



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(51) Int. Cl.⁵
B23K 23/00

(11) (21) **PI 9103968 A**

(22) Data de Depósito: 18/09/91

(43) Data de Publicação: 13/04/93 (RPI 1167)



(54) Título: Processo de soldagem aluminotérmica com adição de titânio à mistura aluminotérmica

(74) Procurador: Mauricio de Vasconcelos Guedes Pereira

(71) Depositante(s): Universidade Federal do Rio de Janeiro (BRFJ)

(57) Resumo: Patente de invenção de processo de soldagem aluminotérmica entre materiais dissimilares, tais como: aço e alumínio ou níquel e alumínio em que a espessura da camada intermetálica na interface aço/metal de solda é reduzida pela adição de titânio à mistura aluminotérmica.

(72) Inventor(es): Marcos Henrique da Silva Bassani; João Marcos Alcotorado Rebelo

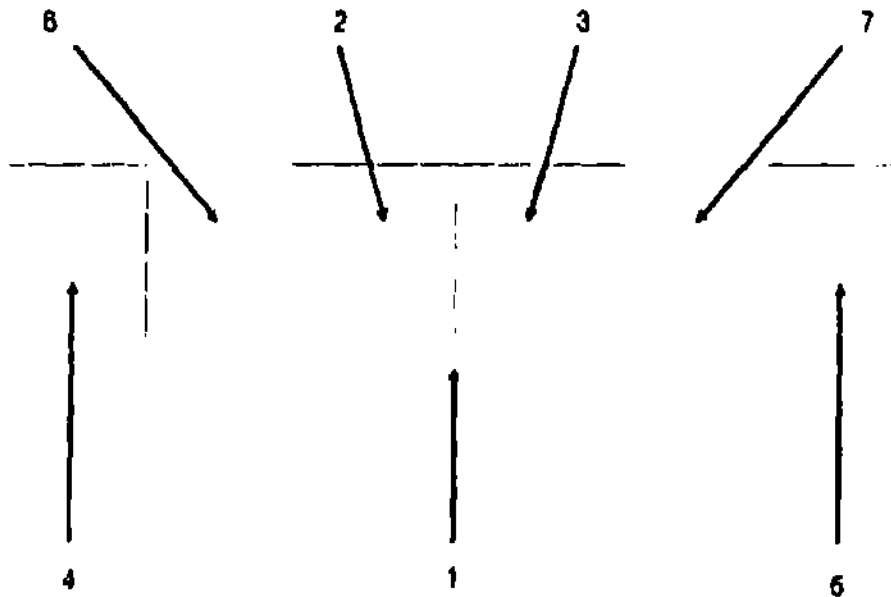
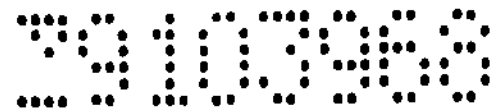


Fig. 1

Relatório Descritivo de Patente de Invenção "PROCESSO DE SOLDAGEM ALUMINOTÉRMICA COM ADIÇÃO DE TITÂNIO À MISTURA ALUMINOTÉRMICA"

A soldagem dissimilar entre alumínio e aço tem como principal obstáculo a formação de fases intermetálicas como resultado da interação entre esses metais. Estas fases são caracterizadas por baixa resistência mecânica e elevada resistividade elétrica. Isto resulta numa junta soldada com propriedades mecânicas e elétricas insatisfatórias. Os mecanismos que levam à formação dessas fases na interação sólido-líquido, que ocorre durante o processo de soldagem, foram estudados em grande número de trabalhos fundamentais apresentados na literatura [BASSANI, H.M.S., Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1990]. Algumas soluções para este problema são citadas na literatura, como se pode ver nas figuras:

- 1) na Fig. 1 vemos a utilização de uma peça de transição (1), que consiste num par bimetalico composto de alumínio (2) e aço (3), soldado no estado sólido. A união da peça de transição e a peça de alumínio (4) e



- 2 -

2) na Fig. 2 vemos a utilização de uma "barreira" de outro metal (1) que se interpõe entre o alumínio (2) e o aço (3), evitando a interação direta entre esses dois metais. O metal utilizado como barreira deve ser facilmente soldável ao aço e, obviamente, não formar fases intermetálicas quando da interação com a liga de alumínio que constitui o metal-de-solda (4). Vários metais são citados na literatura como possíveis de serem utilizados como barreira [BASSANI, H.M.S., Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1990]. Recentemente, DIBKOV registrou patente [DYBKOV, V.I. et alii, Welding Production (USSR), Vol. 22, No. 1, January 1975] indicando a utilização de níquel para esse fim.

