



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0810036-5 A2**



(22) Data de Depósito: 16/04/2008
(43) Data da Publicação: 08/11/2011
(RPI 2131)

(51) *Int.Cl.:*
C21D 1/10
C21D 1/18
C21D 1/42
H05B 6/06
H05B 6/40
H05B 6/44

(54) **Título:** SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO E MÉTODO DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO DE PLACA DE METAL

(30) **Prioridade Unionista:** 16/04/2007 JP 2007-107497, 15/04/2008 JP 2008-106073

(73) **Titular(es):** Nippon Steel Corporation

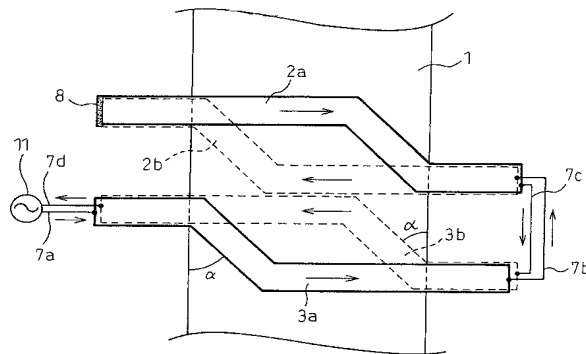
(72) **Inventor(es):** Yoshiaki Hirota

(74) **Procurador(es):** Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) **Pedido Internacional:** PCT JP2008057791 de 16/04/2008

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/130049 de 30/10/2008

(57) **Resumo:** SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO E MÉTODO DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO DE PLACA DE METAL. A presente invenção refere-se a um sistema para aquecimento por indução de uma placa de metal que passa através do interior de uma bobina de indução, sistema de aquecimento por indução este que dispõe pelo menos duas seções da bobina de indução adjacentes, em uma direção longitudinal da dita placa de metal, em que, ao se projetar verticalmente a bobina de indução do lado da superfície frontal e do lado da superfície traseira da dita placa de metal sobre a dita placa de metal, os ditos condutores laterais da superfície frontal e superfície traseira são dispostos deslocados de modo a não se sobreponem na direção longitudinal da dita placa de metal naquela projeção vertical, adicionalmente, os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade e os ditos condutores laterais da superfície traseira estão dispostos tendo uma distância de afastamento maior ou os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade e os ditos condutores laterais da superfície frontal estão dispostos tendo uma distância de afastamento maior, sendo que o dito sistema de aquecimento por indução é capaz de controlar a distribuição da temperatura de aquecimento mesmo para placa de metal final, a despeito de a mesma ser magnética ou não-magnética, em particular, um sistema de aquecimento por indução capaz de controlar a temperatura nas extremidades da placa de metal e um método de aquecimento por indução para o mesmo.





Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA DE
AQUECIMENTO POR INDUÇÃO E MÉTODO DE AQUECIMENTO POR
INDUÇÃO DE PLACA DE METAL**".

Campo Técnico

5 A presente invenção refere-se a um sistema de aquecimento por indução e a um método de aquecimento por indução para uma placa de ferro, alumínio ou outro metal ferroso ou não-ferroso. A presente invenção refere-se, particularmente, a um sistema de aquecimento por indução e a um método de aquecimento por indução capaz de controlar com precisão a
10 temperatura de uma placa de metal para aquecer, em particular, em um sistema de aquecimento por indução, que aquece eficientemente uma placa de metal, mesmo em um estado não-magnético, a despeito de a placa de metal ser fina ou grossa.

Técnica Anterior

15 O aquecimento por indução de metal por corrente a alta frequência é amplamente usado para tratamento térmico por resfriamento brusco e outros tratamentos térmicos. Ele está sendo usado como um sistema de aquecimento para substituir aquecimento indireto por aquecimento a gás convencional e aquecimento elétrico, com o objetivo de controlar a qualidade do material da placa de aço, placa de alumínio, e placas de outros
20 materiais ferrosos e não-ferrosos de calibre fino durante o processo de produção e, adicionalmente, com o objetivo de aumentar a velocidade de aquecimento para melhorar a produtividade e ajustar livremente o volume de produção, etc.

25 Geralmente, existem dois sistemas para aquecer por indução uma placa de metal. Um é um sistema de aquecimento por indução chamado "sistema LF (Longitudinal Flux Heating – Aquecimento por Fluxo Longitudinal)", onde uma corrente de alta frequência circula através de uma bobina de indução que circunda a circunferência de uma placa de metal para gerar
30 fluxo que passa através da placa de metal na direção longitudinal e gera uma corrente de indução no interior da seção transversal da placa de metal para aquecê-la. O outro é o "sistema TF (Transverse Flux Heating – Aque-

cimento por Fluxo Transversal)", em que se dispõe uma placa de metal entre bons corpos magnéticos, chamados indutores, em torno dos quais são enroladas bobinas primárias, onde circula corrente através das bobinas primárias para gerar fluxo e passando através dos indutores de modo a fazer o fluxo seguir entre os indutores, cortados transversalmente na placa de metal e gerando, assim, uma corrente de indução no plano da placa de metal e aquecendo-a por indução.

O sistema LF de aquecimento por indução proporciona boa uniformidade de distribuição da temperatura, mas a corrente de indução gerada circula no interior da seção transversal da placa. Devido à relação entre a profundidade de penetração da corrente, quando a placa é fina, é necessário elevar a frequência da fonte de energia ou não será produzida nenhuma corrente de indução. Adicionalmente, com um material não-magnético ou mesmo um material magnético em que a temperatura do ponto Curie é excedida, a profundidade de penetração da corrente será maior, então existe o problema de a placa fina não poder ser aquecida.

Por outro lado, o sistema TF de aquecimento por indução tem a passagem de fluxo através do plano da placa de metal, então, ele é caracterizado por ser capaz de aquecer, a despeito da espessura ou de ser magnético ou não-magnético e é caracterizado por usar indutores com baixa resistência magnética e sendo capaz, deste modo, de reduzir a perda de fluxo e ser capaz de concentrar o fluxo entre os indutores que dão face para a parte frontal e traseira da placa de metal, tendo então uma alta eficiência de aquecimento.

Inversamente, existe o problema de haver propensão a ocorrer o problema de distribuição temperatura não-uniforme, e o problema em que, quando a placa de metal não está no centro dos indutores de face, um material magnético será puxado para um dos indutores e desvio de temperatura maior será causado mais facilmente. Adicionalmente, existe o defeito em que, no caso do sistema TF de aquecimento por indução, é difícil lidar com mudanças na largura da placa de metal e sinuosidade nas linhas de processamento contínuo.

Para solucionar estes problemas, a publicação de patente japonesa (A) Nº 2002-43042 descreve a disposição de bobinas de volta simples da superfície frontal e superfície traseira de uma tira na direção de compensação de progressão na direção de progressão. Adicionalmente, a publicação de patente japonesa (A) Nº 2002-151245 propõe uma bobina de indução em formato de diamante onde o eixo geométrico longo da bobina de aquecimento por indução dá face para as curvas do material aquecido na direção da largura do material aquecido. Adicionalmente, na publicação de patente japonesa (A) Nº 2002-209608, os inventores propõem deslocar uma bobina de indução que envolve uma tira de metal na direção da largura na direção de progressão no lado da superfície frontal e no lado da superfície traseira da placa de metal.

Sumário da Invenção

A Figura 1 é uma vista esquemática que mostra um sistema LF convencional de aquecimento por indução. Este circunda um material aquecido, ou seja, uma placa de metal 1, na direção da largura, por uma bobina de indução 2 conectada a uma fonte de energia de alta frequência 11 e faz circular uma corrente primária 5 através dela, pelo que um fluxo 4 circula através do interior da placa de metal 1, uma corrente de indução é gerada em torno do fluxo 4 e a corrente de indução gerada aquece a placa de metal 1. A Figura 2 é uma vista esquemática em seção transversal que mostra um estado de uma corrente de indução sendo gerada dentro da seção transversal da placa de metal 1.

Devido ao fluxo 4 que existe entre a placa de metal 1, as correntes de indução 6a, 6b circulam através da seção transversal da placa de metal 1 em direções opostas àquela da corrente primária 5, que circula através da bobina de indução 2. Essas correntes de indução 6a, 6b, fluem se concentrando em um intervalo de profundidade de penetração de corrente δ mostrada por <1>, a partir da superfície da placa de metal 1.

$$\delta[\text{mm}] = 5,03 \times 10^5 (\rho / \mu r f)^{0,5} \dots <1>$$

onde, ρ : resistência específica [Ωm], μr : permeabilidade magnética relativa [-], f : frequência de aquecimento [Hz]

As correntes de indução geradas 6a, 6b, fluem nas direções opostas na frente e atrás da seção transversal da placa, conforme é mostrado na Figura 2, então, se a profundidade de penetração de corrente δ se tornar maior, as correntes de indução na frente e atrás da placa se cancelam e, como resultado, a corrente para de fluir na seção transversal da placa.

Aumentos em ρ no metal acontecem junto com um aumento na temperatura, então, δ se torna mais profunda junto com o aumento na temperatura. Adicionalmente, um material ferromagnético ou um material paramagnético diminui em μ_r conforme a temperatura fica mais próxima do ponto Curie. Quando além do ponto Curie, μ_r se torna 1. Adicionalmente, o material não-magnético também tem um μ_r de 1. Se μ_r se tornar menor, de acordo com $<1>$, em um material não-magnético, ou no caso de um material magnético, em uma região de temperatura desde imediatamente antes do ponto Curie até exceder o ponto Curie, a profundidade de penetração da corrente δ aumenta e, com materiais aquecidos finos, o aquecimento acaba se tornando impossível.

Por exemplo, quando a frequência de aquecimento for 10 kHz, a profundidade de penetração de corrente δ em temperatura comum é aproximadamente 1 mm para alumínio não-magnético, aproximadamente 4,4 mm para SUS304 e aproximadamente 0,2 mm para aço de material magnético, enquanto a profundidade de penetração de corrente de aço de material magnético a 750°C ou além do ponto Curie, é aproximadamente 5 mm.

Para impedir que as correntes frontal e traseira geradas no interior da placa se cancelem, a espessura tem que ser, no mínimo, não menor do que 10 mm. Para inserir potência com boa eficiência, uma espessura de cerca de 15 mm é necessária. Em geral, o tratamento térmico é realizado em placas com um amplo intervalo de espessuras, desde chapas finas tipo lâmina especial de 10 μ m até placas espessas que excedem 100 mm.

Por exemplo, placas de aço para automóveis e utensílios domésticos elétricos, materiais típicos entre a grande quantidade de placas de metal usadas, têm, principalmente, uma espessura de menos do que cerca de 3 mm após a laminação a frio normal. Em particular, eles têm, com fre-

quência, 2 mm ou menos. Para aquecer estes materiais pelo sistema LF, a frequência de aquecimento tem que ser elevada além de diversas centenas de KHz, no entanto, existem limitações de hardware na preparação de uma fonte de alimentação com alta frequência com uma alta capacidade. Com frequência, isso torna difícil a realização em uma escala industrial.

O método da publicação de patente japonesa (A) N° 2002-43042 é considerado como sendo um tipo de sistema TF onde as bobinas de indução são dispostas acima e abaixo de uma placa. Os fluxos gerados na direção de progressão da placa de metal são gerados alternadamente em direções opostas, no entanto, as bobinas superior e inferior estão deslocadas, então as regiões onde os fluxos são gerados nas bobinas superior e inferior se cancelam e as regiões onde os fluxos cruzam a tira com uma inclinação são formadas alternadamente e, conseqüentemente, acredita-se que a concentração de fluxo pode ser impedida.

Logo, acredita-se que o sistema TF convencional tem o efeito de mitigar o problema de concentração de fluxo nas partes de borda e de fazer com que as partes de borda superaqueçam. No entanto, devido ao fato de serem formadas regiões onde os fluxos se cancelam um ao outro e devido ao fato de as bobinas serem bobinas de volta simples, o valor da corrente que passa através das bobinas para levar energia à tira e aumentar a força do campo tem que ser maior, por causa da perda de cobre da bobina aumentar, etc., então existe o problema de a eficiência facilmente cair.

Adicionalmente, para aumentar a eficiência, conforme descrito no exemplo na publicação acima, é necessário colocar as bobinas superior e inferior de volta simples em proximidade à tira. No entanto, a tira que está passando terá o formato deformado ou vibrará, então é difícil aquecer uma extensão larga e longa enquanto se trabalha nela.

Adicionalmente, o método da publicação de patente japonesa (A) N° 2002-151245 é um método que proporciona uma bobina de aquecimento por indução mais larga no centro da direção de largura na direção de transporte de um substrato de metal, tal que dê face para o substrato de metal e, substancialmente tornando uniforme o total da largura da bobina de

indução ao longo da largura da bobina de indução ao longo da direção de transporte do substrato de metal. No entanto, este método é um que realiza o aquecimento com o fluxo de fuga que flui da bobina de indução feita para dar face para o substrato de metal, então não existe garantia de que o fluxo
5 irá passar através do substrato de metal se a distância desde a bobina de indução aumentar. A menos que seja nas proximidades do material metálico, será difícil iniciar o aquecimento. Adicionalmente, se o formato do substrato de metal for ineficiente e a distância desde a bobina de indução mudar, será gerado um grande desvio de temperatura.

10 Adicionalmente, a bobina de indução é feita com um formato de diamante tal que a largura da bobina de indução se torne substancialmente igual à largura do substrato de metal na direção de progressão, no entanto, com este formato, é impossível lidar com mudanças na largura do substrato de metal. A bobina de indução é dotada de um mecanismo de rotação, no
15 entanto, ao girar, o tempo de aquecimento não é o mesmo para a direção de progressão, logo, torna-se difícil atingir temperatura uniforme. Um mecanismo de rotação de um sistema de aquecimento em que passe uma grande corrente é, na prática, extremamente difícil de realizar em uma escala industrial.

20 Nenhuma das literaturas de patente acima descreve o aquecimento dentro de um circuito fechado formado por uma bobina de indução circundando um material metálico, então, não existe garantia de que o fluxo passe, de modo confiável, através do material metálico e o resultado é facilmente afetado pela distância desde a bobina de indução. Adicionalmente, o
25 número de voltas da bobina de indução não pode ser mudado, então é difícil controlar o fluxo.

Em oposição a isso, a publicação de patente japonesa (A) N° 2005-209608 mostra que, para solucionar os problemas acima nos sistemas de aquecimento, desviar as bobinas de indução que circundam a placa de
30 metal na direção da largura na direção de progressão da placa de metal para, deste modo, gerar correntes independentes, tal que as correntes de indução geradas pelas bobinas de indução frontal e traseira dentro da placa de

metal, imediatamente abaixo das bobinas de indução que dão face para a parte frontal e traseira da placa de metal não interfiram uma com a outra, permite o aquecimento mesmo de uma placa de metal com um espessura menor ou igual à profundidade de penetração da corrente ou mesmo de uma
5 placa de metal não-magnética.

Adicionalmente, as bobinas de indução circundam a placa de metal em um circuito fechado, então o fluxo sempre cruza a placa de metal. Logo, existe também a grande vantagem prática de que, mesmo que a bobina de indução e a placa de metal estejam comparativamente separadas entre si, o aquecimento pode ser facilmente realizado.
10

Neste aspecto, a corrente de indução gerada no centro da placa de metal facilmente se concentra, resultando em uma alta densidade de corrente ao passar através das extremidades da placa de metal e as bobinas de indução frontal e traseira são separadas na direção de progressão, então o tempo em que as correntes de indução passam através das extremidades, se torna maior. Consequentemente, havia o problema de as extremidades da placa de metal se superaquecerem facilmente e as condições para obter uma distribuição com baixo desvio de temperatura (desvio de bobina de indução frontal e traseira, largura da bobina de indução, etc.) se tornarem extremamente estreitas.
15
20

Todos os três sistemas acima podem aquecer materiais não-magnéticos, mas o controle preciso da distribuição da temperatura de aquecimento é difícil. Ao considerar a deformação da placa de metal ou, quando ajustada no meio de um forno existente, etc., a espessura dos materiais isolantes ou a condutibilidade, é difícil tornar menor a distância entre a placa de metal e as bobinas de indução.
25

Adicionalmente, foi proposto o método de controle da densidade da corrente e do tempo de aquecimento, assim como foi proposto o método para lidar com sinuosidade e mudanças na largura. Com os métodos de WO2006/088067 e WO2006/088068 e publicação de patente japonesa (A) Nº 2007-95651, em comparação com os três sistemas explicados acima, é possível amplo controle da distribuição da temperatura, mas, dependendo
30

das condições, houve casos em que o desvio de temperatura das extremidades da placa de metal e da parte central, não pode ser suficientemente eliminado.

5 A presente invenção soluciona os problemas de aquecimento por indução de placas de metal nestes sistemas convencionais LF e TF e tem, como seu objetivo, proporcionar um sistema de aquecimento por indução e um método de aquecimento por indução usando uma bobina de indução que, não limitada a materiais magnéticos, mas também em materiais não-magnéticos e em regiões não-magnéticas, mantêm suficientemente a
10 distância entre a placa de metal e a bobina de indução, são superiores na capacidade de controle de temperatura, mais do que os sistemas de aquecimento por indução definidos em WO2006/088067 e WO2006/088068, permitem que se lide com mudanças na largura, na sinuosidade, etc., de maneira efetiva e permitem o aquecimento eficiente.

15 A presente invenção foi feita para solucionar os problemas acima e tem, como sua essência, o seguinte:

(1) um sistema de aquecimento por indução de placa de metal que tem uma bobina de indução formada conectando um condutor em um lado da superfície frontal da placa de metal e um condutor em um lado da
20 superfície traseira, de modo a circundar uma direção de largura da placa de metal que tem uma distância desde a superfície da placa de metal e aquecendo, por indução, a placa de metal que passa através do interior da bobina de indução circundante, sendo que o dito sistema é caracterizado pelo fato de dispor pelo menos duas seções da dita bobina de indução em posição
25 contígua em uma direção longitudinal da dita placa de metal, em uma projeção vertical ao projetar verticalmente os condutores que formam a bobina de indução no lado da superfície frontal e na superfície traseira da dita placa de metal sobre as ditas placas de metal, sendo que o dito condutor lateral da superfície frontal e o dito condutor lateral da superfície traseira estão dispo-
30 tos tendo uma distância de afastamento, de modo a não se sobreporem em uma direção longitudinal da dita placa de metal na parte central da dita placa de metal em cada uma das ditas pelo menos duas seções da bobina de in-

dução, e, adicionalmente, na dita posição contígua em pelo menos duas seções da bobina de indução, os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade, na direção longitudinal, da placa de metal e os ditos condutores laterais da superfície traseira estão dispostos tendo uma distância de afastamento na direção longitudinal da placa de metal maior do que a distância pela qual os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade, ou os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade na direção longitudinal da placa de metal e os ditos condutores laterais da superfície frontal estão dispostos tendo uma distância de afastamento na direção longitudinal da placa de metal maior do que a distância pela qual os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade.

