hợp khẩu độ S và tốc độ thay đổi nhiều sử dụng biểu thức (19) (bước S53). Sau đó, thiết bị xử lý tín hiệu 19 xác định xem hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E có thỏa mãn các điều kiện định trước như các điều kiện được chỉ ra trong biểu thức (20) (bước S54) hay không. Nếu hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E thỏa mãn các điều kiện đã được xác định trước, thiết bị xử lý tín hiệu 19 xác định chiều rộng kết hợp tạm thời được thiết lập trong quá trình ở bước S51 là chiều rộng kết hợp tối ưu (bước S55). Ngược lại, nếu hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E không thỏa mãn các điều kiện đã được xác định trước, thiết bị xử lý tín hiệu 19 quay lại quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu cho quá trình ở bước S51.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các kết quả vượt trội của phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế sẽ được mô tả cùng với các ví dụ. Trong các ví dụ, việc phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được thực hiện trên một mẫu thanh tròn được tạo ra khuyết tật nhân tạo và

quá trình tổng hợp khẩu độ được thực hiện sử dụng phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế. Đối với đầu dò siêu âm, đầu dò siêu âm tròn có đường kính 6,4 mm và tần số 5 MHz được sử dụng, và đối với mẫu thanh tròn, thanh tròn có đường kính $\phi 169$ mm trong đó khuyết tật nhân tạo có đường kính 0,2 mm được tạo ra được sử dụng. Đầu dò siêu âm và mẫu thanh tròn được ghép âm bằng phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm nước cục bộ, và khoảng cách nước được đặt đến 50 mm và bước góc đo được đặt đến $0,6^\circ$. Hơn nữa, khoảng cách giới hạn trường âm gần của đầu dò siêu âm là 34,5 mm, ngắn hơn khoảng cách nước là 50 mm, và đáp ứng các điều kiện áp dụng của kỹ thuật.

FIG.9 là biểu đồ minh họa mối quan hệ giữa tỷ lệ áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật và góc quay từ khuyết tật nhân tạo có đường kính 0,2 mm ở độ sâu bề mặt 21 mm. Các giá trị đo thực tế của các tỷ lệ áp suất âm nhận được thường trùng với các giá trị được tính toán, và đã được xác nhận rằng việc tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được trong kỹ thuật của sáng chế là có hiệu quả. FIG.10 là biểu đồ minh họa mối quan hệ giữa chiều rộng kết hợp được tính toán dựa trên sự phân bố của tỷ lệ áp suất âm nhận được được minh họa trên FIG.9, và hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E. Tuy nhiên, các giá trị được tính toán (đường cong L1) trên FIG.10 là các giá trị thu được do kết quả của việc thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ với chiều rộng kết hợp đối xứng âm-dương xung quanh góc quay 0° sử dụng các giá trị đã được tính toán của các tỷ lệ áp suất âm nhận được được minh họa trên FIG. 9.

Trong đường cong L1 của các giá trị được tính toán được minh họa trên FIG.10, hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E lấy giá trị lớn nhất 9,2 dB tại chiều rộng kết hợp $8,4^\circ$. Do đó, chiều rộng kết hợp N thỏa mãn $2,4^\circ \leq N \leq 21,6^\circ$ mà thỏa mãn biểu thức của hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E $\geq 6,4$ dB. Hơn nữa, đường cong L2 của các giá trị đo thực tế về cơ bản trùng với xu hướng của đường cong L1 của các giá trị được tính toán, và hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E được cực đại hóa ở chiều rộng kết hợp $8,4^\circ$. Do đó, người ta đã xác nhận rằng phương pháp xác định chiều rộng kết hợp theo sáng chế là có hiệu quả.

FIG.11(a) và FIG.11(b) mỗi hình là biểu đồ minh họa các kết quả của việc thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm đối với khuyết tật nhân tạo có đường kính 0,2 mm ở độ sâu bề mặt 21 mm, khi quá trình xử lý tín hiệu theo sáng chế không được thực hiện. Các hình FIG.12(a) và FIG.12(b) mỗi hình là biểu đồ minh họa các kết quả của

việc thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm đối với khuyết tật nhân tạo có đường kính 0,2 mm ở độ sâu bề mặt 21 mm, khi quá trình xử lý tín hiệu theo sáng chế được thực hiện. Trong thử nghiệm, chiều rộng kết hợp mà tối đa hóa tỷ lệ S/N được tính toán, và chiều rộng kết hợp được đặt đến 8,4°. Như được minh họa trên các hình FIG.12(a) và FIG.12(b), khi quá trình xử lý tín hiệu theo sáng chế được thực hiện, tỷ lệ S/N được cải thiện thêm 6 dB và khuyết tật có đường kính 0,2 mm được phát hiện khi tỷ lệ S/N là 21 dB.

Phương án thứ hai

Tiếp theo, tham chiếu từ FIG.13 đến FIG.18, cấu hình và hoạt động của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, mà là phương án thứ hai của sáng chế, sẽ được mô tả.

Cấu hình

Đầu tiên, với tham chiếu đến FIG.13, cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, mà là phương án thứ hai của sáng chế, sẽ được mô tả.

FIG.13 là sơ đồ dạng giản đồ minh họa cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm, mà là phương án thứ hai của sáng chế. Như minh họa trên FIG.13, cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm 1, mà là phương án thứ hai của sáng chế, khác với cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm 1, mà là phương án đầu tiên của sáng chế được minh họa trên FIG.1, trong đó (1) tấm thép SP được sản xuất bằng cách cán một miếng thép đúc là vật liệu kiểm tra, và (2) tấm thép SP được chuyển bằng dây chuyền 21 để đi qua bên dưới đầu dò siêu âm 11 dọc theo hướng chiều dọc của tấm thép SP. Bởi vì các điểm khác giống với cấu hình của thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm 1, là phương án đầu tiên của sáng chế được minh họa trên FIG.1, mô tả của nó sẽ được bỏ qua bên dưới.

Xác định điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ

Tiếp theo, tham chiếu từ FIG.14 đến FIG.18, hoạt động của thiết bị xử lý tín hiệu 19 khi các điều kiện của quá trình tổng hợp khẩu độ được xác định sẽ được mô tả. Toàn bộ trình tự xác định điều kiện quá trình tổng hợp khẩu độ giống như trình tự xác định điều kiện quá trình tổng hợp khẩu độ mà là phương án đầu tiên của sáng chế được minh họa trên FIG.2. Tuy nhiên, do vật liệu kiểm tra được thay đổi từ thanh tròn RB sang tấm thép SP nên một phần nội dung của quá trình tính toán đường lan truyền, quá trình tính

toán thời gian trễ, quá trình tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được và quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu khác với nội dung trong phương án đầu tiên. Vì vậy, trong phần sau đây, chỉ sự khác biệt giữa các quá trình sẽ được mô tả.

Quá trình tính toán đường lan truyền

FIG.14 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích một khía cạnh của quá trình tính toán đường lan truyền, mà là phương án thứ hai của sáng chế. Sau đây, P và P' chỉ ra vị trí của đầu dò siêu âm 11 mà di chuyển theo hướng dọc của tấm thép SP, P_F cho biết vị trí khuyết tật giả định, O chỉ ra điểm giao nhau giữa đoạn thẳng, mà nối với vị trí P của đầu dò siêu âm 11 và vị trí khuyết tật giả định P_F, và bề mặt của tấm thép SP, Vw cho biết tốc độ âm trong nước, mà là môi trường trong phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm trong nước, và V_s cho biết tốc độ âm trong tấm thép SP.

Đầu tiên, theo phương án, góc tới θ_w của tín hiệu siêu âm thu được, bằng cách thiết lập điểm tới X của tín hiệu siêu âm, và từ góc giữa đoạn thẳng P'X và đoạn thẳng XY. Đoạn thẳng XY là pháp tuyến của tấm thép SP đi qua điểm tới X. Tiếp theo, theo định luật Snell, góc khúc xạ θ_s của tín hiệu siêu âm thỏa mãn biểu thức (6) được mô tả ở trên. Do đó, góc khúc xạ θ_s của tín hiệu siêu âm có thể nhận được bằng cách thay góc tới θ_w của tín hiệu siêu âm vào biểu thức (6). Hơn nữa, giao điểm C giữa đường thẳng đi qua điểm tới X của tín hiệu siêu âm và bị khúc xạ tại góc khúc xạ θ_s , và đoạn thẳng OP có thể thu được. Do đó, bằng cách tìm điểm tới X của tín hiệu siêu âm mà tại đó giao điểm C trùng với vị trí khuyết tật giả định P_F, trong khi thay đổi điểm tới X của sóng siêu âm, có thể tính được đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đó mà là đường tới được tạo ra tại điểm tới X và đi qua vị trí khuyết tật giả định P_F.

FIG.15 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích khía cạnh khác của quá trình tính toán đường lan truyền mà là phương án thứ hai của sáng chế. Đầu tiên, theo phương án, góc tới θ_w của tín hiệu siêu âm thu được, bằng cách thiết lập điểm tới X của tín hiệu siêu âm, và từ góc giữa đoạn thẳng P'X và đoạn thẳng XY. Sau đó, bằng cách tìm góc θ giữa đoạn thẳng XY và đoạn thẳng P_FX mà thỏa mãn định luật Snell được chỉ ra trong biểu thức (7) được mô tả ở trên, đồng thời thay đổi điểm tới X của tín hiệu siêu âm, có thể tính được đường lan truyền của tín hiệu siêu âm mà là đường tới được tạo ra tại điểm tới X và đi qua vị trí khuyết tật giả định P_F.

Quá trình tính toán thời gian trễ

FIG.16 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích quá trình tính toán thời gian trễ mà là phương án thứ hai của sáng chế. Như được minh họa trên FIG.16, khi tương quan vị trí giữa đầu dò siêu âm 11 và khuyết tật bên trong được đặt ở vị trí khuyết tật giả định P_F thay đổi, cường độ và thời gian nhận của tín hiệu khuyết tật nhận được bởi đầu dò siêu âm 11 thay đổi. Cụ thể hơn, tín hiệu khuyết tật thứ ba RW3 và tín hiệu khuyết tật thứ tư RW4 là tín hiệu phản xạ của các sóng siêu âm từ các khuyết tật nhận được khi đầu dò siêu âm 11 ở vị trí P4 và vị trí P5. Trong ví dụ này, khi tốc độ âm trong nước, mà là môi trường trong phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm trong nước, được gọi là V_w , và khi tốc độ âm trong tấm thép SP được gọi là V_s , thời gian truyền T3 của tín hiệu khuyết tật thứ ba RW3 có thể được tính bằng biểu thức (8) được mô tả ở trên (thay T1 bằng T3), thời gian lan truyền T4 của tín hiệu khuyết tật thứ tư RW4 có thể được tính bằng biểu thức (9) được mô tả ở trên (thay T2 bằng T4), và thời gian trễ $\Delta T1$, là hiệu số giữa thời gian lan truyền T3 và thời gian lan truyền T4, có thể được tính bằng biểu thức (10) được mô tả ở trên (thay ΔT bằng $\Delta T1$).

