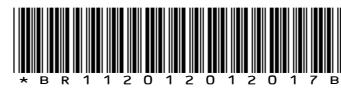




República Federativa do Brasil  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112012012017-4 B1



(22) Data do Depósito: 18/11/2009

(45) Data de Concessão: 27/06/2017

**(54) Título:** MÉTODO E APARELHO DE SOLDAGEM POR AGITAÇÃO E ATRITO DE DOIS LADOS, E, CONJUNTO DE FERRAMENTA PARA SOLDA POR AGITAÇÃO E ATRITO DE DOIS LADOS

(51) Int.Cl.: B23K 20/12

(73) Titular(es): MITSUBISHI-HITACHI METALS MACHINERY, INC.

(72) Inventor(es): SHINICHI KAGA; MITSURU ONOSE; NORIAKI TOMINAGA; TAKEHIKO SAITO; YASUTSUGU YOSHIMURA; SATOSHI HIRANO; SEUNG HWAN PARK

“MÉTODO E APARELHO DE SOLDAGEM POR AGITAÇÃO E ATRITO DE DOIS LADOS, E, CONJUNTO DE FERRAMENTA PARA SOLDA POR AGITAÇÃO E ATRITO DE DOIS LADOS”

CAMPO TÉCNICO

5           A presente invenção diz respeito a um método e aparelho para agitação e atrito de uma porção de junta de materiais metálicos por ambas superfícies da porção da junta para unir os materiais metálicos e um conjunto de ferramenta para a solda por agitação e atrito de ambos os lados.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

10           Solda por agitação e atrito é conhecida como uma técnica em que a superfície de um ressalto da ferramenta rotativa é posto em contato com superfícies dos materiais a ser unidos enquanto a ferramenta rotativa é rotacionada, e os materiais são submetidos a agitação e atrito utilizando o calor friccional entre a superfície de ressalto e as superfícies dos materiais, de forma que os materiais sejam soldados e unidos em um estado de fase sólida abaixo dos pontos de fusão. Esta técnica de soldagem já é comercializada basicamente para unir ligas de alumínio em uma variedade de campos industriais.

15           Técnicas de solda por agitação e atrito convencionais são basicamente classificadas em solda por agitação e atrito em um lado e solda por agitação e atrito em ambos os lados.

20           A solda por agitação e atrito em um lado é o método mais geral e está ilustrado, por exemplo, na figura 12 do documento de patente 1 (patente japonesa 2712838). Este usa uma ferramenta rotativa incluindo uma sonda formada em uma ponta de extremidade do corpo da ferramenta e com um diâmetro menor que o da ponta de extremidade do corpo da ferramenta e um ressalto formado em torno de uma porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta na qual a sonda é formada, e a ferramenta rotativa é inserida por um lado da superfície de uma porção da junta (por exemplo, uma

porção de topo) de duas chapas metálicas a serem unidas, e a ferramenta é rotacionada para agitação e atrito da porção da junta utilizando o calor de atrito resultante para dessa forma unir as chapas.

A solda por agitação e atrito em ambos os lados inclui dois  
5 tipos.

O primeiro tipo da solda por agitação e atrito em ambos os lados usa uma única ferramenta rotativa, que é denominada no geral de ferramenta tipo bobina, submete a agitação e atrito as superfícies dianteira e traseira de uma porção da junta (por exemplo, porção de topo) de duas chapas metálicas e solda a porção da junta, e este tipo está ilustrado na figura 2a do documento de patente 1 (patente japonesa 2712838), por exemplo.  
10

O segundo tipo de solda por agitação e atrito em ambos os lados usa duas ferramentas rotativas arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira de uma pneumático (por exemplo, porção de topo) das chapas metálicas de uma maneira tal a não conferir folga entre as pontas de extremidade das sondas e, neste estado, a solda por agitação e atrito é realizada para unir as chapas metálicas, e este tipo está ilustrado na figura 14a do documento de patente 1 (patente japonesa 2712838), por exemplo.  
15

## LITERATURA DA TECNOLOGIA ANTERIOR

### 20 DOCUMENTO DE PATENTE

Documento de patente 1: patente japonesa 2712838

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

#### PROBLEMA A SER SOLUCIONADO PELA INVENÇÃO

A solda por agitação e atrito em um lado e a solda por agitação  
25 e atrito em ambos os lados descritas no documento de patente 1 apresentam os seguintes problemas.

O primeiro é um problema com economia e vida útil das ferramentas.

O comprimento da sonda da ferramenta rotativa usada na solda

por agitação e atrito em um lado descrita no documento de patente 1 é igual à espessura das chapas metálicas.

O comprimento da sonda da ferramenta tipo bobina usada na solda por agitação e atrito em ambos os lados descrita no documento de patente 1 é igual à espessura das chapas metálicas, como no caso com a solda por agitação e atrito em um lado. O comprimento de inserção da sonda de duas ferramentas rotativas arranjadas em relação oposta nas superfícies dianteira e traseira é a metade da espessura das chapas metálicas.

Dessa maneira, quando a espessura da chapa metálica é diferente, surge uma necessidade de mudar correspondentemente o comprimento da sonda, de forma que inúmeras ferramentas rotativas, cada qual com um comprimento de sonda diferente, têm que ser preparadas para chapas metálicas de diferentes espessuras, dessa forma prejudicando a economia.

Adicionalmente, na ferramenta tipo bobina, a agitação friccional pelo ressalto localizado oposto ao lado de acionamento é feita por uma potência transmitida através da sonda. Portanto, a fim de acionar o ressalto com um diâmetro maior que o da sonda, é necessário estabelecer o módulo da seção da sonda duas ou mais vezes, comparado com o da ferramenta de um aparelho de solda por agitação e atrito em um lado. Assim, com grande diâmetro da sonda, o diâmetro do ressalto precisa ser igualmente grande, e assim a faixa de agitação e atrito é aumentada e isto aumenta o consumo de energia e o tamanho do aparelho, dessa forma prejudicando a economia.

A solda por agitação e atrito é colocada em uso prática no campo de ligas não ferrosas, tal como alumínio, que são materiais de pontos de fusão relativamente baixos. Em geral, solda por agitação e atrito exige aumentar a temperatura do material até perto de 80 % do ponto de fusão, com calor por causa da agitação friccional. Consequentemente, na solda de

materiais cujos pontos de fusão excedem 1.000°C, a energia de entrada de agitação de fricção por unidade de comprimento de solda aumenta e os valores de resistência a deformação também aumentam. Ferramentas rotativas, portanto, exigem alta resistência térmica e alta tenacidade na fratura, de forma que materiais caros tais como diamantes policristalinos têm que ser usados.

Adicionalmente, mesmo se tais materiais caros tiverem que ser usados para as ferramentas, a vida útil das ferramentas é reduzida por causa dos impactos térmicos, desgaste de ferramenta e pela tensão de dobramento nas sondas, e isto impede que a solda por agitação e atrito seja amplamente usada para materiais de alto ponto de fusão, superiores a 1.000°C.

O segundo é um problema com defeito de junta.

Na ferramenta tipo bobina ilustrada na figura 2a do documento de patente 1, uma vez que os ressaltos que devem ser colocados nos lados das superfícies dianteira e traseira são unidos com a sonda, a distância entre as superfícies dos ressaltos é fixa por causa da estrutura da ferramenta.

Adicionalmente, na solda por agitação e atrito em ambos os lados ilustrada na figura 14a do documento de patente 1, uma vez que a solda por agitação e atrito é feita por duas ferramentas rotativas arranjadas em relação oposta nas superfícies dianteira e traseira, de uma maneira tal a não conferir folga entre as pontas de extremidade das sondas, a distância entre as superfícies dos ressaltos é fixa na posição de estabelecimento da junta, dependendo da espessura das chapas metálicas.

A solda por agitação e atrito em ambos os lados realizada no estado em que a distância entre as superfícies dos ressaltos é fixa, quando a espessura das chapas metálicas muda ligeiramente, a pressão exercida nas superfícies de contato entre os ressaltos e as chapas metálicas muda. A mudança na pressão superficial varia a quantidade de calor friccional e deteriora a qualidade da porção da junta.

Adicionalmente, na ferramenta tipo bobina ilustrada na figura 2a do documento de patente 1, uma vez que os eixos verticais com as superfícies de ressalto das ferramentas rotativas arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira são os mesmos, o eixo da ferramenta rotativa não pode ser inclinado, e assim é difícil obter pressão superficial desejada necessária para a agitação. Quando a pressão superficial desejada necessária para a agitação não pode ser obtida, o escoamento da porção da junta é reduzido, e assim pode ocorrer defeito de junta.

O terceiro é um problema com ruptura das chapas metálicas por causa da força friccional.

Na solda por agitação e atrito em ambos os lados, uma força de cisalhamento por causa das forças friccionais é gerada em porções prensadas pelas superfícies de ressalto nos lados das superfícies dianteira e traseira das chapas metálicas, e as chapas metálicas rompem quando as forças de cisalhamento excedem uma força de cisalhamento permissível do material das chapas metálicas.

A força de cisalhamento permissível do material (chapas metálicas) submetido à solda por agitação e atrito varia dependendo da espessura das chapas, e a força de cisalhamento permissível diminui com a diminuição da espessura da chapa.

De acordo com experimentos conduzidos pelos presentes inventores, foi confirmado que as chapas metálicas são passíveis de ruptura quando a espessura das chapas metálicas é inferior a 3 mm.

Um primeiro objetivo da presente invenção é prover um método e aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados e um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados que são superiores em economia e são capazes de melhorar a resistência da porção da junta na solda por agitação e atrito em ambos os lados.

Um segundo objetivo da presente invenção é prover um

método e aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados e um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados que são adicionalmente capazes de prolongar a vida útil de ferramentas rotativas na solda por agitação e atrito em ambos os lados.

5                  Um terceiro objetivo da presente invenção é prover um método e aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados e um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados que são adicionalmente capazes de reduzir a ocorrência de defeito de junta e ruptura de chapas metálicas e de realizar solda com alta confiabilidade.

## 10    MEIOS PARA SOLUCIONAR OS PROBLEMAS

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um primeiro aspecto da presente invenção, é provido um método de solda por agitação e atrito em ambos os lados no qual primeira e segunda ferramentas rotativas são arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira de uma porção da junta de duas chapas metálicas a serem unidas, e a porção da junta é submetida a agitação e atrito pelas ferramentas rotativas para realizar solda por agitação e atrito e unir as duas chapas metálicas, em que: uma das primeira e segunda ferramentas rotativas inclui um corpo da ferramenta com uma porção do ressalto formada em uma porção da ponta de extremidade da mesma e pelo menos uma porção saliente formada para se salientar na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta, a outra das primeira e segunda ferramentas rotativas inclui um corpo da ferramenta com uma porção de ressalto formada em uma porção da ponta de extremidade da mesma e pelo menos uma porção rebaixada formada na porção da ponta de extremidade do outro corpo da ferramenta para receber nela uma ponta de extremidade da porção saliente quando as duas chapas metálicas tiverem que ser soldadas; o método compreende as etapas de: arranjar a primeira e segunda ferramentas rotativas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta das duas chapas

metálicas; girar a primeira e segunda ferramentas rotativas; e mover a primeira e segunda ferramentas rotativas em uma direção de se aproximar uma da outra de maneira a inserir a ponta de extremidade a porção saliente da primeira ferramenta rotativa na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa pressionando ainda as superfícies de ressalto das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta; e mover, no estado em que a ponta de extremidade da porção saliente da primeira ferramenta rotativa é inserida na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa e as superfícies de ressalto das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta, a primeira e segunda ferramentas rotativas ao longo da porção da junta para dessa forma agitação e atrito da porção da junta em toda a região na direção da espessura da porção da junta.

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um segundo aspecto da presente invenção, no método de soldagem citado, materiais das primeira e segunda ferramentas rotativas são liga de carboneto cementado de carboneto de tungstênio sinterizado ou uma liga de tungstênio, e as duas chapas metálicas soldada entre si pela primeira e segunda ferramentas rotativas são feitas de um material com um ponto de fusão de 1.000°C ou mais.

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um terceiro aspecto da presente invenção, no método de soldagem citado, os eixos das primeira e segunda ferramentas rotativas são inclinados de maneira tal que as porções da ponta de extremidade das primeira e segunda ferramentas rotativas se movam à frente na direção de movimento das primeira e segunda ferramentas rotativas para a porção da junta (J).

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um quarto aspecto da presente invenção, no método de soldagem citado,

a primeira e segunda ferramentas rotativas arranjadas em relação oposta são rotacionadas em direções opostas nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta das duas chapas metálicas.

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um quinto aspecto da presente invenção, no método de soldagem citado, pelo menos uma das primeira e segunda ferramentas rotativas é movimentada para uma profundidade de inserção planejada pelo controle de posição que se move na direção da espessura das chapas metálicas antes do início da solda por agitação e atrito; então, a ferramenta rotativa se move pelo controle de posição na direção de progresso da solda a partir de uma superfície de borda da porção da junta das duas chapas metálicas com a profundidade de inserção da ferramenta rotativa sendo mantida para iniciar a solda por agitação e atrito; depois do início da solda por agitação e atrito, o controle de posição é comutado para o controle de carga constante para controlar a posição de inserção da ferramenta rotativa de maneira tal que a carga aplicada na ferramenta rotativa seja mantida a um valor predeterminado; e, então, antes de a ferramenta rotativa atingir uma extremidade terminal da solda da porção da junta na qual a solda por agitação e atrito termina, o controle de carga constante é comutado para o controle de posição para manter a posição de inserção da ferramenta rotativa nesse momento e a ferramenta rotativa passa através da extremidade terminal da solda da porção da junta.

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um sexto aspecto da presente invenção, é provido um aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados no qual a primeira e segunda ferramentas rotativas são arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira de uma porção da junta de duas chapas metálicas a serem unidas, e a porção da junta é submetida a agitação e atrito pelas ferramentas rotativas para realizar solda por agitação e atrito e unir as duas chapas metálicas, o aparelho compreendendo: dispositivos de rotação da

ferramenta com a primeira e segunda ferramentas rotativas anexadas nos mesmos em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta das duas chapas metálicas, para girar a primeira e segunda ferramentas rotativas; dispositivos de pressionamento da ferramenta para mover a primeira e segunda ferramentas rotativas anexadas nos dispositivos de rotação da ferramenta em uma direção para se aproximar uma da outra para pressionar a primeira e segunda ferramentas rotativas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta das chapas metálicas; e dispositivos de movimentação para movimentar a primeira e segunda ferramentas rotativas anexadas nos dispositivos de rotação da ferramenta ao longo da porção da junta; em que: a primeira ferramenta rotativa inclui um corpo da ferramenta com uma porção do ressalto formada em uma porção da ponta de extremidade da mesma e pelo menos uma porção saliente formada para se salientar na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta, a segunda ferramenta rotativa inclui um corpo da ferramenta com uma porção do ressalto formada em uma porção da ponta de extremidade da mesma e pelo menos uma porção rebaixada formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta para receber uma ponta de extremidade da porção saliente nela quando as duas chapas metálicas tiverem que ser soldadas, os dispositivos de compressão da ferramenta são configurados para inserir a ponta de extremidade da porção saliente da primeira ferramenta rotativa na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa e pressionar as superfícies de ressalto das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta quando os dispositivos de compressão da ferramenta moverem a primeira e segunda ferramentas rotativas anexadas nos dispositivos de rotação da ferramenta na direção de aproximação uma da outra, e dispositivos de movimentação são configurados para mover a primeira e segunda ferramentas rotativas ao longo da porção da junta no estado em que a ponta de extremidade da porção

saliente da primeira ferramenta rotativa é inserida na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa e as superfícies dos ressaltos das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta para dessa forma 5 submeter a agitação e atrito a porção da junta em toda a região na direção da espessura da porção da junta.

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um sétimo aspecto da presente invenção, o aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados referido comprehende adicionalmente: 10 dispositivos de suporte de inclinação para suportar a primeira e segunda ferramentas rotativas para inclinar os eixos das primeira e segunda ferramentas rotativas de maneira tal que as porções da ponta de extremidade das primeira e segunda ferramentas rotativas se movam para a frente na direção de movimento das primeira e segunda ferramentas rotativas em 15 relação à porção da junta.

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um oitavo aspecto da presente invenção, no aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados referido, os dispositivos de rotação da ferramenta são configurados para girar a primeira e segunda ferramentas rotativas em direções opostas nos lados da primeira e segunda superfícies da porção da junta. 20

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um nono aspecto da presente invenção, o aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados referido comprehende adicionalmente: um dispositivo de controle para controlar os dispositivos de compressão da ferramenta e dispositivos de movimentação de maneira tal que: pelo menos 25 uma das primeira e segunda ferramentas rotativas anexadas nos dispositivos de rotação da ferramenta se move até uma profundidade de inserção planejada pelo controle de posição na direção da espessura das chapas metálicas antes

de iniciar a solda por agitação e atrito; então, a ferramenta rotativa se move pelo controle de posição na direção de progresso da solda a partir de uma superfície de borda da porção da junta das duas chapas metálicas com a profundidade de inserção da ferramenta rotativa sendo mantida para iniciar a  
5 solda por agitação e atrito; depois do início da solda por agitação e atrito, o controle de posição é comutado para o controle de carga constante para controlar a posição de inserção da ferramenta rotativa de maneira tal que a carga aplicada na ferramenta rotativa seja mantida em um valor predeterminado; e, então, antes de a ferramenta rotativa atingir a extremidade  
10 de término da solda da porção da junta na qual termina a solda por agitação e atrito, o controle de carga constante é comutado para controle de posição para manter a posição de inserção da ferramenta rotativa nesse momento e a ferramenta rotativa passa através da extremidade de terminação da solda da porção da junta.

15 Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um décimo aspecto da presente invenção, é provido um conjunto de ferramenta de solda por agitação e atrito em ambos os lados para agitação e atrito de uma porção da junta de duas chapas metálicas a serem unidas por ambos os lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta para  
20 realizar solda por agitação e atrito e unir as duas chapas metálicas, o conjunto de ferramenta compreendendo: primeira e segunda ferramentas rotativas arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta das duas chapas metálicas, para submeter a agitação e atrito a porção da junta; a primeira ferramenta rotativa incluindo um corpo da ferramenta com uma porção de ressalto formada em uma porção da ponta de extremidade da mesma e pelo menos uma porção saliente formada para se salientar na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta, a segunda ferramenta rotativa incluindo um corpo da ferramenta com uma porção de ressalto formada em uma porção da ponta de extremidade da  
25

mesma e pelo menos uma porção rebaixada formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta para receber na mesma a ponta de extremidade da porção saliente quando as duas chapas metálicas tiverem que ser soldadas, e a primeira e segunda ferramentas rotativas sendo móveis ao longo da porção da junta no estado em que a ponta de extremidade da porção saliente da primeira ferramenta rotativa é inserida na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa e as superfícies de ressalto das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta para dessa forma submeter a agitação e atrito da porção da junta em toda a região na direção da espessura da porção da junta.

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um décimo primeiro aspecto da presente invenção, no conjunto de ferramenta de solda por agitação e atrito supramencionado, a superfície de ressalto da segunda ferramenta rotativa tem um diâmetro igual ao diâmetro da superfície de ressalto da primeira ferramenta rotativa.

Para solucionar os problemas supramencionados, de acordo com um décimo segundo aspecto da presente invenção, no conjunto de ferramenta de solda por agitação e atrito em ambos os lados referido, a segunda ferramenta rotativa inclui pelo menos uma porção saliente em forma de anel formada para se salientar a partir da porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta, e a porção rebaixada é formada no lado interno da porção saliente em forma de anel.

#### EFEITOS DA INVENÇÃO

De acordo com a presente invenção, os efeitos seguintes podem ser obtidos.

No primeiro, sexto e décimo aspectos da presente invenção, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas arranjadas em relação oposta nesses lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta são

separados um do outro, a quantidade de inserção da porção saliente da primeira ferramenta rotativa na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa (a distância entre a primeira e segunda ferramentas rotativas) pode ser livremente ajustada em uma faixa na qual a quantidade de inserção não é zero.

- 5 Assim, mesmo quando as chapas metálicas incluem aquelas de espessura diferente, a porção saliente da primeira ferramenta rotativa pode ser inserida na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa para casar com as espessuras das chapas metálicas, por meio do que as chapas metálicas com espessuras na faixa do comprimento da porção saliente podem ser sujeitas a  
10 solda por agitação e atrito por toda a faixa da porção da junta por ambas superfícies das chapas metálicas. Assim, uma vez que inúmeras ferramentas rotativas, cada qual com comprimento de sonda diferente, não têm que ser preparadas para chapas metálicas de diferentes espessuras, o custo operacional é suprimido e assim se pode aumentar a economia.

- 15 Além do mais, a primeira e segunda ferramentas rotativas são separadas uma da outra e são acionadas independentemente uma da outra. Assim, diferentemente de uma ferramenta tipo bobina, a agitação e atrito da porção de ressalto da ferramenta rotativa no lado da superfície traseira é realizado sem uma potência transmitida através de uma sonda, não é  
20 necessário estabelecer o diâmetro da sonda (porção saliente) pelo menos duas ou mais vezes, comparada com a da ferramenta de um aparelho de solda por agitação e atrito de um lado como no caso da ferramenta tipo bobina. Portanto, é possível impedir que o diâmetro da porção de ressalto seja aumentado por causa de um aumento no diâmetro da sonda, e assim o  
25 tamanho do aparelho não precisa ser aumentado, e a economia pode ser aumentada também neste ponto.

Além do mais, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas submetem a agitação e atrito a porção da junta das chapas metálicas em toda a região na direção da espessura da porção da junta, a resistência da

porção da junta pode ser melhorada.

Além disso, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas realizam a solda por agitação e atrito por ambos os lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta, é possível impedir uma perda térmica que é causada por uma chapa de ressalto na solda por agitação e atrito de um lado. Assim, a região macia da porção da junta é aumentada, e é possível reduzir a carga térmica aplicada na ferramenta rotativa para a metade ou menos. Além do mais, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas são separadas e a distância entre a primeira e segunda ferramentas rotativas (distância entre as porções da ponta de extremidade das ferramentas na direção das espessuras das chapas metálicas) é ajustável, o controle de carga pode ser usado para pressionar pelo menos uma das ferramentas rotativas contra a porção da junta como no quinto e nono aspectos da presente invenção. Usando o controle de carga desta maneira, mudança na pressão exercida nas superfícies de contato entre as superfícies de ressalto e as superfícies da porção da junta das chapas metálicas por causa de uma ligeira mudança na espessura das chapas metálicas pode ser impedida de ocorrer, e variação na carga térmica pode ser reduzida. Assim, não é necessário usar um material caro tal como diamante policristalino como materiais das ferramentas rotativas, e a primeira e segunda ferramentas rotativas podem ser feitas de liga de carboneto cementado de carboneto de tungstênio sinterizado ou de uma liga de tungstênio como no segundo aspecto da presente invenção. Em decorrência disto, é possível prover as ferramentas rotativas de grande vida útil e com maior economia na solda por agitação e atrito de chapas metálicas com um ponto de fusão de 1.000°C ou mais.

Além do mais, uma vez que o controle de carga pode ser usado, se ajustando a quantidade e inserção da porção saliente da primeira ferramenta rotativa na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa dependendo da espessura das chapas metálicas (espessura da porção da junta)

a solda por agitação e atrito pode ser feita por ambos os lados sem fixar a distância entre as superfícies de ressalto superior e inferior. Assim, mudança na pressão exercida nas superfícies de contato entre as superfícies de ressalto e as superfícies da porção da junta das chapas metálicas por causa da ligeira  
5 mudança na espessura das chapas metálicas pode ser impedida de ocorrer, e variação na carga térmica pode ser reduzida, de forma que a redução na qualidade da porção da junta J (defeito de junta) pode ser impedida e é possível unir as chapas metálicas com alta confiabilidade.

Além do mais, uma vez que a primeira e segunda ferramentas  
10 rotativas são separadas uma da outra, os eixos das ferramentas rotativas podem ser inclinados de maneira tal que as porções de ponta de extremidade das primeira e segunda ferramentas rotativas se movam para a frente na direção de progresso da solda como no terceiro e sétimo aspectos da presente invenção. Assim, uma vez que a força de compressão contra as chapas metálicas pode ser aumentada, o escoamento da porção da junta pela solda por agitação e atrito pode ser melhorada e assim é possível eliminar defeito de  
15 junta e unir as chapas metálicas com alta confiabilidade.