(2) Um sistema de aquecimento por indução de placa de metal tendo uma bobina de indução formada que conecta um condutor em um lado da superfície frontal da placa de metal e um condutor em um lado da superfície traseira de modo a circundar uma direção de largura da placa de metal, ao mesmo tempo em que tem uma distância desde a superfície da placa de metal e aquece, por indução, a placa de metal que passa através do interior da bobina de indução circundante, sendo que o dito sistema é caracterizado pelo fato de dispor ao menos duas seções da dita bobina de indução em posição contígua em uma direção longitudinal da dita placa de metal, sendo que o dito condutor lateral da superfície frontal e condutor lateral da superfície traseira estão dispostos tendo uma distância de afastamento para não se sobreporem em uma direção longitudinal da dita placa de metal na parte central da dita placa de metal das ditas pelo menos duas seções da bobina de indução em uma projeção vertical, ao projetar verticalmente os condutores que formam a bobina de indução no lado da superfície frontal e na superfície traseira da dita placa de metal sobre a dita placa de metal, pelo menos no dito condutor lateral da superfície frontal ou no dito condutor lateral da superfície traseira de cada uma das ditas pelo menos duas seções da bobina de indução tendo uma parte inclinada com relação à direção de largura, em direção pelo menos a uma extremidade ou outra da placa de metal na

direção de largura, e, adicionalmente, na dita posição contígua nas pelo menos duas seções da bobina de indução, os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade na direção longitudinal da placa de metal e os ditos condutores laterais da superfície traseira estão dispostos tendo
5 uma distância de afastamento na direção longitudinal da placa de metal maior do que a distância pela qual os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade, ou os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade na direção longitudinal da placa de metal e os ditos condutores laterais da superfície frontal estão dispostos tendo uma dis-
10 tância de afastamento na direção longitudinal da placa de metal maior do que a distância pela qual os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade.

(3) Um sistema de aquecimento por indução de placa de metal, de acordo com (1) ou (2), caracterizado pelo fato de que o sistema é proje-
15 tado para fazer circular uma corrente alternada na dita bobina de indução, sendo que corrente com a mesma direção e mesma fase circula para os condutores em proximidade.

(4) Um sistema de aquecimento por indução de placa de metal, de acordo com (2) ou (3), caracterizado pelo fato de que ao menos um den-
20 tre os condutores laterais da superfície frontal e dita superfície traseira da bobina de indução dispostos no lado mais externo na direção longitudinal da dita placa de metal, está disposto tendo uma parte inclinada com relação à direção de largura, na direção de pelo uma das extremidades da dita placa de metal na direção da largura, e, em um lado externo de uma parte inclinada
25 de um condutor tendo uma inclinação disposta no lado mais externo, é proporcionado um núcleo magnético que se estende a partir do lado da superfície frontal até o lado da superfície traseira da dita placa de metal de modo a cobrir ao menos uma extremidade da direção de largura da dita placa de metal.

(5) Um sistema de aquecimento por indução de placa de metal, de acordo (4), caracterizado pelo fato de que o dito núcleo magnético tem um mecanismo para mover em uma direção horizontal e pode mudar uma
30

quantidade da placa de metal coberta a partir da extremidade.

5 (6) Um sistema de aquecimento por indução de placa de metal, de acordo com qualquer um de (2) a (5), caracterizado pelo fato de que ao menos um dentre um condutor lateral da superfície frontal e condutor lateral da superfície traseira da bobina de indução, tem um mecanismo que permite o movimento em uma direção de largura da placa de metal, e um condutor disposto de modo a ter uma parte inclinada com relação à direção de largura, pode mudar a posição da parte inclinada com relação à placa de metal na direção da largura.

10 (7) Um método de aquecimento por indução de placa de metal usando um sistema de aquecimento por indução de metal, de acordo com qualquer um de (2) a (6), sendo que o dito método de aquecimento por indução é caracterizado pelo fato de passar uma placa de metal através do interior de uma bobina de indução do dito sistema de aquecimento por indução, 15 fazer passar corrente alternada pela dita bobina de indução, para passar corrente com a mesma direção e mesma fase pelos condutores na proximidade da dita bobina de indução e, assim, gerar no interior da dita placa de metal, uma corrente de indução principal tendo substancialmente o mesmo formato que uma projeção vertical sobre a dita placa de metal dos ditos condutores laterais da superfície frontal e superfície traseira nas ditas pelo me- 20 nos duas seções da bobina de indução do dito sistema de aquecimento por indução e tendo uma direção oposta à direção da corrente alternada que flui através dos ditos condutores laterais da superfície frontal e da superfície traseira, devido à dita corrente, e, em uma região no exterior de uma parte incli- 25 nada de um condutor disposto de modo a ter uma inclinação com relação à direção da largura da dita placa de metal e intercalada entre a dita bobina de indução contígua em uma projeção vertical dos ditos condutores laterais da superfície frontal e superfície traseira sobre a dita placa de metal, gerar um circuito secundário de uma corrente de indução secundária (slave) gerada 30 por uma das ditas seções contíguas da bobina de indução e um circuito secundário de uma corrente de indução secundária (slave) do outro nas direções opostas de modo a cancelar o circuito secundário e aquecer a placa de

metal ao mesmo tempo em que impede a geração de uma corrente de indução secundária (slave).

5 (8) Um método de aquecimento por indução de placa de metal, de acordo com (7), compreendendo um método de aquecimento por indução de placa de metal usando um sistema de aquecimento por indução de placa de metal, de acordo com (5) ou (6), caracterizado pelo fato de mudar a quantidade pela qual o dito núcleo magnético cobre a placa de metal a partir da extremidade de modo a mudar a distribuição da temperatura da extremidade da placa de metal.

10 (9) Um método de aquecimento por indução de placa de metal, de acordo com (7), compreendendo um método de aquecimento por indução de placa de metal usando um sistema de aquecimento por indução de placa de metal, de acordo com (6), caracterizado pelo fato de fazer pelo menos um dentre o condutor lateral da superfície frontal e condutor lateral da superfície
15 traseira de uma bobina de indução, se mover em uma direção da largura da placa de metal e ajustar uma posição da parte inclinada do dito condutor com relação à placa de metal de modo a ajustar uma distribuição da temperatura da dita placa de metal.

Note que, a "direção longitudinal da placa de metal" a que refere-se na presente invenção, é a direção de fluxo da placa de metal (a mesma direção da linha transportadora). Adicionalmente, o "sistema LF" a que
20 refere-se na presente invenção, é um sistema de fluxo longitudinal convencional que dá um campo magnético alternado a um objeto não aquecido na direção axial.

25 Ao usar o sistema de aquecimento por indução e o método de aquecimento por indução, de acordo com a presente invenção, não é possível apenas o aquecimento de materiais espessos e de placas finas de regiões magnéticas, como também é possível o que tinha sido impossível sob sistemas de aquecimento convencionais, ou seja, aquecer placas finas, com
30 pequena resistência específica, não-magnéticas, de alumínio, cobre e outros metais não-ferrosos e aquecer, na região não-magnética de uma temperatura do ponto Curie ou mais no ferro e outros materiais magnéticos.

Adicionalmente, aumentando-se a temperatura da parte central da placa de metal e suprimindo-se o aumento da temperatura nas extremidades da placa de metal, a distribuição da temperatura de toda a placa de metal pode ser controlada e o superaquecimento das extremidades da placa de metal pode ser suprimido ou impedido.

Adicionalmente, levando-se em conta a eliminação do desvio de temperatura da placa de metal no sistema de aquecimento por indução desde as etapas anteriores e as características de temperatura da placa de metal nas etapas seguintes e aquecendo-se de acordo com distribuição da temperatura desejada e, por outro lado, aquecendo-se com uma velocidade de aquecimento e distribuição da temperatura correspondentes às características metalúrgicas desejadas, produtos de alta qualidade podem ser fabricados de maneira estável e os efeitos sobre a qualidade de flutuações na operação podem ser eliminados.

Adicionalmente, não existem efeitos de inércia térmica, o que se torna um problema em fornos de aquecimento a gás, assim, mesmo quando a temperatura do forno tiver que ser mudada devido a mudanças na espessura e na largura da placa de metal ou no tipo do material, a taxa de aquecimento pode ser livremente controlada, então a velocidade de fluxo não tem que ser mudada. Assim, não apenas não são necessários os materiais de ligação que são normalmente necessários em um forno de aquecimento a gás até o forno estabilizar ao mudar a temperatura do forno, como também a produção pode ser continuada sem a velocidade de fluxo cair, conseqüentemente, é possível evitar uma queda na produtividade e a liberdade no plano de operação é bastante melhorada.

Adicionalmente, o sistema de aquecimento por indução da presente invenção não apenas é capaz de lidar com mudanças na espessura e na largura de uma placa de metal, como também pode lidar, de modo flexível, com a sinuosidade e outras causas de flutuação. Adicionalmente, não apenas se obtém a distribuição da temperatura desejada, como também não é necessário o uso de múltiplos conjuntos de bobinas de indução devido à largura da placa, tornando o custo capital menor também.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 é uma vista esquemática que mostra aquecimento por indução do tipo LF convencional.

5 A Figura 2 é uma vista esquemática em seção transversal que explica as correntes de indução que circulam na seção transversal de uma placa de metal fina em um aquecimento por indução tipo LF convencional.

A Figura 3 é uma vista plana esquemática que explica o aquecimento por indução em que condutores na parte frontal e traseira da bobina são dispostos com desvio.

10 A Figura 4 é uma vista esquemática em seção transversal que explica o mecanismo de geração de corrente na seção transversal A-A da Figura 3.

A Figura 5 é uma vista plana esquemática que explica as correntes de indução geradas em uma placa de metal pelo aquecimento por indução da Figura 3.

15 A Figura 6 é uma vista plana esquemática de um exemplo de um sistema de aquecimento por indução, de acordo com a presente invenção, em que duas seções paralelas da bobina de indução estão dispostas em posição contígua uma à outra e os condutores na parte frontal e traseira da bobina de indução estão dispostos em desvio para realizar o aquecimento por indução.

20 A Figura 7 é uma vista plana esquemática que explica um exemplo de um sistema de aquecimento por indução em que os condutores na parte frontal e traseira da bobina de indução estão em desvio no centro e os condutores da bobina de indução são feitos de modo a ficarem inclinados perto das extremidades da placa de metal.

A Figura 8 é uma vista plana esquemática que mostra o estado das correntes de indução geradas em um placa de metal com a disposição de bobina da Figura 7.

30 A Figura 9(a) é uma vista plana esquemática que explica um exemplo de um sistema de aquecimento por indução de acordo com a presente invenção e mostra um caso de duas seções da bobina de indução co-

nectadas em série.

A Figura 9(b) é uma vista plana esquemática que explica um sistema de aquecimento por indução de acordo com a presente invenção e mostra um caso de duas seções da bobina de indução conectadas em paralelo.

A Figura 10 é uma vista plana esquemática que explica a distribuição de correntes de indução geradas em uma placa de metal pelo sistema de aquecimento por indução, de acordo com a presente invenção, da Figura 9(a).

A Figura 11 é uma vista plana esquemática que mostra um exemplo de um sistema de aquecimento por indução da presente invenção em que duas seções da bobina de indução da Figura 7 são dispostas em posição contígua uma à outra e conectadas em paralelo.

A Figura 12 é uma vista plana esquemática de um sistema de aquecimento por indução da presente invenção em que duas seções da bobina de indução de 2T da Figura 9a são dispostas em posição contígua entre si e conectadas em paralelo.

A Figura 13 é uma vista esquemática plana que explica um exemplo de disposição de um núcleo magnético em um sistema de aquecimento por indução, de acordo com a presente invenção da Figura 9(a).

A Figura 14 é uma vista esquemática em seção transversal que explica o funcionamento de um núcleo magnético.

A Figura 15 é uma vista esquemática em seção transversal que explica o funcionamento de um núcleo magnético quando a fase reversa da Figura 14.

A Figura 16 é uma vista plana esquemática que explica um exemplo de provisão de um núcleo magnético no sistema de aquecimento por indução da Figura 11.

A Figura 17 é uma vista plana esquemática que explica um exemplo de provisão de um núcleo magnético no sistema de aquecimento por indução da Figura 12.

A Figura 18(a) é uma vista plana esquemática que mostra a re-

lação entre uma bobina de indução tendo uma parte condutora inclinada e a posição através da qual passa uma extremidade de uma placa de metal.

A Figura 18(b) é uma vista esquemática que mostra as correntes de indução geradas em uma placa de metal quando uma extremidade de uma placa de metal passa através da linha A da Figura 18(a).

A Figura 18(c) é uma vista esquemática que mostra as correntes de indução geradas em uma placa de metal quando uma extremidade de uma placa de metal passa através da linha B da Figura 18(a).

A Figura 18(d) é uma vista esquemática que mostra as correntes de indução geradas em uma placa de metal quando uma extremidade de uma placa de metal passa através da linha C da Figura 18 (a).

A Figura 19 é uma vista plana esquemática que mostra um exemplo onde a relação posicional entre a parte inclinada de cada seção da bobina de indução da Figura 12 e a extremidade de uma placa de metal é diferente.

A Figura 20 é uma vista esquemática em corte transversal que explica o funcionamento do controle de temperatura de aquecimento por um núcleo magnético.

A Figura 21 é uma vista esquemática em corte transversal que explica um exemplo de um mecanismo que controla a temperatura de aquecimento pelo núcleo magnético.

Modalidades da Invenção

Abaixo serão explicadas modalidades da presente invenção. Para simplificar a explicação, o caso de 2T (voltas) como duas seções da bobina de indução (1 seção, 1 volta) será explicado usando os desenhos, no entanto, a invenção não está limitada a 2T. Uma pluralidade de Ts ou 1T paralela também é possível.

A Figura 9(a) é uma vista plana esquemática que mostra um exemplo de um sistema de aquecimento por indução da presente invenção, enquanto a Figura 10 é uma vista esquemática que mostra as correntes de indução geradas na placa de metal 1 na Figura 9(a).

A "bobina de indução" usada na explicação da presente inven-

ção abaixo é usada como o termo geral para uma bobina formada por um condutor que compreende um tubo, fio, placa, etc., feito de um bom condutor elétrico enrolado em torno de um material aquecido, ou seja, uma placa de metal, tendo uma distância a partir de sua superfície e por pelo menos uma volta em uma direção de largura da placa de metal. Não se define particularmente o formato que circunda o material aquecido como retangular ou circular. Quando enrolado por duas ou mais voltas, os condutores das diferentes voltas (T) são colocados em posição contígua entre si.

Note que cada volta, conforme será explicado adiante, inclui o condutor lateral da superfície frontal e o condutor lateral da superfície traseira conectados pelos condutores de conexão ou elementos condutores nos lados externos de extremidades do material aquecido (placa de metal) na direção da largura de modo a circundar o material.

De preferência, o condutor é um material com boa condutividade elétrica, como cobre ou alumínio. Adicionalmente, "uma seção da bobina de indução", a que refere-se na presente invenção, compreende os condutores da bobina de indução frontal e traseiro, enrolados uma vez em torno da placa de metal e é a menor unidade que constitui uma bobina de indução e "duas seções" indicam dois pares de condutores frontal e traseiro de bobina de indução.

Note que, na Figura 7, Figura 9(a), Figura 9(b), Figura 11, Figura 12, Figura 16 e Figura 17 a seguir, as setas indicam as direções das correntes da bobina, as linhas em negrito indicam os condutores da bobina de indução na frente da placa de metal e a linha quebrada indica os condutores da bobina de indução na superfície traseira da placa de metal. Adicionalmente, na Figura 8 e na Figura 10 a seguir, as setas indicam as direções das correntes de indução geradas no interior da placa de metal.

O princípio de aquecimento por indução de uma placa de metal, de acordo com a presente invenção, será explicado abaixo usando os desenhos.

Na presente invenção, primeiro, conforme é mostrado na Figura 3, os condutores são dispostos de tal modo que quando o condutor 2a e 2b,

que constituem a bobina de indução no lado da superfície frontal e no lado da superfície traseira da placa de metal 1, passando através do interior da bobina de indução 2, são projetados verticalmente sobre a placa de metal, as projeções verticais dos condutores laterais da superfície frontal e da superfície traseira têm uma distância (desvio) entre si na direção longitudinal da placa de metal.

5 Sendo assim, conforme é mostrado pela vista em corte transversal lateral da Figura 4 (explicada apenas para o condutor 2a, por simplicidade), a placa de metal 1 é penetrada por um fluxo inclinado 4. Este fluxo faz com que uma corrente de indução 6a seja gerada.

10 Por conseguinte, devido à expansão do caminho da corrente em uma inclinação, mesmo que a profundidade de penetração δ da corrente de indução 6a gerada seja maior do que a espessura da placa t , a corrente de indução irá passar.

15 Como os condutores 2a e 2b da bobina de indução 2 são dispostos com uma distância (desvio) na direção de progressão da placa de metal, as correntes de indução 6a e 6b geradas pelos condutores 2a e 2b da bobina de indução 2 não interferem uma com a outra. Uma corrente em formato de anel, conforme é mostrado na Figura 5, é gerada na placa de metal 1 como um todo, onde a placa de metal 1, mesmo sendo um material não-magnético, pode ser aquecida.

20 Neste aspecto, a corrente que circula através das extremidades da placa de metal (as extremidades da placa de metal na direção da largura, igual a partir daqui) serve para diminuir a reatância com a corrente primária que flui através dos condutores de conexão 8, que conectam os condutores 2a e 2b da bobina de indução 2 ou os elementos condutores 7, que conectam os condutores frontal e traseiro 2a e 2b da bobina de indução 2 a uma fonte de alimentação, então as extremidades do caminho da corrente se tornam mais estreitas devido a serem puxadas para as extremidades da placa de metal, sendo que o fluxo gerado pela corrente primária circula através dos elementos condutores 7 e condutores de conexão 8 termina concentradamente passando através da extremidade a menor distância da placa de

metal, e as extremidades das placas de metal terminam sendo aquecidas mais do que o centro por um tempo de aquecimento correspondente à distância d_3 (veja a Figura 5), logo, as extremidades da placa de metal são facilmente superaquecidas.

5 Adicionalmente, se existir uma seção da bobina de indução, o fluxo se espalha facilmente a partir da bobina de indução mesmo na parte central da placa de metal, logo, a densidade de corrente da corrente de indução também cai, então a temperatura da parte central aumenta com dificuldade e o desvio de temperatura entre a parte central da placa de metal e
10 as extremidades da placa de metal, se expande facilmente.