Trong ví dụ này, các tín hiệu khuyết tật được kết hợp bằng cách tính toán các khoảng thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật tương ứng với tín hiệu khuyết tật tham chiếu tại mỗi vị trí được nhận. Do đó, nhiễu ngẫu nhiên loại bỏ lẫn nhau, và tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật sẽ được cải thiện. Nếu tín hiệu khuyết tật thứ tư RW4 được sử dụng làm tham chiếu, tín hiệu khuyết tật thứ ba RW3 bị trễ bởi thời gian trễ $\Delta T1$ và được cộng vào. Do đó, nhiễu ngẫu nhiên loại bỏ lẫn nhau, và các tín hiệu khuyết tật, các giai đoạn được căn chỉnh, tăng cường lẫn nhau. Do đó, tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật trở nên cao hơn so với trước khi quá trình tổng hợp khẩu độ được thực hiện. Hơn nữa, bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ bằng cách tính toán thời gian trễ tại vị trí của đầu dò siêu âm 11 và tại mỗi vị trí độ sâu của tấm thép SP, có thể phát hiện tín hiệu khuyết tật ở tỷ lệ S/N cao, bất kể độ sâu của khuyết tật trong thép tấm SP.

Quá trình tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được và quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu

FIG.17 là biểu đồ minh họa các kết quả mô phỏng mối quan hệ giữa chiều rộng kết hợp và hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E. Cụ thể hơn, FIG.17 chỉ ra các kết quả mô phỏng mối quan hệ giữa chiều rộng kết hợp và hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E, khi phát hiện khuyết tật bằng siêu âm được thực hiện trên tấm thép SP có chiều dày tấm 150 mm, trong khi

di chuyển đầu dò siêu âm tròn có đường kính 12,6 mm và tần số 5 MHz theo hướng chiều rộng của tấm thép SP ở độ cao 0,05 mm và quá trình tổng hợp khẩu độ được thực hiện đối với các khuyết tật bên trong nằm ở độ sâu 25, 50, 75, 100 và 125 mm (các độ sâu 25, 50, 75, 100 và 125). Như được minh họa trên FIG.17, chiều rộng kết hợp tối đa hóa hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E khác nhau ở mỗi vị trí độ sâu, và khi chiều rộng kết hợp được cố định đến 0,8 và 2,6 mm ở mọi vị trí độ sâu, so với khi chiều rộng kết hợp tối ưu được đặt ở mọi độ sâu vị trí, tỷ lệ S/N được giảm tối đa 4 dB. Tuy nhiên, các chiều rộng kết hợp 0,8 và 2,6 mm là giá trị tối ưu của chiều rộng kết hợp khi quá trình tổng hợp khẩu độ được thực hiện ở độ sâu 25 và 125 mm.

FIG.18 là sơ đồ dạng giản đồ để giải thích quá trình tính toán chiều rộng kết hợp tối ưu, mà là phương án thứ hai của sáng chế. Theo phương án này, góc định hướng ψ của tín hiệu siêu âm được tính toán từ đường lan truyền của tín hiệu siêu âm được tính toán trong quá trình tính toán đường lan truyền; sự thay đổi tỷ lệ áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật, khi tương quan vị trí giữa đầu dò siêu âm 11 và khuyết tật được thay đổi, được tính toán; và chiều rộng kết hợp được tính toán từ sự phân bố của tỷ lệ áp suất âm nhận được. Trong ví dụ này, V_1 cho biết tốc độ di chuyển của đầu dò siêu âm 11 theo hướng chiều rộng, V_s cho biết tốc độ âm trong tấm thép SP, f chỉ PRF của đầu dò siêu âm 11, F cho biết tần số của đầu dò siêu âm 11, D cho biết chiều dài của đầu dò siêu âm 11 (bán kính khi đầu dò siêu âm 11 được tạo thành dạng hình tròn và chiều dài cạnh khi đầu dò siêu âm 11 được tạo thành dạng hình chữ nhật), W cho biết khoảng cách giữa đầu dò siêu âm 11 và bề mặt của tấm thép SP, V_w cho biết tốc độ âm trong nước, là môi trường trong phương pháp phát hiện khuyết tật ngâm trong nước, P_F cho biết vị trí khuyết tật giả định trên trục trung tâm của đầu dò siêu âm 11, d cho biết độ sâu của vị trí khuyết tật giả định P_F từ bề mặt tấm thép SP, P' cho biết vị trí của đầu dò siêu âm 11 khi đầu dò siêu âm 11 đã di chuyển từ vị trí ban đầu P bởi x , và ψ chỉ ra góc (góc định hướng) giữa đường lan truyền của tín hiệu siêu âm và trục tâm của đầu dò siêu âm 11 khi quá trình tính toán đường lan truyền được thực hiện tại vị trí P' của đầu dò siêu âm 11 và vị trí khuyết tật giả định P_F .

Về cơ bản, áp suất âm nhận được được tính toán bằng cách giả định trường âm xa, và vị trí khuyết tật giả định P_F cần phải thỏa mãn biểu thức (11) được mô tả ở trên. Trong ví dụ này, khoảng cách giới hạn trường âm gần x_0 được biểu thị bằng biểu thức

(12) được mô tả ở trên. Tuy nhiên, nếu vị trí khuyết tật giả định P_F không thỏa mãn biểu thức (11) được mô tả ở trên, thì chiều rộng kết hợp cũng có thể được tính bằng cách thu áp suất âm trong trường âm gần.

Nếu đầu dò siêu âm 11 được tạo thành dạng hình tròn, tỷ lệ (tỷ lệ áp suất âm nhận được) R của áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí P' đối với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí P có thể được biểu diễn bằng các biểu thức từ (13) đến (15) được mô tả ở trên, sử dụng góc định hướng ψ . Mặt khác, khi đầu dò siêu âm 11 được tạo thành dạng hình chữ nhật, tỷ lệ áp suất âm nhận được R có thể được biểu thị bằng các biểu thức (13), (15) và (16) được mô tả ở trên, sử dụng góc định hướng ψ .

Theo phương án, chiều rộng kết hợp được tính sử dụng tỷ lệ áp suất âm nhận được R được tính sử dụng các quá trình được mô tả ở trên. Cụ thể hơn, đầu dò siêu âm 11 nhận được tín hiệu khuyết tật mỗi khi đầu dò siêu âm 11 di chuyển vị trí theo Δx . Bước chuyển động Δx được biểu diễn bằng biểu thức (22) sau đây.

$$\Delta x = \frac{V_1}{f} \quad (22)$$

Tỷ lệ áp suất âm nhận được sau khi tổng hợp sau kẽ hở S có được bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khâu độ trong đó thời gian trễ được nhân với tín hiệu khuyết tật thu được trong phạm vi mà vị trí của đầu dò siêu âm 11 đã di chuyển từ $-n_1\Delta x$ đến $n_2\Delta x$, và được cộng vào và được tính trung bình. Tỷ lệ áp suất âm S nhận được sau tổng hợp khâu độ được biểu thị bằng biểu thức (23) sau đây. Trong biểu thức (23), $R(n\Delta x)$ cho biết tỷ lệ áp suất âm nhận được tại vị trí mà đầu dò siêu âm 11 đã di chuyển từ vị trí P một khoảng $n\Delta x$. Vị trí P của đầu dò siêu âm 11 không chỉ được đặt trên trục trung tâm của đầu dò siêu âm 11, và có thể được đặt theo các điều kiện phát hiện khuyết tật.

$$S = \sum_{n=-n_1}^{n_2} \frac{R(n\Delta x)}{n_1 + n_2 + 1} \quad (23)$$

Nếu giả định rằng nhiễu trở thành $1/(N+1)^{1/2}$ bằng cách cộng và lấy trung bình theo số lần cộng ($N+1 = n_1 + n_2 + 1$), thì hệ số cải thiện tỷ lệ S/N E sau quá trình tổng hợp khâu độ được thực hiện theo tỷ lệ S/N tại vị trí P của đầu dò siêu âm 11 được biểu thị bằng biểu thức (19) được mô tả ở trên.

Do đó, bằng cách đặt chiều rộng kết hợp N mà tối đa hóa hệ số cải thiện tỷ lệ S/N

E bằng biểu thức (19), và thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ, có thể tối đa hóa tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật. Hơn nữa, bằng cách xác định số lần phép cộng ($N+1 = n_1 + n_2 + 1$) thỏa mãn biểu thức (20) được mô tả ở trên, và thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ, có thể cải thiện đầy đủ tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật. Tương tự như phương án đầu tiên, tốt hơn là hiệu chỉnh cường độ, mà bị giảm bởi quá trình tổng hợp khẩu độ, thành cường độ trước khi quá trình này được thực hiện.

Các phương án mà qua đó sáng chế được thực hiện bởi các tác giả được áp dụng đã được mô tả. Tuy nhiên, sáng chế không bị giới hạn ở phần mô tả và các hình vẽ tạo nên một phần của sự bộc lộ sáng chế theo các phương án. Ví dụ, sáng chế có thể được áp dụng như thiết bị kiểm tra mà cấu hình dây chuyền thiết bị sản xuất vật liệu thép, và khuyết tật có thể được phát hiện bằng cách kiểm tra bên trong vật liệu thép được sản xuất bởi thiết bị sản xuất, thông qua thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo sáng chế. Sáng chế cũng có thể được áp dụng như bước kiểm tra được bao gồm trong phương pháp sản xuất vật liệu thép, và có thể phát hiện khuyết tật bằng cách kiểm tra bên trong vật liệu thép được sản xuất ở bước sản xuất. Ở bước phát hiện khuyết tật, khuyết tật bên trong vật liệu thép được phát hiện trên cơ sở các kết quả của quá trình tổng hợp khẩu độ ở bước kiểm tra, và các kết quả như sự hiện diện của khuyết tật, vị trí của khuyết tật, kích thước của khuyết tật và tương tự là thu được.

Hơn nữa, việc đảm bảo chất lượng cho vật liệu thép cũng có thể được thực hiện bằng cách áp dụng sáng chế vào phương pháp đảm bảo chất lượng vật liệu thép, và việc phát hiện khuyết tật bằng cách kiểm tra bên trong vật liệu thép. Cụ thể hơn, có thể thực hiện đảm bảo chất lượng cho vật liệu thép bằng cách phát hiện khuyết tật bên trong vật liệu thép ở bước phát hiện khuyết tật trong sáng chế, và từ các kết quả phát hiện khuyết tật thu được ở bước phát hiện khuyết tật. Ở bước phát hiện khuyết tật, khuyết tật bên trong vật liệu thép được phát hiện trên cơ sở các kết quả của quá trình tổng hợp khẩu độ ở bước kiểm tra và các kết quả như sự hiện diện của khuyết tật, vị trí của khuyết tật, kích thước của khuyết tật, và tương tự là thu được. Ở bước đảm bảo chất lượng tiếp theo, trên cơ sở các kết quả liên quan đến sự hiện diện của khuyết tật, vị trí của khuyết tật và kích thước của khuyết tật, mà thu được ở bước phát hiện khuyết tật, chất lượng của vật liệu thép được đảm bảo bằng cách xác định xem vật liệu thép được sản xuất có đáp ứng các tiêu chí được chỉ định trước hay không. Theo cách này, các phương án khác, ví dụ, công

nghệ vận hành, và tương tự mà có thể được thực hiện bởi những người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực trên cơ sở các phương án đều nằm trong phạm vi của sáng chế.