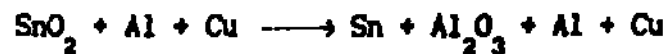
No setor elétrico, tem-se a necessidade de união de cabos de alumínio à superfícies de aço no aterramento de torres e subestações [SERRA, E.T., et alii, Eletricidade Moderna, Ano IX, No. 89, Dezembro 1980]. A soldagem de cabos multifilares por processos convencionais apresenta grande dificuldade [FLORES, G., Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1977]. No setor elétrico, a soldagem de cabos multifilares é realizada comumente por processo de soldagem aluminotérmica [FLORES, G., Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1977]. No caso de soldagem envolvendo condutores de alumínio, este processo é conduzido como indicado na Fig. 3. Nesta é apresentada a configuração para o caso particular de soldagem topo-a-topo entre cabos de alumínio.

Neste processo, uma mistura na forma de pó (1)



- 3 -

esta mistura. A partir da ignição deste pó tem-se a reação da mistura aluminotérmica de acordo com a equação



Esta reação é altamente exotérmica e o calor gerado permite que os produtos desta sejam obtidos no estado líquido.

5 Deste modo, resulta uma liga Al-Sn-Cu, a uma temperatura de cerca de 1250°C, e Al₂O₃. A fase Al₂O₃ se separa do metal líquido e, ao final do processo, vai constituir uma escória. O metal líquido funde o disco de alumínio, que retinha a mistura aluminotérmica, e desce pelo canal de descida (6) até a cavidade 10 de solda (7) onde, interagindo com os cabos de alumínio (8), promove a união destes.

Como citado acima, este processo é apresentado pelos fabricantes [ERICO PRODUCTS, INC., Catálogo Comercial] apenas para a soldagem de alumínio. Nenhuma indicação é feita para a 15 soldagem dissimilar Cabo-de-Alumínio/Aço. Estudou-se a aplicação direta deste processo à soldagem entre cabos de alumínio e chapa de aço [BASSANI, H.M.S., Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1990] conforme montagem indicada na Fig. 4. Esta montagem é similar à utilizada na soldagem entre cabos de cobre e aço [PORTO, M.F.S., 20 Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1982]. A mistura aluminotérmica, entretanto, foi a mesma utilizada na soldagem entre cabos de alumínio [ERICO PRODUCTS, INC., Catálogo Comercial].

Na figura, vemos, como antes, a mistura aluminotérmica (1), posicionada na cavidade de ignição (2) do molde de grafite 25 (3), sendo retida aí pelo disco de alumínio (4). O pó de ignição

- 4 -

(6) até a cavidade de solda (7) onde, interagindo com o cabo de alumínio (8) e a chapa de aço (9), promove sua união.

O referido estudo indicou como principais ocorrências:

- 5 1) a formação de fases intermetálicas na interface aço/metal-de-solda. Esta camada, como indicado na Fig. 5, é composta de duas parcelas: uma camada compacta (1) e outra não-compacta (2). Esta última representa a maior parcela da espessura total da camada de fases intermetálicas;
- 10 2) na Fig. 6, vemos a segregação de estanho nas proximidades da interface aço-metal-de-solda (1).
- 15 3) vemos, na Fig. 7, a dissolução de ferro (do aço) pelo metal-de-solda. O ferro dissolvido está presente no metal-de-solda numa fase de agulhas.