Logo, a presente invenção usa ao menos duas seções da bobina de indução e as dispõe em posição contígua entre si na direção longitudinal da placa de metal. Ou seja, conforme é mostrado na Figura 6, os condutores 2b e 3b da bobina de indução são dispostos em proximidade e uma corrente primária com mesma fase circula através deles, onde, devido ao condutor da bobina da parte central, o fluxo aumenta duas vezes e a densidade de corrente cresce.

Adicionalmente, os fluxos gerados pelos dois condutores fechados 2b, 3b da bobina de indução têm direções opostas aos condutores 2a, 3a da bobina disposta com uma distância (desvio), logo, não há interferência pelo fluxo gerado por 2a, 3a, nem expansão de fluxo, tornando a concentração na vizinhança dos condutores da bobina de indução 2b, 3b fácil, assim como o aumento da temperatura no centro da placa de metal.

No entanto, nos lados externos dos condutores 2a, 3a da bobina de indução (as extremidades da placa de metal na direção longitudinal da placa de metal, ou seja, na Figura 6, o lado superior de 2a e o lado inferior de 3a), não há fluxo competindo e assim, o fluxo tenta se espalhar para os lados externos da bobina de indução, então é difícil concentrar o fluxo, a densidade da corrente de indução gerada na placa de metal também tem
25 dificuldade em aumentar e a quantidade de aumento de temperatura é menor em comparação com o condutor da bobina de indução vizinha.

Logo, quando, conforme é mostrado na Figura 6, se dispõe uma

bobina de indução formada por condutores quase horizontais na direção da largura, ou seja, não tendo partes em inclinação com relação à direção da largura, paralelas à direção longitudinal da placa de metal, quanto mais contíguas as seções da bobina de indução (número de condutores), mais fácil é elevar a temperatura da parte central da placa de metal, eliminando assim o desvio de temperatura com as extremidades da placa de metal.

No entanto, conforme explicado na Figura 3 até a Figura 5, ao se dispor uma bobina de indução em paralelo na direção longitudinal com desvio, o superaquecimento das extremidades da placa de metal devido às correntes que circulam através das extremidades da placa de metal não é eliminado, logo, para eliminar o desvio de temperatura da placa de metal aquecida, na presente invenção, conforme é mostrado na Figura 7, ao menos um dos condutores, ou o frontal ou o traseiro (lado frontal e lado traseiro) da bobina de indução é feito com um formato tendo uma parte atravessando a placa de metal a uma inclinação a partir da direção da largura na direção de pelo menos uma das extremidades da placa de metal na direção da largura.

No entanto, o intervalo da direção da largura da parte inclinada do condutor não está particularmente limitado, o condutor é feito para ter uma parte inclinada na proximidade de pelo menos uma das extremidades da largura da placa de metal na direção da largura.

A Figura 7 mostra um exemplo onde os condutores frontal e traseiro da bobina de indução têm, ambos, partes que se inclinam na direção da largura perto das duas extremidades da placa de metal (um exemplo de uma seção da bobina de indução). Caso se faça a bobina de indução com tal formato, um caminho de corrente de indução em formato de anel 6, conforme é mostrado pelas linhas em negrito da Figura 8, é formado na placa de metal 1 e são geradas as correntes de indução que se movem na direção das setas.

Isso é porque é mais difícil para o caminho da corrente se tornar mais estreito nas extremidades da placa de metal em comparação com a Figura 5 explicada anteriormente. Logo, é difícil que a densidade de corrente se torne alta, adicionalmente, os condutores frontal e traseiro da bobina de

indução se cruzam perto das extremidades da placa de metal, então o tempo de aquecimento pelas correntes de indução que fluem através das extremidades da placa de metal, pode ser tornado menor e o superaquecimento das extremidades da placa de metal pode ser evitado, mesmo em comparação com quando os condutores frontal e traseiro da bobina de indução estão desviados em paralelo na direção longitudinal, conforme é mostrado na Figura 3.

Neste aspecto, tornou-se claro a partir de testes e análises que uma corrente de indução mestre, conforme é mostrado na Figura 8, tem substancialmente o mesmo formato que a projeção vertical dos condutores laterais da superfície frontal e da superfície traseira e passa no interior da parte encerrada pelas linhas em negrito na direção oposta à direção das correntes de indução que fluem através dos condutores laterais da superfície frontal e da superfície traseira, enquanto correntes de indução escravas parciais invertem nas extremidades da placa de metal, onde circuitos secundários de correntes de indução são gerados nas regiões externas dos condutores dispostos de modo a terem uma inclinação com relação à direção da largura da placa de metal, conforme é mostrado em 9 da Figura 8.

Logo, quando for necessário aquecimento, requerendo gerenciamento rigoroso de desvio de temperatura, as correntes deste circuito secundário 9, podem, às vezes, não ser mais ignoradas. Às vezes, as correntes que circulam nas extremidades da placa de metal levam ao aumento da temperatura nas extremidades da placa de metal e, conseqüentemente, a problemas de superaquecimento.

Logo, na presente invenção, conforme é mostrado na Figura 11 e na Figura 9(a), duas ou mais seções da bobina de indução dotadas de condutores tendo partes inclinadas na direção da largura, são usadas em posição contígua entre si. A Figura 9(a) é um exemplo de duas seções da bobina de indução que têm condutores laterais da superfície frontal e condutores laterais da superfície traseira dispostos com desvios (em distâncias) na direção longitudinal da placa de metal 1, ou seja, uma seção da bobina de indução tendo os condutores 2a e 2b e uma outra seção a bobina de indu-

ção tendo os condutores 3a e 3b, dispostos em posição contígua entre si, em série, na direção longitudinal da placa de metal.

Adicionalmente, na presente invenção, os condutores laterais da superfície frontal contíguos da bobina de indução são dispostos em proximidade na direção longitudinal da placa de metal, enquanto os condutores laterais da superfície traseira são mais separados entre si, ou seja, são dispostos para terem uma distância na direção longitudinal da placa de metal maior do que a distância entre os condutores laterais da superfície frontal em proximidade.

Alternativamente, os condutores laterais da superfície traseira são dispostos em proximidade na direção longitudinal da placa de metal, enquanto os condutores laterais da superfície frontal são mais separados entre si, ou seja, são dispostos de modo a terem uma distância na direção longitudinal da placa de metal maior do que a distância entre os condutores laterais da superfície traseira em proximidade. Adicionalmente, ao passar corrente alternada na bobina de indução, são passadas correntes primárias de modo a correrem na mesma direção e com a mesma fase nos condutores próximos.

A Figura 9(a) e a Figura 9(b) mostram exemplos de condutores laterais de uma bobina de indução na superfície frontal e na superfície traseira tendo inclinações nos lados opostos de extremidade da placa de metal (partes inclinadas).

A Figura 9(a) é um exemplo de condutor lateral próximo de superfície traseira. A rota sobre a qual a corrente primária circula na bobina de indução consiste da fonte de alimentação com alta frequência 11 através do condutor conectado 7a e sobre o caminho do condutor 3a → conetando o condutor 7b → condutor 2b → extremidade do condutor de conexão 8 → condutor 2a → condutor de conexão 7c → condutor 3b → condutor de conexão 7d → fonte de alimentação de alta frequência 11. Nos condutores laterais da superfície traseira próxima 2b e 3b, a corrente primária com mesma fase circula na mesma direção.

As razões pelas quais suas seções da bobina de indução dota-

das de condutores tendo partes inclinadas serem dispostas em posição contígua entre si e correntes primárias com mesma fase correrem através dos condutores laterais da superfície traseira próximos (ou condutores laterais da superfície frontal) são conforme a seguir.

5 A primeira razão é que, conforme explicado anteriormente, o fluxo gerado pela bobina de indução pode ser concentrado, então aumenta a eficiência do aquecimento.

10 A segunda razão é que, conforme explicado anteriormente, no caso de condutores tendo partes inclinadas, os circuitos secundários 9, conforme é mostrado na Figura 8, são formados. Devido a isso, a temperatura nas extremidades da placa de metal aumenta com mais facilidade. Em oposição a isso, no caso da Figura 11 ou da Figura 9(a), em que duas seções da bobina de indução são dispostas em posição contígua entre si, os condutores laterais da superfície traseira (ou condutores laterais da superfície frontal) são dispostos em proximidade, e as correntes primárias com mesma fase são passadas, conforme é mostrado na Figura 10, nas regiões externas dos condutores dispostos de modo a terem inclinações com relação à direção da largura da placa de metal (regiões dos lados externos das partes inclinadas) e as regiões situadas entre as seções contíguas da bobina de indução, as direções das correntes de indução do circuito secundário 10a das correntes de indução escravas geradas por uma das seções contíguas da bobina de indução (o lado 3b na Figura 9(a)) e o circuito secundário 10b da corrente de indução escrava 10b da corrente de indução escrava gerada pela outra (lado 2b na Figura 9(b)) podem ser gerados nas direções opostas, então os circuitos secundários podem ser cancelados, as correntes de indução escravas que circulam nos circuitos secundários 10 podem ser reduzidas, o aumento de temperatura nas extremidades da placa de metal pode ser suprimido e a distribuição da temperatura de aquecimento pode ser tornada uniforme.

30 Ao contrário da Figura 9(a), onde uma seção da bobina de indução constituída dos condutores 2a e 2b e uma outra seção da bobina de indução constituída de condutores 3a e 3b, ou seja, um total de duas seções,

são conectadas em série, a Figura 9(b) é um exemplo onde elas são conectadas em paralelo. Os mesmos efeitos, conforme explicado acima, podem ser obtidos mesmo com conexão em paralelo.

5 A Figura 11 é um exemplo onde duas seções da bobina de indução, em que cada um dos condutores que constitui a bobina de indução é dotado de um condutor tendo uma parte inclinada tanto na parte frontal quanto na parte traseira perto das duas extremidades da placa de metal 1, são dispostas em posição contígua entre si e os condutores laterais da superfície traseira 2b e 3b são dispostos em proximidade e conectados em paralelo com a fonte de alimentação 11, tal que correntes primárias com mesma fase circulam nos condutores 2b, 3b.

Nas extremidades da placa de metal 1 circundadas pelos condutores 2b e 3b, as correntes de indução geradas nos condutores 2b e 3b têm direções opostas, mas quase o mesmo tamanho, então nas regiões laterais 15 externas dos condutores 2b, 3b dispostos de modo a terem inclinações com relação à direção da largura da placa de metal e as regiões intercaladas entre as seções contíguas da bobina de indução, as correntes de indução param de circular quase totalmente e a ocorrência de circuitos secundários pode ser suprimida.

20 Como fica claro do princípio acima, as seções contíguas da bobina de indução não estão limitadas a duas seções. Quanto maior o número, mais podem ser minimizados os efeitos das correntes de indução escravas (circuitos secundários) que circulam nas extremidades da placa de metal.

25 A conexão destas seções contíguas da bobina de indução pode ser uma conexão em série, como na Figura 9(a), ou uma conexão em paralelo, como na Figura 9(b) e na Figura 11 ou uma combinação de conexões em paralelo e em série, como na Figura 12.

30 Note que a Figura 12 é um exemplo em que são dispostas quatro seções das bobinas de indução. Nas regiões de ambas as extremidades da placa de metal intercaladas entre os condutores 2b, 3b, ambas as extremidades da placa de metal intercalada entre os condutores 3a, 2a' e ambas as extremidades da placa de metal intercaladas entre os condutores 2b', 3b',

as correntes de indução param de circular quase totalmente, então a ocorrência de circuitos secundários pode ser suprimida.

Nas seções contíguas da bobina de indução, as distâncias na direção longitudinal da placa de metal entre os condutores laterais da superfície traseira próxima (ou condutores laterais da superfície frontal) não são particularmente estipuladas, no entanto, se as distâncias forem muito grandes, o efeito de concentração de fluxo enfraquece. De preferência, eles não são tão separados entre si. A distância, de preferência, não é maior do que a largura do condutor na direção longitudinal da placa de metal.

Adicionalmente, o ângulo dos condutores inclinados pode ser determinado encontrando-se o ângulo apropriado α desde a largura da placa de metal aquecida e a largura da bobina de indução por meio da análise e teste do campo eletromagnético. Adicionalmente, as seções da bobina de indução combinadas são, se possível, iguais, na largura e no formato. A distribuição da temperatura é fácil de controlar neste caso. No entanto, elas não precisam ter o mesmo formato. Contanto que sigam o princípio acima, não há problema mesmo que os formatos sejam diferentes.

Entretanto, mesmo na Figura 9(a), na Figura 9(b), na Figura 11, e na Figura 12, as correntes de indução secundárias geradas nos lados externos das partes inclinadas dos condutores tendo inclinações dispostas nos lados mais externos na placa de metal 1 onde as correntes com mesma fase não circulam (o lado mais frontal ou mais traseiro da direção longitudinal da placa de metal, a parte mais superior ou mais inferior nos desenhos) (circuitos secundários gerados nos lados externos das partes inclinadas dos condutores nas bordas mais externas na direção longitudinal (parte mais superior e mais inferior dos desenhos)), permanecem como elas são.

Logo, na presente invenção, para reduzir as correntes de indução secundárias das partes inclinadas, os núcleos magnéticos 12a, 12b que se estendem a partir da superfície frontal até a superfície traseira da placa de metal de modo a cobrir as extremidades da placa de metal, são dispostos nas extremidades da placa de metal 1 nos lados externos das partes inclinadas dos condutores tendo as inclinações dispostas nos lados mais externos

na placa de metal 1, conforme é mostrado na Figura 13 (os lados externos dos condutores 2a e 3a, onde não existem condutores próximos). Como os formatos que cobrem as extremidades da placa de metal, por exemplo, os núcleos magnéticos podem ter seções transversais em formato de U.

5 A Figura 14 e a Figura 15 são vistas esquemáticas em corte transversal explicando o funcionamento do núcleo magnético 12a na seção transversal A-A da Figura 13.

Na Figura 14, o fluxo 13 é gerado de acordo com a regra do parafuso da mão direita em torno do condutor da bobina 2a pela corrente primária que circula no condutor da bobina 2a (no desenho, um caso onde ela circula desde detrás do papel até a frente), no entanto, uma parte do fluxo entra no núcleo magnético 12a, que tem uma alta permeabilidade magnética e baixa resistência magnética em comparação com os arredores na superfície frontal da placa de metal 1, passa desde o topo até o lado interno, atinge a parte inferior, então vai da superfície traseira da placa de metal 1 na direção da extremidade da placa de metal 1, passa através da placa de metal 1 e retorna para a parte superior do núcleo magnético 12a como o fluxo 13b.

Por outro lado, a maior parte do fluxo restante 13 passa através do fluxo 13a na extremidade da placa de metal 1, porém sofre obstrução pelo fluxo 13b da direção oposta e entra, deslocado, no lado central da placa de metal 1. Logo, as correntes de indução secundárias que circundam na extremidade da placa de metal 1 devido ao fluxo 13a, são canceladas pela corrente de indução gerada pelo fluxo 13b da fase reversa, onde as correntes de indução secundárias que circulam nas extremidades da placa de metal são reduzidas, permitindo assim que seja suprimido o superaquecimento das extremidades da placa de metal.

A Figura 15 é uma explicação do caso onde uma corrente de uma fase oposta àquela da Figura 14 circula no condutor 2a. Neste caso também, as correntes de indução 13a e 13b da fase reversa são geradas na extremidade da placa de metal 1 e se cancelam, onde os circuitos secundários são reduzidos e o superaquecimento é suprimido.

A Figura 16 é um exemplo de núcleos magnéticos sendo adicio-

nados aos lados externos das partes inclinadas dos condutores da bobina de indução disposta nos lados mais externos no arranjo da bobina de indução mostrada na Figura 11. Isso suprime o superaquecimento das extremidades da placa de metal causado pelas correntes de indução secundárias nos lados externos das quatro partes inclinadas dos condutores tendo inclinações dispostas nos lados mais externos.

A Figura 17 é um exemplo, no arranjo da bobina de indução mostrada na Figura 12, onde quatro seções da bobina de indução são dispostas em proximidade, tal que as correntes com mesma fase circulem e os núcleos magnéticos são dispostos nos lados mais externos das partes inclinadas dos condutores tendo inclinações dispostas nos lados mais externos na placa de metal 1, onde os circuitos secundários não podem ser cancelados. Isso permite controle de temperatura extremamente eficaz nas extremidades.

Os núcleos magnéticos usados podem ser adequadamente selecionados a partir de placas de aço magnético laminado ou ferrita, materiais amorfos ou outros materiais que tenham uma alta permeabilidade magnética relativa e baixa geração de calor.

Adicionalmente, na explicação, os núcleos magnéticos são explicados com referência a um exemplo onde eles são dispostos de modo a darem face para as partes inclinadas dos condutores verticalmente desde as extremidades da placa de metal e, deste modo, cobrem a placa de metal, no entanto, eles também podem ser dispostos de modo a irem verticalmente, desde as extremidades da placa de metal até as faces de extremidade da placa de metal para cobrirem a placa de metal. O ângulo não tem que ser, necessariamente, preciso.

A seguir, será explicado o método de controle da distribuição da temperatura de aquecimento da placa de metal pelo método de aquecimento por indução da presente invenção.

A Figura 18(a) é uma vista esquemática que mostra um condutor que constitui uma parte inclinada da bobina de indução e uma parte de extremidade da placa de metal e que mostra a relação posicional da extremi-

dade da placa de metal e do condutor. A linha A no desenho mostra um caso onde a extremidade da placa de metal passa pelo meio do condutor inclinado, a linha B um caso onde a extremidade da placa de metal passa perto onde o condutor inclinado sobrepõe o condutor lateral da superfície traseira e, mais uma vez, começa a se estender até o lado externo da extremidade da placa de metal vertical à placa de metal e a linha C mostra um caso onde a extremidade da placa de metal passa através do meio onde o condutor lateral da superfície frontal inclinada sobrepõe o condutor lateral da superfície traseira no lado interno da extremidade da placa de metal e os condutores frontal e traseiro sobrepõem completamente e se estendem até o lado externo da extremidade da placa de metal vertical à placa de metal.

A Figura 18(b) é uma vista esquemática que mostra a corrente de indução gerada na placa de metal quando a extremidade da placa de metal passa pela linha A. A parte hachurada no desenho indica o intervalo onde a corrente-mestre, gerada pela bobina de indução, circula, enquanto as setas indicam as correntes de indução escravas que formam os circuitos secundários.