Khả năng ứng dụng công nghiệp

Theo sáng chế, có thể đề xuất phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm và thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm mà có thể thực hiện phát hiện khuyết tật bằng siêu âm với khả năng phát hiện và khả năng phân giải cao ở mỗi độ sâu của vật liệu kiểm tra, bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng chiều rộng kết hợp xác định theo lý thuyết mà không sử dụng phương pháp xác định thí nghiệm hoặc thực nghiệm. Hơn nữa, theo sáng chế này, có thể đề xuất dây chuyền thiết bị sản xuất vật liệu thép và phương pháp sản xuất vật liệu thép mà có thể sản xuất vật liệu thép với năng suất tốt. Hơn nữa, theo sáng chế, có thể đề xuất phương pháp đảm bảo chất lượng vật liệu thép có thể cung cấp vật liệu thép chất lượng cao.

Danh sách ký hiệu chỉ dẫn

1 thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm

11 đầu dò siêu âm

12 đầu thăm dò

13 bàn đỡ

14 thiết bị truyền động quay

15 bộ phát xung

16 bộ thu nhận

17 bộ chuyển đổi A/D

18 thiết bị ghi

19 thiết bị xử lý tín hiệu

20 thiết bị hiển thị

RB thanh tròn

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm để kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra, bao gồm:

bước truyền tín hiệu siêu âm từ đầu dò siêu âm đến vật liệu kiểm tra;

bước nhận tín hiệu siêu âm phản xạ bên trong vật liệu kiểm tra thông qua đầu dò siêu âm là tín hiệu khuyết tật;

bước nhận để nhận nhiều tín hiệu khuyết tật thông qua đầu dò siêu âm trong khi thay đổi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm;

bước xác định, trong mỗi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm:

việc tính toán tỷ lệ giữa áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật đối với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí tham chiếu là tỷ lệ áp suất âm nhận được; và

việc xác định chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ tại mỗi vị trí độ sâu của vật liệu kiểm tra dựa trên tỷ lệ áp suất âm nhận được đã được tính toán; và

bước kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng các tín hiệu khuyết tật theo chiều rộng kết hợp đã được xác định.

2. Phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo điểm 1, trong đó bước xác định bao gồm:

việc tính toán tốc độ thay đổi tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật thu được thông qua quá trình tổng hợp khẩu độ từ tốc độ thay đổi của tỷ lệ áp suất âm nhận được; và

việc xác định chiều rộng kết hợp mà làm cho tốc độ thay đổi của tỷ lệ S/N của tín hiệu khuyết tật là giá trị đã được xác định trước hoặc lớn hơn, là chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ.

3. Phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo điểm 1 hoặc điểm 2, trong đó bước xác định bao gồm:

việc tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được R sử dụng góc định hướng ψ của tín hiệu siêu âm sử dụng biểu thức (1) và biểu thức (2) sau đây khi đầu dò siêu âm là đầu dò siêu âm hình tròn; và

việc tính toán tỷ lệ áp suất âm nhận được R sử dụng góc định hướng ψ của tín hiệu siêu âm sử dụng biểu thức (1) và biểu thức (3) sau đây khi đầu dò siêu âm là đầu dò siêu âm hình chữ nhật:

$$R = Dc^2(\psi) \quad (1)$$

$$Dc(\psi) = \frac{2J_1(m)}{m} \quad (2)$$

$$Dc(\psi) = \frac{\sin m}{m} \quad (3)$$

trong đó tham số m trong biểu thức (2) và biểu thức (3) là hệ số được xác định bởi góc định hướng ψ .

4. Phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ điểm 1 đến điểm 3, trong đó bước kiểm tra bao gồm việc hiệu chỉnh cường độ của tín hiệu khuyết tật A thu được thông qua quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng các biểu thức (4) và (5) sau đây, bằng cách chia tín hiệu khuyết tật A cho tỷ lệ áp suất âm nhận được sau tổng hợp khẩu độ S thu được bằng cách cộng và lấy trung bình các tỷ lệ áp suất âm nhận được R_n ($n = 0$ đến N) đối với số $N+1$:

$$B = \frac{A}{S} \quad (4)$$

$$S = \sum_{n=0}^N \frac{R_n}{N+1} \quad (5).$$

5. Phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ điểm 1 đến điểm 4, trong đó bước xác định bao gồm:

việc thiết lập phạm vi tới của tín hiệu siêu âm bất kỳ trong vật liệu kiểm tra từ tương quan vị trí giữa đầu dò siêu âm và vị trí độ sâu của khuyết tật bên trong;

việc tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm trong phạm vi tới đã được thiết lập của tín hiệu siêu âm dựa trên định luật Snell;

việc tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đối với từng vị trí sâu của khuyết tật bên trong bằng cách lặp lại phép tính để xác định xem đường lan truyền của tín hiệu siêu âm có đi qua khuyết tật bên trong hay không bằng phép tính tọa độ; và

việc tính toán các khoảng thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật cần thiết cho quá trình tổng hợp khẩu độ dựa trên đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đối với từng

vị trí độ sâu được tính toán.

6. Phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ điểm 1 đến điểm 4, trong đó bước xác định bao gồm:

việc thiết lập phạm vi tới của tín hiệu siêu âm bất kỳ trong vật liệu kiểm tra từ tương quan vị trí giữa đầu dò siêu âm và vị trí độ sâu của khuyết tật bên trong;

việc tính toán đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đối với từng vị trí độ sâu của khuyết tật bên trong bằng cách lặp lại phép tính để xác định xem góc giữa đường pháp tuyến của vật liệu kiểm tra tại điểm tới của tín hiệu siêu âm có nằm trong phạm vi tới đã được thiết lập của tín hiệu siêu âm và đoạn thẳng nối đầu dò siêu âm và điểm tới của tín hiệu siêu âm, và góc giữa đường pháp tuyến và đoạn thẳng nối vị trí khuyết tật giả định và điểm tới của tín hiệu siêu âm thỏa mãn định luật Snell; và

việc tính toán các khoảng thời gian trễ của các tín hiệu khuyết tật cần thiết cho quá trình tổng hợp khẩu độ dựa trên đường lan truyền của tín hiệu siêu âm đối với từng vị trí độ sâu được tính toán.

7. Thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm để kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra bằng cách truyền tín hiệu siêu âm từ đầu dò siêu âm đến vật liệu kiểm tra, và nhận tín hiệu siêu âm phản xạ bên trong vật liệu kiểm tra thông qua đầu dò siêu âm là tín hiệu khuyết tật, thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm bao gồm:

bộ phận tiếp nhận được cấu hình để nhận nhiều tín hiệu khuyết tật qua đầu dò siêu âm trong khi thay đổi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm;

đơn vị xác định được cấu hình để, trong mỗi tương quan vị trí giữa vật liệu kiểm tra và đầu dò siêu âm:

tính toán tỷ lệ của áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật đối với áp suất âm nhận được của tín hiệu khuyết tật tại vị trí tham chiếu là tỷ lệ áp suất âm nhận được; và

xác định chiều rộng kết hợp trong quá trình tổng hợp khẩu độ tại mỗi vị trí độ sâu của vật liệu kiểm tra dựa trên tỷ lệ áp suất âm nhận được đã tính toán; và

đơn vị kiểm tra được cấu hình để kiểm tra bên trong vật liệu kiểm tra bằng cách thực hiện quá trình tổng hợp khẩu độ sử dụng các tín hiệu khuyết tật theo chiều rộng kết hợp đã được xác định.

8. Dây chuyền thiết bị sản xuất vật liệu thép, dây chuyền thiết bị sản xuất bao gồm:

thiết bị sản xuất được cấu hình để sản xuất vật liệu thép; và
thiết bị phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo điểm 7 được cấu hình để kiểm tra bên trong vật liệu thép được sản xuất bởi thiết bị sản xuất.

9. Phương pháp sản xuất vật liệu thép, phương pháp sản xuất bao gồm:

bước sản xuất để sản xuất vật liệu thép; và

bước phát hiện để phát hiện khuyết tật bên trong vật liệu thép được sản xuất ở bước sản xuất bằng cách sử dụng phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ điểm 1 đến điểm 6.

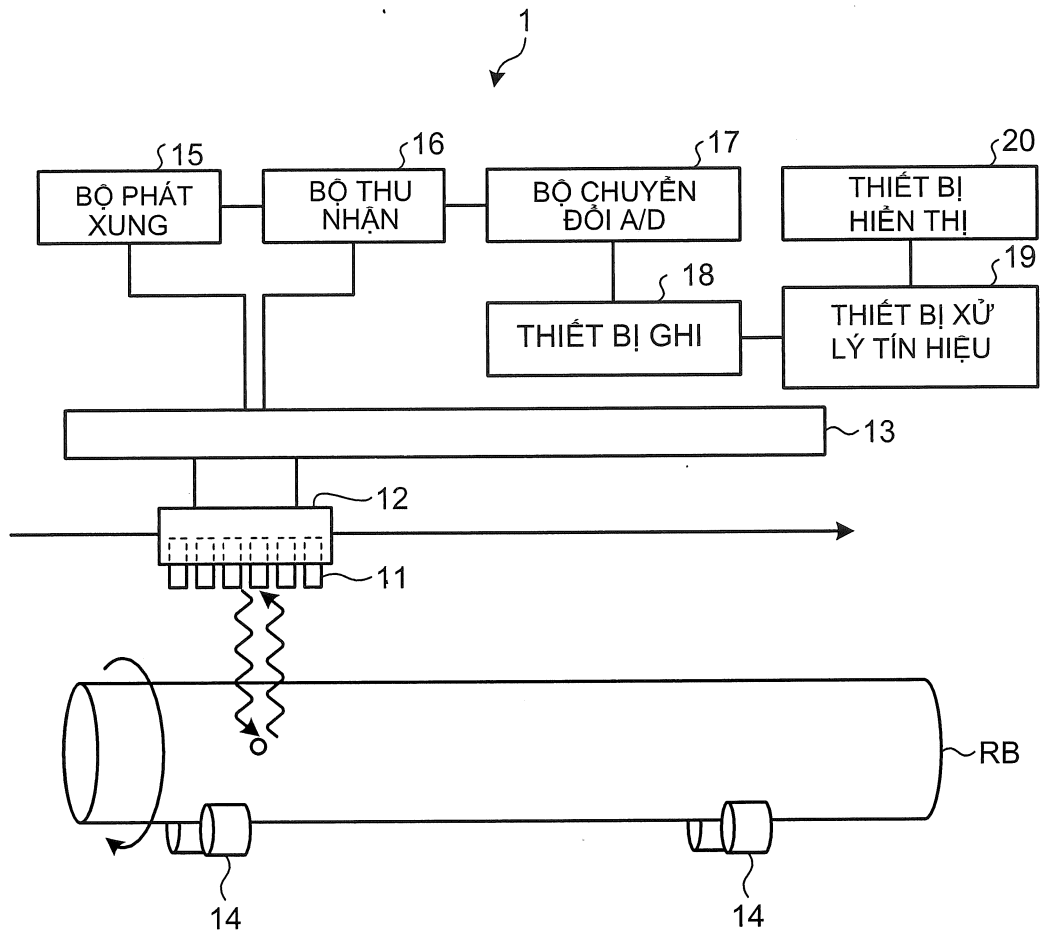
10. Phương pháp đảm bảo chất lượng vật liệu thép, phương pháp đảm bảo chất lượng bao gồm:

bước phát hiện để phát hiện khuyết tật bên trong vật liệu thép bằng cách sử dụng phương pháp phát hiện khuyết tật bằng siêu âm theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ điểm 1 đến điểm 6; và

bước đảm bảo chất lượng để đảm bảo chất lượng vật liệu thép từ kết quả phát hiện khuyết tật thu được ở bước phát hiện khuyết tật.

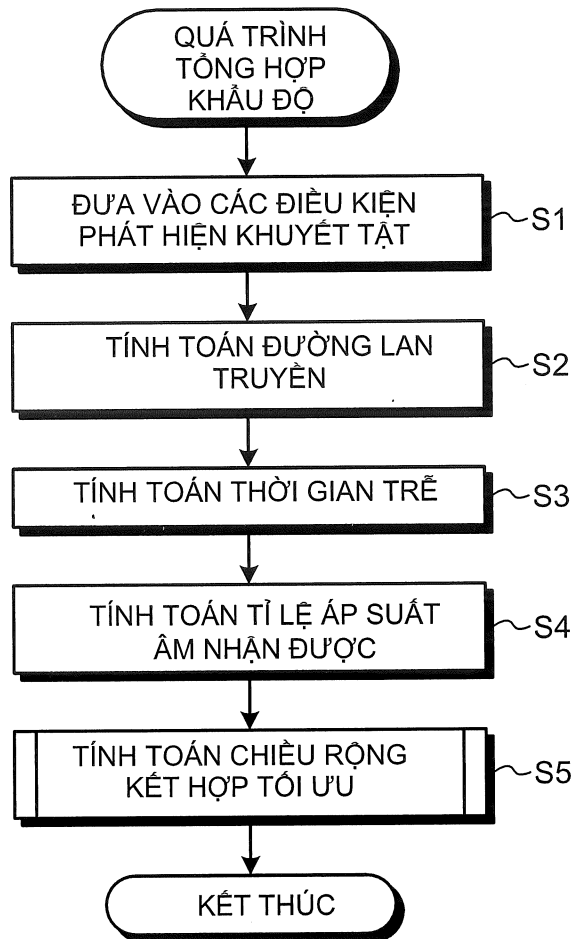
1/15

FIG.1



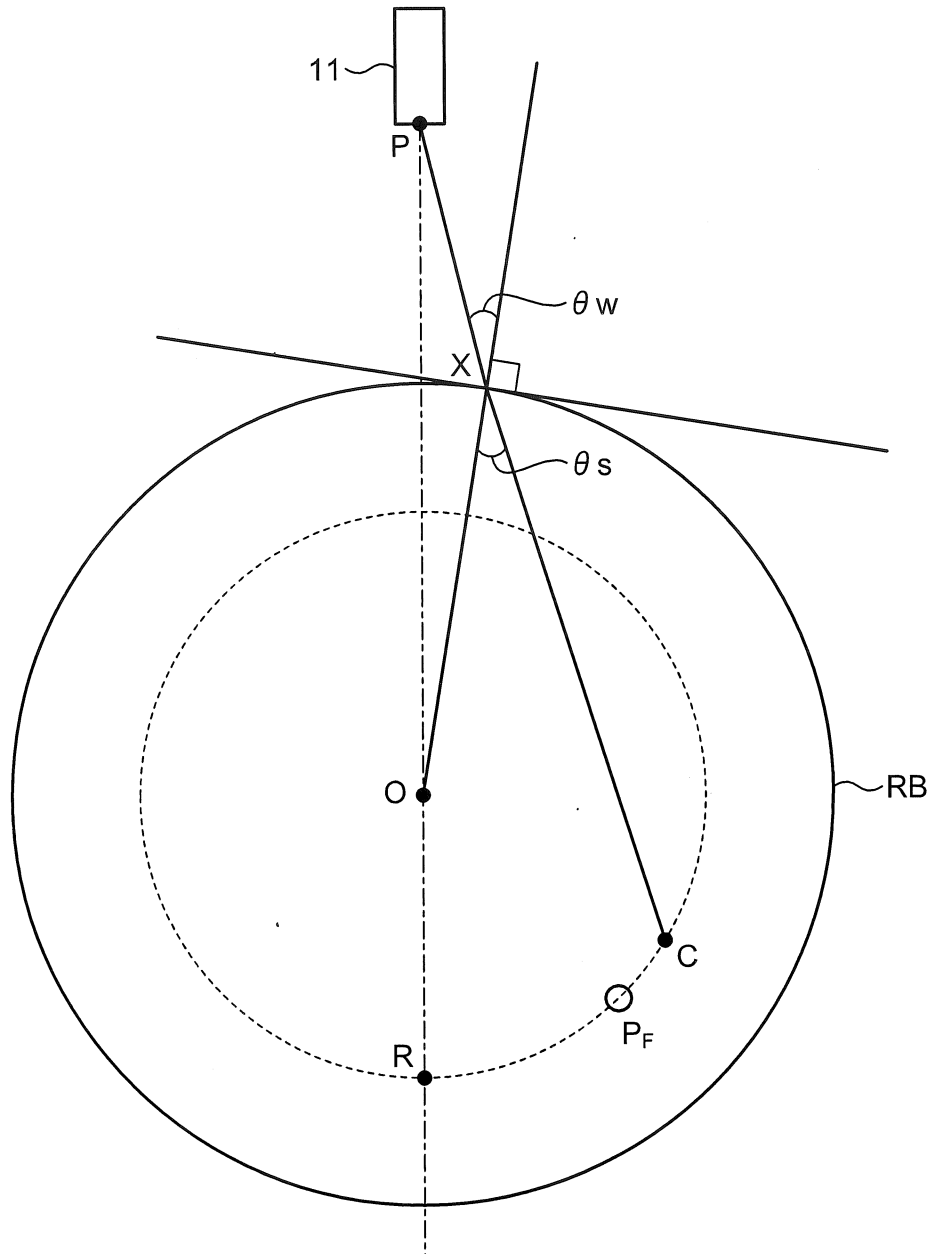
2/15

FIG.2



3/15

FIG.3



4/15

FIG.4

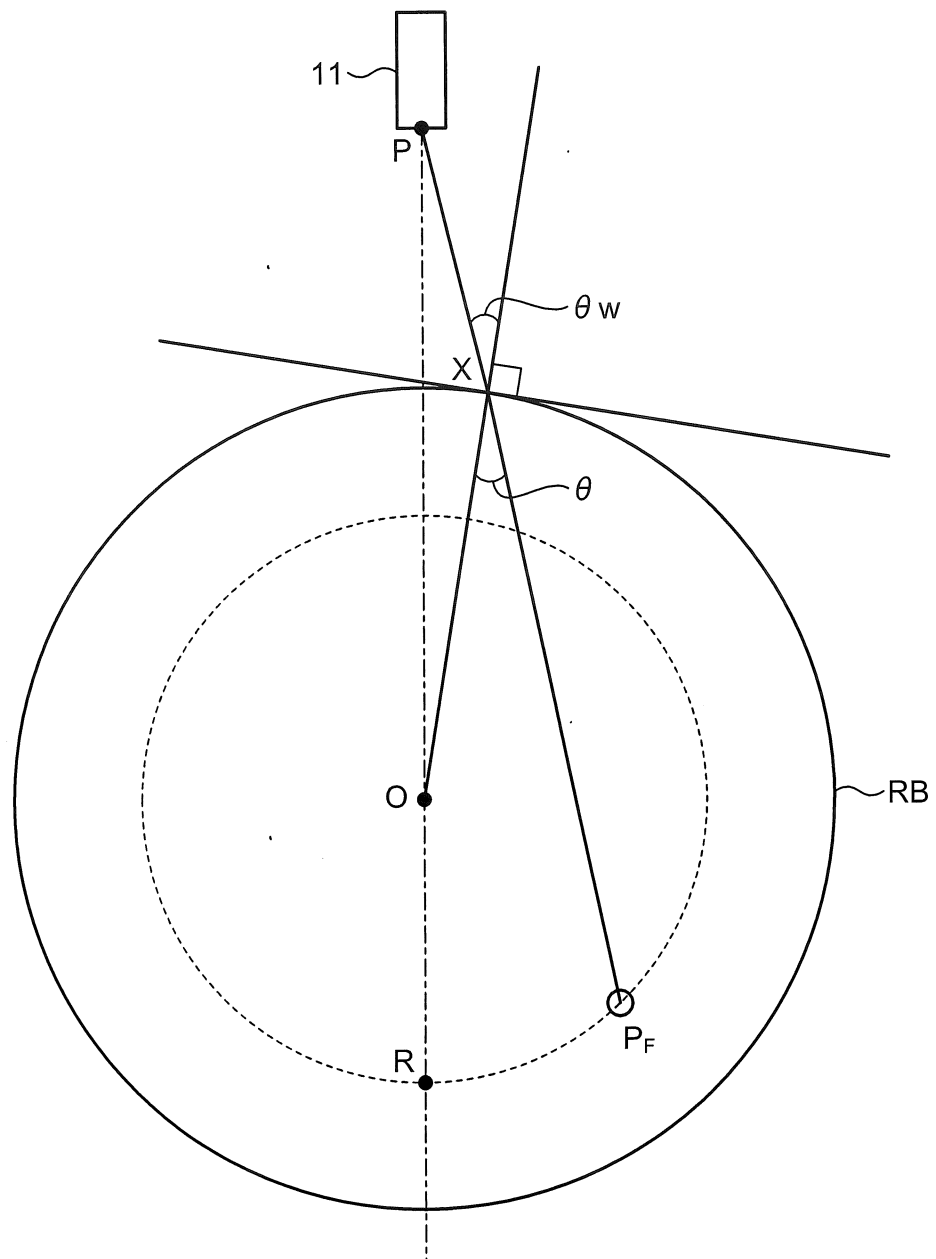
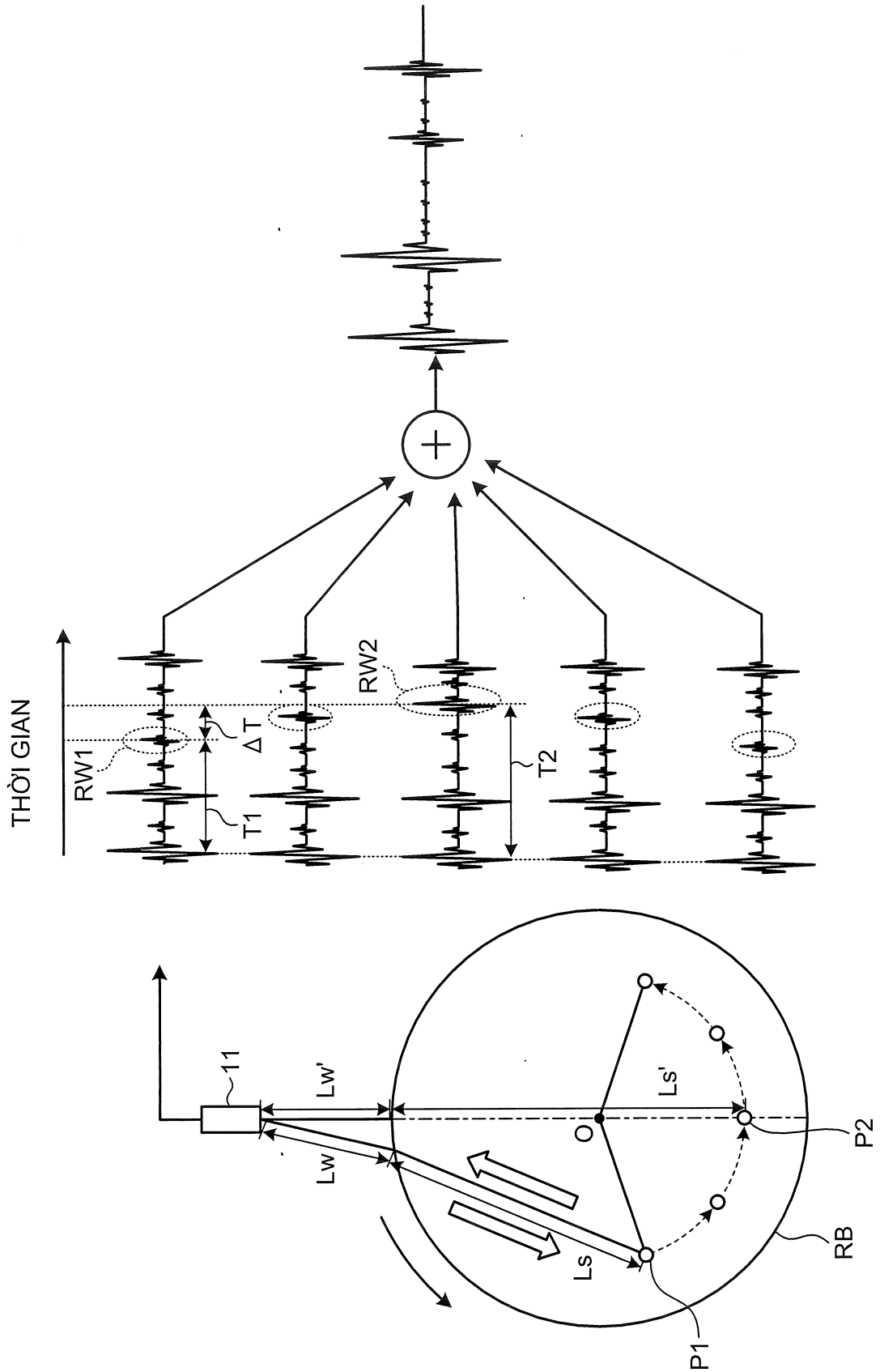
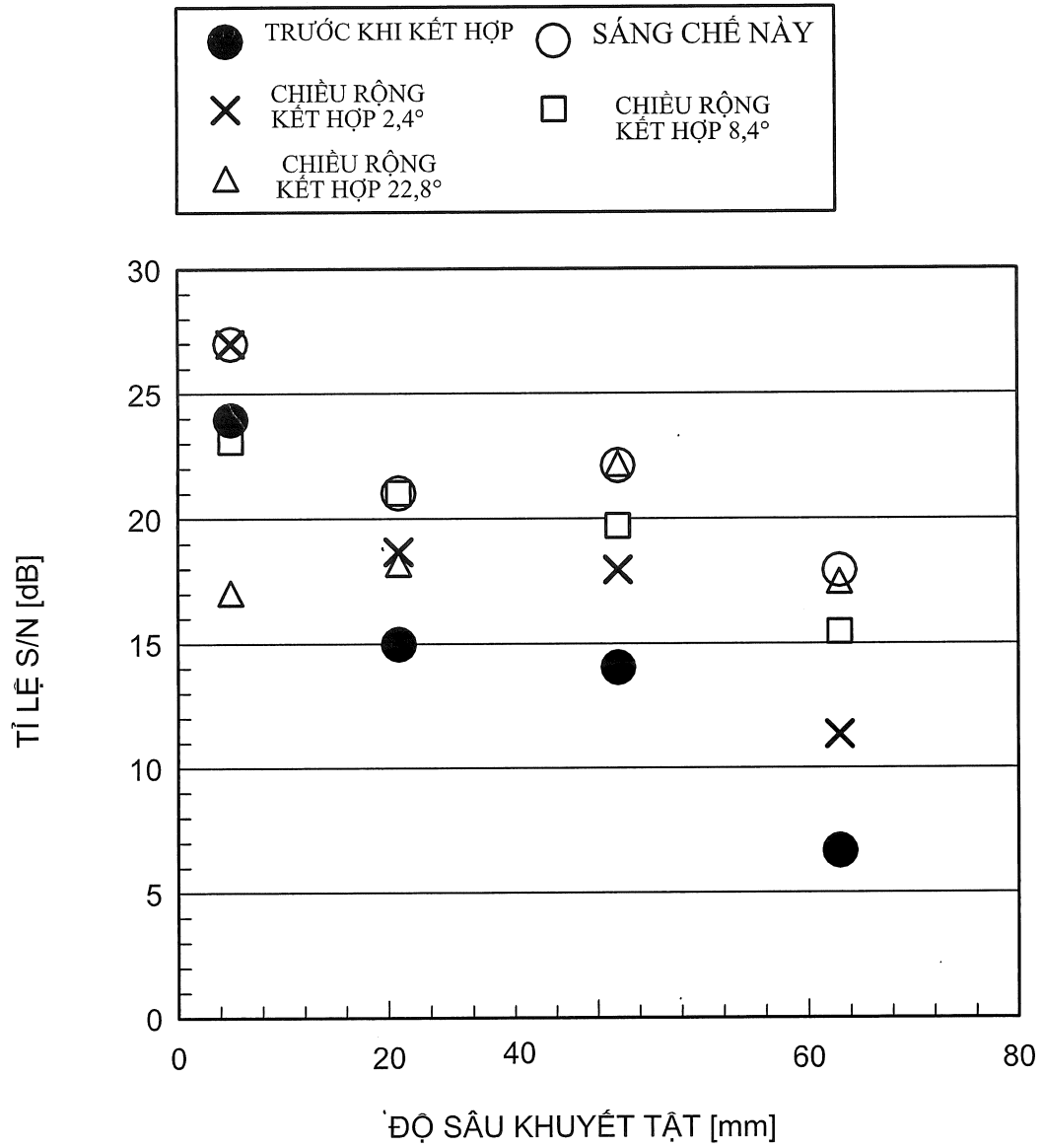