Além do mais, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas são separadas uma da outra, a primeira e segunda ferramentas rotativas podem ser rotacionadas em direções opostas nos lados das superfície  
20 dianteira e traseira da porção da junta como no quarto e oitavo aspectos da presente invenção. Assim, uma força de cisalhamento por causa da agitação pelo lado da superfície dianteira e uma força de cisalhamento por causa da agitação pelo lado da superfície traseira são anuladas no interior da porção da  
25 junta, e isto impede que materiais rompam e é possível unir as chapas metálicas com alta confiabilidade. Este efeito é alto especialmente quando os diâmetros das superfícies de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas são iguais entre si como no décimo primeiro aspecto da presente invenção.

Além do mais, os materiais amolecidos pela agitação por atrito escoa para a porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa para encher uma folga. Assim, uma vez que a porção saliente da primeira ferramenta rotativa inserida na porção rebaixada da segunda ferramenta rotativa recebe pressão interna através dos materiais amolecidos cheios na folga, uma força de amortecimento de vibração age e o desempenho do amortecimento da vibração para a primeira e segunda ferramentas rotativas na direção radial é melhorada. Em decorrência disto, chilrado é suprimido e é possível realizar uma agitação por atrito uniforme, e assim também neste ponto é possível suprimir defeito de junta e unir as chapas metálicas com alta confiabilidade.

Adicionalmente, se formando a segunda ferramenta rotativa com pelo menos uma porção saliente em forma de anel para se salientar na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta e se formando a porção rebaixada no lado interno da porção saliente em forma de anel como no décimo segundo aspecto da presente invenção, quando a agitação por atrito é realizada, não somente a porção saliente da primeira ferramenta rotativa, mas também a porção saliente em forma de anel da segunda ferramenta rotativa são inseridas na porção da junta na direção da sua espessura, por meio do que a agitação por atrito é realizada com as duas porções salientes. Assim, uma vez que o comprimento da porção saliente da primeira ferramenta rotativa pode ser reduzida, o momento de dobramento rotativo que age na porção saliente mediante solda por agitação e atrito é reduzido, e então, mesmo se a espessura das chapas metálicas forem aumentadas, a solda por agitação e atrito pode ser realizada sem danificar a porção saliente, e assim a vida útil das ferramentas rotativas pode ser aumentada.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 é uma vista seccional transversal ampliada de porções de ponta de extremidade de um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com uma modalidade da

presente invenção e mostra o estado no qual o conjunto de ferramenta é usado quando a solda é realizada.

A figura 2 é uma vista seccional transversal ampliada das porções de ponta de extremidade do conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com a modalidade da presente invenção e mostra relações dimensionais de partes.

A figura 3 é um gráfico de tempo mostrando a distância da junta (tempo depois do início da soldagem) entre primeira e segunda ferramentas rotativas e a mudança na carga aplicada no motor de rotação do fuso.

A figura 4 é um diagrama mostrando o estado no qual o conjunto de ferramenta é usado quando a soldagem é realizada no caso onde as posições das primeira e segunda ferramentas rotativas são invertidas com relação às superfícies dianteira e traseira de uma porção da junta para as ferramentas rotativas.

A figura 5 é uma vista seccional transversal ampliada de porções de ponta de extremidade de um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com uma outra modalidade da presente invenção e mostra o estado no qual o conjunto de ferramenta é usado quando a soldagem é realizada.

A figura 6 é uma vista seccional transversal ampliada de porções de ponta de extremidade de um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com ainda uma outra modalidade da presente invenção e mostra o estado no qual o conjunto de ferramenta é usado quando a soldagem é realizada.

A figura 7 é uma vista seccional transversal ampliada de porções de extremidade proximal de um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com ainda uma outra modalidade da presente invenção e mostra o estado no qual o conjunto de

ferramenta é usado quando a soldagem é realizada.

A figura 8 é uma vista seccional transversal ampliada de porções de ponta de extremidade de um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com ainda uma outra modalidade da presente invenção e mostra o estado no qual o conjunto de ferramenta é usado quando a soldagem é realizada.

A figura 9 é uma vista em perspectiva do aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com a modalidade da presente invenção com uma parte do aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados removida.

A figura 10 é uma vista frontal esquemática da parte principal do aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados mostrado na figura 9.

A figura 11 é uma vista mostrando a metade superior do aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados mostrado na figura 9 junto com um sistema de controle.

A figura 12 é uma vista mostrando um aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com uma outra modalidade da presente invenção e um esquema que alinha mecanicamente os eixos das ferramentas rotativas superior e inferior.

A figura 13 mostra um estado durante soldagem quando o método de soldagem de acordo com a presente invenção é aplicado para solda de topo de duas chapas metálicas, e também mostra relações posicionais entre as ferramentas rotativas superior e inferior e um dispositivo de fixação de entrada e saída (isto é, a distância entre os dispositivos de fixação de entrada e saída).

A figura 14 é um diagrama mostrando um outro estado no qual duas chapas metálicas são soldadas no caso onde o método de soldagem de acordo com a presente invenção é aplicado na solda sobreposta das duas

chapas metálicas e mostrando um método de fixação.

A figura 15 é um diagrama mostrando um outro estado no qual duas chapas metálicas são soldadas uma na outra no caso onde o método de soldagem de acordo com a presente invenção é aplicado na solda sobreposta das duas chapas metálicas e mostrando um método de fixação.

A figura 16 é uma vista seccional transversal feita ao longo de uma direção de soldagem (perpendicular a uma linha ao longo da qual o diagrama mostrado na figura 1 é feito) na qual solda por agitação e atrito é realizada enquanto as ferramentas rotativas superior e inferior.

A figura 17 é uma vista em perspectiva mostrando um estado no qual solda por agitação e atrito é realizada na condição de que: as direções rotacionais das ferramentas rotativas superior e inferior são as mesmas; os diâmetros dos ressaltos das ferramentas rotativas são iguais; e os eixos das ferramentas rotativas são inclinados no mesmo ângulo com relação à direção de deslocamento das ferramentas rotativas.

A figura 18 é uma vista seccional transversal mostrando o estado no qual a solda por agitação e atrito é realizada na condição em que: as direções rotacionais das ferramentas rotativas superior e inferior são as mesmas; os diâmetros dos ressaltos das ferramentas rotativas são iguais; e os eixos das ferramentas rotativas são inclinados no mesmo ângulo com relação à direção de deslocamento das ferramentas rotativas.

A figura 19 é uma vista em perspectiva mostrando um estado no qual a solda por agitação e atrito é realizada na condição em que: as direções rotacionais das ferramentas rotativas superior e inferior são opostas uma à outra; os diâmetros dos ressaltos das ferramentas rotativas são iguais; e os eixos das ferramentas rotativas são inclinados no mesmo ângulo em relação à direção de deslocamento das ferramentas rotativas.

A figura 20 é uma vista seccional transversal mostrando o estado no qual a solda por agitação e atrito é realizada na condição em que; as

direções rotacionais das ferramentas rotativas superior e inferior são opostas uma à outra; os diâmetros dos ressaltos das ferramentas rotativas são iguais; e os eixos das ferramentas rotativas são inclinados no mesmo ângulo em relação à direção de deslocamento das ferramentas rotativas.

5 A figura 21 é um diagrama mostrando um estado no qual as ferramentas rotativas superior e inferior são inseridas por uma superfície de borda da porção da junta enquanto os ângulos de inclinação das ferramentas rotativas superior e inferior são estabelecidos em 0 grau (ou as ferramentas não são inclinadas).

10 A figura 22 é um diagrama mostrando um estado no qual as ferramentas rotativas superior e inferior são inseridas pela superfície de borda da porção da junta enquanto as ferramentas rotativas superior e inferior são devidamente inclinadas.

15 A figura 23 é um diagrama mostrando um método para realizar a solda por agitação e atrito em ambos os lados sem penetração enquanto os eixos das ferramentas rotativas são inclinados.

A figura 24 é um fluxograma de controle de procedimentos de um processo que é realizado por um dispositivo de controle.

20 A figura 25 é um fluxograma de controle de um outro exemplo de procedimentos do processo que é realizado pelo dispositivo de controle.

#### MÉTODO PARA REALIZAR A INVENÇÃO

A seguir, será descrita uma modalidade da presente invenção com referência aos desenhos anexos.

25 As figuras 1 e 2 são vistas seccionais transversais ampliadas de porções de ponta de extremidade de um conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com a modalidade da presente invenção. A figura 2 mostra relações dimensionais de partes. A solda é solda de topo, como um exemplo Na presente especificação, uma porção da junta significa porções de duas chapas metálicas que devem ser unidas uma na

outra e, na solda de topo, corresponde a porções de topo das duas chapas metálicas e, na solda sobrepostas, corresponde às porções sobrepostas das duas chapas metálicas.

Nas figuras 1 e 2, o conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com a presente modalidade inclui primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta (porção de topo) J das duas chapas metálicas 1 e 2, para agitação e atrito da porção da junta. A primeira ferramenta rotativa 3 inclui um corpo da ferramenta 3a com uma porção de ressalto 3c formada em uma porção da ponta de extremidade da mesma e com uma superfície de ressalto 3b para pressionar a sua porção da ponta de extremidade e com uma superfície de ressalto 3b para pressionar a porção da junta J e uma porção saliente em forma de pino (sonda) 3d formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta para se salientar na superfície de ressalto 3b. A segunda ferramenta rotativa 4 inclui um corpo da ferramenta 4a com uma porção de ressalto 3c formada em uma porção da ponta de extremidade da mesma e com uma superfície de ressalto 4b para pressionar a porção da junta J e pelo menos uma porção rebaixada 4d formada na superfície de ressalto 4b do corpo da ferramenta 4a para receber a ponta de extremidade da porção saliente 3d nela quando as duas chapas metálicas tiverem que ser soldadas.

A porção saliente (sonda) 3d da primeira ferramenta rotativa 3 tem uma forma externa cilíndrica, e a porção rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4 tem igualmente uma forma interna cilíndrica. Quando a ponta de extremidade da porção saliente (sonda) 3d é inserida na porção rebaixada 4d, uma folga em forma de anel cilíndrica é formada entre a porção saliente (sonda) 3d e a porção rebaixada 4d.

Na presente especificação, o conjunto de "ferramenta" é um termo coletivo das duas ferramentas rotativas 3 e 4. O método de soldagem de

acordo com a presente modalidade é realizado usando o conjunto de ferramenta, e o esboço do método de soldagem é explicado a seguir.

Primeiro, a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta J das duas chapas metálicas 1 e 2. Então, a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são rotacionadas e movimentadas na direção de aproximação uma da outra de maneira a inserir a ponta de extremidade da porção saliente 3d da primeira ferramenta rotativa 3 na porção rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4 enquanto as superfícies de ressalto 3b e 4b das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta J. Então, a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são movimentadas nesse estado (o estado em que a ponta de extremidade da porção saliente 3d da primeira ferramenta rotativa 3 é inserida na porção rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4 e as superfícies de ressalto 3b e 4b das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta J) ao longo da porção da junta J. Quando a agitação e atrito é realizada durante o movimento, a porção saliente 3d é inserida na porção da junta J por toda a região na direção da espessura da porção da junta J. Assim, a porção da junta J é submetida a agitação e atrito em toda a região na direção da sua espessura, por meio do que as duas chapas metálicas 1 e 2 são unidas em toda a região da porção da junta J na sua direção da espessura.

No método de soldagem de acordo com a presente modalidade, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 arranjadas em relação oposta nesses lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta J são separadas uma da outra, a quantidade de inserção da porção saliente 3d da primeira ferramenta rotativa 3 na porção

rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4 (a distância entre a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4) pode ser livremente ajustada em uma faixa na qual a quantidade de inserção não é zero. Assim, mesmo quando as chapas metálicas 1 e 2 incluírem aqueles de diferentes espessuras, a 5 porção saliente 3d da primeira ferramenta rotativa 3 pode ser inserida na porção rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4 para casar com as espessuras das chapas metálicas 1 e 2, por meio do que as chapas metálicas 1 e 2 com espessuras na faixa de comprimento da porção saliente 3d podem ser sujeitas a solda por agitação e atrito por toda a faixa da porção da junta 10 J por ambas as superfícies das chapas metálicas 1 e 2. Assim, uma vez que inúmeras ferramentas rotativas, cada qual com diferente comprimento de sonda, não têm que ser preparadas para chapas metálicas de diferentes espessuras, o custo operacional é eliminado e assim a economia pode ser aumentada.

15           Além do mais, a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são separadas e são acionadas independentemente uma da outra. Assim, diferentemente de uma ferramenta tipo bobina, a agitação por atrito pela porção de ressalto 4c da ferramenta rotativa no lado da superfície traseira é feito sem potência transmitida através de uma sonda, não é necessário 20 estabelecer o diâmetro da sonda (porção saliente) 3c pelo menos duas ou mais vezes, comparada com o da ferramenta de um aparelho de solda por agitação e atrito de um lado, como no caso da ferramenta tipo bobina. Portanto, é possível impedir que o diâmetro da porção de ressalto seja aumentado por causa do aumento no diâmetro da sonda, e assim o tamanho do aparelho não 25 precisa ser aumentado, e a economia pode ser melhorada também neste ponto.

Além do mais, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 submete a agitação e atrito a porção da junta J das chapas metálicas 1 e 2 em toda a região na direção da espessura da porção da junta J, a resistência da porção da junta J pode ser aumentada.

Adicionalmente, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são separadas uma da outra e a distância entre a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 pode ser ajustada, o controle de carga pode ser usado para pressionar pelo menos uma das ferramentas rotativas contra a porção da junta (descrita posteriormente). Uma vez que o controle de carga pode ser usado desta maneira, se ajustando a quantidade de inserção da porção saliente 3d da primeira ferramenta rotativa 3 na porção rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4 dependendo da espessura das chapas metálicas (espessura da porção da junta), a solda por agitação e atrito pode ser realizada por ambos os lados, sem fixar a distância entre as superfícies de ressalto superior e inferior 3b e 4b. Assim, se pode impedir que haja mudança na pressão exercida nas superfícies de contato entre as superfícies de ressalto 3b e 4b e as superfícies da porção de união das chapas metálicas por causa da ligeira mudança na espessura das chapas metálicas, e variação na carga térmica pode ser reduzida, de forma que se pode impedir uma redução na qualidade da porção da junta J (defeito de junta) e é possível unir as chapas metálicas com alta confiabilidade.

Materiais das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são descritos a seguir.

Solda por agitação e atrito de um lado é colocada em uso prático no campo de ligas não ferrosas, tal como alumínio, que são materiais de pontos de fusão relativamente baixos. Em geral, solda por agitação e atrito exige aumento de temperatura do material até aproximadamente 80 % do ponto de fusão com calor por causa da agitação e atrito. Consequentemente, na soldagem de materiais cujos pontos de fusão excedem 1.000°C, a energia de entrada de agitação e atrito por unidade de comprimento de solda aumenta e os valores de resistência a deformação também aumentam. Ferramentas rotativas, portanto, exigem alta resistência ao calor e alta tenacidade na fratura, de forma que materiais caros, tais como diamantes policristalinos, têm

que ser usados.

Adicionalmente, mesmo se tais materiais caros forem usados para as ferramentas, a vida da ferramenta é reduzida por causa de impactos térmicos, desgaste da ferramenta e tensão de dobramento que age nas sondas ou porções salientes, e isto impede que a solda por agitação e atrito seja amplamente usada para materiais de alto ponto de fusão, superiores a 1.000°C.

Na presente modalidade, uma vez que a solda por agitação e atrito é realizada por ambos os lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta, é possível impedir perda térmica que é causada por uma chapa de apoio na solda por agitação e atrito de um lado. Assim, a região amolecida da porção da junta é aumentada, e é possível reduzir a carga térmica aplicada a uma ferramenta rotativa pela metade, ou menos. Usando o controle de carga para a prensagem de pelo menos uma das ferramentas rotativas contra a porção da junta (descrita a seguir), mudança na pressão exercida nas superfícies de contato entre as superfícies de ressalto 3b e 4b e as superfícies da porção da junta das chapas metálicas por causa de uma ligeira mudança na espessura das chapas metálicas pode ser impedida de ocorrer, e variação na carga térmica pode ser reduzida. Assim, não é necessário usar um material caro, tal como diamante policristalino, como materiais das ferramentas rotativas, e a primeira e segunda ferramentas rotativas podem ser feitas de liga de carboneto cementado de carboneto de tungstênio sinterizado, ou uma liga de tungstênio. Em decorrência disto, é possível prover ferramentas rotativas de longa vida útil e de maior economia na solda por agitação e atrito de chapas metálicas com um ponto de fusão de 1.000°C ou mais.

Além do mais, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são separadas uma da outra, os eixos das ferramentas rotativas 3 e 4 podem ser inclinados de maneira tal que as porções de ponta de

extremidade das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 se movam para a frente na direção de progresso da soldagem (descrito posteriormente). Assim, uma vez que a força de compressão contra as chapas metálicas 1 e 2 pode ser aumentada, o escoamento da porção da junta pela solda por agitação 5 e atrito pode ser melhorado e assim é possível suprimir defeito de junta e unir as chapas metálicas com alta confiabilidade.

Além do mais, uma vez que a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são separadas uma da outra, a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 podem ser rotacionadas em direções opostas nos lados das 10 superfícies dianteira e traseira da porção da junta J (descrito posteriormente). Assim, uma força de cisalhamento por causa da agitação pelo lado da superfície dianteira e uma força de cisalhamento por causa da agitação pelo lado da superfície traseira são anuladas no interior da porção da junta, e isto 15 impede que os materiais rompam e é possível unir as chapas metálicas com alta confiabilidade. Este efeito é alto, especialmente quando os diâmetros das superfícies de ressalto 3b e 4b das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são iguais um ao outro.

A figura 3 é um gráfico de tempo mostrando a distância da junta (tempo depois do início da soldagem) entre a primeira e segunda 20 ferramentas rotativas 3 e 4 e uma mudança na carga aplicada a um motor de rotação do fuso para as ferramentas rotativas.

Quando a ferramenta rotativa que não tem a sonda ou a porção 25 saliente se move na direção na qual a soldagem é realizada e uma carga excêntrica é aplicada na superfície de ressalto (que faz contato com as superfícies das chapas metálicas) da ferramenta rotativa, uma vibração com chiado pode ocorrer para fazer com que a agitação e atrito seja irregular e assim causar um defeito de junta.

De acordo com o experimento conduzido pelos presentes inventores, foi confirmado que, quando o comprimento da parte (que deve ser

inserida na porção rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4) da porção saliente (sonda) 3d da primeira ferramenta rotativa 3 é maior que 0 mm e a solda começa e então decorre alguns segundos, ocorre uma vibração com chiado e, depois disso, a vibração com chiado pode ser suprimida. Isto se dá 5 em virtude de os materiais ficarem amolecidos e cheios na porção rebaixada 4d, e então a porção saliente 3d da primeira ferramenta rotativa 3 recebe pressão interna através dos materiais amolecidos cheios na porção rebaixada 10 4d na porção rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4, de forma que uma força de amortecimento de vibração age. Em decorrência disto, chilrado 15 é suprimido e é possível realizar uma agitação e atrito uniforme e assim também, neste ponto, é possível suprimir defeito de junta e unir as chapas metálicas com alta confiabilidade.

Além do mais, se o material de uma quantidade que corresponde à folga for cheio na porção rebaixada 4d antes do início da 15 soldagem, a vibração pode ser impedida.

A figura 4 é um diagrama mostrando o estado no qual o conjunto de ferramenta é usado quando a soldagem é feita no caso onde as posições das primeira e segunda ferramentas rotativas são invertidas com relação às superfícies dianteira e traseira da porção da junta J. Na figura 1, a 20 primeira ferramenta rotativa 3 que tem a porção saliente (sonda) 3d formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 3a é colocado no lado da superfície dianteira da porção da junta J, enquanto a segunda ferramenta rotativa 4 que tem a porção rebaixada 4d formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 4a é colocada no lado da 25 superfície traseira da porção da junta J. Como mostrado na figura 4, mesmo quando as posições das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são invertidas com relação às superfícies dianteira e traseira da porção da junta J, os efeitos da solda por agitação e atrito não são alterados.

As relações dimensionais das partes da primeira ferramenta

rotativa 3 e as relações dimensionais das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são descritas com referência à figura 2 e a tabela 1.

	Espessuras das chapas metálicas	Diâmetro d1 da porção de ressalto	Diâmetro d1 da porção saliente	Comprimento L1 da porção saliente
1	maior que 0 mm e menor ou igual a 1 mm	maior que 3 mm e menor ou igual a 8 mm	maior que 1 mm e menor ou igual a 4 mm	maior que a espessura da porção da junta e menor ou igual a 2 mm
2	maior que 1 e menor ou igual a 3 mm	maior que 5 mm e menor ou igual a 12 mm	maior que 1 mm e menor ou igual a 6 mm	maior que a espessura da porção da junta e menor ou igual a 4 mm
3	maior que 3 mm e menor ou igual a 6 mm	maior que 8 mm e menor ou igual a 15 mm	maior que 2 mm e menor ou igual a 8 mm	maior que a espessura da porção da junta e menor ou igual a 7 mm
4	maior que 6 mm e menor ou igual a 10 mm	maior que 12 mm e menor ou igual a 20 mm	maior que 4 mm e menor ou igual a 10 mm	maior que a espessura da porção da junta e menor ou igual a 11 mm

Tabela 1 - Espessura das chapas metálicas, o diâmetro da porção do ressalto e a forma (diâmetro e comprimento) da porção saliente.

5 O diâmetro D1 da porção de ressalto 3c (superfície de ressalto 3b) da primeira ferramenta rotativa 3 (que tem a porção saliente (sonda) 3d formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 3a), o diâmetro d1 da porção saliente 3d e o comprimento L1 da porção saliente 3d variam dependendo das espessuras das chapas metálicas 1 e 2 (que devem ser  
10 submetidas a solda por agitação e atrito), resistência a deformação e estados da soldagem.

<Relações dimensionais da primeira ferramenta rotativa 3 (diâmetro D1 da porção de ressalto)>

15 Primeiro, o diâmetro D1 da porção de ressalto 3c (superfície de ressalto 3b) da primeira ferramenta rotativa 3 é descrito. Um fator principal para determinar o diâmetro D1 da porção de ressalto é a quantidade de calor que é transferida para a porção da junta por unidade de tempo. Na solda por agitação e atrito, um defeito de junta pode ocorrer por causa da falta da quantidade de calor friccional, ou de uma quantidade excessiva de calor friccional. Portanto, é necessário que o diâmetro D1 da porção de ressalto seja  
20

selecionado para gerar uma quantidade desejada de calor friccional.

De acordo com o experimento (no qual chapas com uma espessura de até 10 mm são usadas) conduzido pelos presentes inventores, uma excelente porção da junta foi formada nos estados estabelecidos na tabela

- 5 1. Especificamente, a solda por agitação e atrito pode ser realizada no estado em que a quantidade de calor friccional não é insuficiente ou excessiva nos seguintes casos: onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 0 mm e menores ou iguais a 1 mm e o diâmetro D1 da porção de ressalto é maior que 3 mm e menor ou igual a 8 mm; onde as espessuras das chapas
- 10 metálicas são maiores que 1 mm e menores ou iguais a 3 mm e o diâmetro D1 da porção de ressalto é maior que 5 mm e menor ou igual a 12 mm; onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 3 mm e menores ou iguais a 6 mm e o diâmetro D1 da porção de ressalto é maior que 8 mm e menor ou igual a 15 mm; e onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 6 mm e menores ou iguais a 10 mm e o diâmetro D1 da porção de ressalto é maior que 12 mm e menor ou igual a 20 mm. Assim, uma excelente porção da
- 15 junta pode ser obtida, ainda sem ocorrer defeito de junta.

(Diâmetro d1 da porção saliente)

A seguir, é descrito o diâmetro d1 da porção saliente 3d da porção de ressalto 3c (superfície de ressalto 3b) da primeira ferramenta rotativa 3 que tem a porção saliente 3d (sonda) formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 3a.

Um fator principal para determinar o limite inferior do diâmetro d1 da porção saliente é um momento que age na porção saliente 3d quando a solda por agitação e atrito é realizada. Quando o diâmetro d1 da porção saliente 3d é pequeno, o módulo da seção não pode ser garantido e a porção saliente 3d pode ser fraturada. Portanto, é necessário que o módulo da seção seja estabelecido de forma que a porção saliente 3d não seja fraturada.