Quando a extremidade da placa de metal passa através do meio da inclinação de um condutor inclinado da bobina de indução, a extremidade da placa de metal é atravessada por uma corrente de indução sobre aproximadamente a distância L_a . Além disso, originalmente, a corrente de indução deve fluir ao longo da bobina de indução inclinada, mas o caminho da corrente termina passando a extremidade da placa de metal, então a corrente de indução circula ao longo da extremidade da placa de metal, onde a densidade da corrente de indução circula na extremidade da placa de metal se torna maior e fica mais fácil aumentar a temperatura da extremidade da placa de metal.

Conforme é mostrado na Figura 18(c), quando a extremidade da placa de metal passa pela linha B perto de onde a extremidade da inclinação do condutor inclinado termina e onde os condutores frontal e traseiro se sobrepõem, as correntes de indução circulam a distância L_b , menor do que a distância L_a acima, no entanto, os condutores frontal e traseiro se sobre-

põem parcialmente na extremidade da placa de metal, então a geração da corrente de indução é suprimida na extremidade da placa de metal e, consequentemente, fica mais difícil aumentar a temperatura da extremidade.

5 Ou seja, na presente invenção, os condutores inclinados da bobina de indução vão na direção das extremidades da placa de metal e os condutores frontal e traseiro da bobina de indução são dispostos de modo a se sobreporem nos lados externos das extremidades da placa de metal, no entanto, se os condutores frontal e traseiro da bobina de indução forem dispostos de modo a se sobreporem, esta parte tem a mesma distribuição de
10 fluxo que o assim chamado aquecimento LF, as correntes de indução não são geradas como acima na placa de metal e a corrente-mestre circula no interior, desde as extremidades da placa de metal, onde a quantidade de aumento da temperatura das extremidades da placa de metal diminui.

Adicionalmente, quando uma extremidade da placa de metal
15 passa pela linha de C, como na Figura 18(d), passa completamente pela posição onde os condutores frontal e traseiro da bobina de indução se sobrepõem, então as correntes de indução não são geradas na extremidade da placa de metal e a corrente principal da corrente de indução circula no lugar onde ela entra vindo da extremidade da placa de metal.

20 Logo, a temperatura das extremidades da placa de metal é menor do que aquela da parte central. A Figura 18(a) mostra um estado onde os condutores frontal e traseiro da bobina de indução se sobrepõem quase totalmente, no entanto, mesmo que os condutores frontal e traseiro da bobina de indução não se sobreponham completamente perto das extremidades
25 da placa de metal, contanto que não exista desvio de uma largura da bobina de indução ou mais, as correntes de indução geradas nas extremidades da placa de metal podem ser quase totalmente suprimidas.

Conforme explicado acima, se o método de aquecimento da presente invenção for usado, ajustando-se as posições relativas dos condutores
30 inclinados com relação à placa de metal, a distribuição da temperatura de aquecimento da placa de metal pode ser controlada.

Adicionalmente, conforme é mostrado na Figura 19, ao usar uma

pluralidade de seções da bobina de indução (quatro seções no desenho) e ajustando-se separadamente as relações posicionais da parte inclinada dos condutores das bobinas de indução com as extremidades da placa de metal, a distribuição da temperatura de aquecimento pode ser finamente controlada.

5 A Figura 19 mostra um exemplo onde um conjunto de condutores de bobina de indução 2a, 2b, 3a, e 3b conectados em série para 2T (volts) e um conjunto de condutores de bobina de indução 2a', 2b', 3a', e 3b' conectados em série para 2T são conectados em paralelo, mas as relações
10 posicionais do par de condutores de bobina de indução 2a, 2b, o par de 3a, 3b, o par de 2a', 2b', e o par de 3a', 3b' com as extremidades da placa de metal, são mudados para cada condutor de bobina de indução, e a posição onde a parte inclinada de um condutor de bobina de indução termina (a posição horizontal a partir da inclinação) se move gradualmente desde o interior da placa de metal até o exterior, na direção das extremidades da placa de metal, mais a partir da seção da bobina de indução superior até a seção da bobina de indução inferior na figura.

15 Neste caso, quanto menor o arranjo da seção de bobina de indução, maior a função de promover o aquecimento das extremidades da placa de metal. Caso se combine o controle posicional separado das seções de bobina de indução de tal maneira, a distribuição da temperatura de aquecimento pode ser livremente controlada para tornar a temperatura das extremidades da placa de metal mais alta, mais baixa ou igual àquela da parte central da placa de metal. Adicionalmente, a distribuição da temperatura de
20 uma área específica também pode ser controlada.

Adicionalmente, ao se fazer o ajuste de cada bobina de indução para se mover livremente na direção da largura, é possível rastrear qualquer sinuosidade da placa de metal ou mudança da largura da placa de metal, tornando fácil, desta maneira, lidar com as flutuações na operação.

30 Ao se desenhar os conjuntos da bobina de indução acima sobre um gráfico capaz de movimento na direção da largura da placa de metal e fazendo-se o gráfico se mover na direção da largura, a relação entre as po-

sições das partes inclinadas dos condutores da bobina de indução e as posições das extremidades da placa de metal, pode ser ajustada.

Note que, quando for necessário, ao desenhar uma pluralidade de conjuntos da bobina de indução sobre este gráfico e fazendo-o se mover na direção da largura, a relação entre as posições das partes inclinadas dos condutores da bobina de indução e as posições das extremidades da placa de metal podem ser amplamente ajustadas.

Adicionalmente, em cada conjunto da bobina de indução, ao conectar o condutor lateral da superfície frontal e o condutor lateral da superfície traseira tal que ambos se movam na direção da largura, ou um com relação ao outro nos lados externos das partes inclinadas (partes não-inclinadas), a relação das posições das partes inclinadas dos condutores da bobina de indução e as posições das extremidades da placa de metal podem ser ajustadas em cada conjunto também.

Adicionalmente, o sistema de aquecimento por indução, de acordo com a presente invenção, é capaz de controlar a distribuição da temperatura de aquecimento pelos núcleos magnéticos também. Ou seja, quando os efeitos das correntes de indução secundárias das partes inclinadas da bobina de indução no lado da entrada e no lado da saída da placa de metal 1 forem grandes, conforme é mostrado na Figura 20, é suficiente suprimir as correntes que circulam através das extremidades da placa de metal mudando-se a quantidade suplementar de fluxo gerado no condutor da bobina 3h pelo núcleo magnético 12b ou mudar a localização e a densidade de retorno do fluxo suplementado.

A Figura 20 é uma vista esquemática plana parcial em que uma bobina de indução 3h, tendo uma parte inclinada, é disposta sobre a placa de metal 1 e que explica de que maneira o núcleo magnético 12b é disposto. Para mudar a quantidade de fluxo a ser suplementado pelo núcleo magnético 12b, o método de mudar a área (largura e espessura do núcleo magnético) da seção transversal do núcleo magnético 12b, onde o fluxo entra, mudando a distância entre o núcleo magnético 12b e o condutor da bobina 3h da bobina de indução (L na Figura 20), mudando-se a área pela qual a placa

de metal 1 no lado externo do condutor da bobina 3h é coberta pelo núcleo magnético 12b (proporcional ao produto de d e w na Figura 20) e similar, a quantidade de fluxo que entra no interior do núcleo magnético 12b pode ser mudada.

5 Adicionalmente, como o método de controle da distribuição da temperatura de aquecimento, de acordo com o caminho que o fluxo, que entrou no interior do núcleo magnético 12b, é retornado para a placa de metal, aumentando-se/diminuindo-se a área do núcleo magnético 12b no lado oposto à bobina de indução (proporcional ao produto de d e w na Figura 20:
10 d e w na superfície frontal e na superfície traseira não tem que ser, necessariamente, iguais), mudando-se a posição do núcleo magnético 12b desde a extremidade da placa de metal (L da Figura 20) ou mudando-se a distância entre o núcleo magnético 12b e a placa de metal 1, etc., de modo a controlar o tamanho da corrente de indução na direção oposta, gerada pelo fluxo que
15 retorna pelo núcleo magnético 12b, a distribuição da temperatura na extremidade da placa de metal pode ser mudada.

A Figura 21 mostra um exemplo de controle contínuo da distância horizontal do núcleo magnético 12b desde a extremidade da placa de metal (L da Figura 20). Caso se carregue o núcleo magnético 12b sobre uma
20 mesa 14 ajustada sobre um trilho 15 e fazendo-se a mesa 14 mover por um cilindro pneumático ou cilindro elétrico ou outro tal sistema de acionamento 16, o núcleo magnético 12b pode se mover livremente e a área pela qual o núcleo magnético 12b cobre a placa de metal 1 pode ser livremente controlada.

25 Sendo assim, caso se proporcione um dispositivo de medição de temperatura após o sistema de aquecimento por indução e então, se realize o aquecimento por indução, torna-se possível o controle até a distribuição da temperatura desejada. Ou seja, se a distribuição da temperatura de uma extremidade da placa de metal após o aquecimento for alta, é suficiente empurrar o núcleo magnético 12b na direção do interior da placa de metal de
30 modo a aumentar a área pela qual o núcleo magnético cobre a extremidade da placa de metal, enquanto, por outro lado, se a temperatura em uma ex-

tremidade da placa de metal for baixa, é suficiente puxar o núcleo magnético 12b em uma direção em afastamento a partir da extremidade da placa de metal.

5 Adicionalmente, o mecanismo da Figura 21 também serve como um método para dispor o núcleo magnético 12b em uma posição apropriada quando a placa de metal 1 serpentear, por exemplo. Se a distância do movimento puder ser longa, é possível ajustar em uma posição apropriada quando a largura da placa for mudada.

10 Os elementos para mover o núcleo magnético 12b são colocados em um forte campo magnético, tanto quanto possível compreendendo, de preferência, plástico forte ou cerâmica ou outros materiais não-condutores. Quando forçado a usar um metal, SUS304 ou outro metal não-magnético precisa ser usado e, quando for confiável aquecer, é necessária uma estrutura de resfriamento.

15 Quando a placa de metal serpentear, ela se desviará da posição a partir da bobina de indução ajustada antecipadamente e, conseqüentemente, ocorrerão excessos ou faltas nas duas extremidades da placa de metal. Em tal caso também, a distribuição da temperatura de aquecimento desejada pode ser obtida movendo-se o núcleo magnético 12b para que corresponda à sinuosidade da placa de metal 1.

20 Para ajustar a temperatura desta maneira, é eficaz dispor um dispositivo de detecção de sinuosidade ou dispositivo de monitoramento antes ou após o sistema de indução, para obter uma compreensão precisa da posição da placa de metal e obter uma compreensão da distribuição da temperatura de aquecimento e obter a distribuição da temperatura desejada

25 ao se proporcionar, adicionalmente, um dispositivo para medir a distribuição da temperatura pelo menos no lado de saída do presente sistema, se possível também no lado de entrada do presente sistema, e controlar a posição dos núcleos magnéticos tal que seja possível realizar aquecimento adequado.

30

Conforme explicado acima, os presentes sistema de aquecimento e método de aquecimento são capazes de aquecimento efetivo, a despeito

to da espessura da placa e largura da placa e a despeito do material ser magnético ou não-magnético. Ou seja, usando-se eletricidade, quase não há inércia térmica em comparação com métodos convencionais de aquecimento a gás, logo, as condições de operação podem ser mudadas livremente, o aquecimento até a temperatura desejada pode ser realizado livremente, o aquecimento pode ser realizado a qualquer taxa de aquecimento em partes à alta temperatura onde é difícil que o calor entre com aquecimento radiante e quase não há ineficiência ou tempo necessário para começar, então o grau de liberdade da operação é bem aumentado.

Adicionalmente, é possível lidar com facilidade com mudanças na largura da placa e mudanças na espessura da placa, então os planos de produção e a própria produção podem ser realizados de maneira flexível com poucas restrições.

Adicionalmente, o espaço de instalação também pode ser bastante reduzido com aquecimento radiante e os custos de construção também podem ser reduzidos. Ainda, a frequência da fonte de alimentação de aquecimento usada pode se tornar uma frequência barata, comparativamente baixa de uma fonte de alimentação facilmente manuseável. O aumento na voltagem da bobina, etc., que provê um problema em aquecimento à alta frequência, pode ser facilmente evitado e as limitações de hardware podem ser bastante minoradas.

Adicionalmente, o sistema de aquecimento por indução e o método de aquecimento por indução, de acordo com a presente invenção, são um sistema de aquecimento e um método de aquecimento superiores e um método de aquecimento de placa de metal que permite que um único sistema lide com uma ampla faixa de tamanhos e de tipos de produtos, permitindo o controle da distribuição da temperatura de aquecimento, impedindo o superaquecimento das extremidades da placa de metal, que eram um problema nos sistemas de aquecimento por indução até o momento, e permitir o controle da distribuição da temperatura até uma distribuição da temperatura precisamente determinada e, deste modo, ter características nunca vistas antes no passado.

Exemplos

Exemplos I

5 Para confirmar os efeitos vantajosos da presente invenção, foram conduzidos experimentos movimentando e aquecendo-se um aço não-magnético SUS304 com 0,5 mm de espessura × 600 mm de largura.

A fonte de alimentação usada foi uma fonte de alimentação de 10 kHz, max 100 kW de alta frequência. Um capacitor de ajuste fino para ajustar a frequência de ressonância, teve sua capacidade mudada para corresponder à indutância da bobina de indução.

10 A bobina de indução usada compreendeu uma placa de cobre com 150 mm de largura, 10 mm de espessura, a que foi unido, por brasa-gem, um tubo de cobre resfriado à água com 10 mm de diâmetro externo e 8 mm de diâmetro interno, no lado oposto à placa de aço (exterior), ou seja, foi feito de placa de cobre resfriada à água. No presente exemplo, "condutor"
15 indica tanto a placa de cobre quanto o tubo de cobre.

O desvio de temperatura após o aquecimento foi comparado entre o Exemplo 1, de acordo com a presente invenção, onde o espaço entre o material aquecido e a bobina de indução foi definido como 100 mm e, conforme é mostrado na Figura 6, duas seções da bobina de indução foram dis-
20 postas em posição contígua entre si, em paralelo e desviadas por 150mm na direção longitudinal da placa de metal e onde as correntes primárias da mesma fase circulam, o Exemplo 2, de acordo com a presente invenção, onde quatro seções da bobina de indução (o desvio das seções da bobina de indução, na direção longitudinal da placa de metal feita 150 mm) foram
25 conectadas em série para 2T para dar um arranjo contíguo e duas seções foram conectadas em paralelo (não-mostradas) e, como Exemplo Comparativo 1, um caso onde uma seção da bobina de indução foi usada sozinha, conforme é mostrado na Figura 3.

Note que, nos Exemplos 1 e 2, a distância entre os condutores
30 em proximidade no lado da superfície traseira ou no lado da superfície frontal na direção longitudinal da placa de metal foi de 20 mm. O aquecimento foi realizado enquanto se movimentava o material aquecido fixado com K ter-

mopares a 5 m/min. Os termopares foram montados na parte central e nas extremidades do material aquecido.

Os resultados são mostrados na Tabela 1. No que diz respeito à razão de desvio de temperatura na tabela, o aumento de temperatura difere para cada exemplo, então o maior aumento (valor máximo de [temperatura após aquecimento – temperatura antes do aquecimento]) e o menor aumento (valor mínimo de [temperatura após o aquecimento – temperatura antes do aquecimento]) na distribuição da temperatura na placa foram usados para definir a razão de desvio de temperatura, ou seja, maior aumento/menor aumento. Isso permitiu que as flutuações na distribuição de aumento de temperatura fossem comparadas pela mesma escala.

Tabela 1

		Razão de desvio de temperatura
Exemplos da invenção	Exemplo 1	4,6
	Exemplo 2	2,1
Exemplo comparativo	Exemplo comparativo 1	12,2

Nos Exemplos 1 e 2 e no Exemplo Comparativo 1, a temperatura da parte central da placa de metal foi baixa e a temperatura das extremidades foi alta. Em comparação com o Exemplo Comparativo 1, onde o aquecimento foi realizado por uma única seção da bobina de indução sozinha, no Exemplo 1, de acordo com a presente invenção, dispondo-se duas seções da bobina de indução em posição contígua entre si e fazendo-se circular correntes primárias com mesma fase, o desvio de temperatura diminuiu para aproximadamente 1/3, enquanto que no Exemplo 2, dispondo-se quatro seções da bobina de indução em proximidade, o desvio de temperatura foi mais reduzido ainda, para aproximadamente 1/6.

Exemplos II

Foram conduzidos experimentos no Exemplo 3 de acordo com a presente invenção, dispondo-se duas seções da bobina de indução, tendo partes inclinadas feitas com placa de cobre resfriadas à água com 150 mm de largura, como na Figura 9(a), desviando-as por 200 mm nas superfícies

frontal e traseira da placa de aço no centro, na direção de progressão da placa de aço, e ajustando-se as inclinações das partes inclinadas das seções da bobina de indução tendo as partes inclinadas a ângulos α com a placa de metal de 20°, Exemplo 4 dispoendo quatro seções da bobina de indução (desvio de seções da bobina de indução nas superfícies frontal e traseira da placa de metal no centro na direção de progressão da placa de metal ajustada para 200 mm e ângulos de inclinação das partes inclinadas com extremidades de placa de metal definidos para 20°) como na Figura 12 e fazendo-se as posições P onde as inclinações dos condutores da Figura 12 e nas extremidades da placa de metal para aquecimento e, como um exemplo comparativo, o Exemplo Comparativo 2 aquecendo por uma seção da mesma bobina de indução (não-mostrado).

Note que, nos Exemplos 3 e 4, a distância entre os condutores próximos na direção longitudinal da placa de metal no lado da superfície traseira ou no lado da superfície frontal, foi de 15 mm. A relação posicional das extremidades da placa de metal e dos condutores que constituem a bobina de indução foi, conforme é mostrado na Figura 12, uma onde as extremidades da placa de metal passam através das extremidades das partes inclinadas. A avaliação foi realizada pelo aumento de temperatura ao se movimentar e aquecer o material aquecido fixado com K termopares. A velocidade de movimento foi de 5 m/min.

Os resultados são mostrados na Tabela 2. As posições de medição de temperatura são as mesmas posições do Exemplo I, enquanto a razão de desvio de temperatura teve a mesma definição que no Exemplo I.

25

Tabela 2

		Razão de desvio de temperatura	Comentário
Exemplos da invenção	Exemplo 3	1,3	Temperatura do centro da placa < Temperatura da borda da placa
	Exemplo 4	1,1	Temperatura do centro da placa > Temperatura da borda da placa

		Razão de desvio de temperatura	Comentário
Exemplo Comparativo	Exemplo Comparativo 2	1,9	Temperatura do centro da placa < Temperatura da borda da placa

No aquecimento com partes inclinadas, o desvio de temperatura pode ser reduzido mesmo sozinho. No caso do Exemplo Comparativo 2, foi de 1,9. No entanto, ao usar duas seções da bobina de indução, o desvio de temperatura foi adicionalmente reduzido até 1,3.