FIG.5



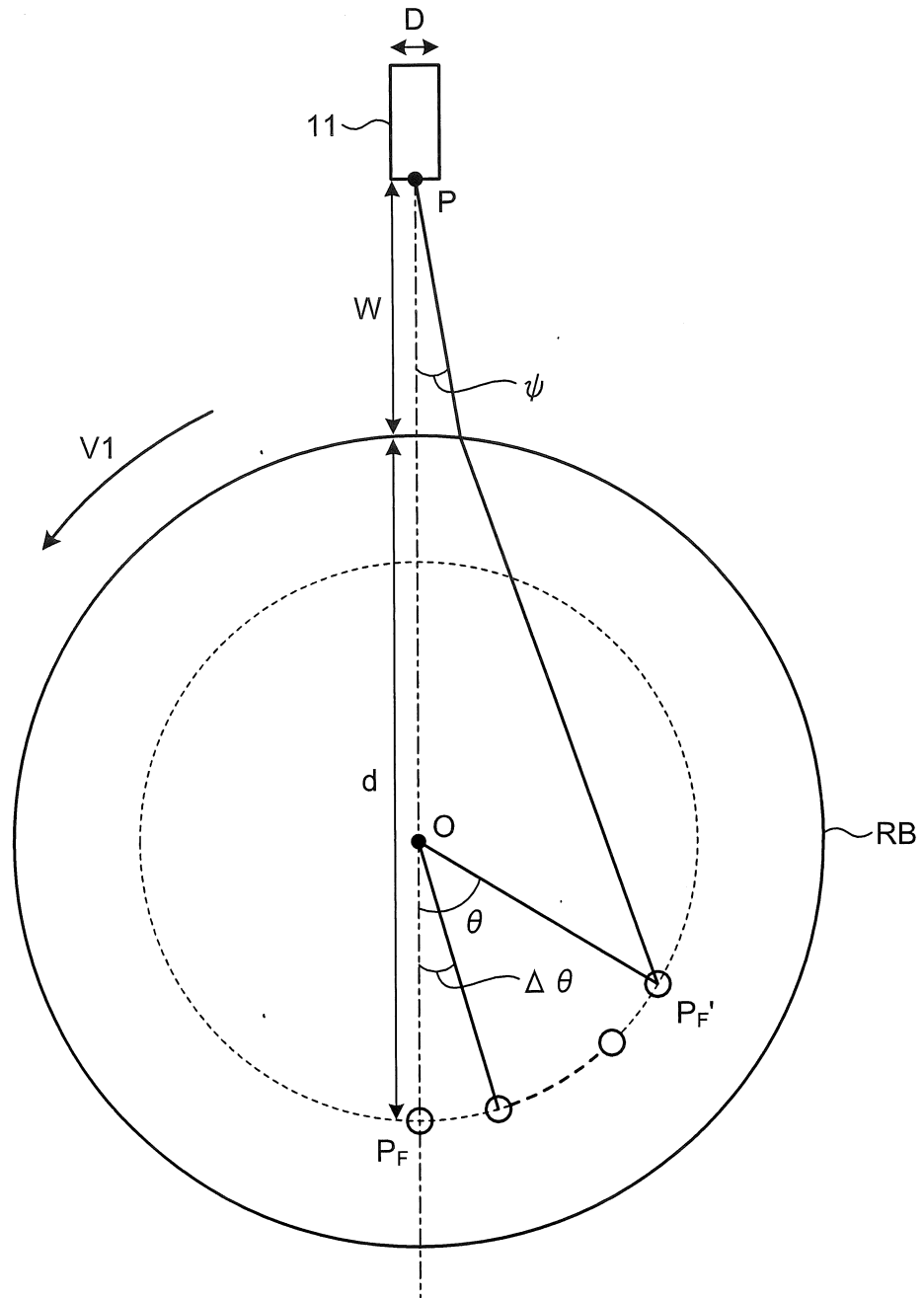
6/15

FIG.6



7/15

FIG. 7



8/15

FIG.8

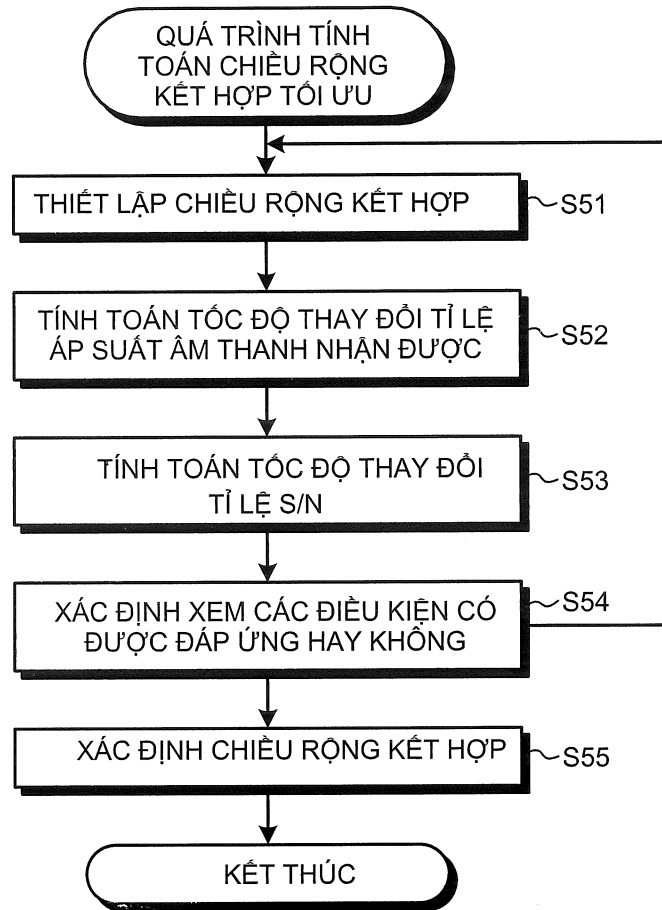
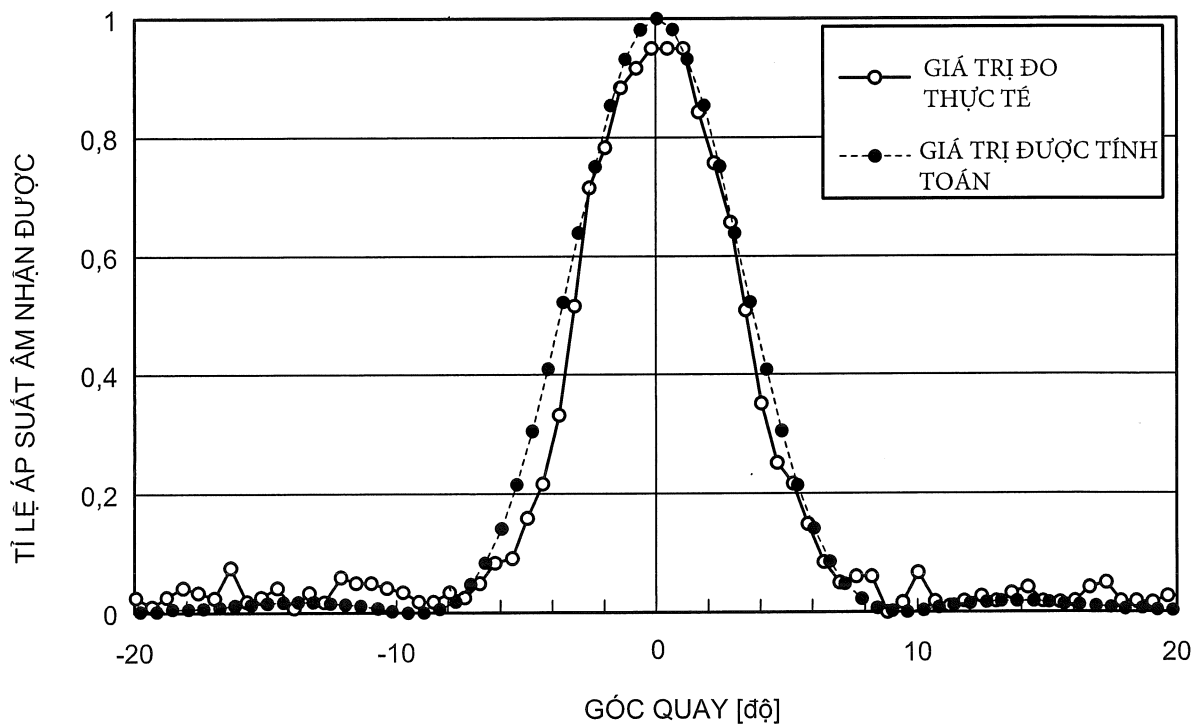
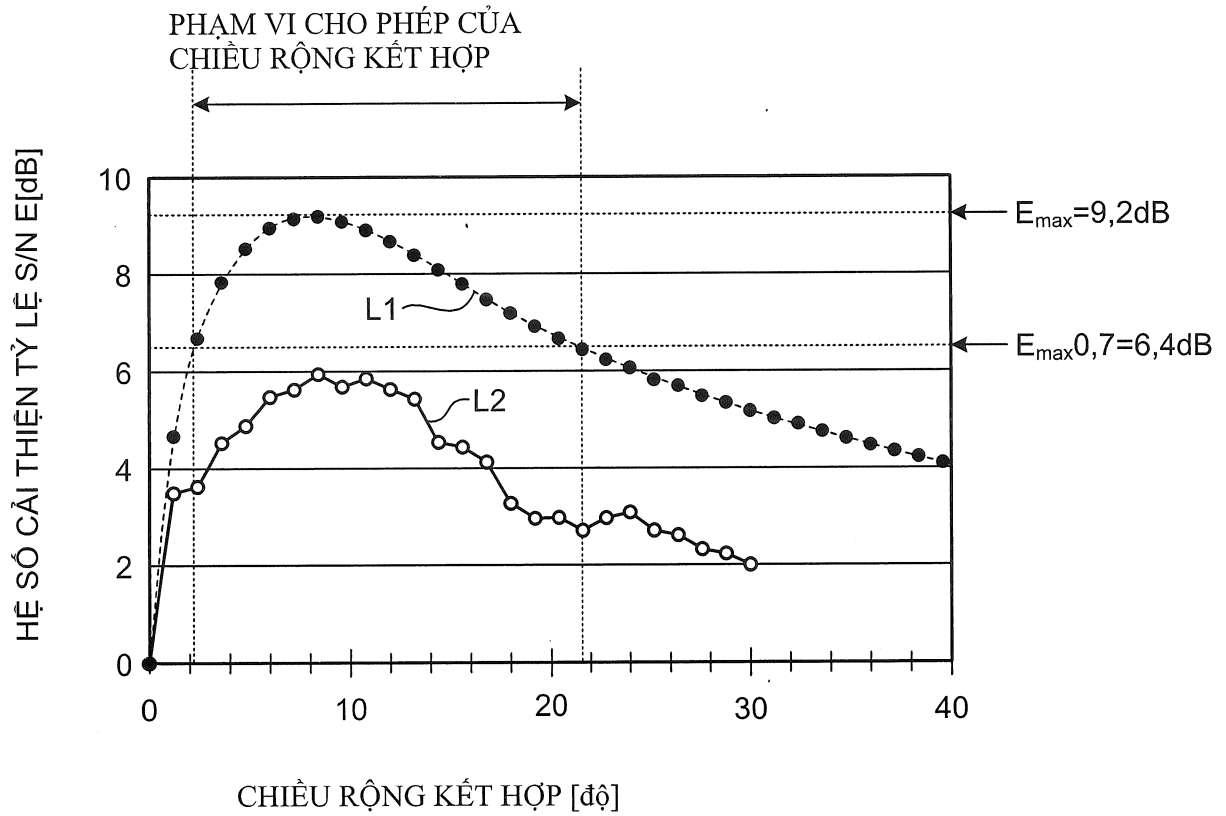