O principal fator para determinar o limite superior do diâmetro

d<sub>1</sub> da porção saliente é a quantidade de calor friccional que é gerada quando a solda por agitação e atrito é realizada. A quantidade de calor friccional é determinada pela área de contato da superfície de ressalto 3b com as superfícies das chapas metálicas. A área da superfície de ressalto 3b da 5 primeira ferramenta rotativa 3 que faz contato com as superfícies das chapas metálicas varia dependendo do diâmetro D<sub>1</sub> da pressão e o diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente. O diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente é determinado com base na premissa de que o diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente é menor que o diâmetro D<sub>1</sub> da porção saliente. Quando a razão do diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente para o 10 diâmetro D<sub>1</sub> da porção de ressalto é grande, a área de contato com as superfícies das chapas metálicas é pequena e a quantidade de calor friccional pode ser insuficiente. Portanto, é necessário que o diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente seja estabelecido de forma que não ocorra defeito de junta por causa de falta de quantidade de calor friccional.

15 De acordo com o experimento (no qual as chapas com uma espessura de até 10 mm são usadas) conduzido pelos presentes inventores, os estados estabelecidos mostrados na tabela 1 foram obtidos. Especificamente, se confirmou que a porção saliente 3d não fraturou por causa do momento que age na porção saliente 3d quando a solda por agitação e atrito é realizada nos 20 seguintes casos: onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 0 mm e menores ou iguais a 1 mm e o diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente 3d é maior que 1 mm e menor ou igual a 4 mm; onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 1 mm e menores ou iguais a 3 mm e o diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente 3d é maior que 1 mm e menor ou igual 6 mm; onde as 25 espessuras das chapas metálicas são maiores que 3 mm e menores ou iguais a 6 mm e o diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente 3d é maior que 2 mm e menor ou igual a 8 mm; e onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 6 mm e menores ou iguais a 10 mm e o diâmetro d<sub>1</sub> da porção saliente 3d é maior que 4 mm e menor ou igual a 10 mm.

Foi confirmado que, quando o limite superior do diâmetro d1 da porção saliente é selecionado na faixa anteriormente mostrada e o diâmetro D1 da pressão é estabelecida nos estados tais que as espessuras das chapas metálicas e a resistência a deformação, a solda por agitação e atrito pode ser realizada no estado em que a quantidade de calor friccional não é insuficiente. Assim, uma excelente porção da junta pode ser formada, ainda sem ocorrer defeito de junta.

(Comprimento L1 da porção saliente)

A seguir, é descrito o comprimento L1 da porção saliente 3d da porção de ressalto 3c (superfície de ressalto 3b) da primeira ferramenta rotativa 3 que tem a porção saliente 3d (sonda) formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 31.

Um fator principal para determinar o comprimento L1 da porção saliente é a espessura das chapas metálicas. Quando o comprimento L1 da porção saliente 3d é menor que as espessuras das chapas metálicas, uma porção não da junta que é no geral denominada uma ligação com leve toque é formada. Portanto, é necessário que o comprimento L1 da porção saliente 3b seja estabelecido de forma que uma poção sem junta não seja formada e que as chapas possam ser soldadas entre si por todo o sulco.

De acordo com o experimento (no qual as chapas com espessura de até 10 mm são usadas) conduzido pelos presentes inventores, os estados estabelecidos mostrados na tabela 1 foram obtidos. Especificamente, foi confirmado que as chapas podem ser soldadas uma na outra em todo o sulco sem uma porção sem junta que é geralmente denominada uma ligação com toque de leve nos seguintes casos: onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 0 mm e menores ou iguais a 1 mm e o comprimento L1 da porção saliente 3d é maior que as espessuras das chapas metálicas são menores ou iguais a 2 mm; onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 1 mm e menores ou iguais a 3 mm e o

comprimento L1 da porção saliente 3d é maior que as espessuras das chapas metálicas e menor ou igual a 4 mm; onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 3 mm e menores ou iguais a 6 mm e o comprimento L1 da porção saliente 3d é maior que as espessuras das chapas metálicas e menor ou igual a 7 mm; e onde as espessuras das chapas metálicas são maiores que 6 mm e menores ou iguais a 10 mm e o comprimento L1 da porção saliente 3d é maior que as espessuras das chapas metálicas e menor ou igual a 11 mm.

5 <Descrição das relações dimensionais da segunda ferramenta rotativa 4>

O diâmetro D2 da porção de ressalto 4c (superfície de ressalto

10 4b) da segunda ferramenta rotativa 4 que tem a porção rebaixada 4d formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 4a, o diâmetro d2 da porção rebaixada 4d, e a profundidade L2 da porção rebaixada 4d são determinados com base no diâmetro D1 da porção de ressalto da primeira ferramenta rotativa 3, o diâmetro d1 da porção saliente e o comprimento L1 da porção saliente. De acordo com o experimento conduzido pelos presentes inventores, é preferível que o diâmetro D2 da porção de ressalto da segunda ferramenta rotativa 4 seja igual ao diâmetro D1 da porção de ressalto da primeira ferramenta rotativa 3. É preferível que o diâmetro d2 da porção rebaixada seja maior que o diâmetro d1 da porção saliente e menor ou igual a um valor  $d1 + 2$  mm. Quando a profundidade L2 da porção rebaixada é maior que o comprimento L1 da porção saliente e menor ou igual a um valor  $L1 + 1$  mm, uma excelente porção de junta foi obtida.

15

20

(Descrição do diâmetro d2 ( $= d1 + 2$ mm) e o comprimento L2 ( $= L1 + 1$  mm) da porção rebaixada)

25 No método de soldagem de acordo com a presente invenção, é preferível que a solda por agitação e atrito seja realizada no estado em que os eixos das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 são inclinados de forma que as porções de ponta de extremidade das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 se movam para a frente na direção de progresso da

soldagem (perpendicular à superfície da folha de papel da figura 1) descrita posteriormente.

Neste caso, o diâmetro  $d_2$  e o comprimento  $L_2$  da porção rebaixada são determinados com base em relações geométricas entre as espessuras das chapas metálicas que devem ser submetidas à solda por agitação e atrito, o diâmetro  $d_1$  e o comprimento  $L_1$  da porção saliente  $3d$  da primeira ferramenta rotativa 3, o comprimento de uma parte (que deve ser inserida na porção rebaixada  $4d$ ) da porção saliente  $3d$ , e ângulos de inclinação dos eixos das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4.

O diâmetro  $d_2$  e o comprimento  $L_2$  da porção rebaixada são estabelecidos nos valores mínimos de forma que a porção saliente  $3d$  possa ser inserida na porção rebaixada  $4d$  sem interferência na porção rebaixada  $4d$ , e as ferramentas rotativas podem ser inclinadas.

Quando o diâmetro  $d_2$  e o comprimento  $L_2$  da porção rebaixada são aumentados, a porção saliente  $3d$  pode ser inserida na porção rebaixada  $4d$  sem interferência na porção rebaixada  $4d$  e as ferramentas rotativas podem ser inclinadas. Entretanto, quando o diâmetro  $d_2$  e o comprimento  $L_2$  da porção rebaixada são aumentados excessivamente, a quantidade dos materiais que escoam para a porção rebaixada  $4d$  é aumentada. Isto pode causar defeito de junta.

De acordo com o experimento (no qual as chapas com uma espessura de até 10 mm são usadas) conduzido pelos presentes inventores, foi confirmado que, quando o diâmetro  $d_2$  da porção rebaixada  $4d$  é menor ou igual a um valor  $d_1 + 2$  mm e o comprimento  $L_2$  da porção rebaixada  $4d$  é menor ou igual a um valor  $L_1 + 1$  mm, se pode formar uma excelente porção de junta sem um defeito de junta e interferência da porção saliente  $3d$  na porção rebaixada  $4d$ .

Embora não mostrado, as superfícies de ressalto 3b e 4b das primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 podem ser processadas por

meio dos materiais das chapas metálicas que devem ser submetidas a solda por agitação e atrito, ou similares, de forma que sulcos espirais são formados nas superfícies de ressalto 3b e 4b; a porção saliente 3b pode ser processada de forma que uma rosca seja formada na porção saliente 3d; e a porção rebaixada 4d pode ser processada de forma que uma rosca fêmea seja formada na porção rebaixada 4d. Neste caso, a eficiência da agitação pode ser melhorada na solda por agitação e atrito.

As figuras 1 e 2 mostram que o diâmetro d1 da sonda ou da porção saliente é constante, independente da posição na direção na qual o comprimento L1 é medido e o diâmetro d2 da porção rebaixada é constante, independente da posição na direção na qual o comprimento L2 é medido. Mesmo quando a porção saliente e a porção rebaixada são feitas em uma forma cônica, os efeitos da solda por agitação e atrito não são alterados.

As figuras 5 a 8 são vistas seccionais transversais em esboço de outras formas do conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito em ambos os lados de acordo com a modalidade da presente invenção.

A figura 5 mostra uma primeira modalidade modificada. Na primeira modalidade modificada, um primeiro corpo rotativo 3A tem uma configuração similar à da primeira ferramenta rotativa 3 mostrada na figura 1. A primeira ferramenta rotativa 3A tem uma porção saliente em forma de pino (sonda) 3d que é formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 3a e se salienta na superfície de ressalto 3b. Entretanto, o comprimento L1 da porção saliente 3d é menor que a da primeira ferramenta rotativa 3 mostrada na figura 1. Uma segunda ferramenta rotativa 4A tem uma porção saliente em forma de anel 4e. A porção saliente 4e se salienta na superfície de ressalto 4b do corpo da ferramenta 4a e tem uma superfície circunferencial externa côncava e uma superfície circunferencial interna cilíndrica. A porção rebaixada 4d é formada na porção saliente em forma de anel 4e.

Quando a agitação e atrito é realizada, a porção saliente 3d e a porção saliente 4e são inseridas na porção da junta J na direção da espessura da porção da junta J. Tanto a porção saliente 3a quanto a porção saliente 4e submetem a agitação e atrito todas as regiões (que se estendem por todas as espessuras das chapas metálicas) da porção da junta J.

Quando o conjunto de ferramenta tem a configuração modificada mostrada na figura 5, o comprimento L1 da porção saliente em forma de pino (sonda) 3d que é formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 3a da primeira ferramenta rotativa 3A e se salienta na superfície de ressalto 3b pode ser reduzido, e o momento de dobramento rotativo que age na porção saliente 3d mediante solda por agitação e atrito é reduzido. Assim, mesmo se as espessuras das chapas metálicas 1 e 2 forem aumentadas, a solda por agitação e atrito pode ser realizada sem danificar a porção saliente.

A figura 6 mostra uma segunda modalidade modificada. Na segunda modalidade modificada, uma segunda ferramenta rotativa 4B tem uma configuração similar à segunda ferramenta rotativa 4A mostrada na figura 5. Uma primeira ferramenta rotativa 3B tem uma segunda porção saliente em forma de anel 3e além das configurações das primeiras ferramentas rotativas 3 e 3A supradescritas. A segunda porção saliente em forma de anel 3e é formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 3a e se salienta na superfície de ressalto 3b. A segunda porção saliente 3e tem um comprimento que é praticamente igual ao comprimento da porção saliente 3d. A segunda porção saliente 3d tem uma superfície circunferencial externa cilíndrica e uma superfície circunferencial interna côncica. A porção saliente 3e envolve a porção saliente 3d. Uma porção rebaixada anular 3f é formada entre a porção saliente 3e e a porção saliente 3d e recebe a ponta de extremidade da porção saliente 4e da segunda ferramenta rotativa 3B.

Quando é realizada agitação e atrito, a porção saliente 3d, a porção saliente 4e e a porção saliente 3e são inseridas na porção da junta J na direção da espessura da porção da junta J. As duas porções salientes 3d e 3e da porção saliente 4e agitam ficcionalmente todas as regiões (que se estendem 5 por todas as espessuras das chapas metálicas) da porção da junta J.

A figura 7 mostra uma terceira modalidade modificada. Na terceira modalidade modificada, uma primeira ferramenta rotativa 3C tem uma segunda porção saliente em forma de anel 3g, em vez de a segunda porção saliente 3e mostrada na figura 6. A segunda porção saliente em forma 10 de anel 3g é menor que a porção saliente 3d e tem uma superfície circunferencial interna cilíndrica e uma superfície circunferencial externa cilíndrica. Uma segunda ferramenta rotativa 4C tem uma porção saliente em forma de anel 4f em vez da porção saliente 4e mostrada nas figuras 5 e 6. A porção saliente em forma de anel 4f tem uma superfície circunferencial 15 interna cilíndrica e uma superfície circunferencial externa cilíndrica. Uma segunda porção rebaixada anular 4g é formada em uma superfície de borda em forma de anel da porção saliente 4f e tem uma profundidade que é menor que a da porção rebaixada 4d. A segunda porção rebaixada anular 4g recebe a ponta de extremidade da segunda porção saliente 3g.

20 Quando a agitação e atrito é realizada, a porção saliente 3d é inserida na porção da junta J na direção da espessura da porção da junta J e se estende por toda a espessura da porção da junta J, e a segunda porção saliente 3g e a porção saliente 4f são inseridas na porção da junta J na direção da espessura da porção da junta J de forma que as porções salientes 3d, 3g e 4f 25 submetem a agitação e atrito em dobro todas as regiões (que se estendem por todas as espessuras das chapas) da porção da junta J.

A figura 8 mostra uma quarta modalidade modificada. Na quarta modalidade modificada, a primeira ferramenta rotativa 3D tem uma configuração similar à da primeira ferramenta rotativa 3C mostrada na figura

7. A segunda porção saliente em forma de anel 3g tem um comprimento que é aproximadamente igual à porção saliente 3d. Uma segunda ferramenta rotativa 4D tem uma porção saliente em forma de anel 4h formada para se salientar na superfície de ressalto 4b do corpo da ferramenta 4a de uma maneira similar à segunda ferramenta rotativa 4A mostrada na figura 5. A porção rebaixada 4d é formada no lado interno da forma de anel da porção saliente 4h e tem um diâmetro que é maior que o da porção rebaixada 4d mostrada na figura 5. As pontas de extremidade da porção saliente 3d e da segunda porção saliente 3g da primeira ferramenta rotativa 4D são inseridas 10 na porção rebaixada 4d.

Quando a agitação e atrito é realizada, a porção saliente 3d, a segunda porção saliente 3g e a porção saliente 4h são inseridas na porção da junta J na direção da espessura da porção da junta J e submetem a agitação e atrito todas as regiões (que se estendem por todas as espessuras das chapas) 15 da porção da junta J.

Nas modalidades modificadas mostradas nas figuras 6 a 8, o comprimento L1 da porção saliente (sonda) 3d pode ser reduzido similarmente à modalidade modificada mostrada na figura 5. Assim, mesmo se as espessuras das chapas metálicas 1 e 2 forem aumentadas, a solda por 20 agitação e atrito pode ser realizada sem danificar a porção saliente.

Em seguida, será explicada uma modalidade de um aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados que realiza o método de soldagem de acordo com a presente invenção.

A figura 9 é uma vista em perspectiva do aparelho de solda por 25 agitação e atrito em ambos os lados de acordo com a modalidade da presente invenção com uma parte do aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados removida. A figura 10 é uma vista frontal esquemática da parte principal do aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados. A figura 11 é uma vista mostrando a metade superior do aparelho de solda por

agitação e atrito em ambos os lados juntamente com um sistema de controle.

Nas figuras 9 a 11, o aparelho de solda por agitação e atrito em ambos os lados para chapas metálicas de acordo com a modalidade compreende um dispositivo de fixação de entrada 5 e um dispositivo de fixação de saída 6 para fixar as superfícies dianteira e traseira das duas chapas metálicas 1 e 2; dispositivos de rotação da ferramenta superior e inferior 7, 8 com a primeira e segunda ferramentas rotativas 3, 4 anexadas nos mesmos em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta J das duas chapas metálicas 1, 2 para girar a primeira e segunda ferramentas rotativas 3, 4; dispositivos de compressão da ferramenta superior e inferior 45, 46 para movimentar a primeira e segunda ferramentas rotativas 3, 4 anexadas nos dispositivos de rotação da ferramenta 7, 8 em uma direção de aproximação uma da outra para pressionar a primeira e segunda ferramentas rotativas 3, 4 contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta das chapas metálicas 1, 2; e dispositivos de movimentação 47, 48 para movimentar a primeira e segunda ferramentas rotativas 3, 4 anexadas nos dispositivos de rotação da ferramenta 7, 8 ao longo da porção da junta J.

Como anteriormente descrito, a primeira ferramenta rotativa 3 tem a porção saliente (sonda) 3d que é formada na porção da ponta de extremidade do corpo da ferramenta 3a e se salienta na superfície de ressalto 3b. A segunda ferramenta rotativa 4 tem a porção rebaixada 4d que é formada na superfície de ressalto 4b do corpo da ferramenta 4a e recebe a ponta de extremidade da porção saliente 3d. Na presente modalidade, a primeira ferramenta rotativa 3 é anexada no dispositivo de rotação da ferramenta superior 7, enquanto a segunda ferramenta rotativa 4 é anexada no dispositivo de rotação da ferramenta inferior 8. Na descrição seguinte, portanto, a primeira ferramenta rotativa 3 é denominada ferramenta rotativa superior e a segunda ferramenta rotativa 4 é denominada ferramenta rotativa inferior.

Os dispositivos de compressão da ferramenta superior e

inferior 45, 46 são controlados para inserir a ponta de extremidade da porção saliente 3d da ferramenta rotativa superior 3 na porção rebaixada 4d da ferramenta rotativa inferior 4 e pressionar as superfícies de ressalto 3b, 4b das porções de ressalto 3c, 4c das ferramentas rotativas superior e inferior 3, 4 contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta J quando os dispositivos de compressão da ferramenta 45, 46 moverem a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) anexadas nos dispositivos de rotação da ferramenta 7, 8 na direção de aproximação uma da outra.

Os dispositivos de movimentação superior e inferior 47, 48 são controlados para movimentar as ferramentas rotativas superior e inferior 3, 4 ao longo da porção da junta J no estado em que a ponta de extremidade da porção saliente 3d da ferramenta rotativa superior 3 é inserida na porção rebaixada 4d da ferramenta rotativa inferior 4 e as superfícies de ressalto 3b, 4b das porções de ressalto 3c, 4c das ferramentas rotativas superior e inferior 3, 4 são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta J, para dessa forma agitação e atrito da porção da junta J em toda a região na direção da espessura da porção da junta J.

O dispositivo de fixação de entrada 5 e o dispositivo de fixação de saída 6 têm chapas de fixação superior e inferior 5a, 5b e 6a, 6b, respectivamente, as chapas de fixação superior e inferior 5a, 5b e 6a, 6b podem ser abertas/fechadas por mecanismos de abertura/fechamento incluindo dispositivos de acionamento não mostrados.

O dispositivo de agitação e atrito superior 7 e o dispositivo de agitação e atrito inferior 8 incluem um corpo cilíndrico superior 49 e um corpo cilíndrico inferior 50, respectivamente, para reter as ferramentas rotativas superior e inferior 3, 4, os corpos cilíndricos 49 e 50 sendo encamisados pelo menos parcialmente em um revestimento do corpo superior 51 e um revestimento do corpo inferior 52, respectivamente. Os corpos cilíndricos 49, 50 contêm um motor de rotação superior 53a e um motor de

rotação inferior 53b, e esses motores acionam rotacionalmente as ferramentas rotativas 3, 4, respectivamente.

Como mostrado na figura 11, o dispositivo de compressão da ferramenta superior 45 inclui um motor de compressão 61a provido no revestimento do corpo superior 51, um parafuso 62a acionado rotacionalmente pelo motor de compressão 61a, e uma armação de suporte 63a que move linearmente na direção axial do parafuso 62a pela rotação do parafuso 62a. O corpo cilíndrico 49 do dispositivo de rotação da ferramenta superior 7 é conectado na armação de suporte 63a de maneira a mover linearmente na direção axial do parafuso 62a juntamente com a armação de suporte 63a.

Embora não mostrado, o dispositivo de compressão inferior 46 é configurado da mesma maneira. Na descrição seguinte, números de referência que denotam elementos do dispositivo de compressão da ferramenta inferior 46 equivalentes àqueles do dispositivo de compressão da ferramenta superior 45 são cada qual denotados se adicionando um sufixo "b", em vez de o sufixo "a".

O dispositivo de movimentação superior 47 inclui trilhos superiores esquerdo e direito 11 e 11, ambos fixados no alojamento superior 9; armações de deslocamento esquerda e direita 65a e 65a que suportam o revestimento do corpo superior 51 por meio de eixos 64a e 64b, respectivamente; rodas esquerda/direita e dianteira/traseira 66a e 66a providas nas armações de deslocamento esquerda e direita 65a, 65a a fim de deslocar os trilhos superiores 11, 11; e motores de deslocamento 67a e 67a montados nas armações de deslocamento esquerda e direita 65a, 65a a fim de acionar uma das rodas dianteira e traseira 66a, 66a. O dispositivo de rotação da ferramenta superior 7 e o dispositivo de compressão da ferramenta superior 45 deslocam nos trilhos superiores 11, 11 ortogonalmente a uma direção de deslocamento dos chapas metálicas 1 e 2, ao longo da porção da junta J.

O dispositivo de movimentação inferior 48 é configurado da mesma maneira, e o dispositivo de rotação da ferramenta inferior 8 e o dispositivo de compressão da ferramenta inferior 46 desloca nos trilhos inferiores 12, 12, fixados no alojamento inferior 10, ortogonalmente à direção de deslocamento das chapas metálicas 1, 2 ao longo da porção da junta J. Na descrição seguinte, números de referência que denotam elementos do dispositivo de movimentação inferior 48 equivalentes àqueles do dispositivo de movimentação superior 47 são denotados se adicionando um sufixo "b", em vez de o sufixo "a".xxx

Na construção mostrada nas figuras 9 a 11, quando os dispositivos de rotação da ferramenta superior e inferior 7 e 8 deslocam nos trilhos superior e inferior 11, 11 e 12, 12, respectivamente, o alinhamento axial entre a ferramenta rotativa superior 3 e a ferramenta rotativa inferior 5 é realizado por um esquema de controle elétrico no qual um dispositivo de controle 83 (descrito a seguir) controla sincronadamente os motores de deslocamento 67a, 67a do dispositivo de movimentação superior 47 e os motores de deslocamento 67b, 67b do dispositivo de movimentação inferior 48.

A figura 12 mostra um esquema que alinha mecanicamente os eixos das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4. Os dispositivos de rotação da ferramenta superior e inferior 7 e 8 são fixados nos alojamentos superior e inferior 9A e 10A integralmente acoplados um no outro para formar uma estrutura em forma de C. Um dispositivo de deslocamento 74 que inclui rodas 71, um parafuso 72, e um motor de deslocamento 73 é provido para os alojamentos superior e inferior em forma de C 9A e 10A. As rodas 71 são providas no alojamento inferior 10A, o parafuso 72 encaixa o alojamento inferior 10A e o motor de deslocamento 73 aciona rotacionalmente o parafuso 72. Quando o motor de acionamento 73 é acionado por um comando enviado de um dispositivo de controle 75, o parafuso 72 gira e os alojamentos superior

e inferior 9A e 10A deslocam na direção ortogonal à direção de deslocamento das chapas metálicas 1 e 2, com as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 axialmente alinhadas.

De volta à figura 11, o aparelho de solda de acordo com a presente invenção compreende adicionalmente um dispositivo de suporte de inclinação superior 76a e um dispositivo de suporte de inclinação inferior 76b para suportar as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 de maneira a inclinar os eixos das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 de maneira tal que as porções de ponta de extremidade das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 se movam para a frente na direção de movimento das ferramentas rotativas 3 e 4. Os dispositivos de suporte de inclinação superior e inferior 76a, 76b são de um tipo com ângulo ajustável, e incluem motores de controle do ângulo 77a e 77b providos em um dos pares de armações de deslocamento esquerda e direita 65a, 65b e 65b, 65b para acionar rotacionalmente os eixos 64a, 64b suportados pelas armações de deslocamento 65a, 65b. Os dispositivos de suporte de inclinação 76a, 76b podem ser de um tipo fixo que suporta fixamente as ferramentas rotativas superior e inferior 3, 4 com os seus eixos inclinados.

Um sistema de controle provido no aparelho de solda da presente modalidade será descrito aqui a seguir.

#### <Método de soldagem>

A seguir é descrito o método (de acordo com uma modalidade da presente invenção) para realizar a solda por agitação e atrito em ambos os lados e unir chapas metálicas usando o aparelho de solda supramencionado com referência às figuras 13 a 25.