5 Adicionalmente, ao usar quatro seções da bobina de indução, o desvio de temperatura foi reduzido para 1,1 e a temperatura nos lados da extremidade foi menor do que a temperatura na parte central da placa de metal.

Exemplos III

10 Foram conduzidos experimentos usando-se quatro seções da bobina de indução testada nos Exemplos II (disposição da Figura 12) ao mesmo tempo em que se mudava as posições das partes inclinadas da bobina de indução e as posições das extremidades da placa de metal.

15 No exemplo 5, o aquecimento foi realizado fazendo-se as posições P onde as inclinações da Figura 12 terminam 50 mm no interior a partir das extremidades da placa de metal para aquecer e o Exemplo 6, fazendo-se as posições em 50 mm até o exterior a partir das extremidades da placa de metal para aquecimento do mesmo modo que no Exemplo 2. Note que a relação posicional das quatro seções da bobina de indução e a placa de metal foram iguais.

20 A Tabela 3 mostra os resultados. No caso do Exemplo 5, o aumento da temperatura das extremidades da placa de metal foi pequeno e a temperatura da parte central da placa de metal foi alto, onde a razão de desvio de temperatura ficou grande. Por outro lado, no caso do Exemplo 6, a temperatura nas extremidades da placa de metal foi alta, enquanto, no Exemplo 4 do Exemplo II, as extremidades da placa de metal tinham uma temperatura ligeiramente menor do que a parte central da placa de metal, dando uma temperatura quase uniforme. Foi confirmado que a distribuição

da temperatura de aquecimento foi mudada pela posição onde as extremidades da placa de metal atravessaram as partes inclinadas da bobina de indução

Tabela 3

		Razão de desvio de temperatura	Comentário
Presente invenção	Exemplo 5	1,4	Temperatura do centro da placa > Temperatura da borda da placa
	Exemplo 6	1,3	Temperatura do centro da placa < Temperatura da borda da placa

5 Exemplo IV

Foram dispostos núcleos de ferrita em formato de U (seção transversal de 22 mm x 15 mm, largura da abertura de 170 mm, 220 mm de altura, 120 mm de profundidade), enquanto se mudava as posições fixadas às bordas da placa de aço, conforme é mostrado na Figura 13 e na Figura 10 14 no Exemplo 3, que usa duas seções da bobina de indução testadas no Exemplo II e foram conduzidos experimentos de aquecimento do mesmo modo que no Exemplo 2.

No Exemplo 7, quando as extremidades da placa de metal e as extremidades dos núcleos magnéticos (extremidades dando face para a parte central da placa de metal) estão alinhadas, a razão de desvio de temperatura cai ligeiramente abaixo do Exemplo 3, onde não havia núcleos magnéticos. 15

Adicionalmente, no Exemplo 8, em que as extremidades dos núcleos magnéticos estão posicionadas 20 mm para dentro a partir das extremidades da placa de metal, a razão de desvio de temperatura cai ainda mais até 1,23, enquanto que no Exemplo 9, em que as extremidades dos núcleos magnéticos estão posicionadas 50 mm para dentro a partir das extremidades da placa de metal, a razão de desvio de temperatura cai ainda mais até 1,18, onde se confirmou que a distribuição da temperatura pode ser controlada 20 pelas posições onde os núcleos magnéticos cobrem as extremidades da 25

placa de metal.

Tabela 4

		Posição coberta pela extremidade de núcleo magnético desde a extremidade da placa de metal até o centro (mm)	Razão de desvio de temperatura	Comentário
Exemplos da invenção	Exemplo 7	0	1,28	Temperatura do centro da placa > Temperatura da borda da placa
	Exemplo 8	20	1,23	Temperatura do centro da placa < Temperatura da borda da placa
	Exemplo 9	50	1,18	Temperatura do centro da placa < Temperatura da borda da placa

Aplicabilidade Industrial

Conforme explicado, o presente sistema de aquecimento por indução e método de aquecimento são capazes de aquecimento eficaz a despeito da espessura da placa e da largura da placa e a despeito do material ser magnético ou não-magnético.

10 Ou seja, usando-se eletricidade, quase não há inércia térmica em comparação com métodos convencionais de aquecimento a gás, logo, as condições de operação podem ser mudadas livremente, e o aquecimento até a temperatura desejada pode ser realizado livremente a qualquer taxa de aquecimento em partes à alta temperatura onde é difícil que o calor entre com aquecimento radiante, e quase não há ociosidade ou tempo requerido para o início, então o grau de liberdade de operação é bastante aumentado.

15 Adicionalmente, é possível lidar facilmente com mudanças na largura da placa e com mudanças na espessura da placa, então os planos de produção e a produção em si podem ser realizados de modo flexível com poucas restrições.

20 Adicionalmente, o espaço de instalação também pode ser bastante reduzido em comparação com o aquecimento radiante e os custos de construção também podem ser reduzidos. Adicionalmente, a frequência da

fonte de alimentação de aquecimento usada pode ser uma frequência barata comparativamente baixa de uma fonte de alimentação com a qual se pode lidar facilmente. O aumento na voltagem na bobina, etc, que provou ser um problema no aquecimento com alta frequência, pode ser facilmente evitado e as limitações de hardware podem ser bastante minoradas.

5

Sendo assim, a presente invenção tem aplicabilidade extremamente alta nas indústrias de metal a despeito de serem uma indústria de metal ferroso ou de metal não-ferroso.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de aquecimento por indução de placa de metal tendo uma bobina de indução formada, conectando um condutor em um lado da superfície frontal da placa de metal e um condutor em um lado da superfície traseira, de modo a circundar uma direção de largura da placa de metal, ao mesmo tempo em que tem uma distância a partir da superfície da placa de metal e aquece por indução a placa de metal que passa através do interior da bobina de indução circundante,

sendo que o dito sistema é caracterizado pelo fato de dispor ao menos duas seções da dita bobina de indução contíguas em uma direção longitudinal da dita placa de metal,

e, em uma projeção vertical, ao projetar verticalmente os condutores que formam a bobina de indução no lado da superfície frontal e no lado da superfície traseira da dita placa de metal sobre a dita placa de metal, o dito condutor lateral da superfície frontal e o dito condutor lateral da superfície traseira estão dispostos tendo uma distância de afastamento de modo a não se sobreporem mutuamente em uma direção longitudinal da dita placa de metal na parte central da dita placa de metal em cada uma das ditas pelo menos duas seções da bobina de indução,

e, adicionalmente, ao posicionar de modo contíguo ao menos duas seções da bobina de indução, os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade na direção longitudinal da placa de metal e os ditos condutores laterais da superfície traseira estão dispostos tendo uma distância de separação na direção longitudinal da placa de metal, mais do que a distância pela qual os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade,

ou os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade na direção longitudinal da placa de metal e os ditos condutores laterais da superfície frontal estão dispostos tendo uma distância de separação na direção longitudinal da placa de metal, mais do que a distância pela qual os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade.

2. Sistema de aquecimento por indução de placa de metal, tendo uma bobina de indução formada, conectando um condutor em um lado da superfície frontal da placa de metal e um condutor em um lado da superfície traseira, de modo a circundar uma direção de largura da placa de metal, ao mesmo tempo em que tem uma distância a partir da superfície da placa de metal e aquece por indução a placa de metal que passa através do interior da bobina de indução circundante,

sendo que o dito sistema é caracterizado pelo fato de dispor ao menos duas seções da dita bobina de indução contíguas em uma direção longitudinal da dita placa de metal,

e, em uma projeção vertical, ao projetar verticalmente os condutores que formam a bobina de indução no lado da superfície frontal e no lado da superfície traseira da dita placa de metal sobre a dita placa de metal, o dito condutor lateral da superfície frontal e o dito condutor lateral da superfície traseira estão dispostos tendo uma distância de afastamento de modo a não se sobreporem mutuamente em uma direção longitudinal da dita placa de metal na parte central da dita placa de metal em cada uma das ditas pelo menos duas seções da bobina de indução,

sendo que pelo menos o dito condutor lateral da superfície frontal ou o dito condutor lateral da superfície traseira de cada uma das ditas pelo menos duas seções da bobina de indução, tem uma parte inclinada com relação à direção da largura, em direção a pelo menos uma extremidade ou outra da placa de metal na direção da largura,

e, adicionalmente, ao posicionar de modo contíguo ao menos duas seções da bobina de indução, os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade na direção longitudinal da placa de metal e os ditos condutores laterais da superfície traseira estão dispostos tendo uma distância de separação na direção longitudinal da placa de metal, mais do que a distância pela qual os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade,

ou os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade na direção longitudinal da placa de metal e os ditos condutores

laterais da superfície frontal estão dispostos tendo uma distância de separação na direção longitudinal da placa de metal, mais do que a distância pela qual os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade.

5 3. Sistema de aquecimento por indução de placa de metal de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o sistema é projetado de tal modo que, ao passar uma corrente alternada na dita bobina de indução, corrente com mesma direção e mesma fase circula para os condutores em proximidade.

10 4. Sistema de aquecimento por indução de placa de metal de acordo com a reivindicação 2 ou 3, caracterizado pelo fato de que ao menos um dentre os ditos condutores laterais da superfície frontal e da superfície traseira da bobina de indução dispostos no lado mais externo na direção longitudinal da dita placa de metal, está disposto tendo uma parte inclinada
15 com relação à direção de largura, na direção de pelo uma das extremidades da dita placa de metal na direção da largura,

 e, em um lado externo de uma parte inclinada de um condutor tendo uma inclinação disposta no lado mais externo, é proporcionado um núcleo magnético que se estende a partir do lado da superfície frontal até o
20 lado da superfície traseira da dita placa de metal de modo a cobrir ao menos uma direção de largura da dita placa de metal.

 5. Sistema de aquecimento por indução de placa de metal de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o dito núcleo magnético tem um mecanismo para mover em uma direção horizontal e pode mudar uma quantidade da placa de metal coberta a partir da extremidade.
25

 6. Sistema de aquecimento por indução de placa de metal de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 5, caracterizado pelo fato de que ao menos um dentre um condutor lateral da superfície frontal e um
30 condutor lateral da superfície traseira da bobina de indução, tem um mecanismo que permite o movimento em uma direção de largura da placa de metal, e um condutor disposto de modo a ter uma parte inclinada com relação à

direção de largura, pode mudar a posição da parte inclinada com relação à placa de metal na direção da largura.

7. Método de aquecimento por indução de placa de metal usando um sistema de aquecimento por indução de metal de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 6, o dito método de aquecimento por indução é caracterizado pelo fato de passar uma placa de metal através do interior de uma bobina de indução do dito sistema de aquecimento por indução, circulando corrente alternada pela dita bobina de indução para circular corrente com a mesma direção e mesma fase pelos condutores na proximidade da dita bobina de indução e, assim, gerar no interior da dita placa de metal uma corrente de indução principal tendo substancialmente o mesmo formato que uma projeção vertical sobre a dita placa de metal dos ditos condutores laterais da superfície frontal e superfície traseira nas ditas pelo menos duas seções da bobina de indução do dito sistema de aquecimento por indução e tendo uma direção oposta à direção da corrente alternada que flui através dos ditos condutores laterais da superfície frontal e da superfície traseira, devido à dita corrente que circula,

e, em uma região no exterior de uma parte inclinada de um condutor disposto de modo a ter uma inclinação com relação à direção da largura da dita placa de metal e intercalada entre a dita bobina de indução contígua em uma projeção vertical dos ditos condutores laterais da superfície frontal e da superfície traseira sobre a dita placa de metal, gerar um circuito secundário de uma corrente de indução secundária gerada por uma das ditas seções contíguas da bobina de indução e um circuito secundário de uma corrente de indução secundária do outro nas direções opostas de modo a cancelar o circuito secundário e aquecer a placa de metal ao mesmo tempo em que impede a geração de uma corrente de indução secundária.

8. Método de aquecimento por indução de placa de metal de acordo com a reivindicação 7, compreendendo um método de aquecimento por indução de placa de metal usando um sistema de aquecimento por indução de placa de metal, como definido na reivindicação 5 ou 6, caracterizado pelo fato de mudar a quantidade pela qual o dito núcleo magnético cobre a

placa de metal a partir da extremidade de modo a mudar a distribuição da temperatura da extremidade da placa de metal.

5 9. Método de aquecimento por indução de placa de metal de acordo com a reivindicação 7, compreendendo um método de aquecimento por indução de placa de metal usando um sistema de aquecimento por indução de placa de metal, como definido na reivindicação 6, caracterizado pelo fato de fazer pelo menos um dentre o condutor lateral da superfície frontal e o condutor lateral da superfície traseira de uma bobina de indução, se mover em uma direção da largura da placa de metal e ajustar uma posição da parte
10 inclinada do dito condutor com relação à placa de metal de modo a ajustar uma distribuição da temperatura da dita placa de metal.