FIG.9



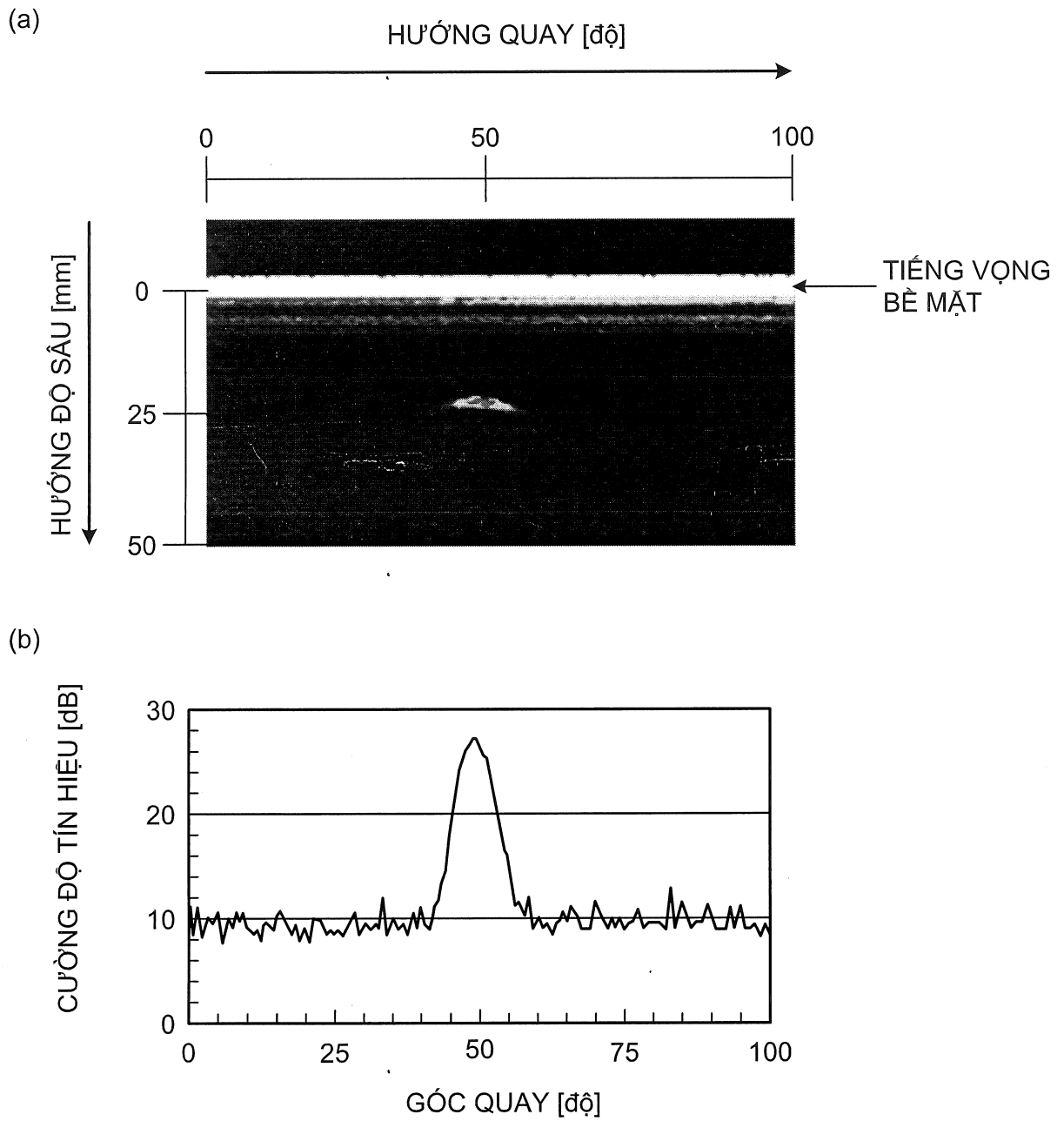
9/15

FIG.10



10/15

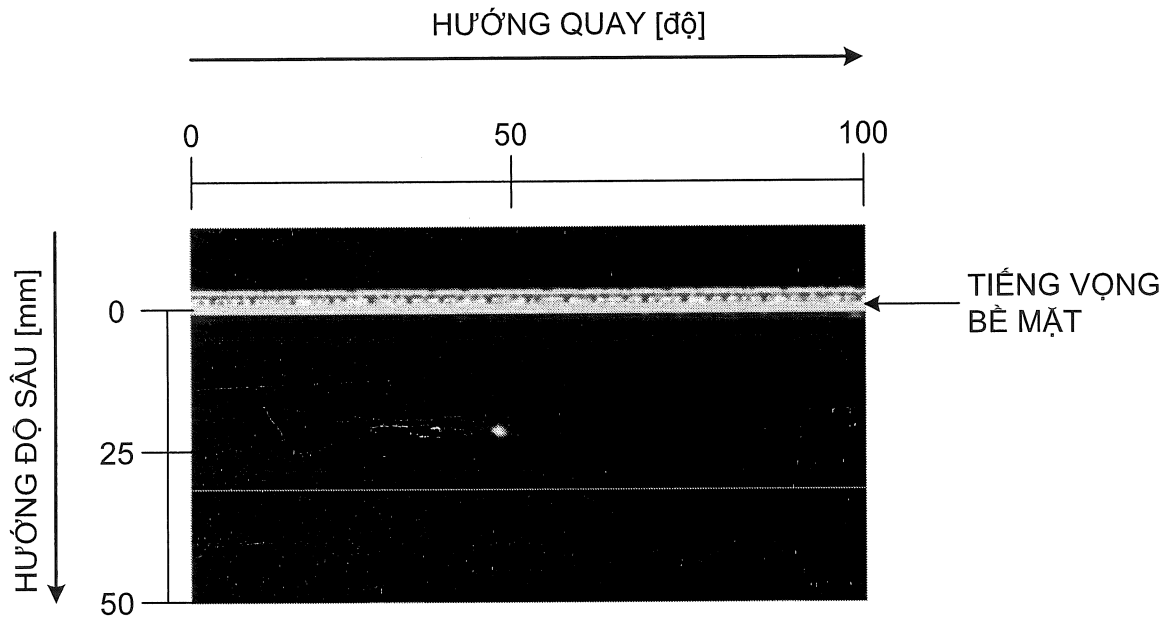
FIG.11



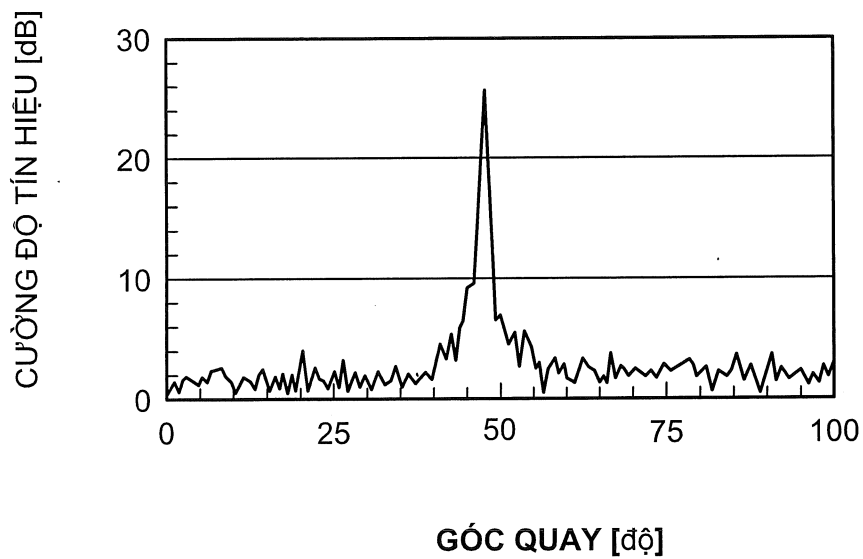
11/15

FIG.12

(a)

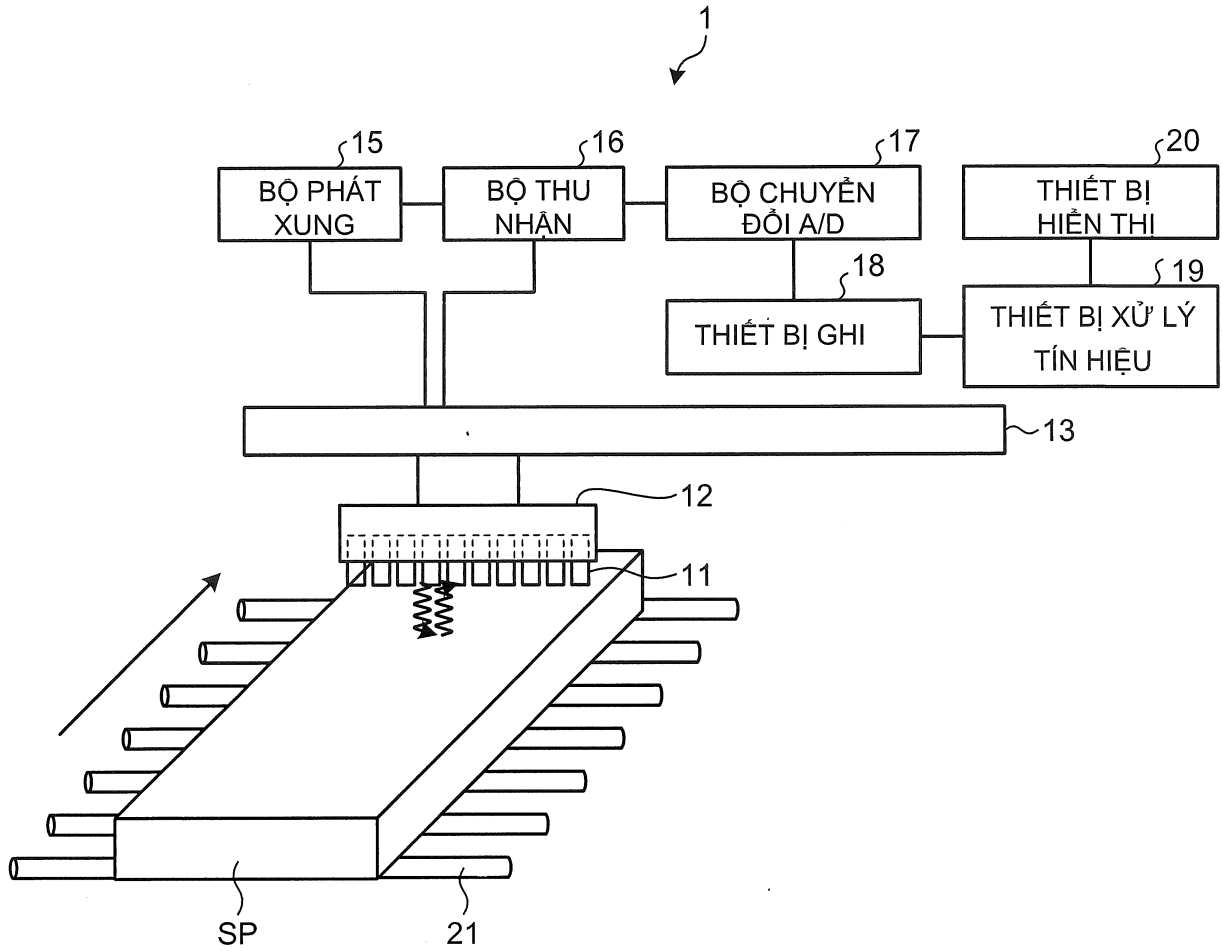


(b)