O estudo [BASSANI, H.M.S., Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1990] indicou que a formação de fases intermetálicas envolve vários mecanismos que podem ser resumidos da seguinte forma:

- 20 1) a camada compacta se forma a mais altas temperaturas pela interação direta com o metal líquido por um mecanismo de dissolução e crescimento;

- 5 -

O estudo [BASSANI, H.M.S., Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1990] indicou ainda que o estanho presente no metal-de-solda (e que segrega para a região próxima à interface aço/metal-de-solda) tem efeito importante sobre o processo de
5 formação de fases intermetálicas acarretando um aumento da velocidade do mesmo. Esta tendência do estanho de aumentar a espessura da camada de fases intermetálicas é ainda mais importante devido à segregação deste elemento para a região próxima à interface aço/metal-de-solda durante o ciclo de
10 resfriamento. Isto intensifica o processo de cristalização (ou deposição) a partir do metal líquido (enriquecido em ferro) promovendo um aumento da parcela correspondente à camada não-compacta citada acima (Fig. 5).

Uma vez que a camada não-compacta compreende a maior
15 parcela da espessura total da camada de fases intermetálicas, supôs-se que a eliminação da segregação de estanho teria como resultado uma acentuada diminuição da espessura total da camada de fases intermetálicas. Esta diminuição se daria principalmente pela redução da camada não-compacta indicada na Fig. 5.

20 Para se testar a veracidade dos mecanismos propostos acima, procedeu-se à adição de titânio à mistura aluminotérmica. A adição de titânio, por hipótese, promoveria o refino do metal-de-solda, eliminando a segregação de estanho e diminuindo a formação de fases intermetálicas pelo mecanismo de
25 cristalização (ou deposição) a partir do metal líquido enriquecido em ferro. Esta suposição foi testada segundo procedimento indicado na Fig. 8. O hidreto de titânio (1), posicionado na parte inferior da cavidade de ignição (2) entre

- 6 -

após a ignição da mistura aluminotérmica. O titânio é então incorporado ao metal líquido que desce pelo canal de descida (4) até a cavidade de solda (não mostrada). O titânio tem um efeito conhecido no sentido de promover um refino de grão em ligas de alumínio [MONDOLFO, L.F., ALUMINUM ALLOYS; STRUCTURES AND PROPERTIES, Butterwort & Co. Ltd., London, 1976]. Sua adição aqui, entretanto, tem como principal objetivo eliminar a segregação de estanho e diminuir a cristalização (ou deposição) de fases intermetálicas a partir do metal líquido enriquecido em ferro. Os resultados deste procedimento são indicados na Tabela I. Observa-se, portanto, uma acentuada redução da espessura total da camada de fases intermetálicas com a adição de 0,6 %Ti ao metal-de-solda. O aspecto da interface aço/metal-de-solda indicado na Fig. 9 demonstra a presença apenas da camada compacta (1) (comparar Fig. 9 com Fig. 5). Além disso, foi observada a eliminação da segregação de estanho. Isto demonstra a correção da hipótese de que a eliminação de estanho promoveria uma diminuição da parcela correspondente à camada não-compacta indicada na Fig. 5.

TABELA I

	Espessura Máxima (μm)	Espessura Média (μm)	Desvio Padrão
Sem adição de Ti	46,6	12,2	6,7

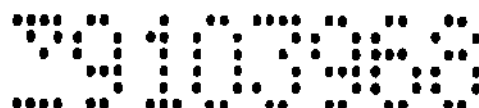
- 7 -

O efeito da eliminação da segregação de estanho foi avaliado segundo procedimentos diferentes, que envolviam agitação do metal líquido com ultrassom, pintura da interface, etc. Todos os procedimentos indicaram acentuada redução da
5 espessura total da camada de fases intermetálicas com diminuição ou eliminação da parcela correspondente à camada não-compacta.

Numa outra realização do conceito de adição de titânio à mistura aluminotérmica para promover a redução da camada de fases intermetálicas, testamos este tipo de procedimento para a
10 soldagem aluminotérmica entre cabos de alumínio e superfícies de aço pelo processo da barreira de níquel interposta, conforme proposto por Dibkov [DYBKOV, V.I. et alii, Welding Production (USSR), Vol. 22, No. 1, January 1975]. O procedimento utilizado está indicado na Fig. 10.

15 Ao contrário do que é observado para o caso da soldagem convencional entre o alumínio e níquel (quando o metal-de-solda é constituído por outra liga de alumínio), a soldagem aluminotérmica entre cabos de alumínio e níquel resultou na formação de uma camada de fases intermetálicas muito espessa em
20 algumas regiões da interface níquel/metal-de-solda (ver Fig. 11). Foram distinguidos dois mecanismos associados à formação de fases intermetálicas que concorriam para um aumento da espessura da mesma. Estes mecanismos são ilustrados na Fig. 11.