Fig.1

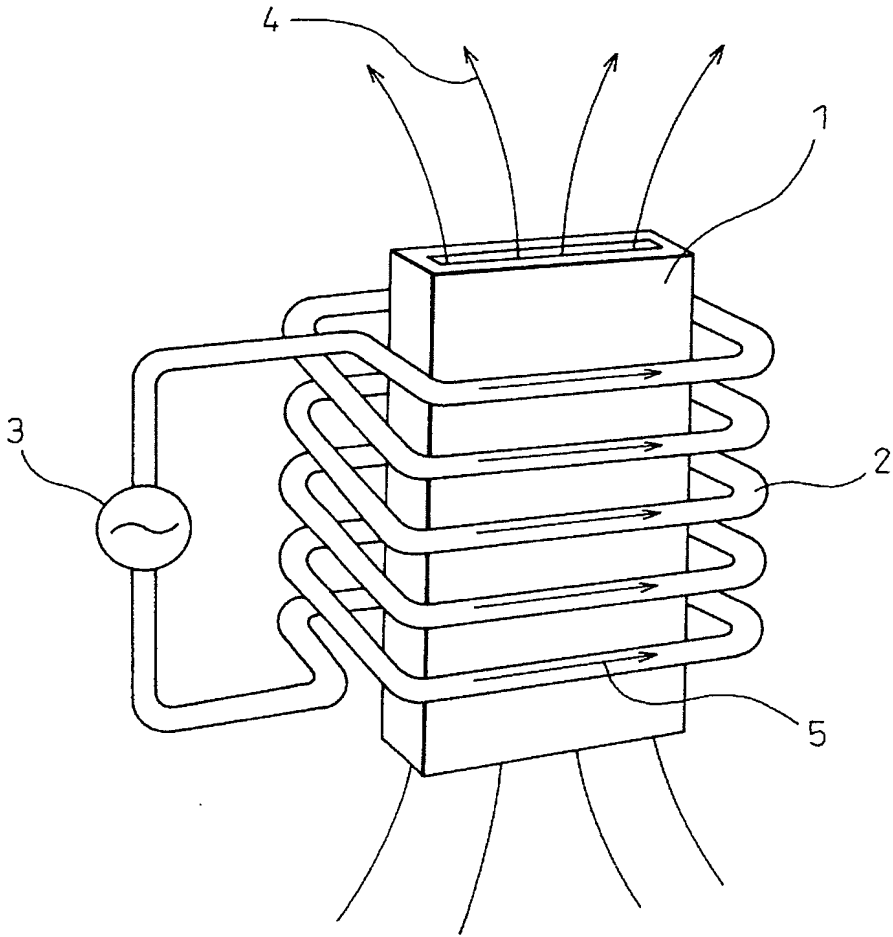


Fig.2

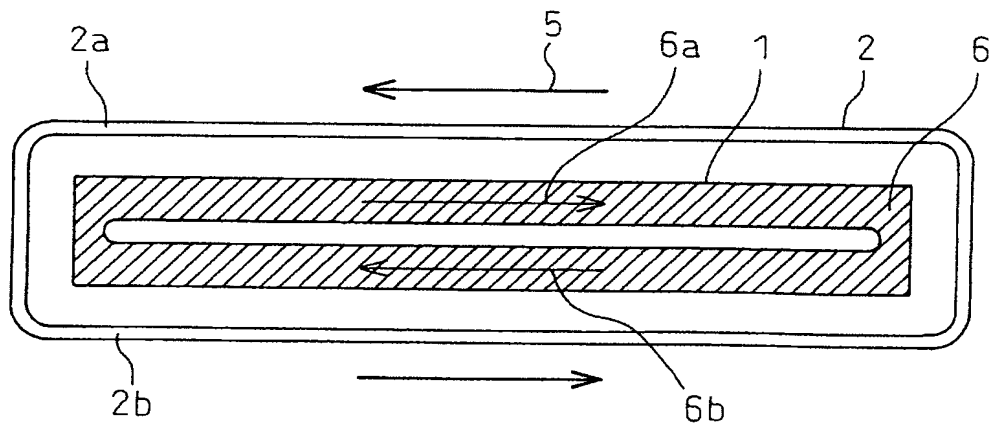


Fig.3

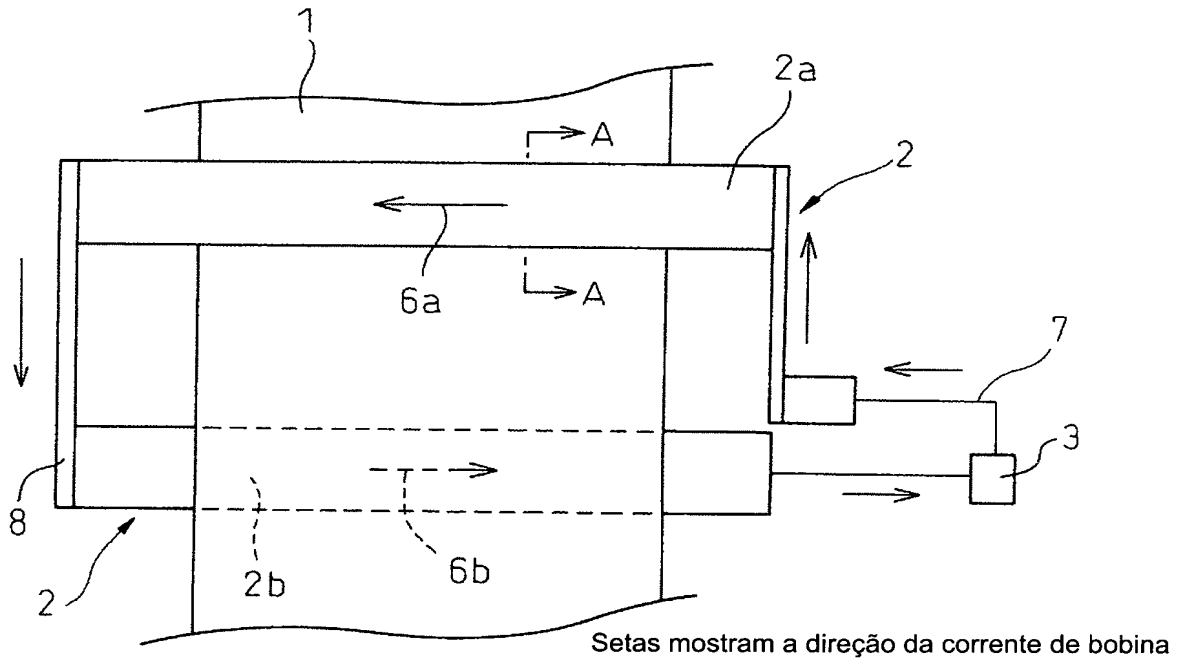


Fig.4

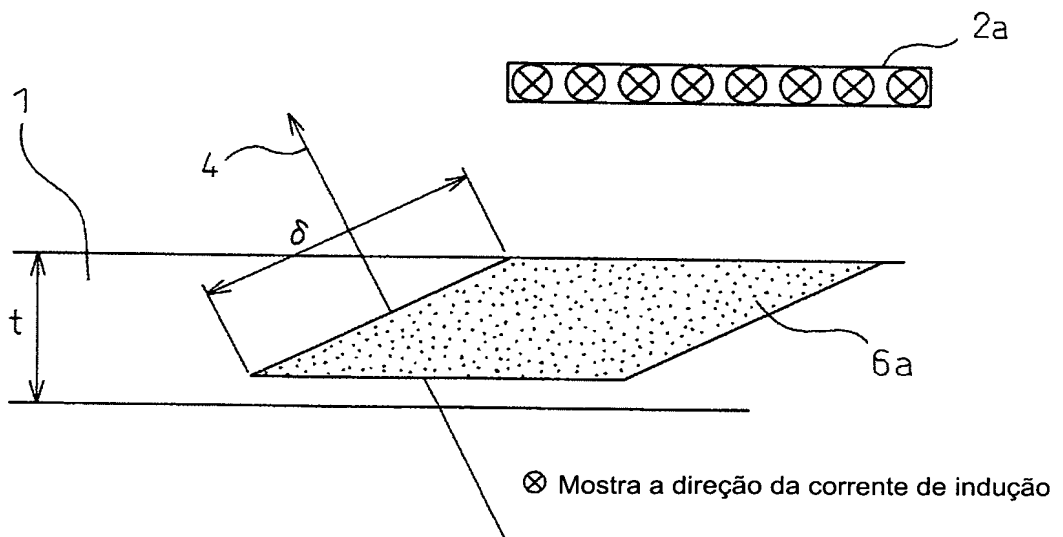
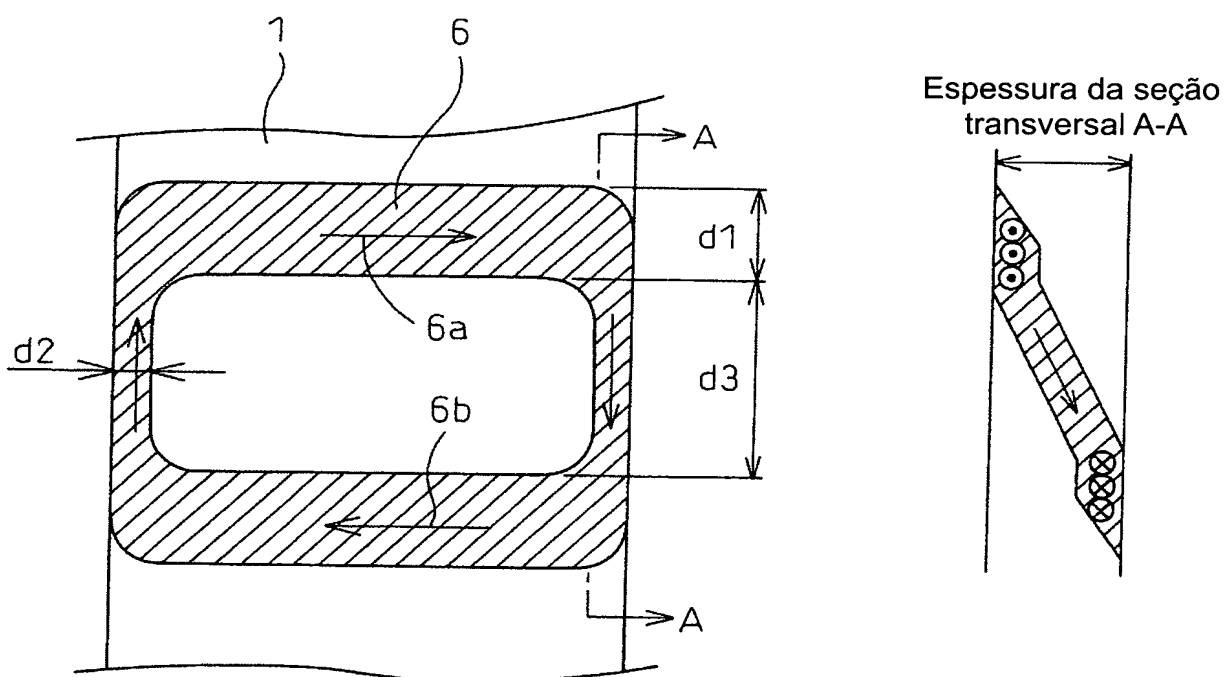


Fig.5



Setas, ● e ⊗ Mostram a direção da corrente de indução

Fig.6

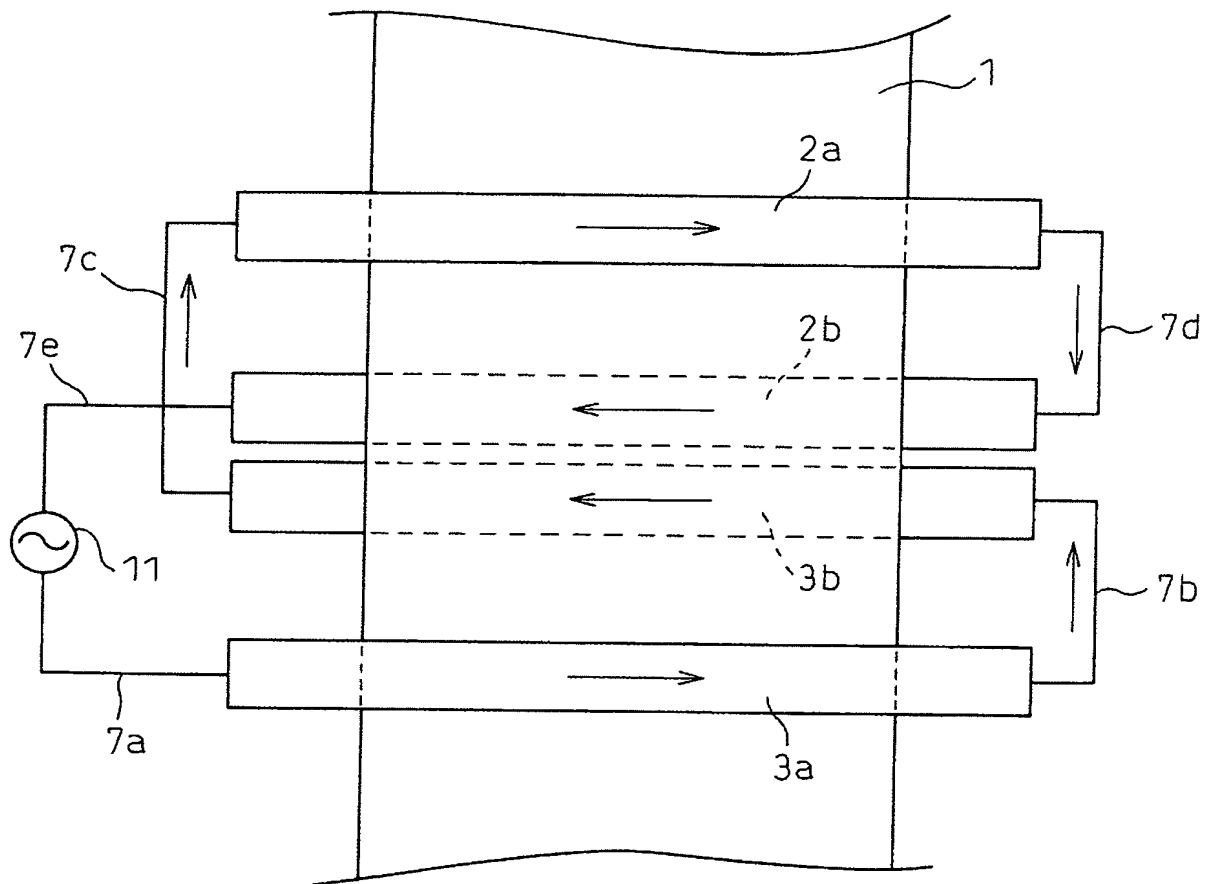
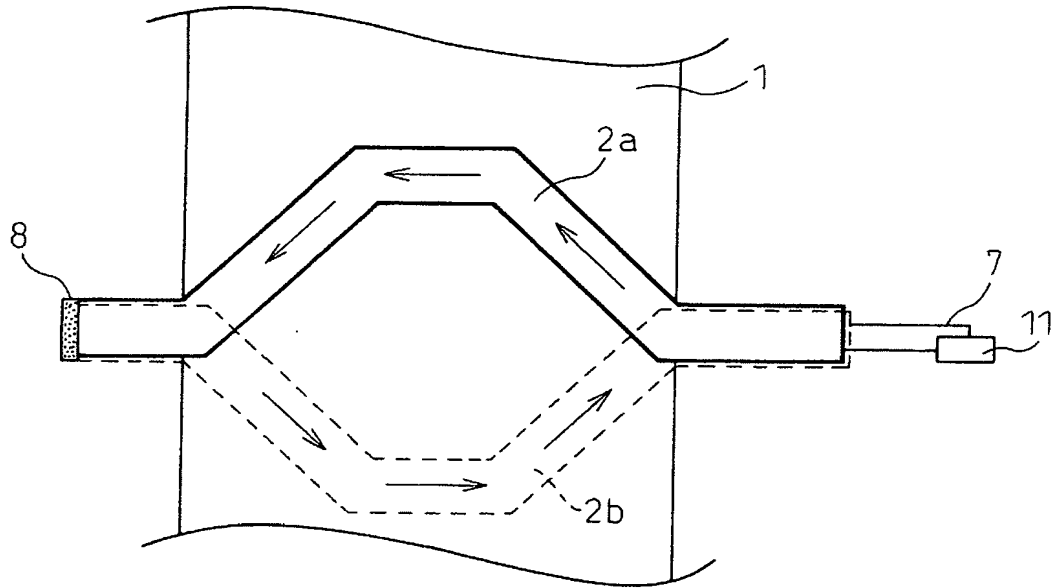


Fig.7



*1 Setas mostram a direção da corrente de bobina

*2 Linhas em negrito mostram o condutor da bobina de indução no lado frontal da placa metálica, enquanto as linhas tracejadas mostram o condutor da bobina de indução no lado posterior da placa metálica

Fig.8

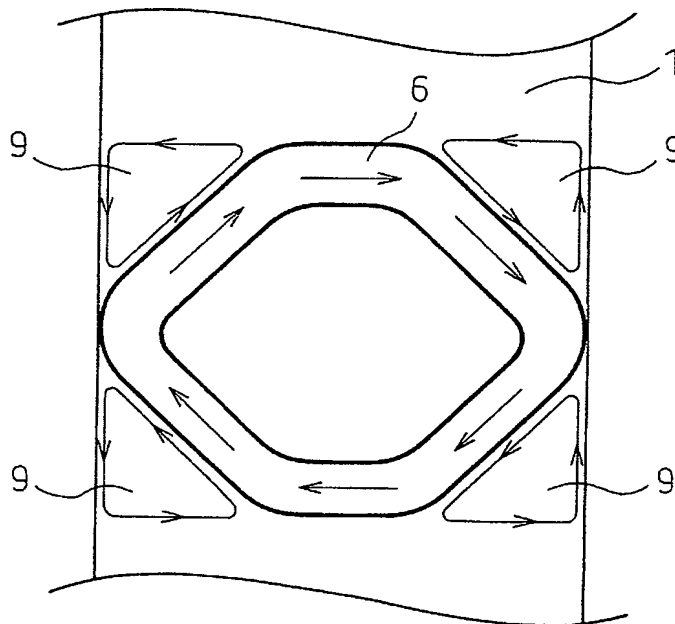


Fig.9(a)

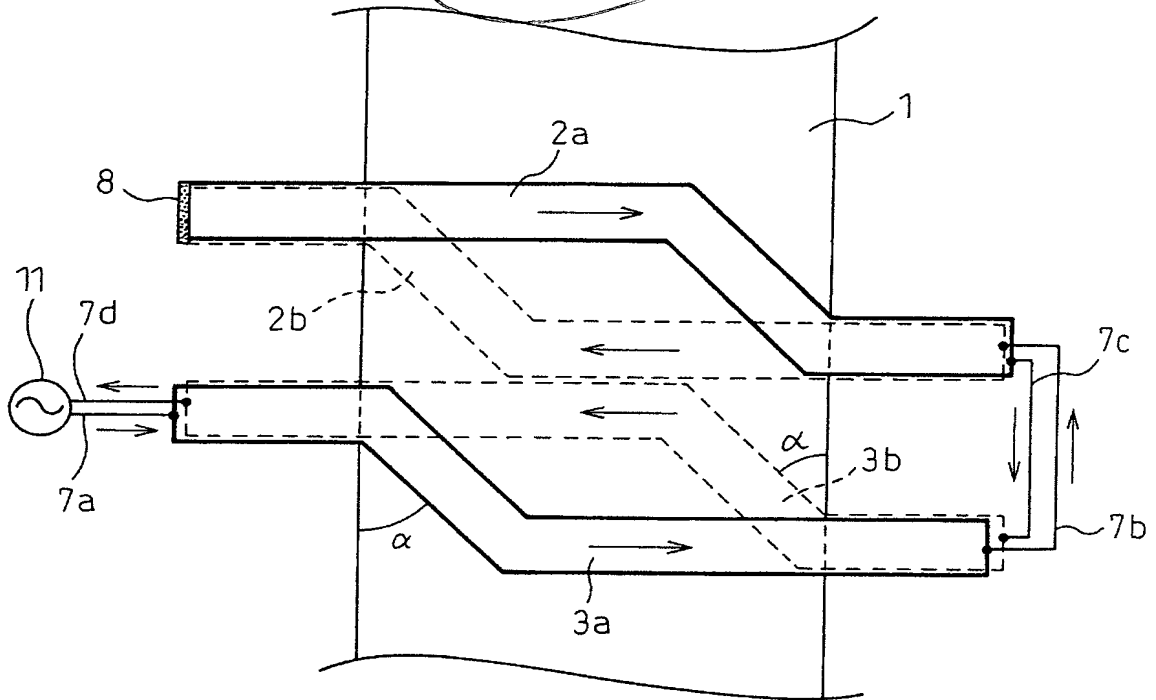


Fig.9(b)