12/15

FIG.13



13/15

FIG.14

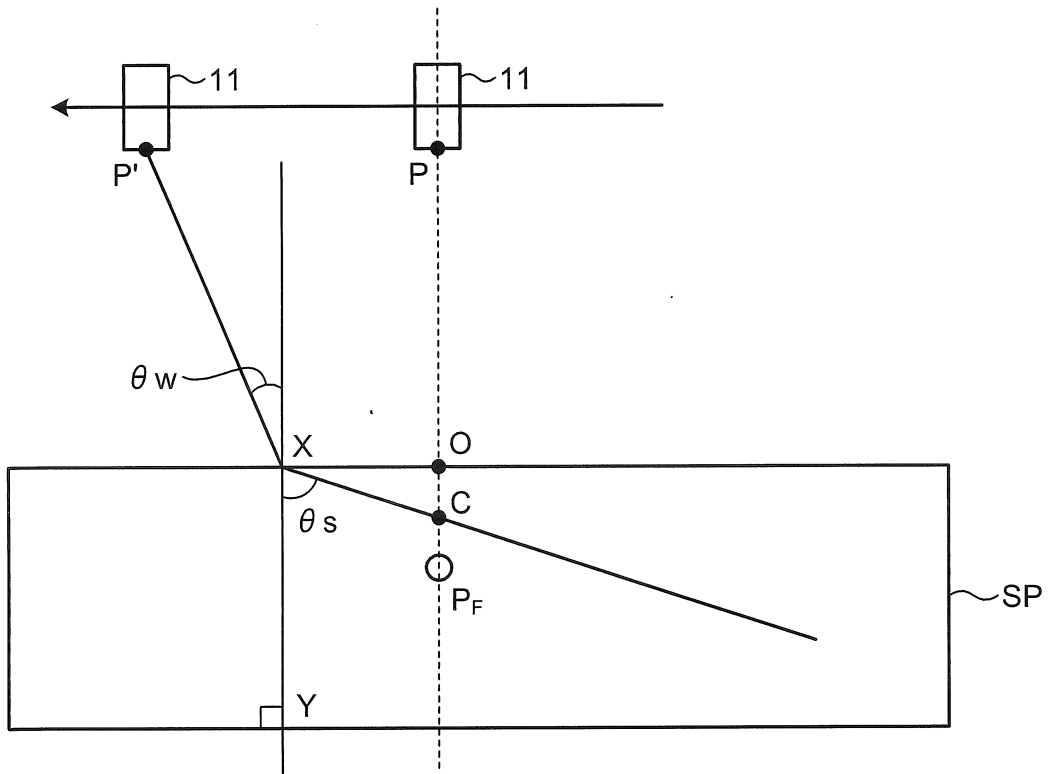


FIG.15

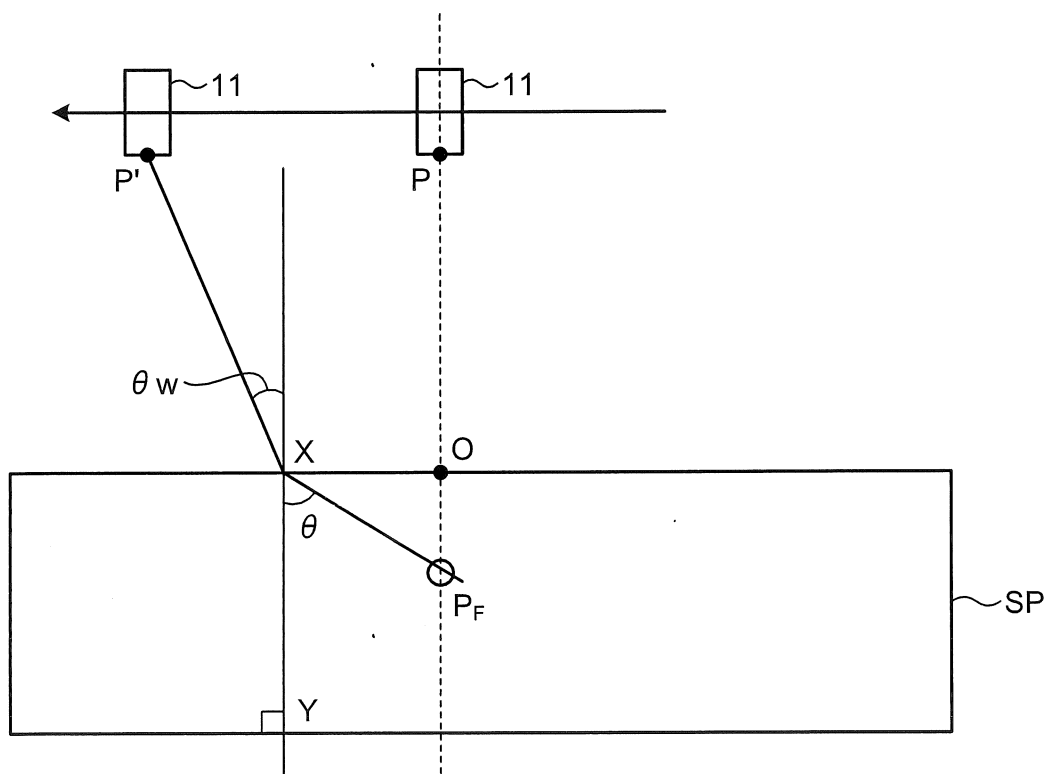
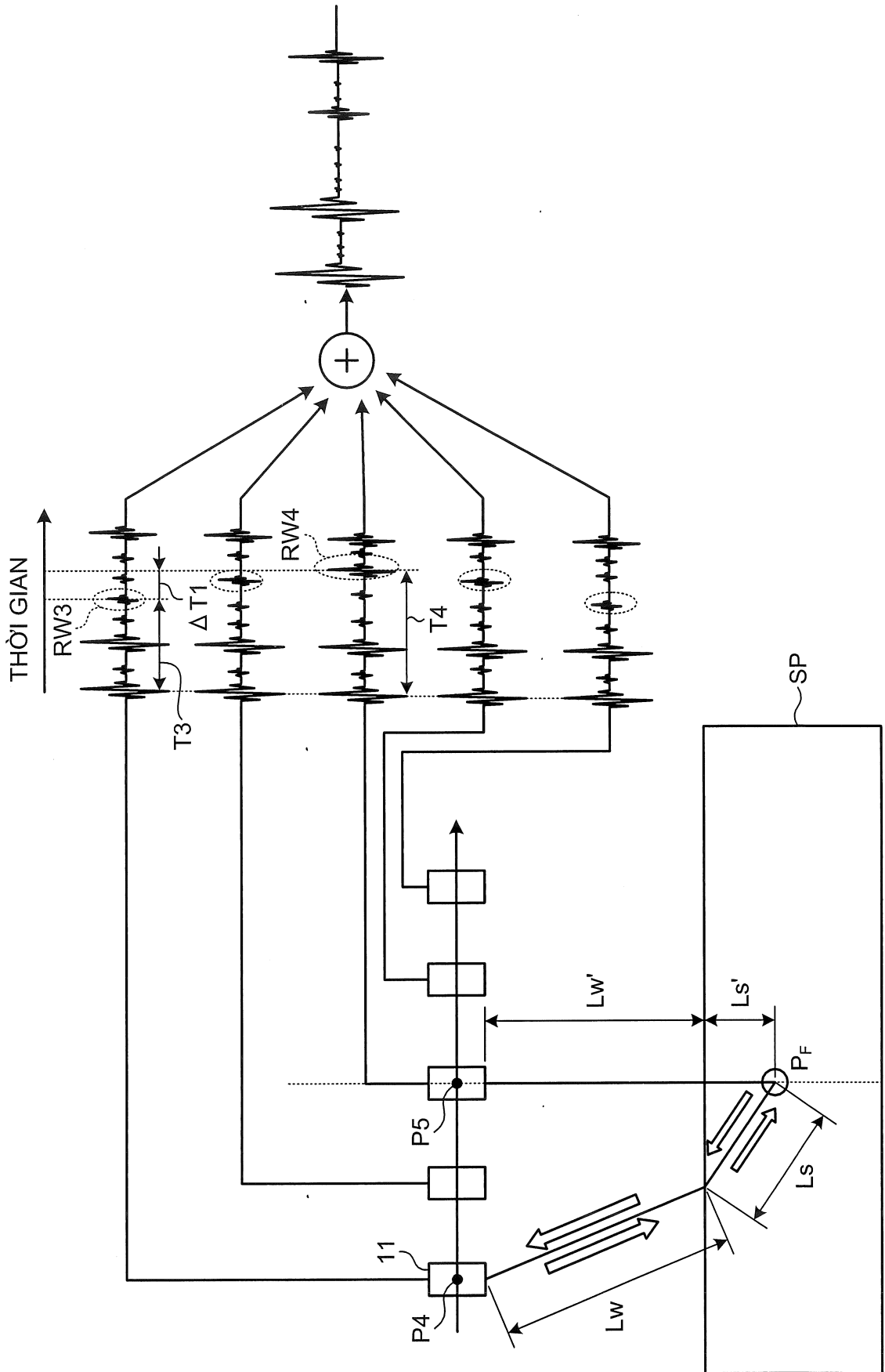


FIG.16



15/15

FIG.17

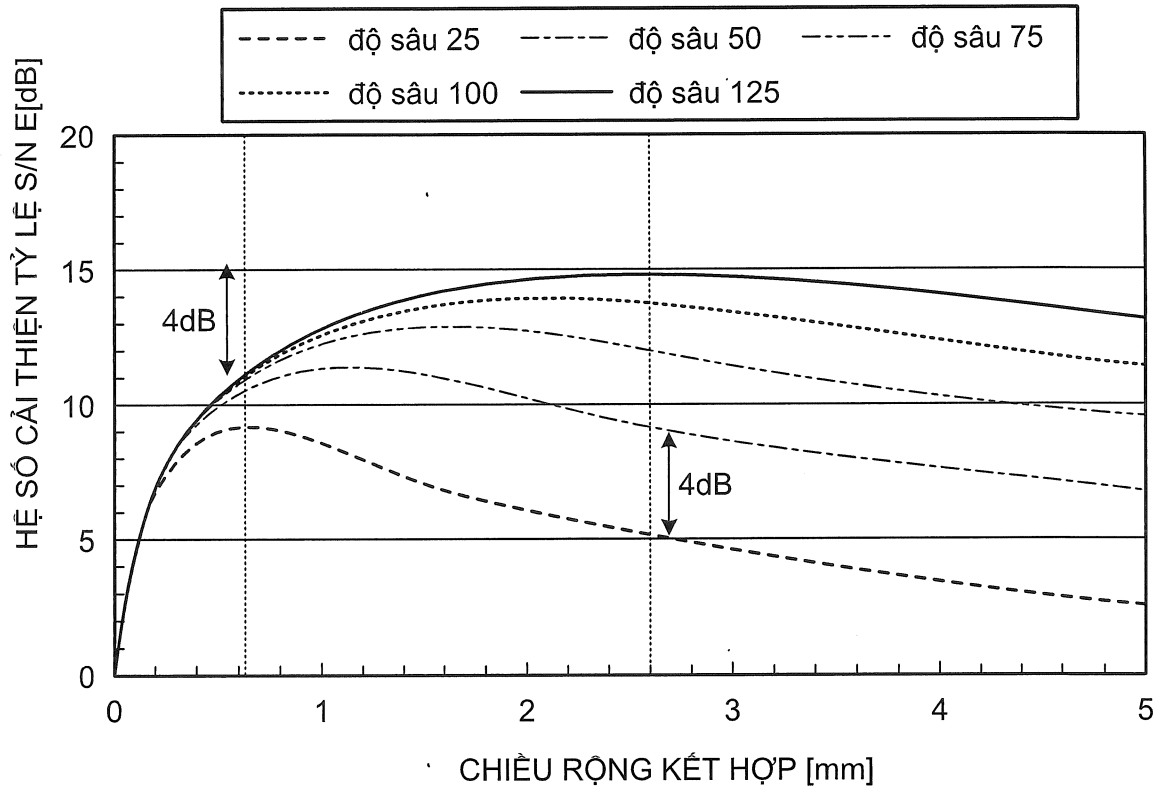


FIG.18