A figura 13 mostra um estado durante a soldagem quando o método de soldagem de acordo com a presente invenção é aplicado para solda de topo de duas chapas metálicas, e também mostra relações posicionais entre as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 e os dispositivos de fixação

de entrada e saída 5 e 6 (isto é, a distância entre os dispositivos de fixação de entrada e saída).

Como mostrado na figura 13, quando as chapas metálicas 1 e 2 são submetidas a solda de topo por solda por agitação e atrito em ambos os 5 lados, as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são inseridas em uma porção da junta J (porção de topo) das chapas metálicas 1 e 2, por um lado da superfície dianteira e um lado da superfície traseira da porção da junta J, respectivamente, enquanto das ferramentas 3 e 4 são rotacionadas para agitação e atrito da porção da junta J utilizando calor friccional gerado pela 10 rotação das ferramentas 3 de 4, para dessa forma soldar as chapas metálicas 1 e 2.

No método de união de acordo com a presente modalidade, primeiramente, o dispositivo de fixação de entrada 5 e o dispositivo de fixação de saída 6 arranjados para prensar as ferramentas rotativas superior e 15 inferior 3 e 4 nos seus lados opostos são atuados para fixar as superfícies dianteira e traseira das duas chapas metálicas 1 e 2. Em seguida, os dispositivos de compressão da ferramenta 45 e 46 são atuados para movimentar as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 que ficam dispostas em relação oposta no lado da superfície dianteira e no lado da 20 superfície traseira da porção de topo que forma a porção da junta J das duas chapas metálicas 1 e 2, em uma direção na qual as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 se aproximam uma da outra de maneira a inserir a porção saliente (sonda) 3d da ferramenta rotativa superior 3 na porção rebaixada 4d da ferramenta rotativa inferior 4, para dessa forma agitação e 25 atrito da porção da junta em toda a região na direção da espessura da porção da junta J e unir as chapas metálicas 1 e 2 sem uma porção sem junta.

Além do mais, os dispositivos de acionamento de rotação da ferramenta 7 e 8 são atuados para girar as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 arranjadas em relação oposta em direções opostas enquanto as

superfícies de ressalto 3b e 4b das ferramentas rotativas 3 e 4 são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção de topo que forma a porção da junta J das duas chapas metálicas 1 e 2 de forma que a agitação friccional seja realizada. Neste momento, as forças de compressão 5 das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 contra a porção de topo J (porção da junta) das chapas metálicas 1 e 2 pelos lados das superfícies dianteira e traseira da porção de topo J são feitas iguais uma à outra.

No estado (o estado em que a porção saliente 3d da ferramenta rotativa superior 3 é inserida na porção rebaixada 4d da ferramenta rotativa 10 inferior 4 e as superfícies de ressalto 3b e 4b das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta J), os dispositivos de movimentação 47 e 48 são atuados para movimentar as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 ao longo da porção de topo J na direção perpendicular à direção de deslocamento 15 das chapas metálicas 1 e 2, ao mesmo tempo girando as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 para dessa maneira realizar a solda por agitação e atrito.

Adicionalmente, no método de soldagem de acordo com a presente modalidade, os dispositivos de suporte de inclinação 76a e 76b 20 inclinam as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 de maneira tal que as suas porções de ponta de extremidade fiquem voltadas para a frente na direção de movimento das ferramentas rotativas 3 e 4. Neste estado, as ferramentas rotativas 3 e 4 se movem na direção perpendicular à direção de deslocamento das chapas metálicas 1 e 2, ainda girando para dessa forma 25 realizar a solda por agitação e atrito (referir-se à figura 16, figura 17, figura 19, figura 22 e figura 23).

As figuras 14 e 15 mostram um estado durante a soldagem quando o método de soldagem de acordo com a presente invenção é aplicado na solda sobreposta das duas chapas metálicas, e as figuras 14 e 15 mostram a

diferença no sistema de fixação quando o método de soldagem da presente invenção é aplicado na solda sobreposta de duas chapas metálicas.

Similarmente à solda por agitação e atrito em ambos os lados das chapas metálicas de topo, na solda por agitação e atrito em ambos os 5 lados de chapas metálicas sobrepostas 1 e 2, mostrado nas figuras 14 e 15, uma solda por agitação e atrito é realizada se formando a porção da ponta de extremidade de pelo menos uma das ferramentas rotativas superior e inferior 10 3 e 4 com a porção saliente 3d que se salienta na superfície de ressalto 3b e formando a porção da ponta de extremidade das outras ferramentas rotativas opostas a ela com a porção rebaixada 4d que recebe pelo menos a ponta de 15 extremidade da porção saliente 3d, e movimentando as ferramentas rotativas 3 e 4 ao longo da porção da junta J no estado em que pelo menos a ponta de extremidade da porção saliente 3d de uma das ferramentas rotativas é inserida na porção rebaixada 4d da outra ferramenta rotativa, dessa forma realizando solda por agitação e atrito e unindo as chapas metálicas 1 e 2.

Quando a presente invenção é aplicada na solda sobreposta, a fixação das chapas metálicas 1 e 2 pelos dispositivos de fixação de entrada e saída 5 e 6 compreende dois casos nos quais um é para fixar as duas chapas metálicas sobrepostas 1 e 2 uma na outra e o outro é para fixar 20 individualmente as chapas metálicas 1 e 2, respectivamente.

A figura 14 mostra o primeiro caso, no qual uma porção sobreposta das duas chapas metálicas é relativamente comprida, e os dispositivos de fixação de entrada e saída 5 e 6 fixam as chapas metálicas 1 e 2 uma na outra em ambos os lados da porção sobreposta que formam uma 25 porção da junta. A figura 15 mostra o último caso, no qual os dispositivos de fixação de entrada e saída 5 e 6 fixam as chapas metálicas 1 e 2 individualmente em ambos os lados da porção sobreposta que forma uma porção da junta.

No exemplo da figura 15, é difícil melhorar o grau do estado

de contato íntimo na porção sobrepostas durante soldagem. Além do mais, uma vez que as alturas nas quais os dispositivos de fixação de entrada e saída 5 e 6 são posicionados não são iguais, é necessário um mecanismo de ajuste de altura. Neste sentido, o exemplo da figura 14 é considerado preferido.

5 Como anteriormente descrito, realizando o método de soldagem de acordo com a presente invenção usando o aparelho de soldagem mostrado nas figuras 9 a 12, é possível prolongar a vida útil das ferramentas rotativas e aumentar a economia e eliminar defeito de junta e ruptura de materiais e unir as chapas metálicas com alta confiabilidade.

10 Em seguida, detalhes adicionais dos recursos do método e aparelho de soldagem de acordo com a presente modalidade são descritos.

Primeiro, são descritas inclinações dos eixos das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 a seguir.

15 A figura 16 é uma vista seccional transversal feita ao longo da direção de solda (perpendicular a uma linha ao longo da seção transversal mostrada na figura 1) e mostra o caso no qual a solda por agitação e atrito é realizada enquanto as ferramentas rotativas 3 e 4 giram.

Na presente modalidade, a solda por agitação e atrito é realizada enquanto as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 giram no estado em que os eixos 15 das ferramentas rotativas 3 e 4 são inclinados na direção em que as respectivas sondas 13a e 13b se movem para a frente na direção de movimento das ferramentas rotativas 3 e 4.

20 O diâmetro d2 da porção rebaixada 4d da ferramenta rotativa inferior 4 é estabelecido com base no diâmetro d1, comprimento L1 e ângulo de inclinação 01 da porção saliente 3d da ferramenta rotativa superior 3 de forma que as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 não interfiram uma na outra.

25 Uma vez que os eixos 15 das ferramentas rotativas 3 e 4 são inclinados da maneira anteriormente mencionada, a pressão das superfícies de

ressalto 3b e 4b das ferramentas rotativas 3 e 4 contra os materiais pode ser aumentada, e o escoamento da porção da junta pela solda por agitação e atrito pode ser melhorado e assim é possível eliminar a ocorrência de defeito de junta.

Além do mais, os materiais amolecidos pela agitação e atrito escoam para a porção rebaixada 4d da ferramenta rotativa inferior 4 para encher a folga que está presente na porção rebaixada 4d da ferramenta rotativa inferior 4. Assim, uma vez que a porção saliente 3d da primeira ferramenta rotativa 3 inserida na porção rebaixada 4d da segunda ferramenta rotativa 4 recebe pressão interna por meio dos materiais amolecidos cheios na folga, a força de amortecimento de vibração age e o desempenho do amortecimento da vibração para a primeira e segunda ferramentas rotativas 3 e 4 na direção radial é melhorado. Em decorrência disto, chilrado é suprimido e é possível realizar uma agitação e atrito uniforme, e assim também neste ponto é possível eliminar defeito de junta e unir as chapas metálicas com alta confiabilidade.

Aqui, se os eixos das ferramentas 15 forem demasiadamente inclinados no ângulo, isto aumenta a profundidade de inserção nas chapas metálicas 1 e 2 no lado de fuga das superfícies de ressalto das ferramentas rotativas na direção de deslocamento. Este aumento, por sua vez, libera volumes do material da porção da junta dos ressaltos inseridos 3c e 4c pelos cordões, afinando parcialmente para baixo na espessura da chapa na porção da junta, e assim reduzindo a resistência das chapas na porção da junta. Em particular, se as chapas metálicas 1 e 2 que devem ser unidas forem finas como 2 mm ou menos, a espessura das chapas na porção da junta diminui a uma alta taxa e a ruptura da chapa começa na porção da junta.

Quando a espessura das chapas metálicas 1 e 2 é 2 mm ou menos, portanto, se controlando o ângulo de inclinação  $\theta_1$  ou  $\theta_2$  para ser maior que  $0^\circ$ , mas não maior que  $3^\circ$ , a diminuição na resistência das chapas na

porção da junta por causa de uma diminuição parcial na espessura das chapas é eliminada e, consequentemente, a ruptura da chapa na porção da junta é eliminada. Adicionalmente, para suprimir a diminuição localizada na espessura das chapas na porção da junta, o ângulo de inclinação  $\theta_1$  ou  $\theta_2$  é preferivelmente controlado para ser maior que  $0^\circ$ , mas não maior que  $2^\circ$ , e mais preferivelmente controlado para ser superior a  $0^\circ$ , mas não maior que  $1^\circ$ .

5

Em seguida, as direções rotacionais das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são descritas.

As figuras 17 e 18 mostram solda por agitação e atrito nos estados em que as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são rotacionadas na mesma direção, em que os ressaltos 3d e 4d (superfícies de ressalto 3b e 4b) das ferramentas rotativas 3 e 4 têm o mesmo diâmetro, e que os eixos das ferramentas rotativas 3 e 4 são inclinados no mesmo ângulo com relação à direção de deslocamento da ferramenta. A figura 17 é uma vista em perspectiva, e a figura 18 é uma vista seccional.

10

15

Como mostrado nas figuras 17 e 18, quando as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são rotacionadas na mesma direção, a força de cisalhamento superior 27a e a força de cisalhamento inferior 27b trabalham na mesma direção na seção amolecida nas superfícies dianteira e traseira de cada chapa metálica que é prensada entre os ressaltos da ferramenta 3c e 4c. Portanto, quando as chapas metálicas 1 e 2 são muito finas, a força de cisalhamento superior a um nível admissível pode agir para romper o material.

20

As figuras 19 e 20 mostram solda por agitação e atrito em estados em que as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são rotacionadas em direções opostas, em que os ressaltos 3c e 4c (superfícies de ressalto 3b e 4b) das ferramentas rotativas 3 e 4 têm o mesmo diâmetro, e em que os eixos das ferramentas rotativas 3 e 4 são inclinados no mesmo ângulo com relação à direção de deslocamento da ferramenta. A figura 19 é uma vista

25

em perspectiva, e a figura 20 é uma vista seccional.

Na presente modalidade, como mostrado nas figuras 19 e 20, as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são rotacionadas em direções opostas no lado da superfície dianteira e no lado da superfície traseira. Assim, 5 a força de cisalhamento 27a por causa da agitação pelo lado da superfície dianteira e a força de cisalhamento 27b por causa da agitação pelo lado da superfície dianteira são anuladas no interior da porção da junta, impedindo assim que o material rompa. Além do mais, as forças de fixação dos dispositivos de fixação 5 e 6 são reduzidas e assim os dispositivos de fixação 10 são simplificados.

Adicionalmente, o dispositivo de controle 83 supre comandos ao motor de rotação superior 53a e ao motor de rotação inferior 53b para controlar os motores de rotação 53a e 53b de forma que as velocidades rotacionais das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 fiquem iguais 15 entre si. Assim, a quantidade de calor que é transferida para a porção da junta pela superfície dianteira é igual à da superfície traseira. Além do mais, as forças de cisalhamento que são causadas pelas forças friccionais são iguais entre si.

Portanto, tensões residuais são iguais na direção da espessura 20 das chapas, e a resistência a tração e resistência ao dobramento são uniformes nas superfícies dianteira e traseira. Assim, a redução na confiabilidade da resistência pode ser impedida.

A relação entre a distância entre os dispositivos de fixação de entrada e saída 5 e 6 e o diâmetro da ferramenta é descrito a seguir com 25 referência às figuras 13 a 15.

Quando os materiais que formam as chapas metálicas 1 e 2 são de baixa rigidez, ou seja, quando as espessuras t1 e t2 das chapas metálicas são menores que os diâmetros dos ressaltos 3c e 4c das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 e finos, ou quando os valores de resistência a

deformação a alta temperatura  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  são pequenos, é preferível que a distância Lc entre o dispositivo de fixação de entrada 5 e o dispositivo de fixação de saída 6 é estabelecida menor que 1,5 vezes, mas não maior que 5,0 vezes, o diâmetro do corpo da ferramenta D1 ou D2 da ferramenta rotativa 3 ou 4 e, como mostrado na figura 13, que os dispositivos de fixação fixam porções vizinhas das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4. Resumidamente, os dispositivos de fixação de entrada e saída 5 e 6 são preferivelmente arranjados com relação às ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 de forma que as expressões seguintes sejam satisfeitas:

$$10 \quad Lc = D3 (D4) \times (1,5 \text{ a } 5,0)$$

$$Lc = Lc1 + Lc2$$

Lc: Distância entre os dispositivos de fixação de entrada e saída;

Lc1: Distância entre o eixo da ferramenta rotativa e o dispositivo de fixação de entrada;

15 Lc2: Distância entre o eixo da ferramenta rotativa e o dispositivo de fixação de saída;

D3: Diâmetro do corpo da ferramenta rotativa superior;

D4: diâmetro do corpo da ferramenta rotativa inferior.

Na presente invenção, a relação entre a distância dos 20 dispositivos de fixação e o diâmetro da ferramenta é definido como anteriormente apresentado pelos motivos seguintes.

Se os materiais que formam as chapas metálicas 1 e 2 forem de baixa rigidez, ou seja, se as espessuras de chapa t1 e t2 das chapas metálicas forem pequenas, ou se os valores de resistência a deformação a alta 25 temperatura  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  forem pequenos, quando solda por agitação e atrito é realizada enquanto as chapas metálicas 1 e 2 são pegas pelos dispositivos de fixação de entrada e saída 5 e 6, isto provavelmente resultará em empeno das chapas metálicas 1 e 2 por causa da expansão térmica e deformação térmica pelo calor de atrito gerado durante a solda por agitação e atrito, a força de

exclusão gerada durante a passagem da sonda ou porção saliente, e uma força de cisalhamento do material gerada pela rotação dos ressaltos 3c e 4c. Depois de estudos repetidos sobre os problemas expostos, os presentes inventores obtiveram o conhecimento seguinte.

5            Quando as espessuras das chapas metálicas (chapas de aço) são menores ou iguais a 3 mm, se a distância dos dispositivos de fixação Lc não for maior que 125 mm para o diâmetro da ferramenta D de 25 mm ( $D = D_3 = D_4$ ), as chapas metálicas puderam ser soldadas sem empeno. A distância dos dispositivos de fixação Lc neste caso não é maior que 5 vezes o diâmetro da ferramenta D.

10           Além do mais, quando as espessuras das chapas metálicas (chapa de aço) não são maiores que 3 mm, no caso da distância Lc de 5 vezes o diâmetro da ferramenta D ( $=D_3 = D_4$ ), algumas das chapas metálicas sofreram empeno e não puderam ser soldadas.

15           Portanto, se confirmou que, quando as espessuras das chapas metálicas não são maiores que 3 mm, estabelecendo-se a distância Lc em uma faixa não maior que 5 vezes o diâmetro da ferramenta D, apropriadamente, dependendo da espessura da chapa ou do valor da resistência a deformação a alta temperatura do material, as chapas metálicas podem ser soldadas sem empeno.

20           Por esses motivos, se controlando a distância Lc entre o dispositivo de fixação de entrada 5 e o dispositivo de fixação de saída 6 para não ser maior que 5 vezes o diâmetro da ferramenta D, as chapas metálicas 1 e 2 podem ser soldados sem empenho por causa da expansão térmica e deformação térmica pelo calor friccional gerado durante a solda por agitação e atrito, a força de exclusão durante a passagem da sonda ou porção saliente e a força de cisalhamento do material gerada pela rotação dos ressaltos 3c e 4c.

25           Adicionalmente, é mais preferível que, quando as espessuras de chapa não são maiores que 3 mm, a distância Lc entre o dispositivo de

fixação de entrada 5 e o dispositivo de fixação de saída 6 é estabelecida não menor que 1,5 vezes, mas não maior que 3 vezes o diâmetro do corpo da ferramenta D, e ainda mais preferivelmente estabelecida não menos que 1,5 vezes, mas não maior que 2 vezes o diâmetro.

5 No entanto, durante agitação e atrito com as ferramentas rotativas 3 e 4, é inevitável que as ferramentas rotativas 3 de 4 gerem vibração muito significante por causa da mudança na carga na porção da junta, folgas nas porções móveis, etc. Adicionalmente, colocar o dispositivo de fixação de entrada 5 e o dispositivo de fixação de saída 6 muito próximos das ferramentas rotativas 3 e 4 provavelmente causará interferência (contato) entre eles. Estabelecendo-se a distância Lc entre o dispositivo de fixação de entrada 5 e o dispositivo de fixação de saída 6 não menor que 1,5 vezes o diâmetro da ferramenta D, interferência entre as ferramentas rotativas 3 e 4 e os dispositivos de fixação de entrada e saída 5 e 6 é impedida de ocorrer, 10 mesmo quando as ferramentas rotativas 3 e 4 geram vibração muito significante, melhorando assim a vida do aparelho.

15

Pelos motivos expostos, estabelecendo-se a distância Lc entre o dispositivo de fixação de entrada 5 e o dispositivo de fixação de saída 6 não menor que 1,5 vezes, mas não maior que 5,0 vezes o diâmetro da ferramenta rotativa, e fixando as superfícies dianteira e traseira de ambas chapas metálicas 1 e 2 nas proximidades dos ressaltos da ferramenta com os dispositivos de fixação 5 e 6, mesmo quando os materiais são finos e de baixa rigidez, empeno das chapas metálicas por causa da expansão térmica e deformação térmica pelo calor friccional gerado durante a solda por agitação 20 e atrito, a força de exclusão durante a passagem da sonda ou porção saliente e a força de cisalhamento do material gerada pela rotação dos ressaltos é suprimida, mantendo ainda a precisão do ressalto de topo das chapas metálicas 1 e 2 em um alto nível, e uma solda estável é implementada.

25

Em seguida, é descrito o caso sem penetração.

Na solda por agitação e atrito de um lado convencional, antes do início da agitação e atrito, é necessária a operação denominada "penetração". Na operação de penetração, as posições de inserção das ferramentas rotativas são mantidas, ainda girando as ferramentas rotativas no estado em que as superfícies de ressalto das ferramentas rotativas entram em contato com as superfícies das chapas metálicas 1 e 2, o calor friccional gerado entre as superfícies de ressalto das ferramentas rotativas e as superfícies das chapas metálicas 1 e 2, as temperaturas dos materiais das chapas metálicas são aumentadas até praticamente 80 % dos pontos de fusão nos quais os materiais são amolecidos. Depois que as chapas metálicas 1 e 2 são amolecidas, as ferramentas rotativas se movem na direção da soldagem, enquanto a profundidade de agitação e atrito é fixa, ou a carga dos motores de rotação da ferramenta do dispositivo de agitação e atrito é controlada para ser constante, por meio do que solda por agitação e atrito é realizada. Uma vez que penetração é demorada, o ciclo de soldagem é correspondentemente prolongado, e isto restringe a melhoria na eficiência de produção.

Quando a solda por agitação e atrito em ambos os lados é realizada, uma vez que o calor friccional é gerado em ambas as superfícies da porção da junta, difusão de calor para a chapa metálica de apoio, que ocorreu na solda por agitação e atrito de um lado convencional, não ocorre, e a elevação de temperatura é conseguida em um pouco tempo. Focando a atenção nas descobertas, os presentes inventores consideraram que pode ser possível omitir o processo de penetração que é realizado antes do início da solda por agitação e atrito, e a solda por agitação e atrito é imediatamente iniciada pelas superfícies de borda das chapas metálicas 1 e 2 sem penetração. Em decorrência disto, foi confirmado que as chapas metálicas 1 e 2 tornam o fluxo de plástico suave pelas ferramentas rotativas 3 e 4.

Mais preferivelmente, quando a agitação e atrito é realizada de antemão, de forma que a folga entre a sonda ou a porção saliente 4 da

ferramenta rotativa superior 3 e da porção rebaixada 4d da ferramenta rotativa inferior 4 seja cheia com o mesmo material das chapas metálicas, é possível eliminar a vibração por causa da carga excêntrica inicial, como anteriormente descrito.

5                  No método de soldagem da presente invenção, portanto, solda por agitação e atrito sem penetração que não envolve a etapa de penetração pode ser implementada, que, por sua vez, permite que o tempo do ciclo de solda seja reduzido e a eficiência de produção aumentada.

A seguir, a falta de penetração e as inclinações dos eixos das  
10                ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são descritas.

A figura 21 é um diagrama explanatório mostrando o caso no qual as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são inseridas pela superfície da borda da porção da junta no estado em que os ângulos de inclinação das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são estabelecidos  
15                em 0 grau (ou as ferramentas não são inclinadas). A fim de iniciar a solda por agitação e atrito sem penetração, as posições de inserção das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4, quando as ferramentas rotativas 3 e 4 são inseridas pela superfície da borda 24 da porção da junta, são determinadas com base nas posições relativas da porção da junta J e das ferramentas  
20                rotativas 3 e 4. Como mostrado na figura 21, quando as posições de inserção das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são ligeiramente deslocadas e as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são excessivamente inseridas, existe uma possibilidade de que as superfícies laterais das ferramentas rotativas 3 e 4 sejam forçadas a pressionar a superfície da borda  
25                24 da porção da junta J e um problema tal como empeno das chapas metálicas 1 e 2 e defeito de agitação e atrito podem ocorrer.

A figura 22 mostra o estado no qual as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são inseridas pela superfície da borda 24 da porção da junta J no estado em que as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são

devidamente inclinadas. A fim de inserir suavemente as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 pela superfície da borda 24 da porção da junta J, agitação é realizada no estado em que os eixos 14 das ferramentas são inclinados na direção que as sondas 13a e 13b nas porções de ponta de extremidade das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 se movem para a frente das outras porções das ferramentas rotativas com relação à direção de deslocamento das ferramentas, como mostrado na figura 22. Os ângulos de inclinação  $\theta_1$  e  $\theta_2$  neste momento são preferivelmente estabelecidos maiores que  $0^\circ$ , mas não maiores que  $10^\circ$ , mais preferivelmente maiores que  $0^\circ$ , mas não maiores que  $6^\circ$ , e ainda preferivelmente maiores que  $0^\circ$ , mas não maiores que  $3^\circ$ .

Com tal ajuste, uma vez que as ferramentas rotativas ficam encaixadas com a superfície da borda 24 pelas superfícies de ressalto, as superfícies laterais das ferramentas não pressionam a superfície da borda 24. Portanto, a solda por agitação e atrito pode ser suavemente iniciada sem penetração, sem que ocorra problema tais como empeno da chapa metálica e defeito de agitação e atrito. Depois disso, no processo de solda por agitação e atrito, uma vez que os eixos das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são inclinados, as pressões superficiais entre os ressaltos das ferramentas rotativas 3 e 4 e os materiais é aumentada, e ocorrência de rebarbas e defeitos de solda durante solda por agitação e atrito podem ser eliminados.