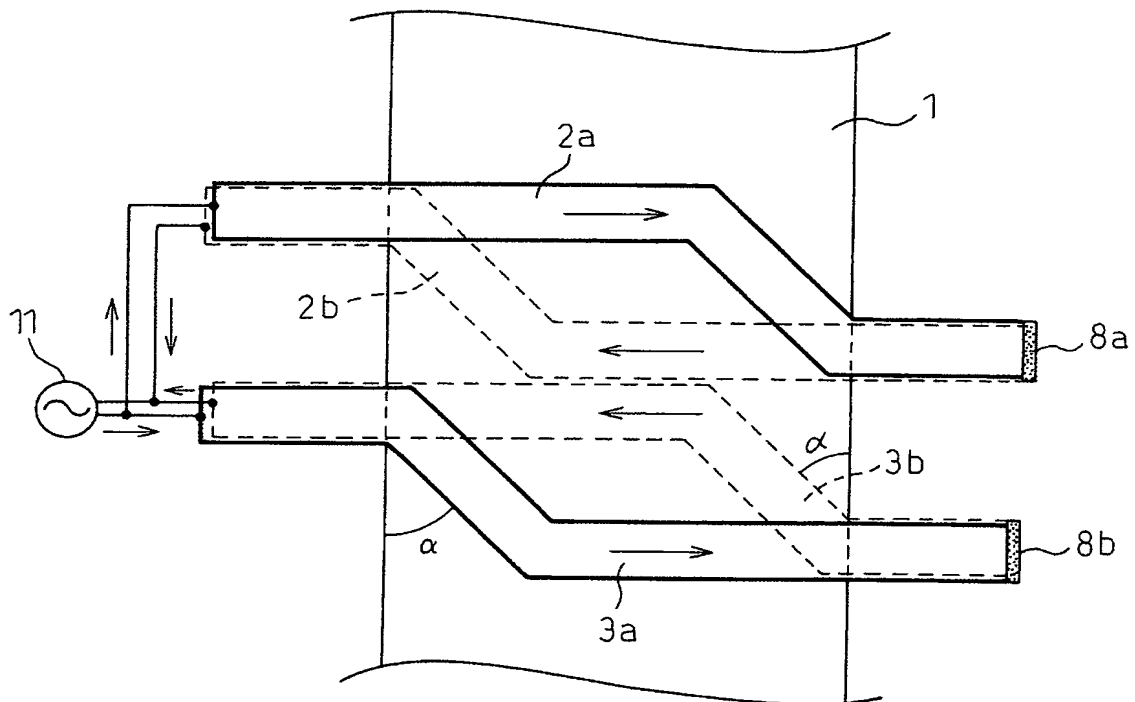


Fig.10

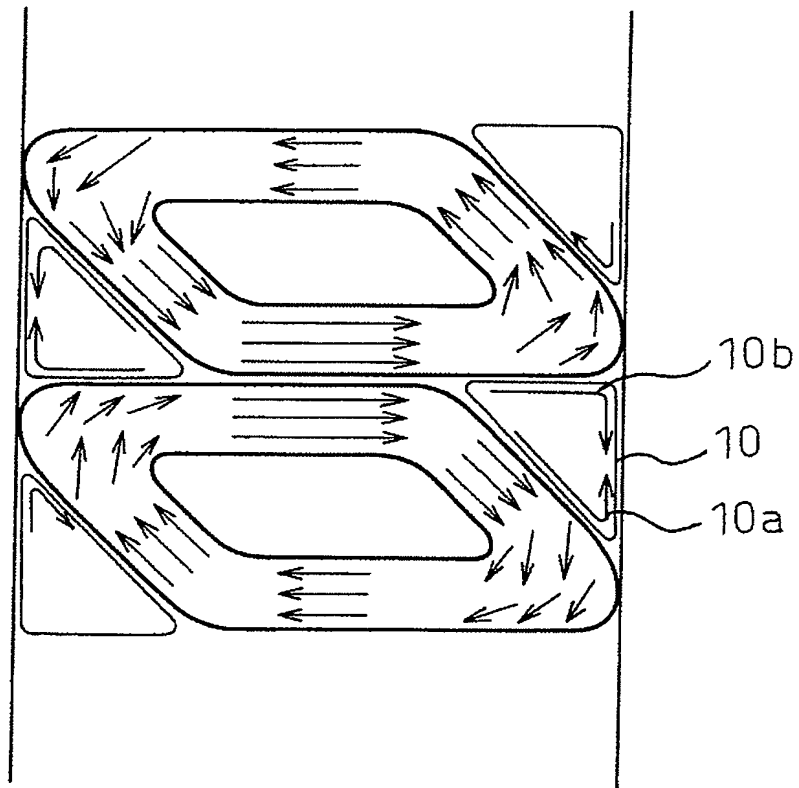


Fig.11

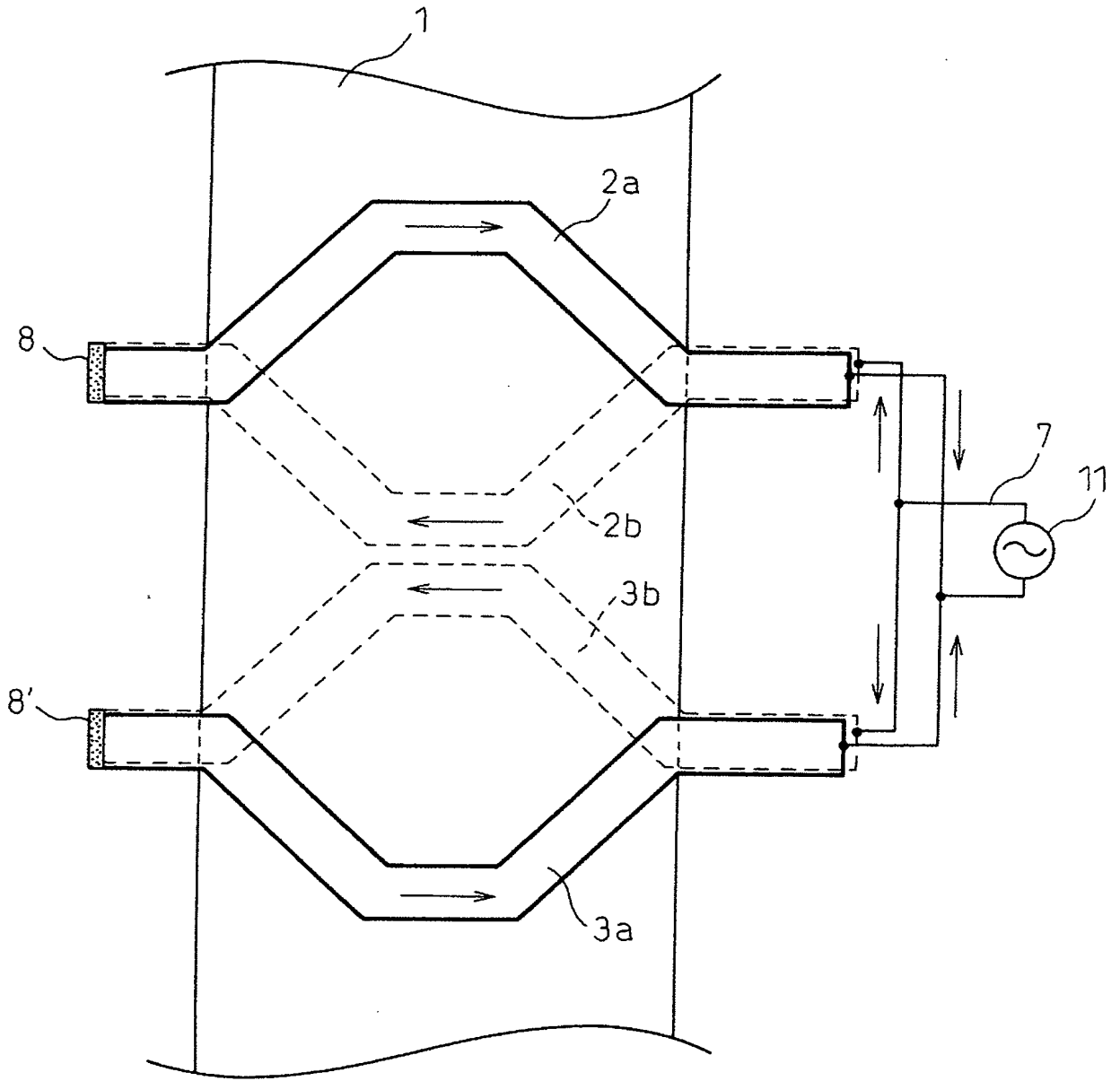


Fig.12

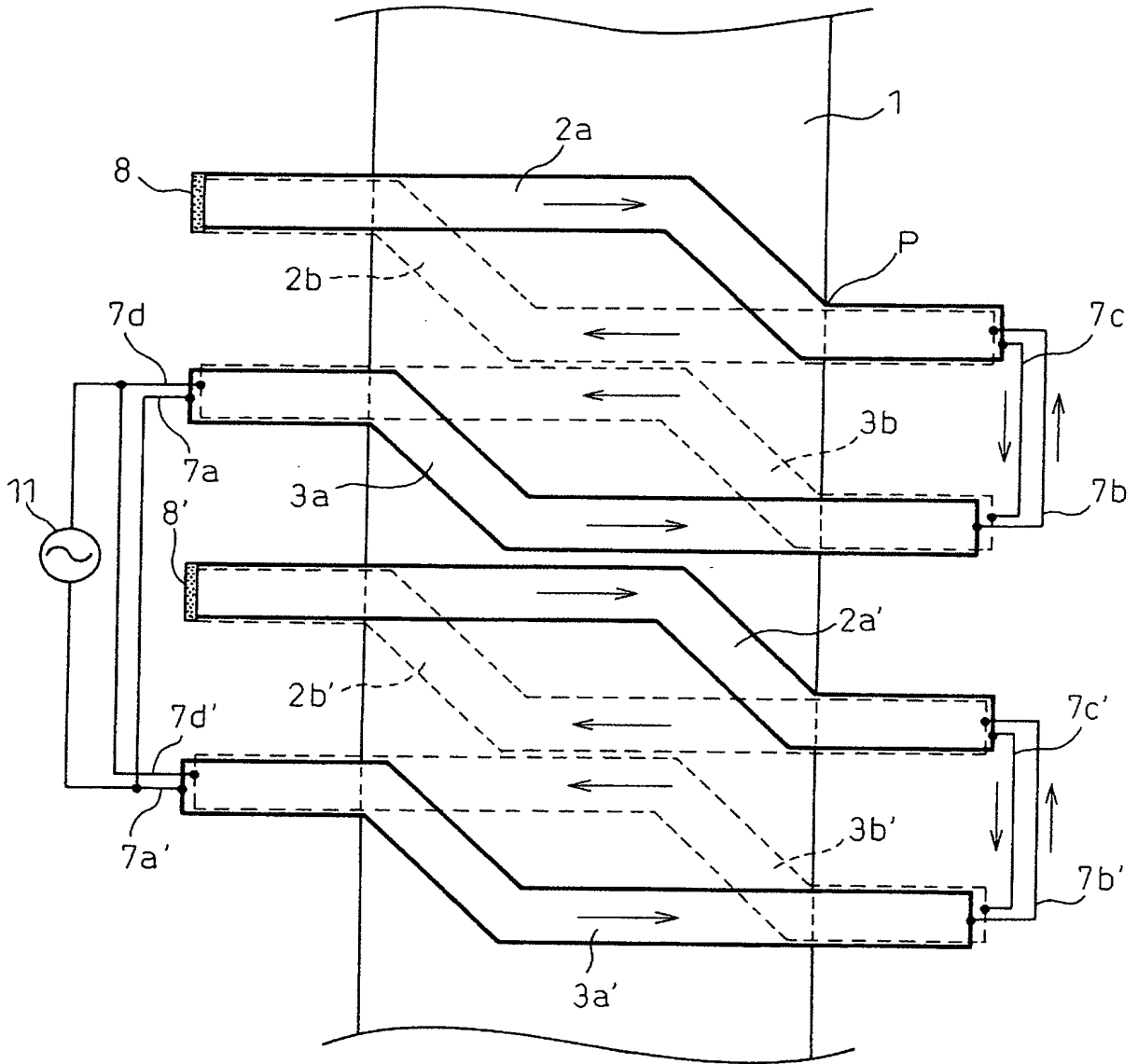


Fig.13

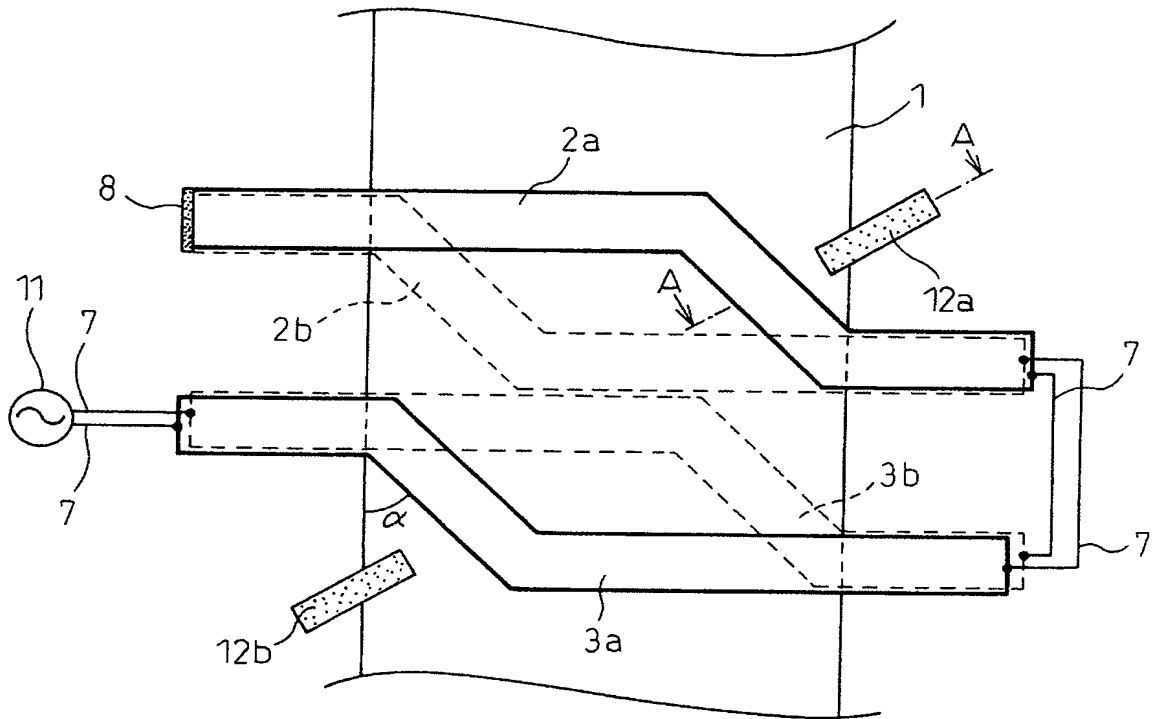


Fig.14

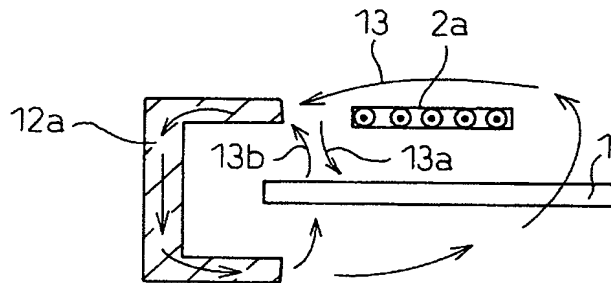


Fig.15

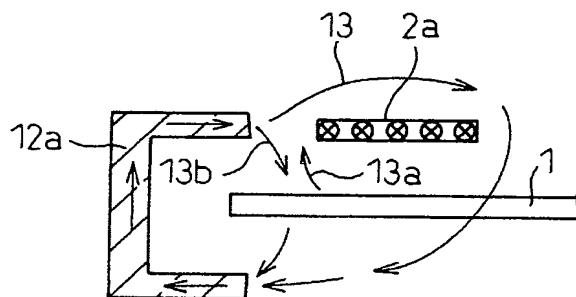


Fig.16

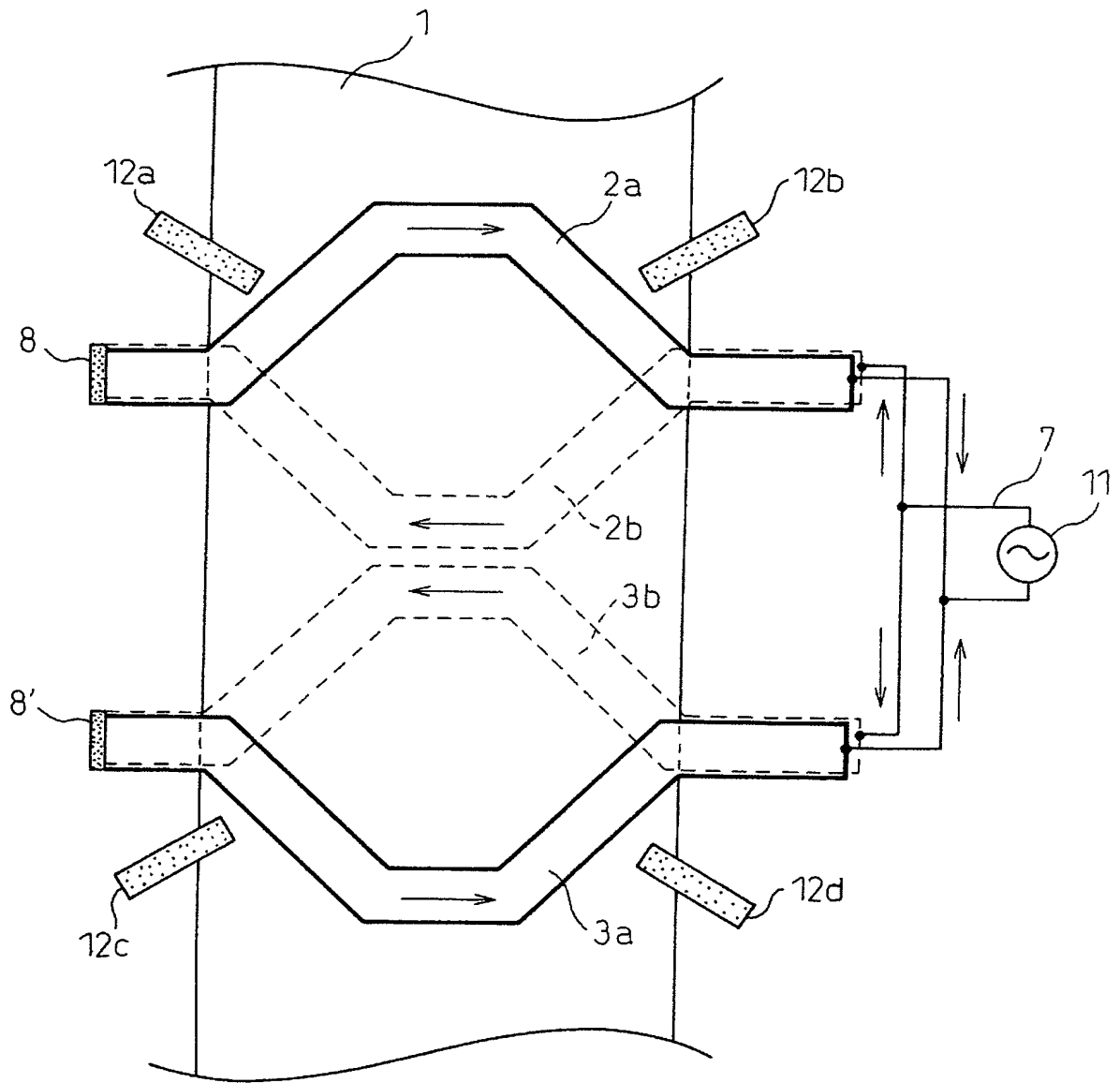


Fig.17

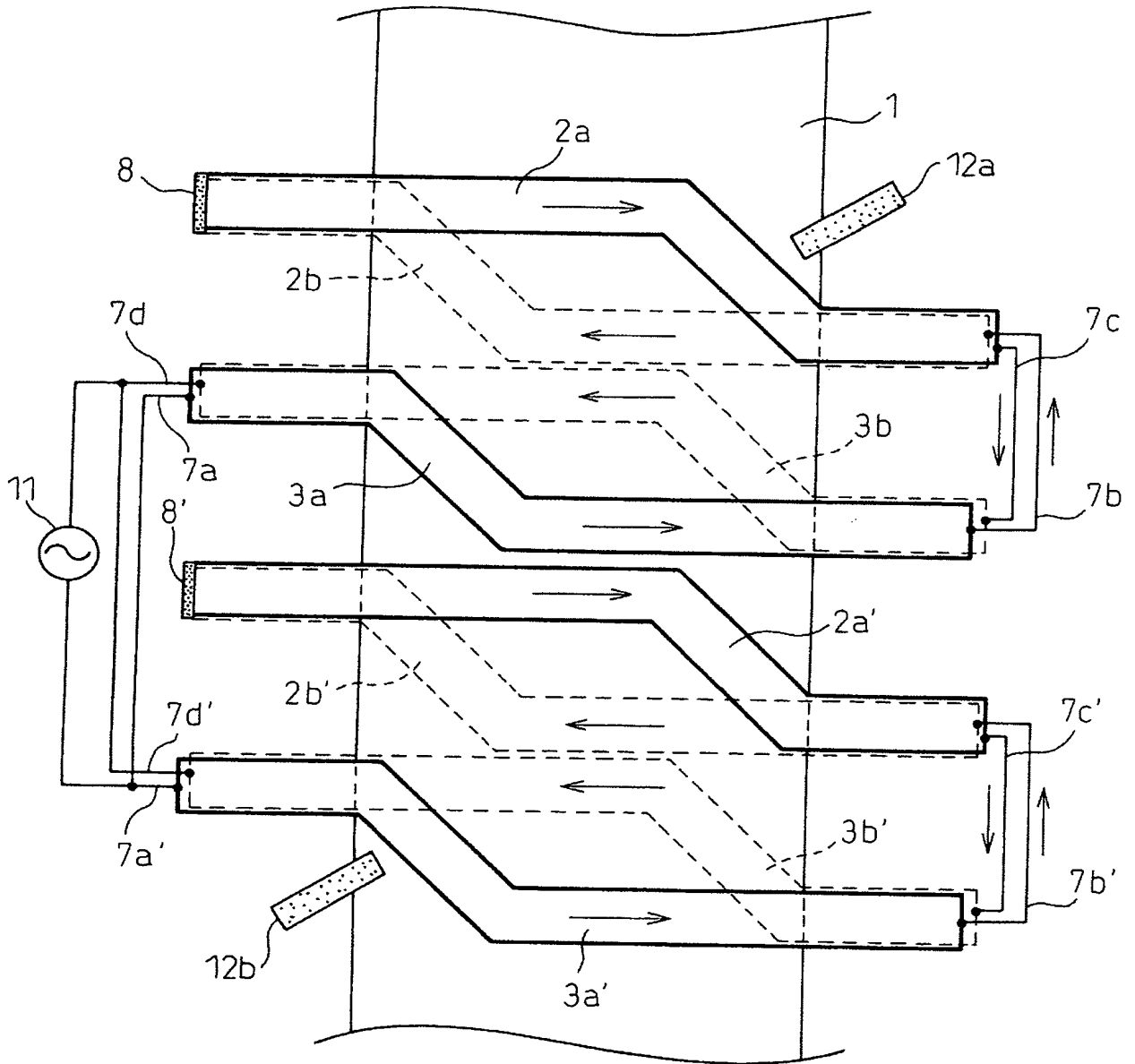


Fig.18(a)