Estudos indicaram [BASSANI, M.H.S., trabalho a ser
25 publicado] que o mecanismo apresentado na Fig. 11(a) é possível de ocorrer isotermicamente estando associado à presença do



- 8 -

segregação de estanho nas proximidades da interface níquel/metal-de-solda no ciclo de resfriamento.

Procedeu-se, portanto, à diminuição ou eliminação do mecanismo indicado na Fig. 11(b) mediante a eliminação da
5 segregação de estanho. Para tal, efetivou-se a adição de titânio na forma indicada na Fig. 8.

Com a adição de titânio, o aspecto típico apresentado pela interface níquel/metal-de-solda passou a ser aquele indicado na Fig. 12. A camada de fases intermetálicas foi reduzida a uma
10 espessura média de cerca de 2 μm . Em algumas regiões observou-se o aspecto apresentado na Fig. 11(a). Estas, entretanto, se restringem a algumas poucas ocorrências. O mesmo aspecto foi observado com a eliminação da segregação de estanho mediante
15 outros procedimentos como ultrassom, agitação do metal-de-solda com pintura da interface, etc.

Verificou-se, portanto, que a eliminação da segregação de estanho no ciclo de resfriamento promove uma redução na espessura da camada de fases intermetálicas na interação entre o metal-de-solda e níquel. Com isso, é possível a soldagem
20 aluminotérmica entre cabos de alumínio e aço segundo procedimento apresentado na Fig. 10. Para tal, basta recobrir a superfície de aço com níquel e soldar com adição de titânio ao metal-de-solda.

9103968

REIVINDICAÇÕES

1. "PROCESSO DE SOLDAGEM ALUMINOTÉRMICA COM ADIÇÃO DE TITÂNIO À MISTURA ALUMINOTÉRMICA" caracterizado por redução da espessura da camada de fases intermetálicas na soldagem S aluminotérmica entre materiais dissimilares tais como aço e alumínio ou níquel e alumínio pela neutralização do efeito de segregação do estanho para a região próxima à interface aço/metal-de-solda ou níquel/metal-de-solda mediante adição de titânio.