A seguir, será descrito um método de operar o aparelho para realizar solda por agitação e atrito em ambos os lados sem penetração.

Um sistema de controle associado com o método operacional é primeiramente descrito.

Como mostrado nas figuras 10 e 11, o aparelho de solda de acordo com a presente modalidade inclui: um dispositivo de medição de posição superior 81a montado em uma superfície inferior do revestimento do corpo superior 51; um dispositivo de medição de carga superior 82a montado

(célula de carga) entre o corpo cilíndrico 53 do dispositivo de rotação da ferramenta superior 7 e a armação de suporte 63a; um dispositivo de medição de posição inferior 81b montado em uma superfície superior do revestimento do corpo inferior 52; um dispositivo de medição de carga inferior (célula de carga) 82b montado entre o corpo cilíndrico 54 do dispositivo de rotação da ferramenta inferior 8 e a armação de suporte 63b (não mostrado) para o dispositivo de rotação da ferramenta inferior 8; e um dispositivo de controle 83. O dispositivo de controle 83 recebe dados medidos pelos dispositivos de medição de posição superior e inferior 81a, 81b e os dispositivos de medição de carga superior e inferior 82a, 82b, e conduz processamento aritmético predeterminado. O dispositivo de controle 83 então transmite sinais de comando aos motores de rotação 53a, 53b dos dispositivos de rotação da ferramenta superior e inferior 7, 8, motores de compressão 61a, 61b dos dispositivos de compressão da ferramenta superior e inferior 45, 46 e os motores de deslocamento 67a, 67b dos dispositivos de movimentação superior e inferior 47, 48 para controlar as operações dos dispositivos de rotação da ferramenta superior e inferior 7, 8, os dispositivos de compressão da ferramenta superior e inferior 45, 46, e os dispositivos de movimentação superior e inferior 47, 48. A título de exemplo, na figura 10, os dispositivos de medição de posição superior e inferior 81a, 81b são do tipo sem contato, mas podem ser do tipo com contato. Além do mais, quando os dispositivos de suporte de inclinação superior e inferior 76a, 76b são do tipo com ângulo ajustável, o dispositivo de controle 83 transmite sinais de comando aos motores de controle do ângulo 77a e 77b dos dispositivos de suporte de inclinação 76a, 76b com base nos dados pré-estabelecidos para inclinar os eixos 15 das ferramentas rotativas superior e inferior 3, 4 e suportam as ferramentas em um ângulo predeterminado.

A figura 23 mostra o método de operação para realizar a solda por agitação e atrito em ambos os lados sem penetração enquanto os eixos 15

das ferramentas rotativas 3, 4 são inclinados. A figura 24 é um fluxo de controle de procedimento de um processo realizado pelo dispositivo de controle 83 mostrado na figura 11.

Como mostrado nas figuras 23 e 24, antes do início da solda por agitação e atrito, os dispositivos de rotação da ferramenta superior e inferior 7 e 8 são posicionados em posições de espera 20a e 20b, respectivamente. Nas posições de espera 20a e 20b, os eixos das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são inclinados. Além do mais, os dispositivos de medição da posição superior e inferior 81a e 81b (vide figuras 10 e 11) que são montados nos revestimentos do corpo superior e inferior 51 e 52 são usados para medir distâncias entre a porção da junta J e os dispositivos de rotação da ferramenta superior e inferior 7 e 8, e computam a profundidade de inserção planejada das ferramentas rotativas 3 e 4 (etapa S1). A seguir, os motores de compressão superior e inferior 61a e 61b são acionados para mover as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 para a profundidade de inserção planejada pelo controle de posição (etapa S2). Neste momento, as superfícies de ressalto 3b e 4b das ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são estabelecidos em uma faixa predeterminada (por exemplo, a espessura da chapa t) com base nos valores medidos pelos dispositivos de medição de posição 81a e 81b. Então, no estado em que as posições de inserção das ferramentas são mantidas pelo controle de posição, os motores de deslocamento superior e inferior 67a e 67b são acionados para mover os dispositivos de rotação da ferramenta superior e inferior 7 e 8 na direção da soldagem (etapa S2) e solda por agitação e atrito é iniciada a partir das posições de início da agitação e atrito 21a e 21b na superfície da borda 24 da porção da junta. Neste momento, como anteriormente descrito, a solda por agitação e atrito é iniciada sem penetração se inserindo as ferramentas rotativas 3 e 4 nas chapas metálicas pela superfície da borda 24 nas chapas metálicas, ainda pressionando as superfícies de ressalto das ferramentas 3, 4

contra a superfície da borda 24, já que o controle de posição é mantido (vide figura 23, etc.).

Depois do início da solda por agitação e atrito, um controle de carga constante é realizado para controlar a posição de inserção da ferramenta rotativa superior 3 de forma que a carga aplicada no motor de rotação superior 53a seja mantida em um valor predeterminado com base na corrente de controle do motor 53a para a ferramenta rotativa superior 3 (etapa S3) e antes de as ferramentas atingirem as posições 22a e 22b nas quais a solda por agitação e atrito termina, o controle é comutado para controle de posição constante para manter as posições de inserção das ferramentas que são posicionadas neste momento (etapa S3 até a etapa S4) e adicionalmente controlar as ferramentas para passar através das posições de finalização da agitação e atrito 22a e 22b. Como para a ferramenta rotativa inferior 4, mesmo depois do início da solda por agitação e atrito, o controle de posição é mantido e a ferramenta 4 pode passar através das posições de finalização da agitação e atrito 22a e 22b enquanto o controle de posição é mantido (etapa S3 até etapa S4).

Desta maneira, mantendo-se o controle de posição para a ferramenta rotativa inferior 4 e comutando o controle para a ferramenta rotativa superior 3 para controle de carga constante depois do início da solda por agitação e atrito, solda por atrito estável pode ser realizada, mesmo quando a espessura da porção da junta J varia.

Além do mais, uma vez que as cargas aplicadas nas ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são mantidas constantes, desgaste e danos nas ferramentas 3 e 4 podem ser eliminados, consequentemente aumentando a vida da ferramenta.

O controle referido em cada etapa é realizado pelo dispositivo de controle 83 que recebe o valor medido pelos dispositivos de medição de posição superior e inferior 81a, 81b e então, com base nos valores medidos e

nas correntes de controle dos motores de rotação superior e inferior 53a, 53b, provê comandos operacionais aos vários atuadores tais como motores de rotação superior e inferior 53a, 53b, os motores de compressão superior e inferior 61a, 61b e os motores de deslocamento superior e inferior 67a, 67b.

5                    Embora no método operacional apresentado, o controle de carga constante da ferramenta rotativas superior 3 é realizado usando a corrente de controle do motor de rotação 53a, os valores medidos pelos dispositivos de medição de carga 82a, 82b podem ser usados em substituição. Adicionalmente, embora o controle de posição das ferramentas rotativas 10 superior e inferior 3 e 4 seja realizado usando os valores medidos pelos dispositivos de medição de posição superior e inferior 81a, 81b, sensores de rotação tais como codificadores que detectam os valores rotacionais dos motores de compressão superior e inferior 61a, 61b podem ser usados em substituição.

15                  A figura 25 é um fluxo de controle mostrando um outro exemplo de procedimentos de um processo realizado pelo dispositivo de controle 83. Neste exemplo, na faixa das posições de início de agitação e atrito 21a e 21b na figura 23 para as posições de finalização da agitação e atrito 22a e 22b, não somente a ferramenta rotativa superior 3 é submetida a 20 controle de carga constante, mas ambas as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são sujeitas a controle de carga constante (etapa S3A). Na figura 23, este exemplo é descrito adicionalmente em parênteses na faixa das posições de início da agitação e atrito 21a, 21b para as posições de finalização da agitação e atrito 22a, 22b.

25                  No método de controlar as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4, quando a ferramenta rotativa inferior 4 é colocada em controle de posição constante depois do início da solda por agitação e atrito igualmente, as superfícies traseiras das chapas metálicas serve como uma superfície de referência. Neste caso, se a superfície de referência não for

uniforme por causa da deformação das chapas metálicas, ou similares, quando os materiais são finos (ou de baixa rigidez) e com baixa resistência a deformação, é possível praticamente casar as faixas de agitação e atrito superior e inferior pela força de compressão da ferramenta rotativa superior 3 contra a chapa metálica gerada pelo controle de carga constante da ferramenta 3 somente. Entretanto, foi confirmado pelos presentes inventores que, quando o material é espesso (ou de alta rigidez) e de alta resistência a deformação, é ocasionalmente difícil casar as faixas de agitação e atrito das superfícies dianteira e traseira das chapas metálicas pela força de compressão da ferramenta rotativa superior 3 contra a chapa metálica gerada pelo controle de carga constante da ferramenta 3 somente.

Quando as faixas de agitação e atrito são diferentes entre as superfícies dianteira e traseira das chapas metálicas, tensões residuais são desbalanceadas na direção das espessuras das chapas, de forma que as diferenças na resistência a tração e resistência ao dobramento entre as superfícies dianteira e traseira são geradas, e isto pode ser um fator que reduz a confiabilidade da resistência.

Adicionalmente, quando uma das ferramentas rotativas é sujeita ao controle de posição, por causa das forças de compressão desequilibradas contra as superfícies dianteira e traseira, forças atribuídas às forças de compressão são aplicadas nos dispositivos de fixação 5 e 6 que fixam as chapas metálicas. Portanto, além das forças de fixação das chapas metálicas, as forças aplicadas nos dispositivos de fixação 5 e 6 pelas forças de compressão desbalanceadas contra as superfícies dianteira e traseira precisam ser mantidas, de forma que existe uma possibilidade de que os dispositivos de fixação 5 e 6 tenham que ser grandes.

Para evitar esses problemas, quando as chapas metálicas são espessas ou têm alta rigidez, como descrito nos parênteses mostrados na figura 23 e na etapa S3A do fluxo de controle na figura 25, a ferramenta

rotativa inferior 4 é também colocada em controle de carga constante do motor de rotação depois do início da solda por agitação e atrito, de forma que as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 são ambas sujeitas a controle de carga constante. Assim, as quantidades e faixas de entrada de calor das superfícies dianteira e traseira das chapas metálicas ficam as mesmas, habilitando assim que as tensões residuais nas superfícies dianteira e traseira sejam uniformes e impeça que a chapa metálica empene.

Por outro lado, quando as chapas metálicas são suficientemente finas ou de baixa rigidez, as ferramentas rotativas superior e inferior 3 e 4 podem ser sujeitas a controle de posição a todo momento, incluindo o período de tempo da solda por agitação e atrito.

- |        |   |
|--------|---|
| 1, 2   | Chapas metálicas  |
| 3      | Primeira ferramenta rotativa (ferramenta rotativa superior) |
| 3a     | Corpo da ferramenta   |
| 15     | 3b Porção de ressalto                                       |
| 3c     | Superfície de ressalto                                      |
| 3d     | Porção saliente (sonda)                                     |
| 4      | Segunda ferramenta rotativa (ferramenta rotativa inferior)  |
| 4a     | Corpo da ferramenta   |
| 20     | 4b Porção de ressalto                                       |
| 4c     | Superfície de ressalto                                      |
| 4d     | Porção rebaixada  |
| 5      | Dispositivo de fixação de entrada                           |
| 5a, 5b | Chapas de fixação superior e inferior                       |
| 25     | 6 Dispositivo de fixação de saída                           |
| 6a, 6b | Chapas de fixação superior e inferior                       |
| 7      | Dispositivo de rotação da ferramenta superior               |
| 8      | Dispositivo de rotação da ferramenta inferior               |
| 9      | Alojamento superior   |
| 30     | 10 Alojamento inferior                                      |

	11	Trilho superior
	12	Trilho inferior
	15	Eixo da ferramenta
	20a	Posição de espera da ferramenta rotativa superior
5	20b	Posição de espera da ferramenta rotativa inferior
	21a	Posição de início da solda por agitação e atrito superior
	21b	Posição de início da solda por agitação e atrito inferior
	22a	Posição de término da solda por agitação e atrito superior
	22b	Posição de término da solda por agitação e atrito inferior
10	24	Superfície da borda da chapa metálica na qual a agitação e atrito começa
	27a	Força de cisalhamento superior
	27b	Força de cisalhamento inferior
	45	Dispositivo de compressão da ferramenta superior
15	46	Dispositivo de compressão da ferramenta inferior
	47	Dispositivo de movimentação superior
	48	Dispositivo de movimentação inferior
	49	Corpo cilíndrico superior
	50	Corpo cilíndrico inferior
20	51	Revestimento do corpo superior
	52	Revestimento do corpo inferior
	53a	Motor de rotação superior
	53b	Motor de rotação inferior
	61a, 61b	Motor de compressão
25	62a, 62b	Parafuso
	63a, 63b	Armação de suporte
	64a, 64b	Eixo
	65a, 65b	Armação de deslocamento
	66a, 66b	Roda
30	67a, 67b	Motor de deslocamento
	71	Roda

	72	Parafuso
	73	Motor de deslocamento
	74	Dispositivo de deslocamento
	75	Dispositivo de controle
5	76a	Dispositivo de suporte de inclinação superior
	76b	Dispositivo de suporte de inclinação inferior
	77a, 77b	Motor de ajuste do ângulo
	81a	Dispositivo de medição de posição superior
	81b	Dispositivo de medição de posição inferior
10	82a	Dispositivo de medição de carga superior
	82b	Dispositivo de medição de carga inferior
	83	Dispositivo de controle
	J	Porção da junta
	θ1, θ2	Ângulo de inclinação

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de soldagem por agitação e atrito de dois lados no qual primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) são arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira de uma porção da junta (J) 5 de duas chapas metálicas (1, 2) a serem unidas, e a porção da junta é submetida a agitação e atrito pelas ferramentas rotativas (3, 4) para realizar soldagem por agitação e atrito e unir as duas chapas metálicas, em que:

uma (3) das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) inclui um corpo da ferramenta (3a) com uma porção de ressalto (3c) formada 10 em uma porção da extremidade da ponta da mesma e pelo menos uma porção saliente (3d) formada para se salientar da porção da extremidade da ponta do corpo da ferramenta,

a outra (4) das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) inclui um corpo da ferramenta (4a) com uma porção de ressalto (4c) formada 15 em uma porção da extremidade da ponta da mesma e pelo menos uma porção rebaixada (4d) formada na porção da extremidade da ponta do outro corpo da ferramenta para receber na mesma uma extremidade da ponta da porção saliente (3d) quando as duas chapas metálicas (1, 2) tiverem que ser soldadas; caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

20 arranjar a primeira e segunda ferramentas rotativas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta (J) das duas chapas metálicas; rotacionar a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4); e movimentar a primeira e segunda ferramentas rotativas em uma direção para se aproximar uma da outra de maneira a inserir a extremidade da 25 ponta da porção saliente (3d) da primeira ferramenta rotativa na porção rebaixada (4d) da segunda ferramenta rotativa, ao mesmo tempo pressionando as superfícies de ressalto (3b, 4b) das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta; e

mover, no estado em que a extremidade da ponta da porção saliente (3d) da primeira ferramenta rotativa é inserida na porção rebaixada (4d) da segunda ferramenta rotativa e as superfícies de ressalto (3b, 4b) das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta, a primeira e segunda ferramentas rotativas ao longo da porção da junta, para dessa forma agitação e atrito da porção da junta em toda a região na direção da espessura da porção da junta.

2. Método de soldagem por agitação e atrito de dois lados de

10 acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que:

materiais das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) são liga de carboneto cementado de carboneto de tungstênio sinterizado, ou uma liga de tungstênio, e as duas chapas metálicas soldadas uma na outra pela primeira e segunda ferramentas rotativas são feitas de um material com um ponto de fusão de 1.000°C ou mais.

3. Método de soldagem por agitação e atrito de dois lados de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que:

os eixos das primeira e segunda ferramentas rotativas são inclinados de maneira tal que as porções de extremidade da ponta das primeira e segunda ferramentas rotativas se movam à frente em uma direção de movimento das primeira e segunda ferramentas rotativas em relação à porção da junta (J).

4. Método de soldagem por agitação e atrito de dois lados de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de

25 que:

a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) arranjadas em relação oposta são rotacionadas em direções opostas nos lados de superfície dianteira e traseira da porção da junta (J) das duas chapas metálicas (1, 2).

5. Método de soldagem por agitação e atrito de dois lados de

acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que:

pelo menos uma (3) das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) se move para uma profundidade de inserção planejada pelo controle de posição movimentado na direção da espessura das chapas metálicas (1, 2) antes do início da solda por agitação e atrito; em seguida, a ferramenta rotativa se move pelo controle de posição na direção de progresso da solda a partir de uma superfície de borda (24) da porção da junta das duas chapas metálicas com a profundidade de inserção da ferramenta rotativa (3) sendo mantida para iniciar a solda por agitação e atrito; depois do início da solda por agitação e atrito, o controle de posição é comutado para controle de carga constante para controlar a posição de inserção da ferramenta rotativa de maneira tal que a carga aplicada pela ferramenta rotativa (3) seja mantida em um valor predeterminado; e, em seguida, antes de a ferramenta rotativa atingir a extremidade de término da solda da porção da junta na qual a solda por agitação e atrito termina, o controle de carga constante é comutado para controle de posição para manter a posição de inserção da ferramenta rotativa (3) nesse momento e a ferramenta rotativa passa através da extremidade de terminação da solda na porção da junta.

6. Aparelho de soldagem por agitação e atrito de dois lados, no qual primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) são arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira de uma porção da junta (J) de duas chapas metálicas (1, 2) a serem unidas, e a porção da junta é submetida a agitação e atrito pelas ferramentas rotativas (3, 4) para realizar solda por agitação e atrito e unir as duas chapas metálicas, caracterizado pelo fato de que o aparelho comprehende:

dispositivos de rotação de ferramenta (7, 8) com a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) anexadas nos mesmos em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta (J) das duas

chapas metálicas (1, 2), para rotacionar a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4);

dispositivos de prensagem de ferramenta (45, 46) para movimentar a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) anexadas nos dispositivos de rotação de ferramenta (7, 8) em uma direção para se aproximar uma da outra para pressionar a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta das chapas metálicas; e

dispositivos de movimento (47, 48) para movimentar a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) anexadas nos dispositivos de rotação de ferramenta (7, 8) ao longo da porção da junta; em que:

a primeira ferramenta rotativa (3) inclui um corpo da respectivamente (3a) com uma porção de ressalto (3c) formada em uma porção da extremidade da ponta da mesma e pelo menos uma porção saliente (3d) formada para se salientar a partir da porção da extremidade da ponta do corpo da ferramenta rotativa;

a segunda ferramenta rotativa (4) inclui um corpo da ferramenta (4a) com uma porção de ressalto (4c) formado em uma porção de extremidade da ponta do corpo da ferramenta para receber uma extremidade da ponta da porção saliente (3d) na mesma quando as duas chapas metálicas (1, 2) tiverem que ser soldadas,

os dispositivos de prensagem de ferramenta (45, 46) são configurados para inserir a extremidade da ponta da porção saliente (3d) da primeira ferramenta rotativa na porção rebaixada (4d) da segunda ferramenta rotativa e pressionar as superfícies de ressalto (3b, 4b) das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta quando os dispositivos de prensagem de ferramenta (45, 46) moverem a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) anexadas nos dispositivos de rotação de ferramenta (7, 8) na direção de

aproximação uma da outra; e

os dispositivos de movimento (47, 48) são configurados para mover a primeira e segunda ferramentas rotativas ao longo da porção da junta no estado em que a extremidade da ponta da porção saliente (3d) da primeira ferramenta rotativa é inserida na porção rebaixada (4d) da segunda ferramenta rotativa, e as superfícies de ressalto (3b, 4b) das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta para dessa forma agitação e atrito da porção da junta em toda a região na direção da espessura da porção da junta.

7. Aparelho de soldagem por agitação e atrito de dois lados de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente:

dispositivos de suporte de inclinação (76a, 76b) para suportar a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) para inclinar os eixos das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) de maneira tal que as porções de extremidade da ponta das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) se movam à frente em uma direção de movimento das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) em relação à porção da junta (J).

8. Aparelho de soldagem por agitação e atrito de dois lados de acordo com a reivindicação 6 ou 7, caracterizado pelo fato de que:

os dispositivos de rotação de ferramenta (7, 8) são configurados para girar a primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) em direções opostas nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta (J).

9. Aparelho de soldagem por agitação e atrito de dois lados de acordo com qualquer uma das reivindicações 6 a 8, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente:

um dispositivo de controle (83) para controlar os dispositivos

de prensagem de ferramenta (45, 46) e os dispositivos de movimentação (47, 48) de maneira tal que:

5 pelo menos uma (3) das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) anexadas nos dispositivos de rotação de ferramenta (7, 8) se move para uma profundidade de inserção planejada pelo controle de posição na direção da espessura das chapas metálicas (1, 2) antes de iniciar a solda por agitação e atrito; em seguida, a ferramenta rotativa se move pelo controle de posição em uma direção de progresso da solda a partir de uma superfície de borda (24) da porção da junta das duas chapas metálicas com a profundidade 10 de inserção da ferramenta rotativa (3) sendo mantida para iniciar a solda por agitação e atrito; depois do início da solda por agitação e atrito, o controle de posição é comutado para controle de carga constante para controlar a posição de inserção da ferramenta rotativa de maneira tal que uma carga aplicada na ferramenta rotativa (3) seja mantida em um valor predeterminado; e, em 15 seguida, antes de a ferramenta rotativa atingir a extremidade de término da solda da porção da junta na qual a solda por agitação e atrito termina, o controle de carga constante é comutado para o controle de posição para manter a posição de inserção da ferramenta rotativa (3) nesse momento e a ferramenta rotativa passa através da extremidade de término da solda da 20 porção da junta.