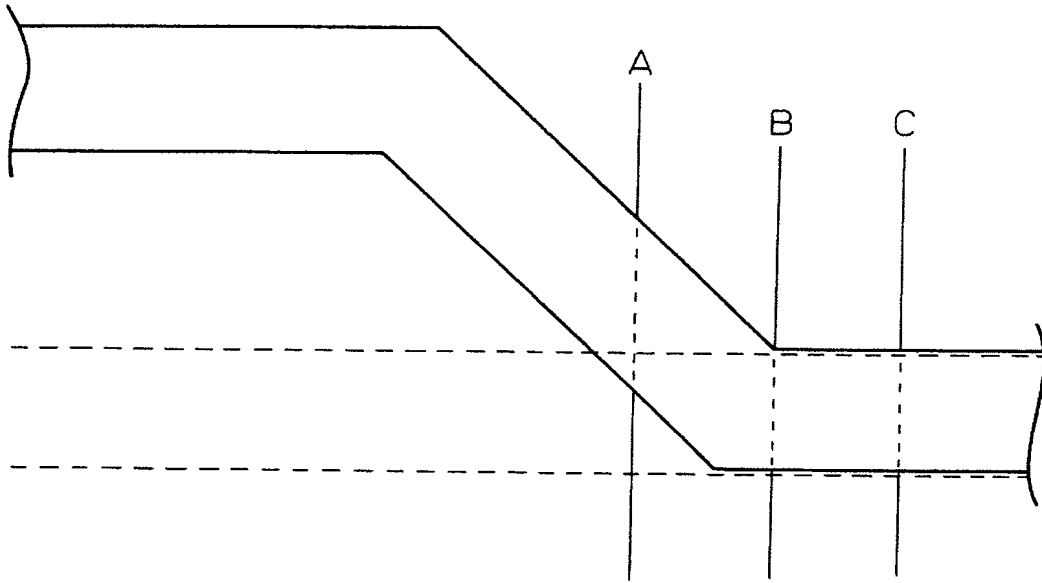


Fig.18(b)

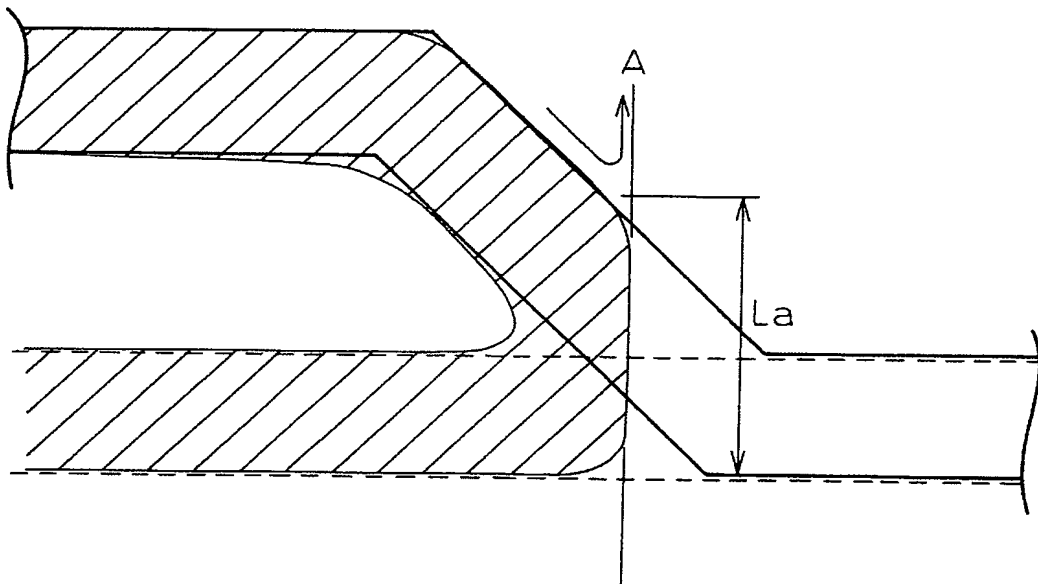


Fig.18(c)

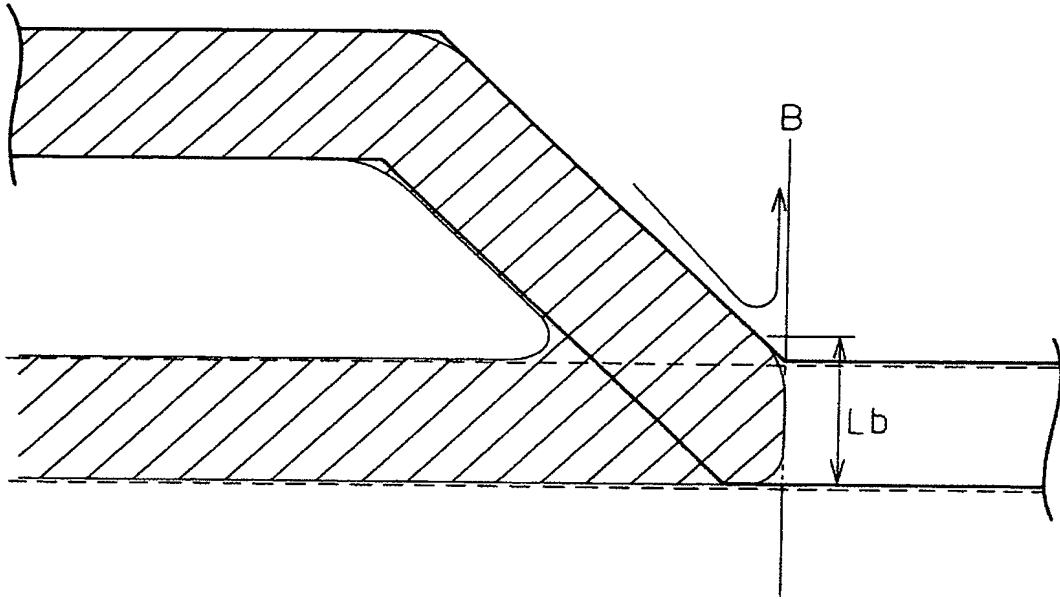


Fig.18(d)

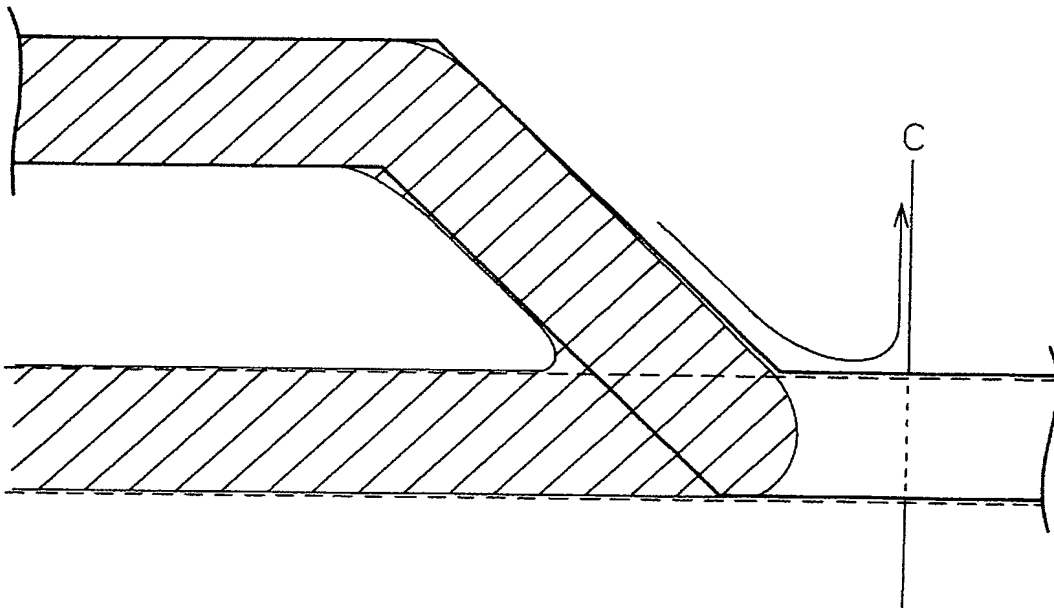


Fig.19

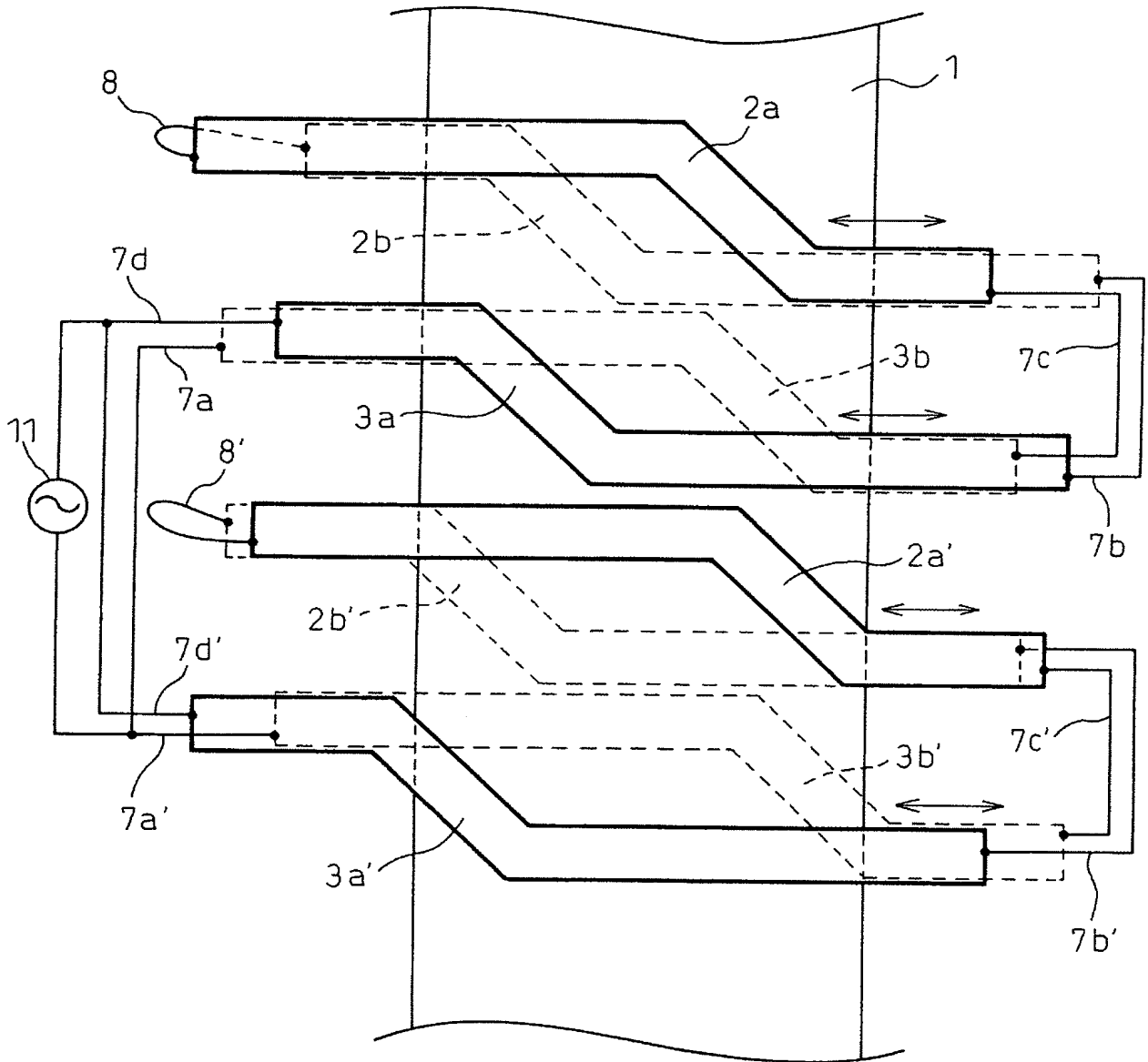


Fig.20

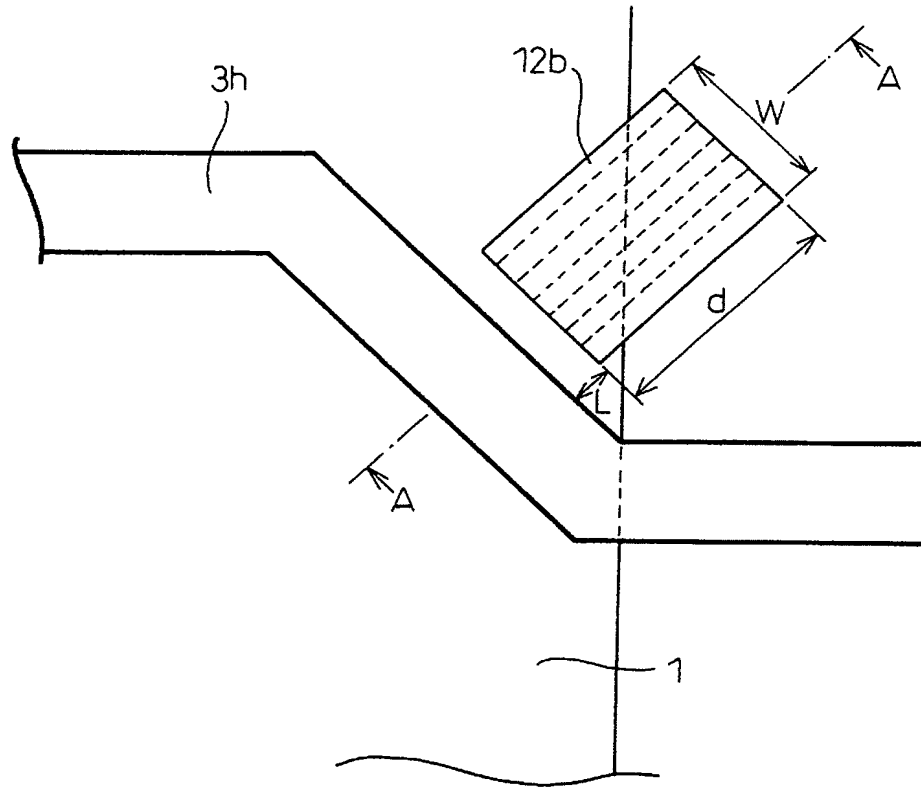
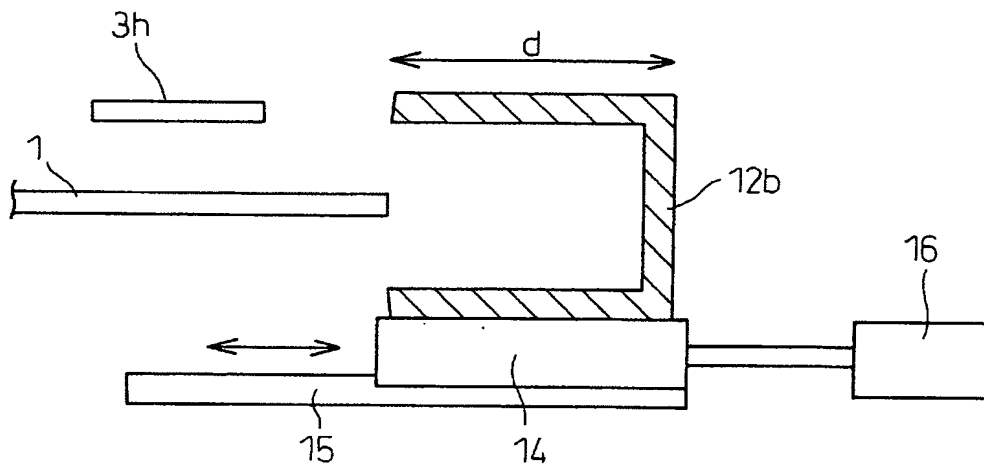


Fig.21



RESUMO

Patente de Invenção: **"SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO E MÉTODO DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO DE PLACA DE METAL"**.

A presente invenção refere-se a um sistema para aquecimento por indução de uma placa de metal que passa através do interior de uma bobina de indução, sistema de aquecimento por indução este que dispõe pelo menos duas seções da bobina de indução adjacentes, em uma direção longitudinal da dita placa de metal, em que, ao se projetar verticalmente a bobina de indução do lado da superfície frontal e do lado da superfície traseira da dita placa de metal sobre a dita placa de metal, os ditos condutores laterais da superfície frontal e superfície traseira são dispostos deslocados de modo a não se sobreporem na direção longitudinal da dita placa de metal naquela projeção vertical, adicionalmente, os ditos condutores laterais da superfície frontal estão em proximidade e os ditos condutores laterais da superfície traseira estão dispostos tendo uma distância de afastamento maior ou os ditos condutores laterais da superfície traseira estão em proximidade e os ditos condutores laterais da superfície frontal estão dispostos tendo uma distância de afastamento maior, sendo que o dito sistema de aquecimento por indução é capaz de controlar a distribuição da temperatura de aquecimento mesmo para placa de metal final, a despeito de a mesma ser magnética ou não-magnética, em particular, um sistema de aquecimento por indução capaz de controlar a temperatura nas extremidades da placa de metal e um método de aquecimento por indução para o mesmo.