9103968

9103968

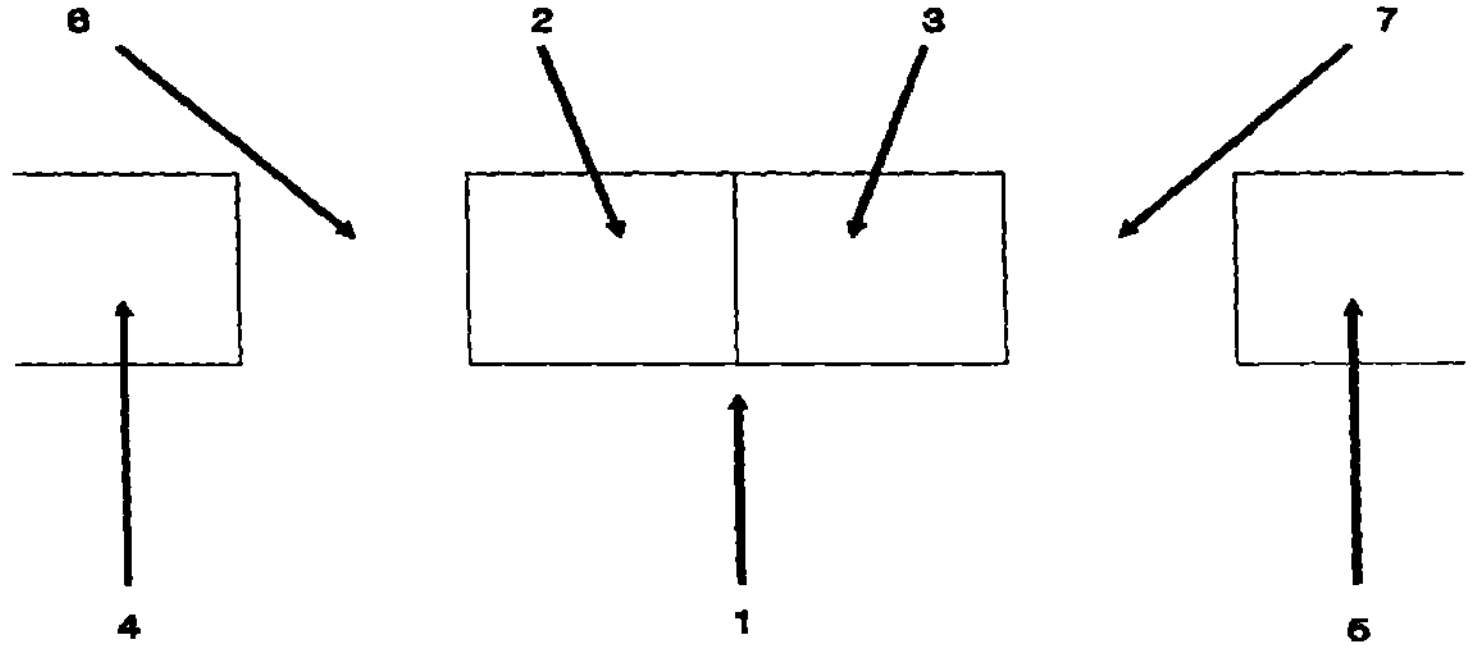


Fig. 1

910396S
910396S