25 10. Conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito de dois lados para agitação e atrito de uma porção da junta (J) de duas chapas metálicas (1, 2) a serem unidas por ambos os lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta para realizar solda por agitação e atrito e unir as duas chapas metálicas, caracterizado pelo fato de que compreende:

primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) arranjadas em relação oposta nos lados das superfícies dianteira e traseira da porção da junta (J) das duas chapas metálicas (1, 2) para agitação e atrito da porção da junta;

a primeira ferramenta rotativa (3) incluindo um corpo da

ferramenta (3a) com uma porção de ressalto (3c) formada em uma porção de extremidade da ponta da mesma e pelo menos uma porção saliente (3d) formada para se salientar da porção de extremidade da ponta do corpo da ferramenta;

5                   a segunda ferramenta rotativa (4) incluindo um corpo da ferramenta (4a) com uma porção de ressalto (3c) formada em uma porção de extremidade da ponta da mesma e pelo menos uma porção rebaixada (4d) formada na porção de extremidade da ponta do corpo da ferramenta para receber a extremidade da ponta da porção saliente (3d) na mesma quando as  
10                 duas chapas metálicas tiverem que ser soldadas; e

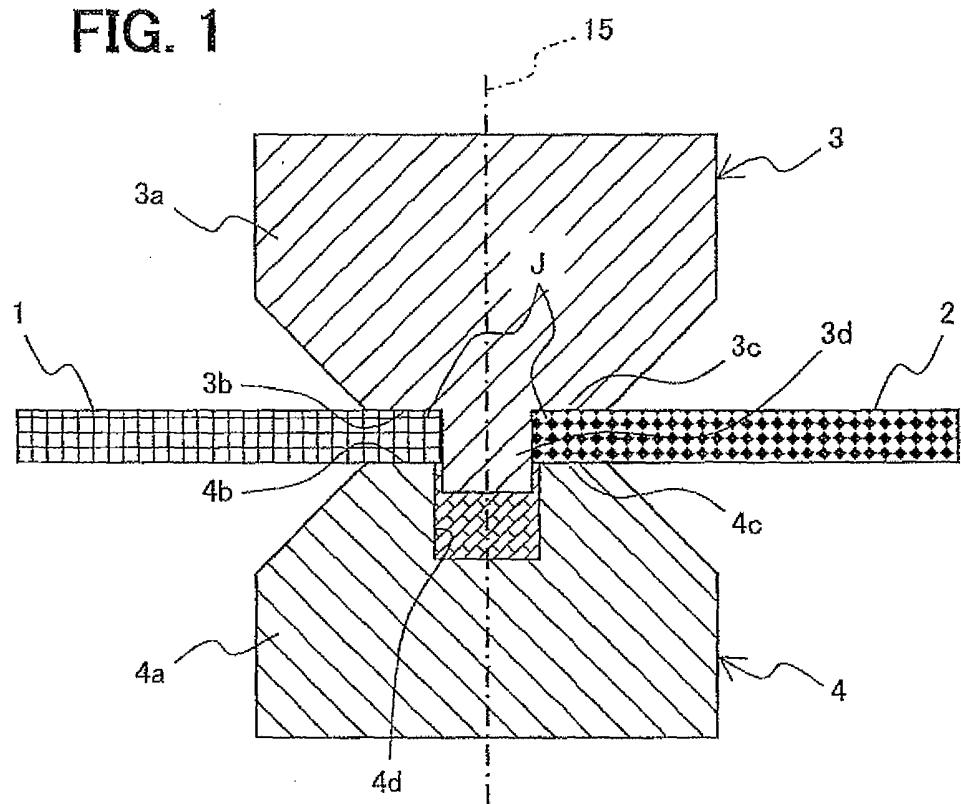
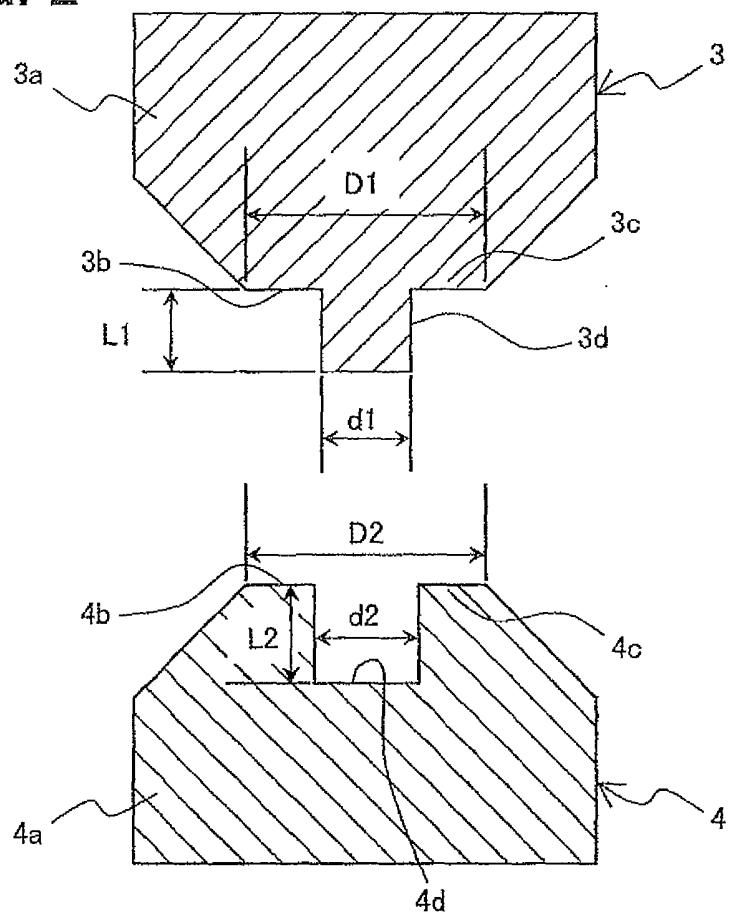
                     a primeira e segunda ferramentas rotativas sendo móveis ao longo da porção da junta no estado em que a extremidade da ponta da porção saliente (3d) da primeira ferramenta rotativa é inserida na porção rebaixada (4d) da segunda ferramenta rotativa e as superfícies de ressalto (3b, 4b) das porções de ressalto das primeira e segunda ferramentas rotativas (3, 4) são pressionadas contra as superfícies dianteira e traseira da porção da junta, para dessa forma encaixar por atrito a porção da junta em toda a região na direção da espessura da porção da junta.

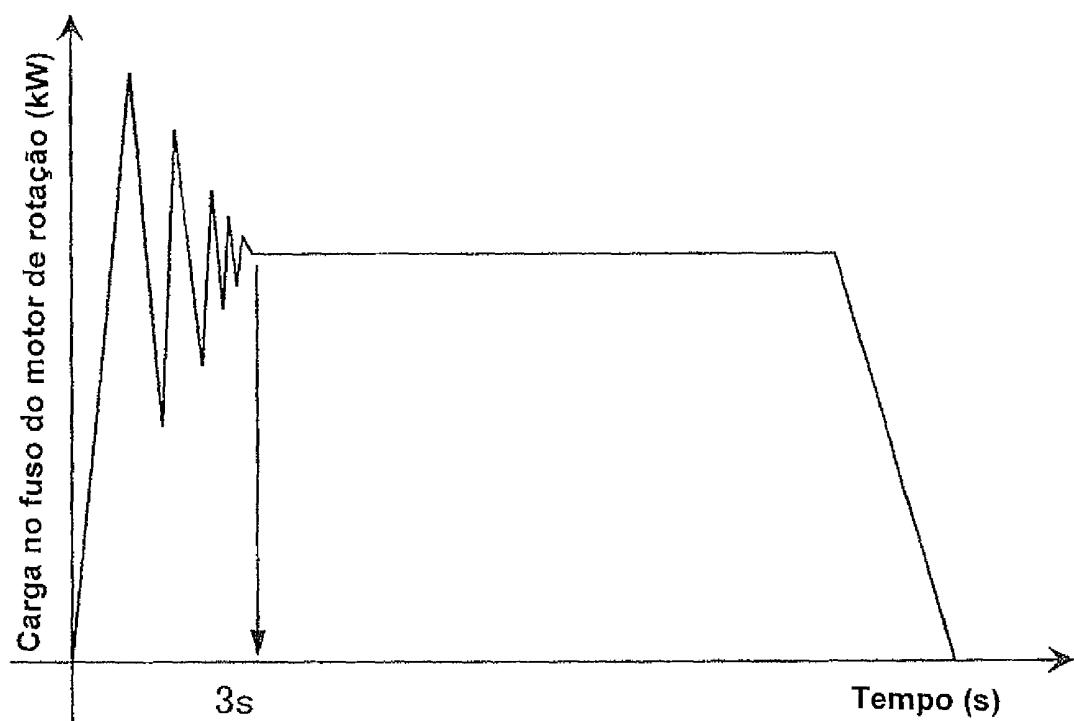
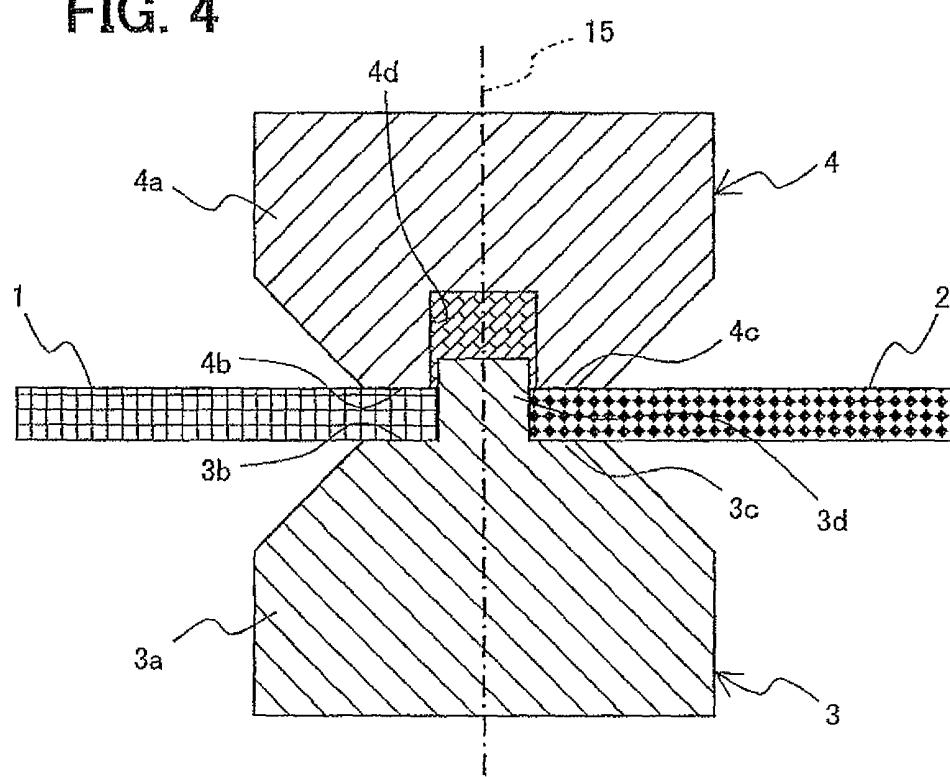
11. Conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito de  
20                 dois lados de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que:

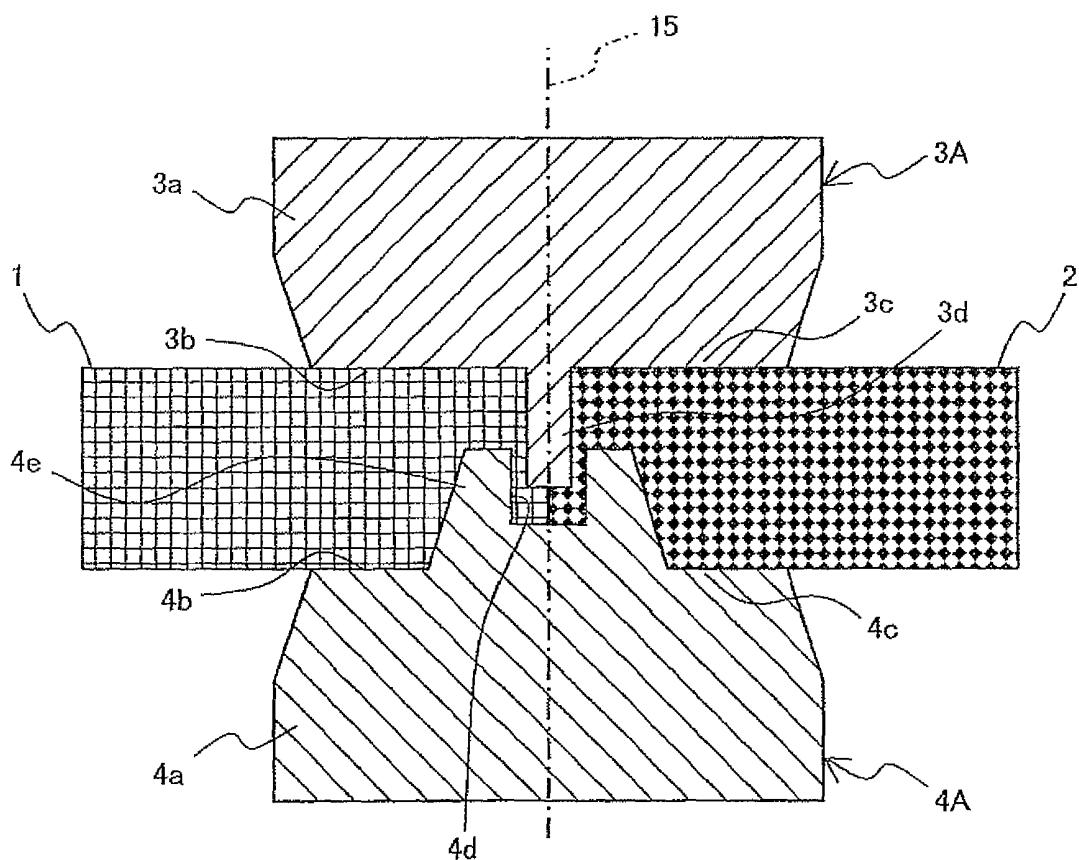
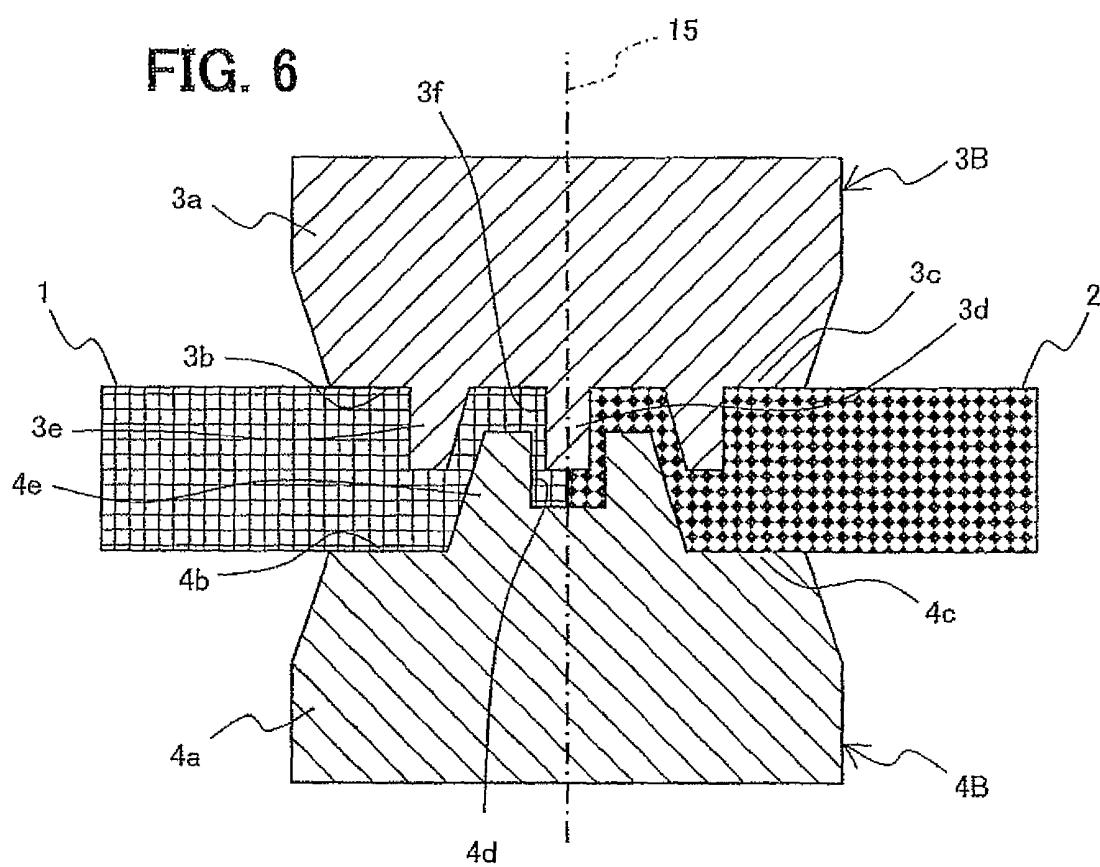
                     a superfície de ressalto (4b) da segunda ferramenta rotativa (4) tem um diâmetro igual ao diâmetro da superfície de ressalto (3b) da primeira ferramenta rotativa (3).

12. Conjunto de ferramenta para solda por agitação e atrito de dois  
25                 lados de acordo com a reivindicação 10 ou 11, caracterizado pelo fato de que:

                     a segunda ferramenta rotativa (4) inclui pelo menos uma porção saliente em forma de anel (4e, 4f, 4h) formada para se salientar da porção de extremidade da ponta do corpo da ferramenta (4a), e a porção rebaixada (4d) é formada no lado interno da porção saliente em forma de anel.

**FIG. 1****FIG. 2**

**FIG. 3****FIG. 4**

**FIG. 5****FIG. 6**

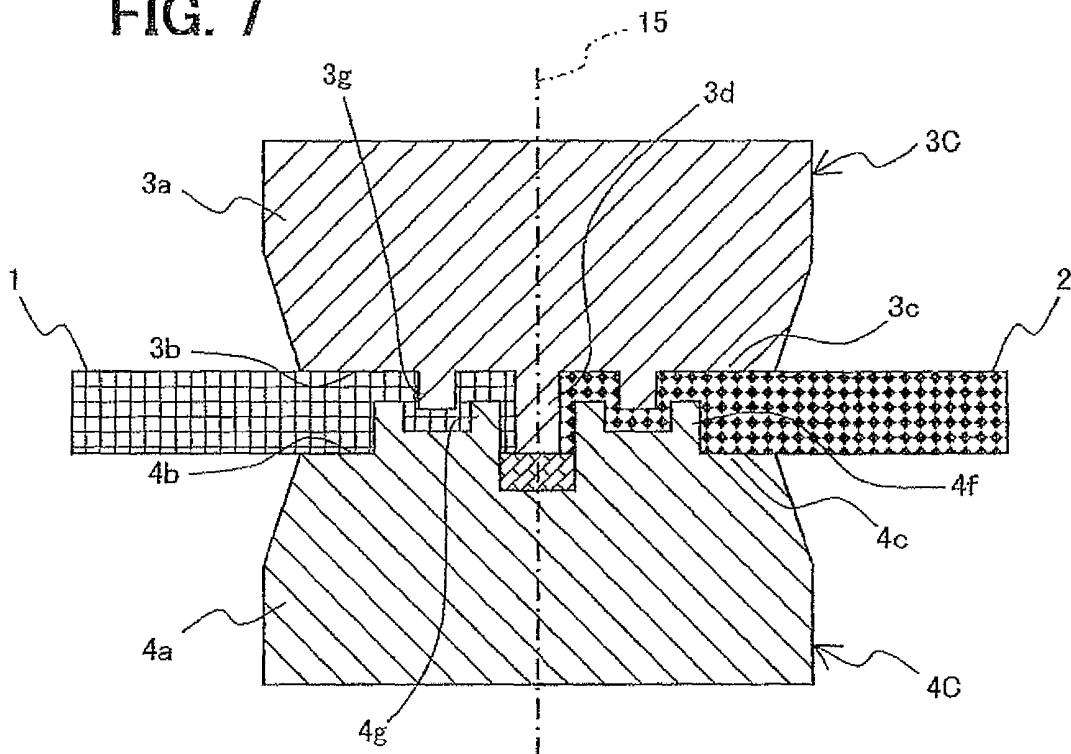
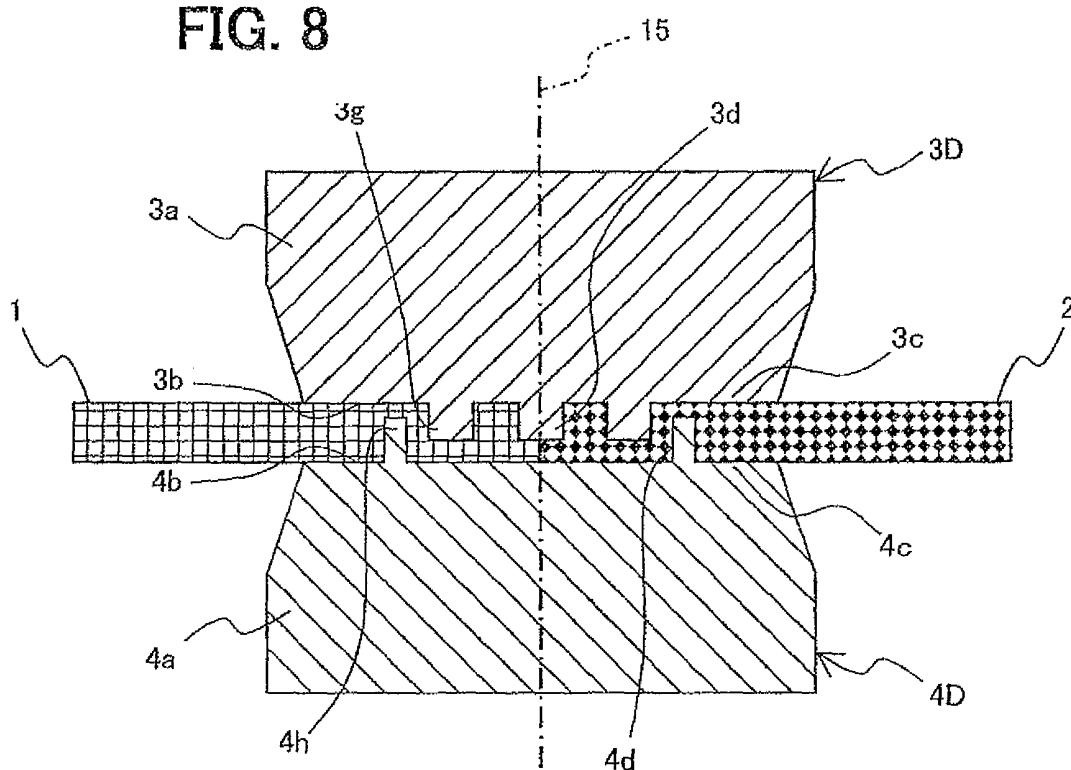
**FIG. 7****FIG. 8**

FIG. 9

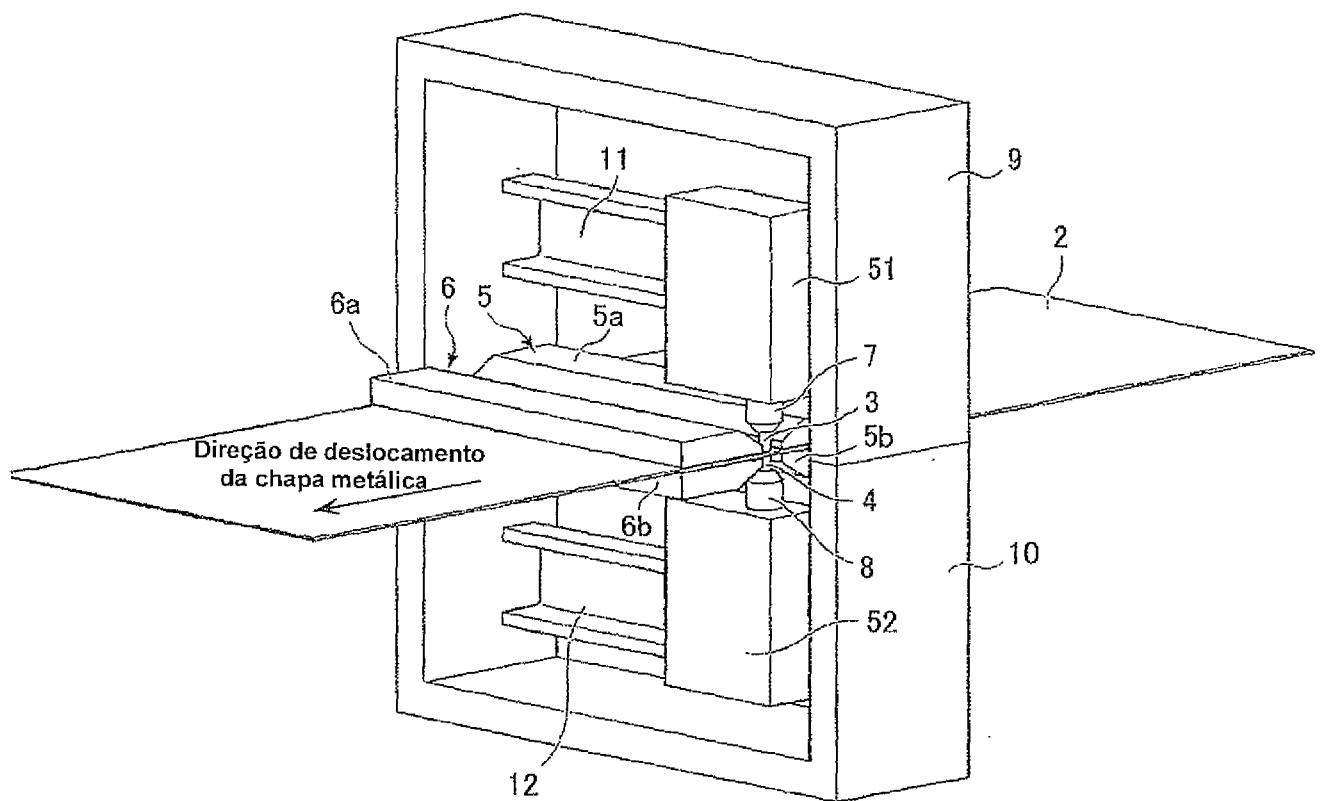
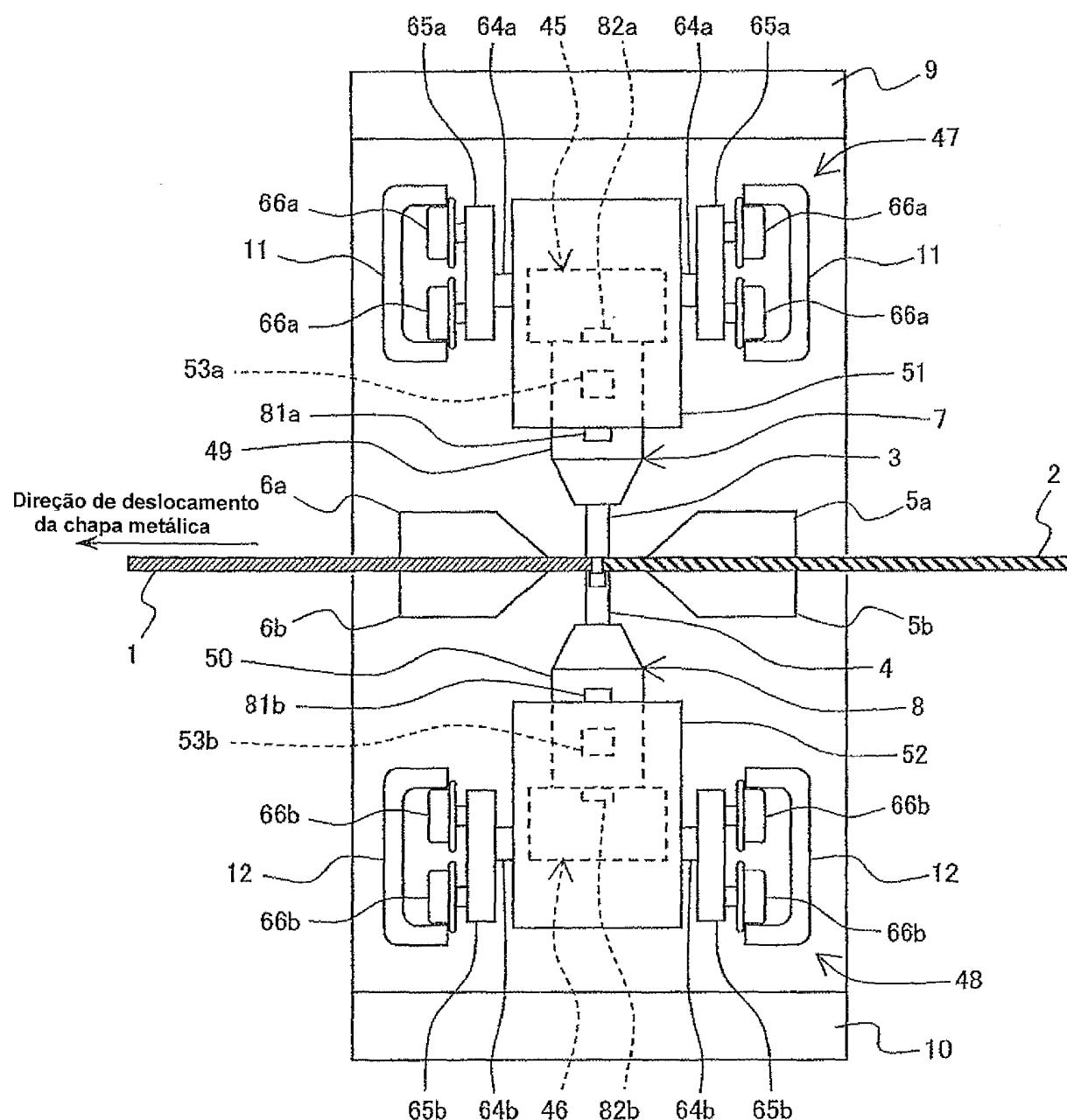


FIG. 10



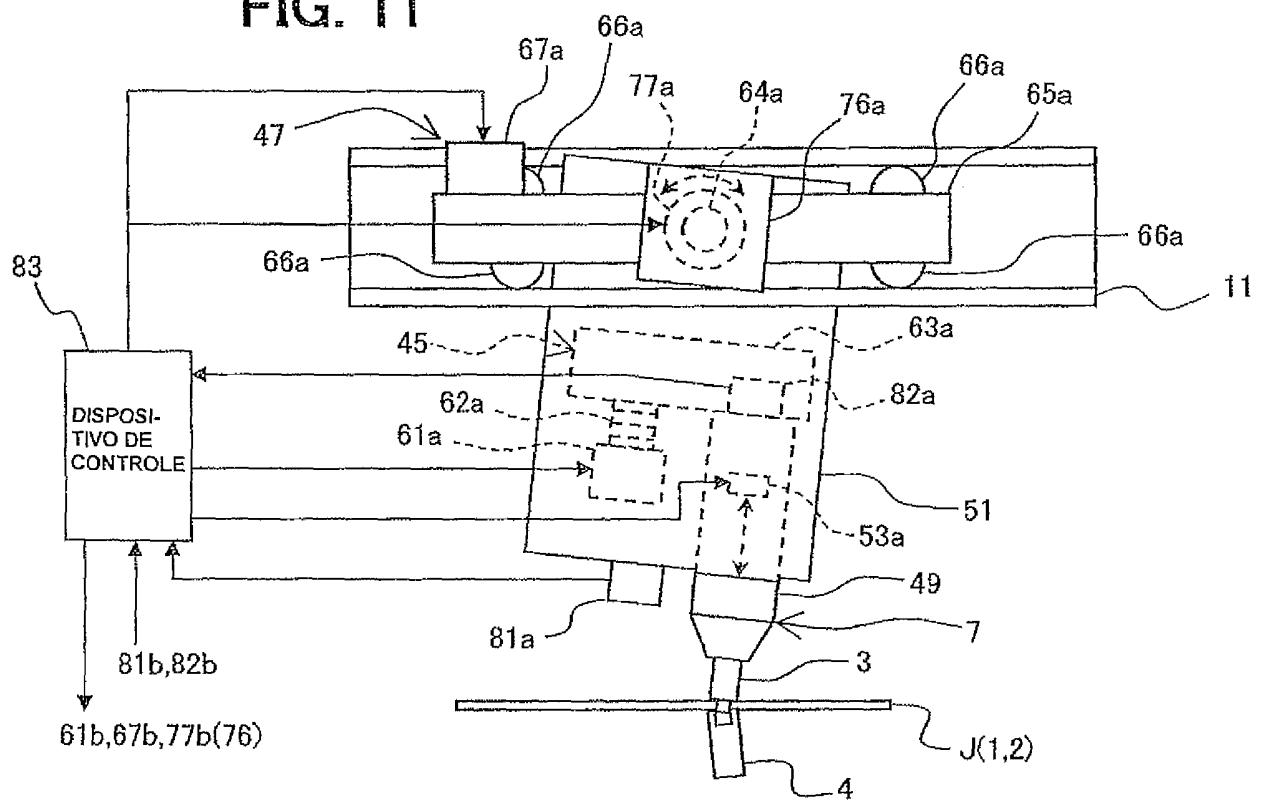
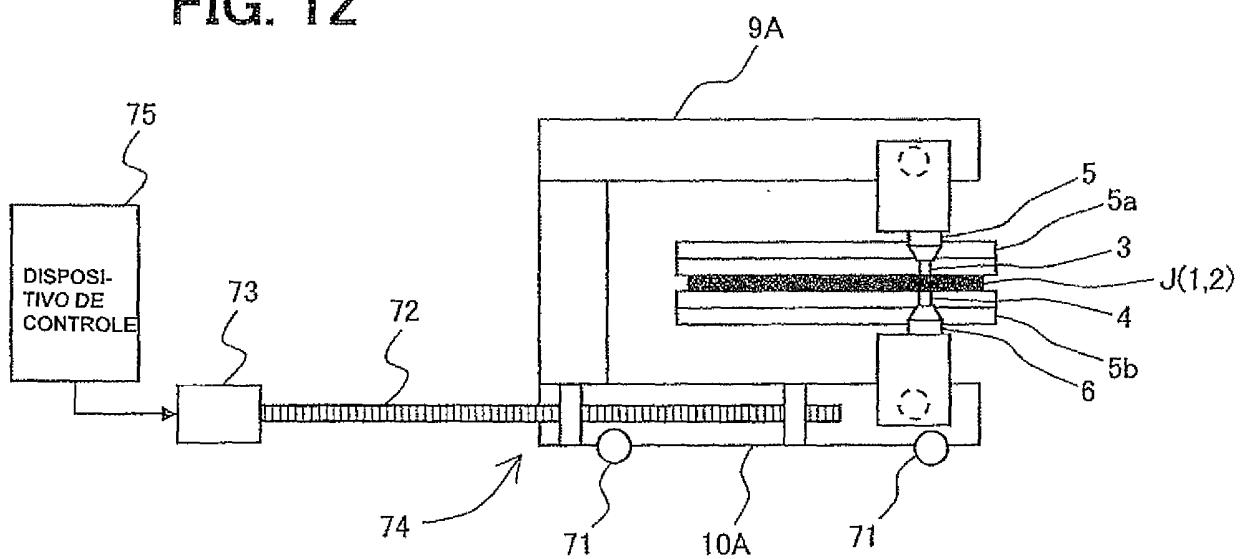
**FIG. 11****FIG. 12**

FIG. 13

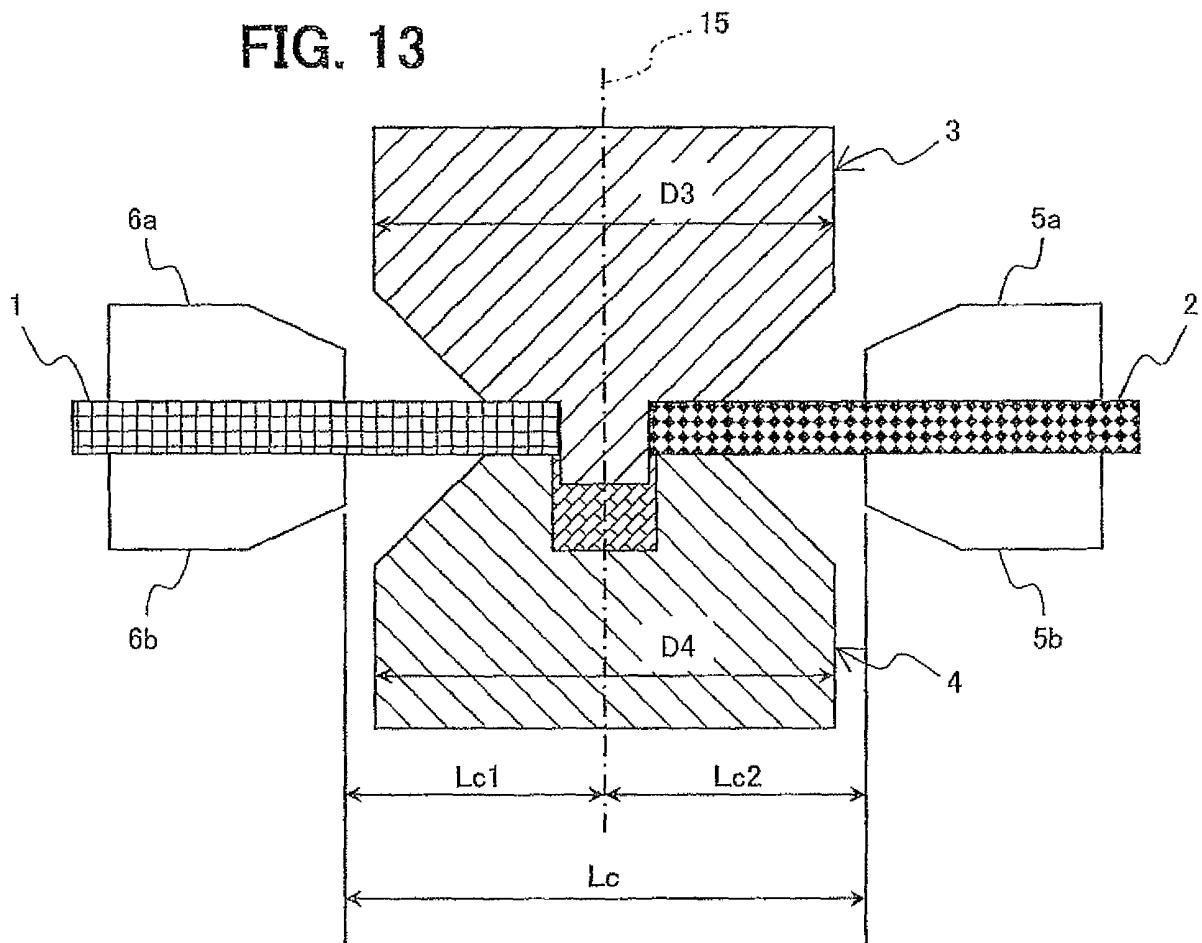


FIG. 14

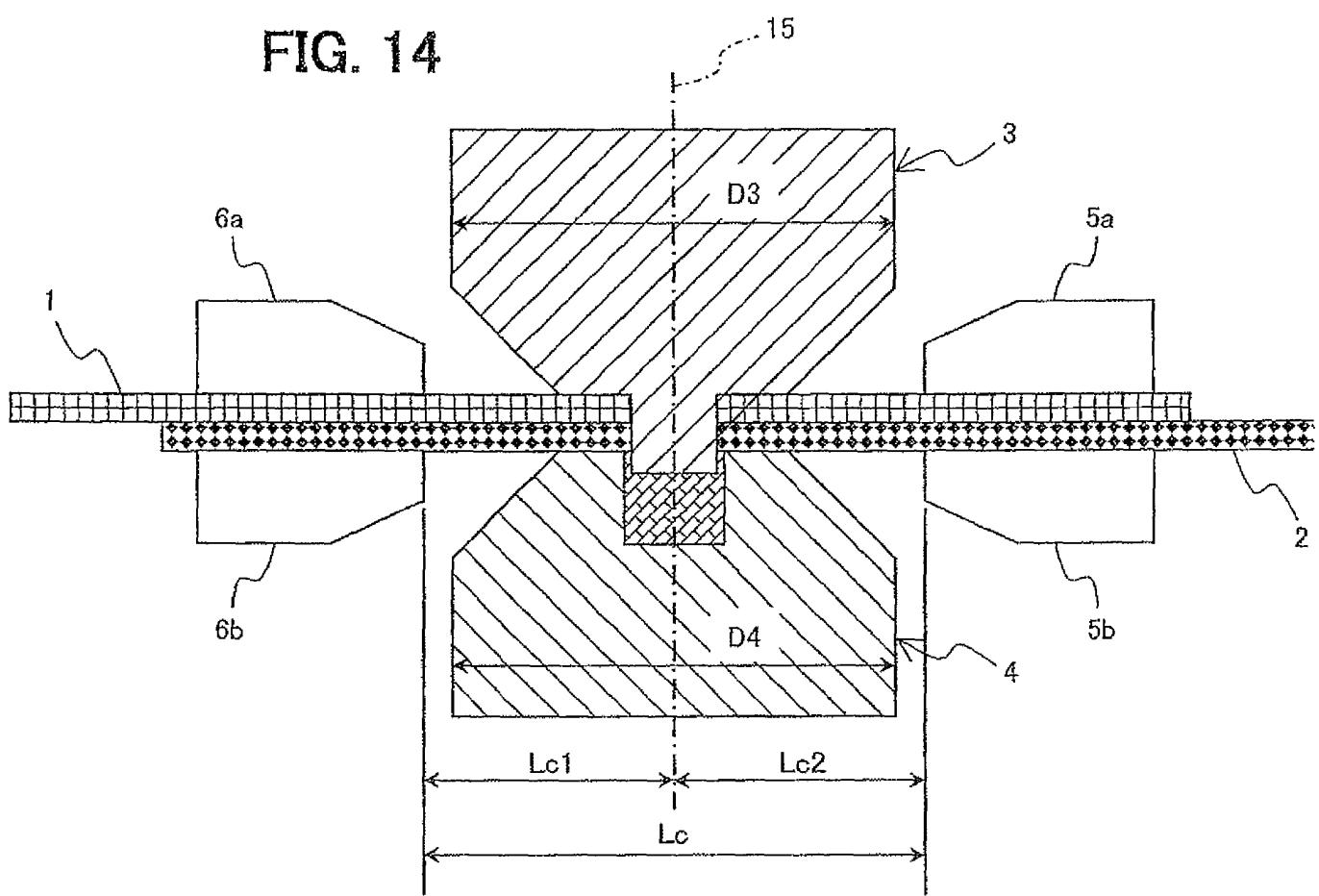


FIG. 15

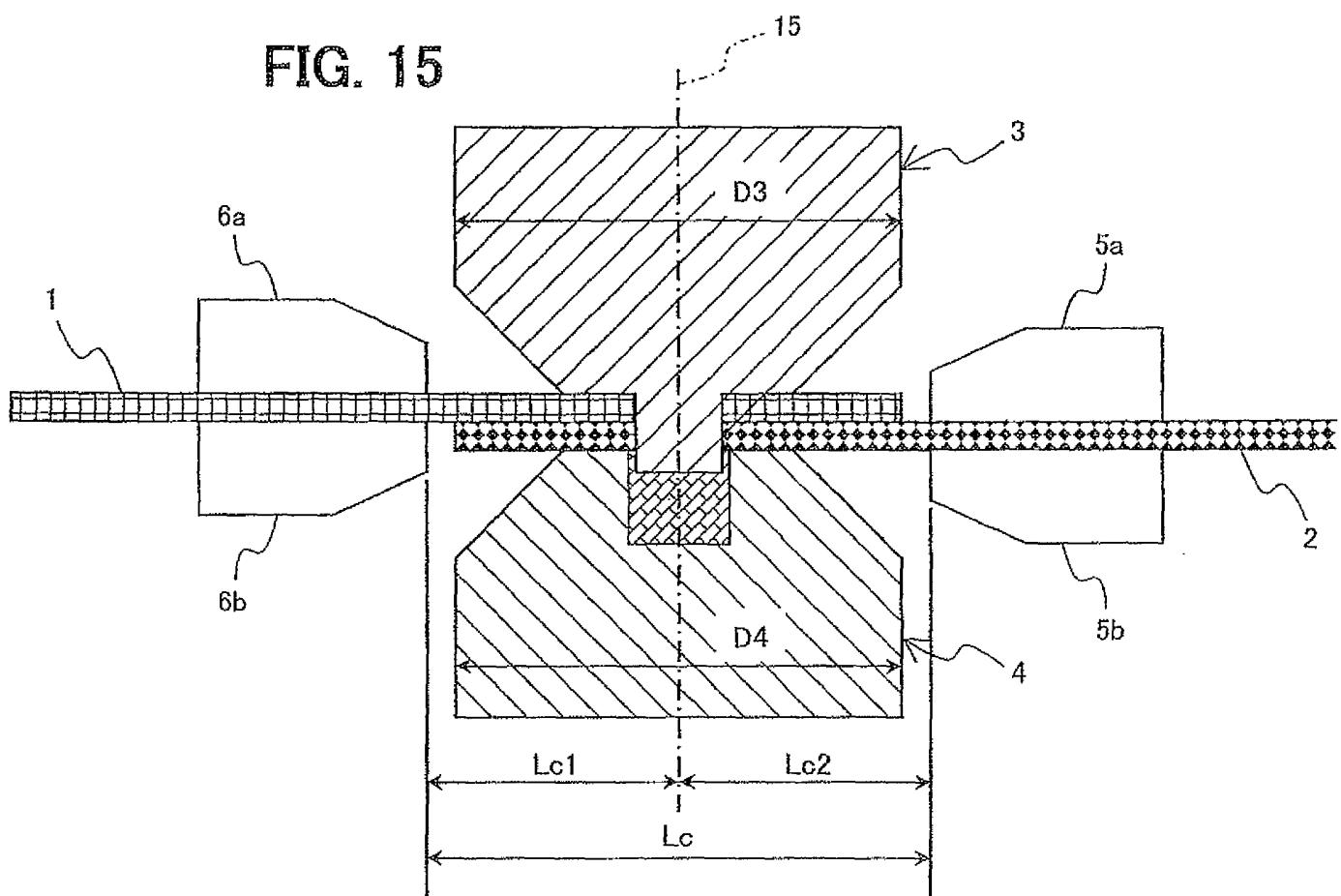
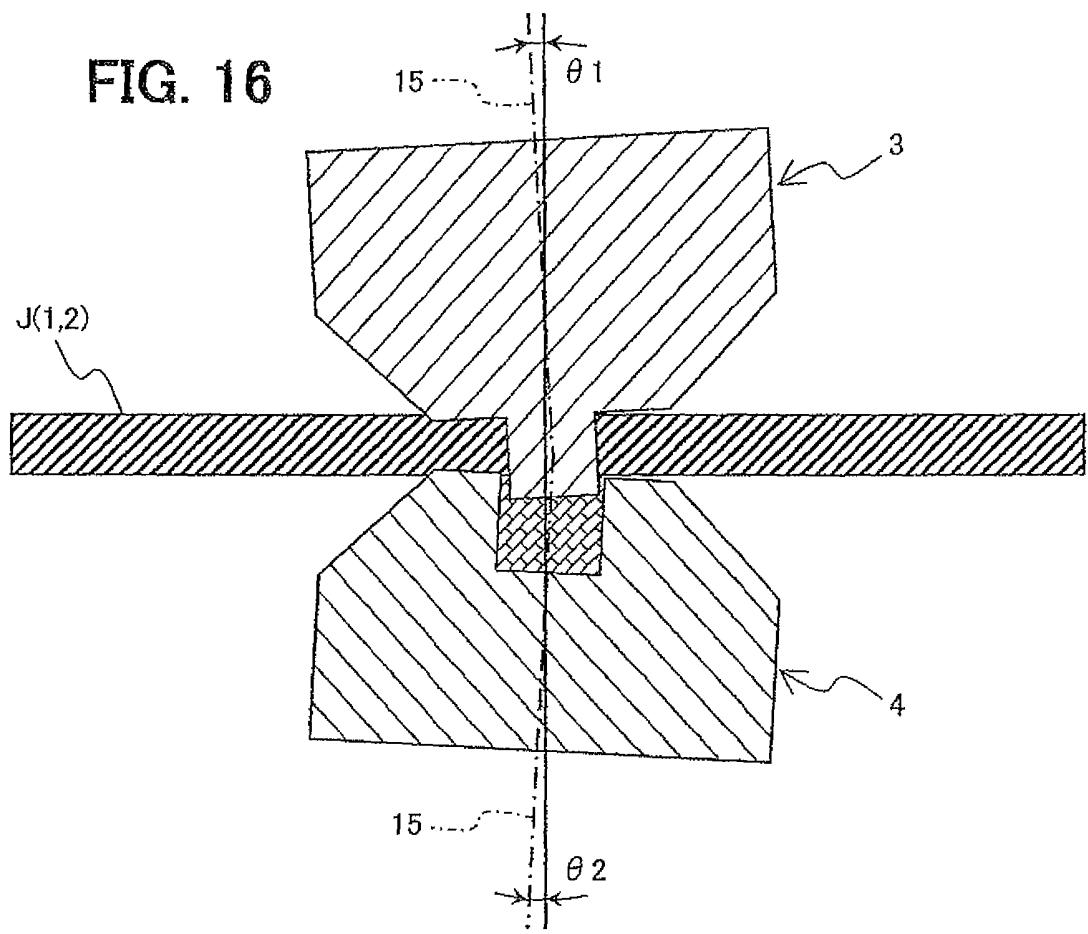


FIG. 16



**FIG. 17**

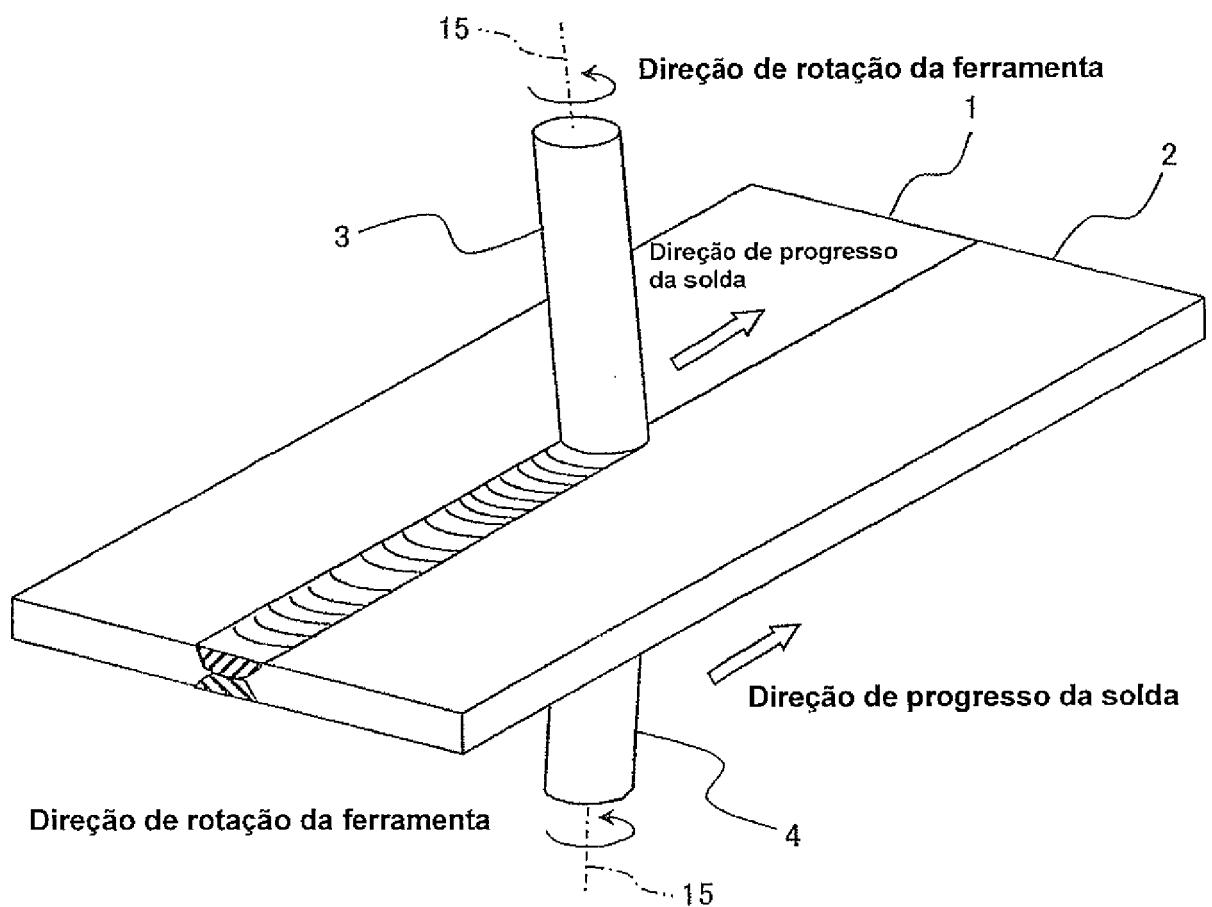


FIG. 18

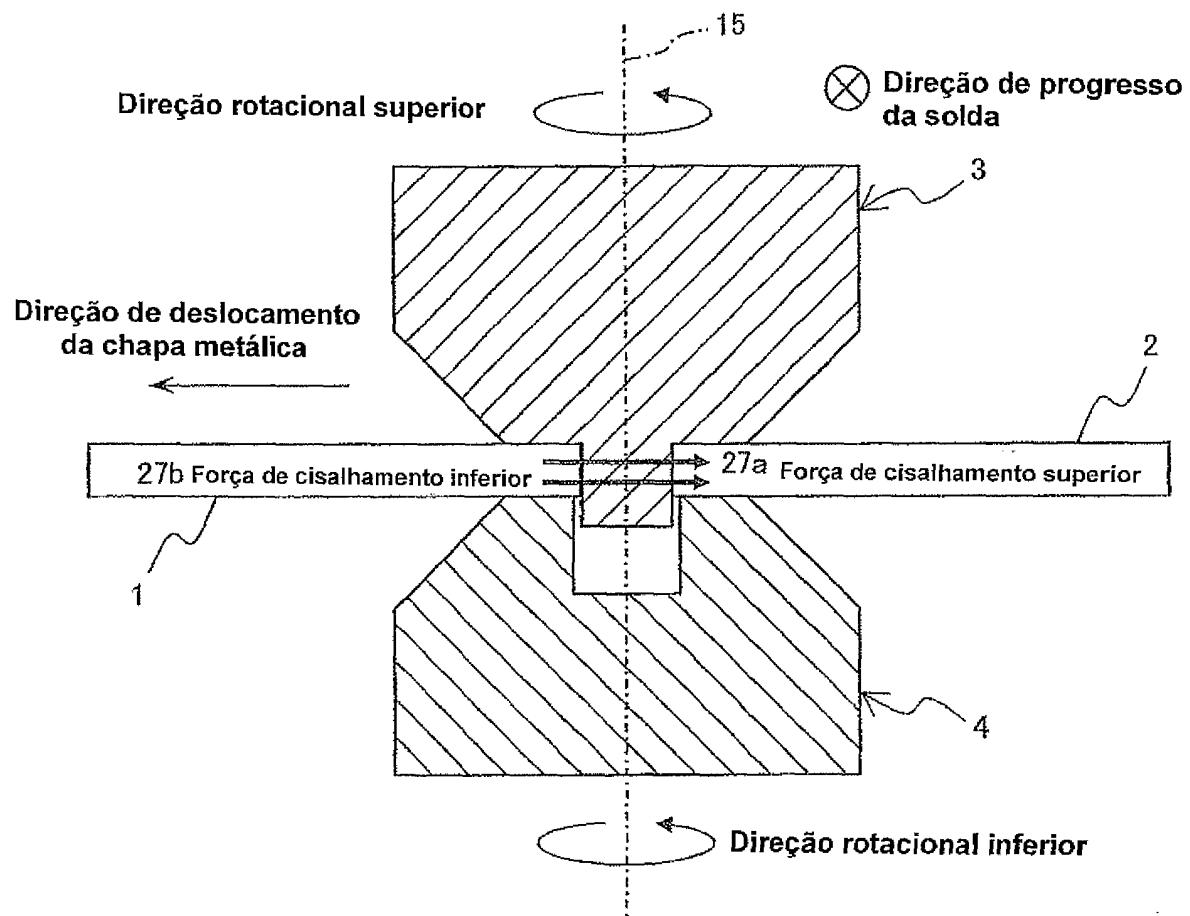


FIG. 19

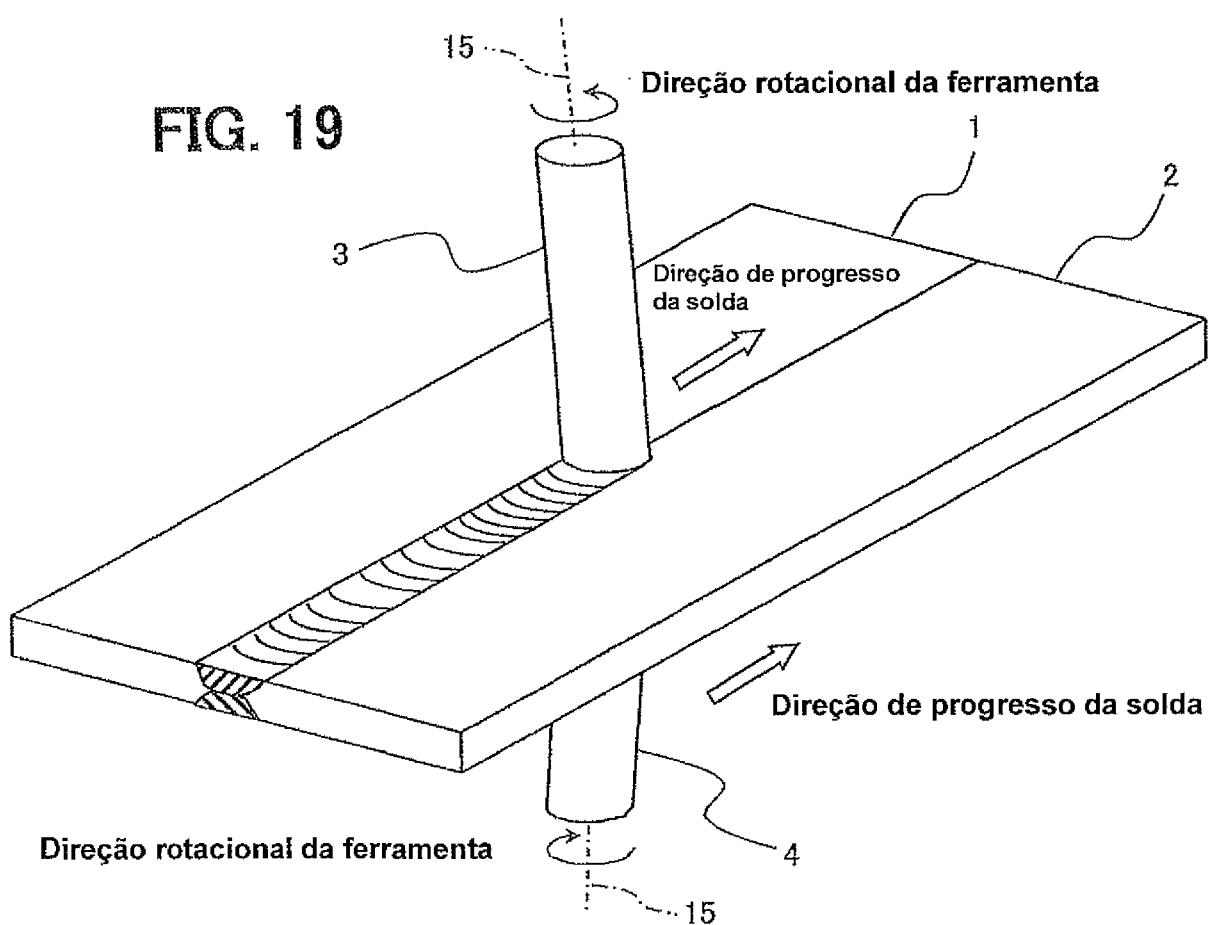


FIG. 20

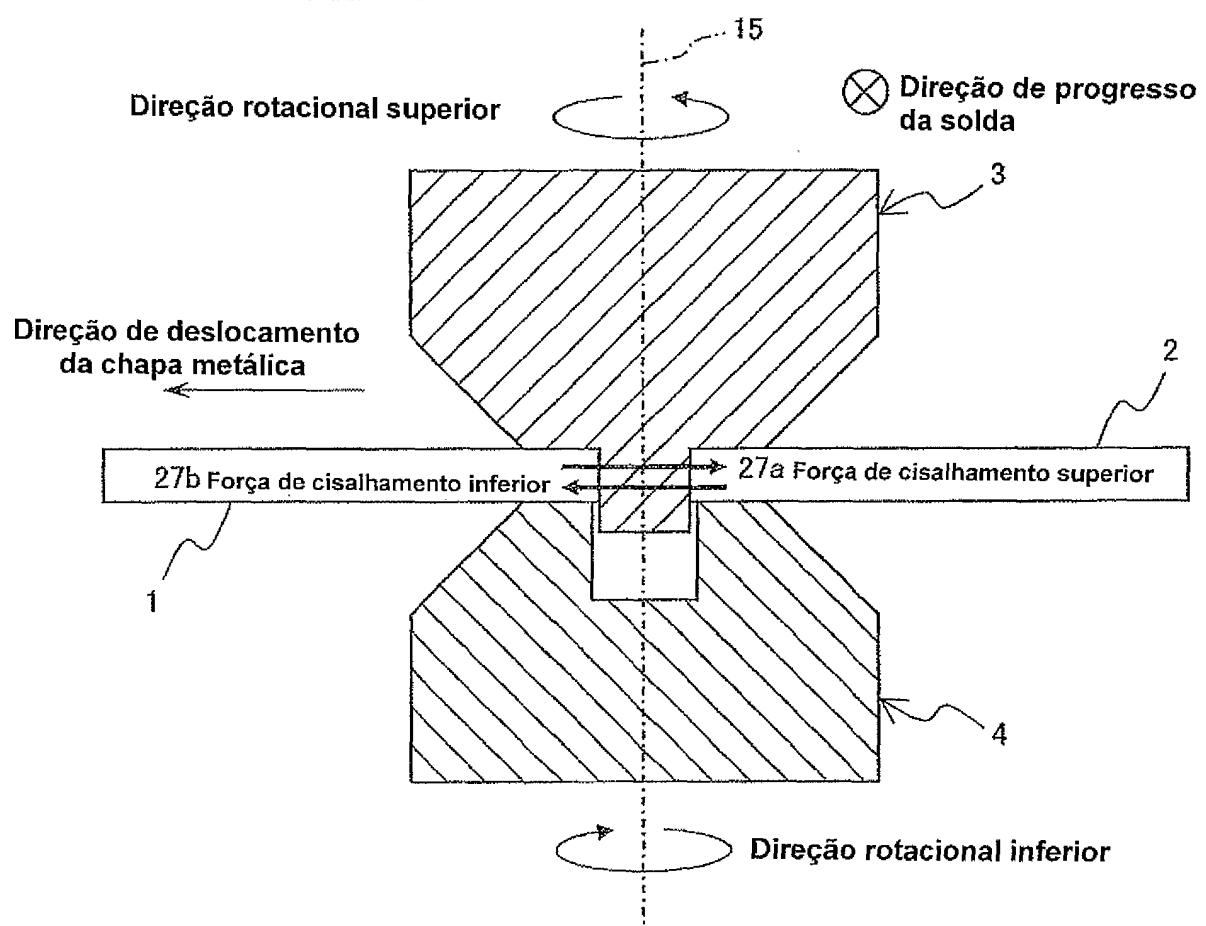


FIG. 21

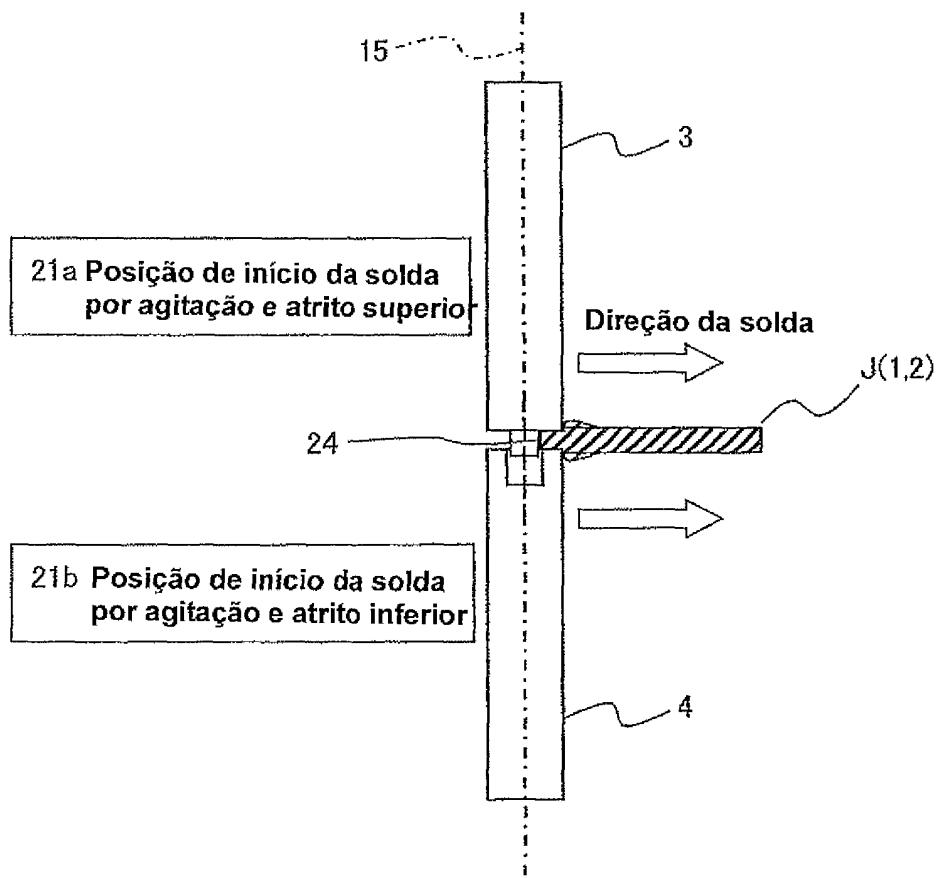


FIG. 22

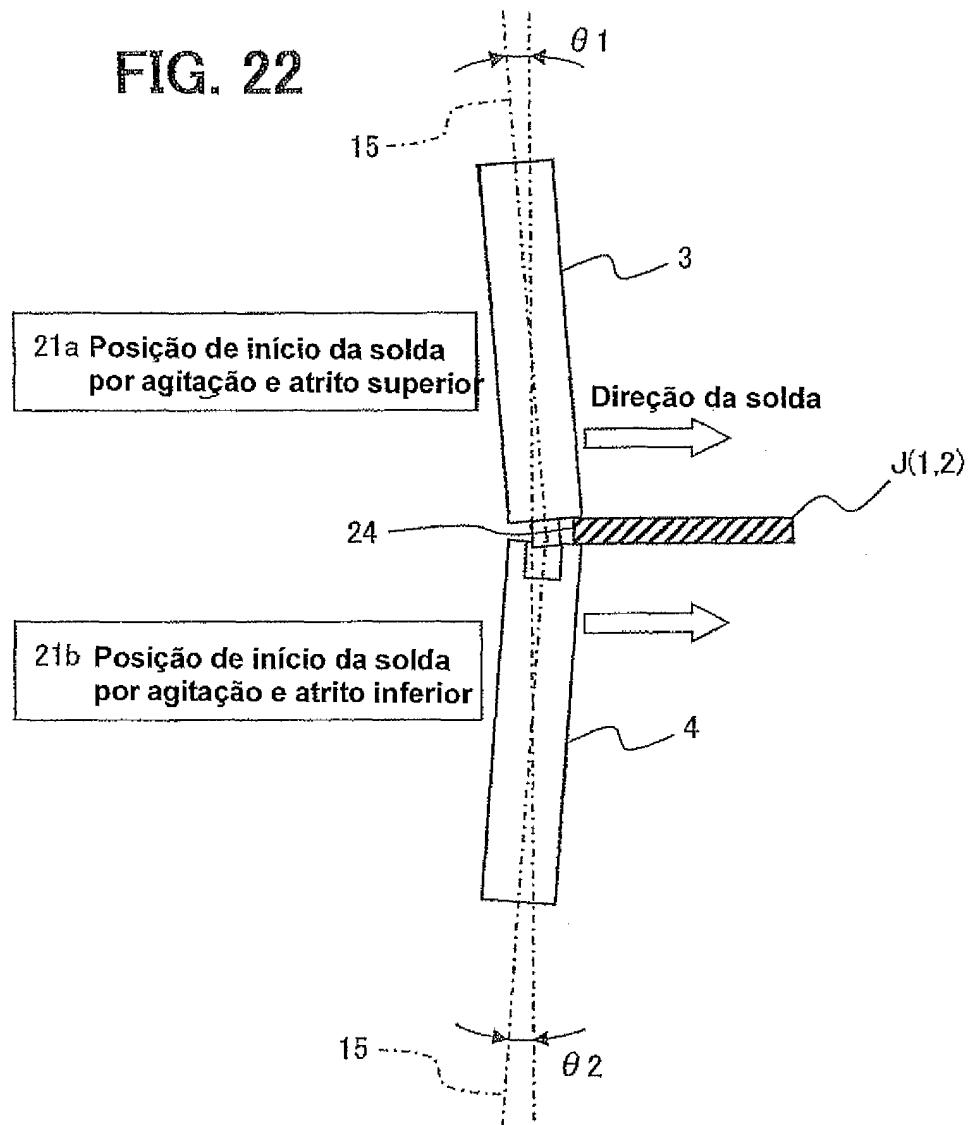
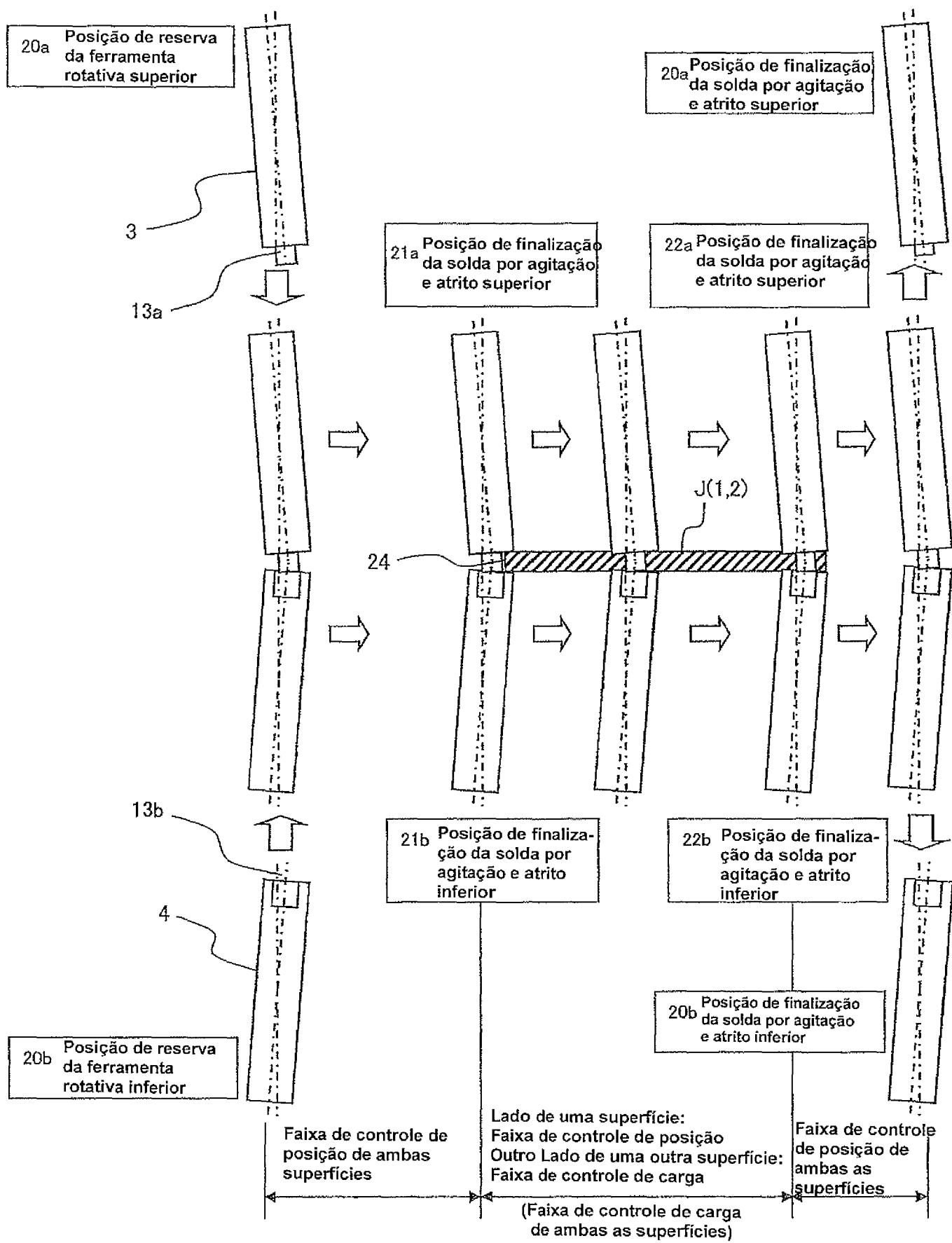
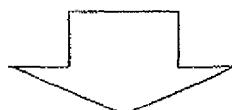


FIG. 23

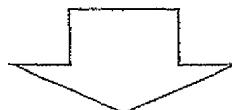


**FIG. 24****Etapa S1**

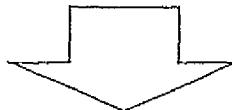
**Calcular as posições relativas das ferramentas e das chapas superior e inferior  
(o cálculo é feito usando valores medidos pelos dispositivos de medição de  
posição, e os valores calculados são usados para controle de posição)**

**Etapa S2**

**Controle de posição de ambas as superfícies (da posição de  
reserva das ferramentas rotativas superior e inferior até as  
superfícies de borda da chapa de início da agitação e atrito)**

**Etapa S3**

**Controle de posição de uma superfície e controle de  
carga de uma outra superfície (das superfícies de borda  
da chapa de partida de agitação e atrito)**

**Etapa S4**

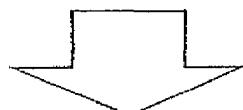
**Controle de posição de ambas as superfícies  
(da posição de finalização de agitação e atrito  
até a posição de reserva da ferramenta de  
agitação e atrito)**

**FIG. 25****Etapa S1**

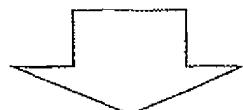
**Calcular as posições relativas das ferramentas e chapas superior e inferior  
(o cálculo é feito usando valores medidos pelos dispositivos de medição de posição, e os valores calculados são usados para controle de posição)**

**Etapa S2**

**Controle de posição de ambas superfícies (da posição de reserva das ferramentas rotativas superior e inferior até as superfícies de borda da chapa de início da agitação e atrito)**

**Etapa S3A**

**Controle de carga de ambas superfícies (das superfícies de borda da chapa de início da agitação e atrito até as posições de finalização de agitação e atrito)**

**Etapa S4**

**Controle de posição de ambas superfícies (da posição de finalização de agitação e atrito até a posição de reserva da ferramenta de agitação e atrito)**