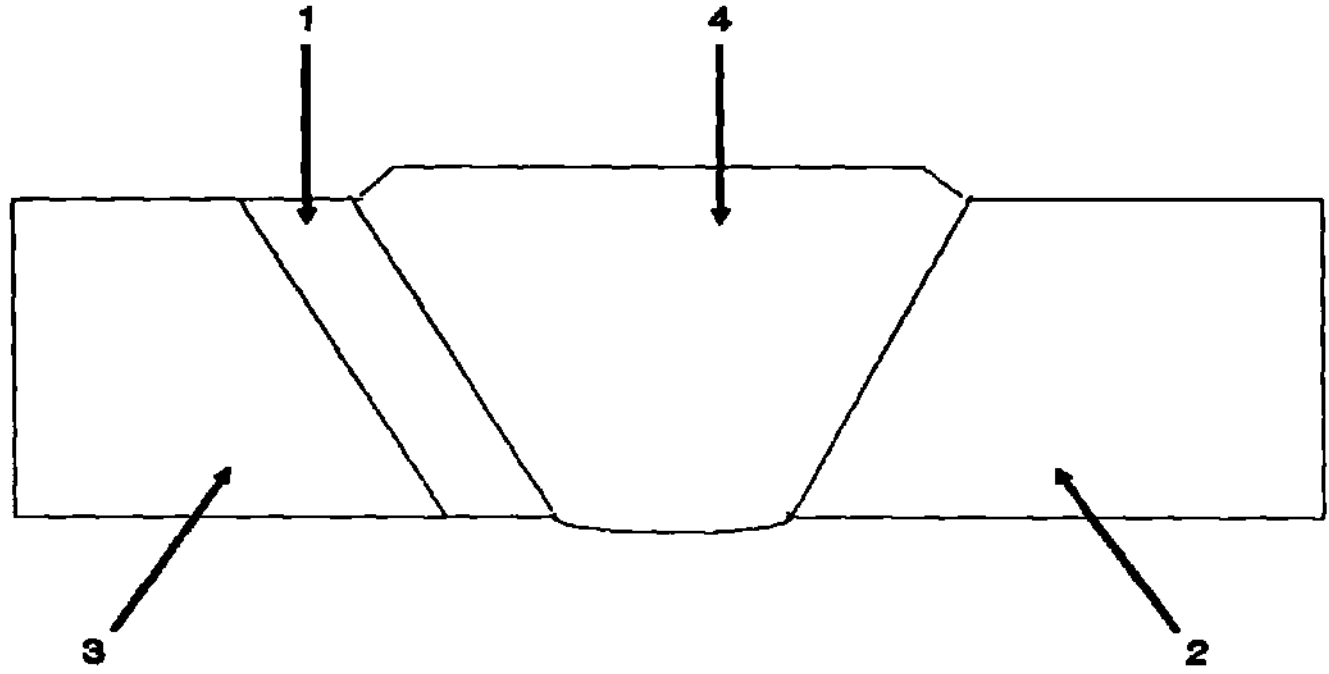


Fig. 2

9103968

FIG. 3

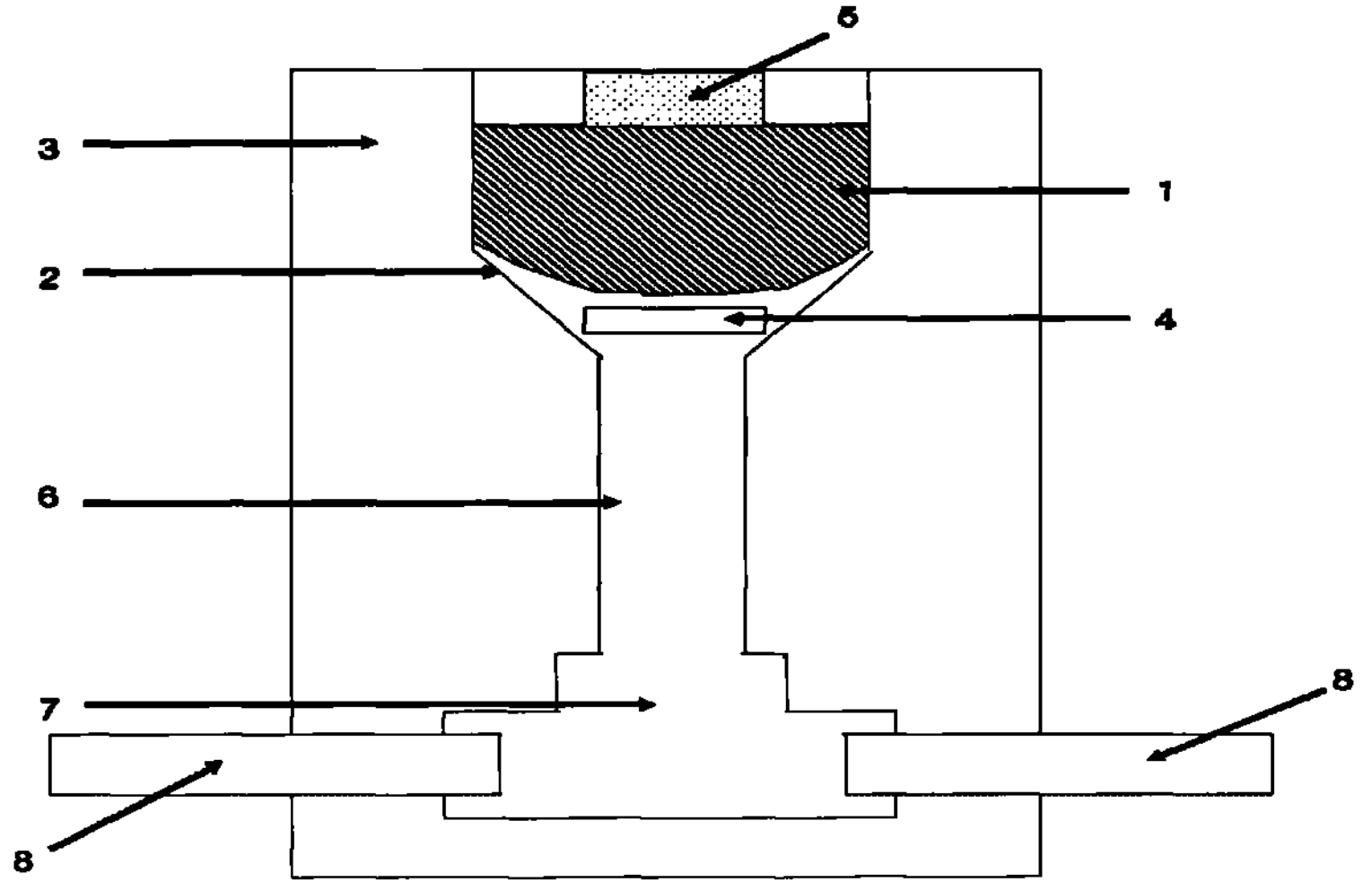


Fig. 3

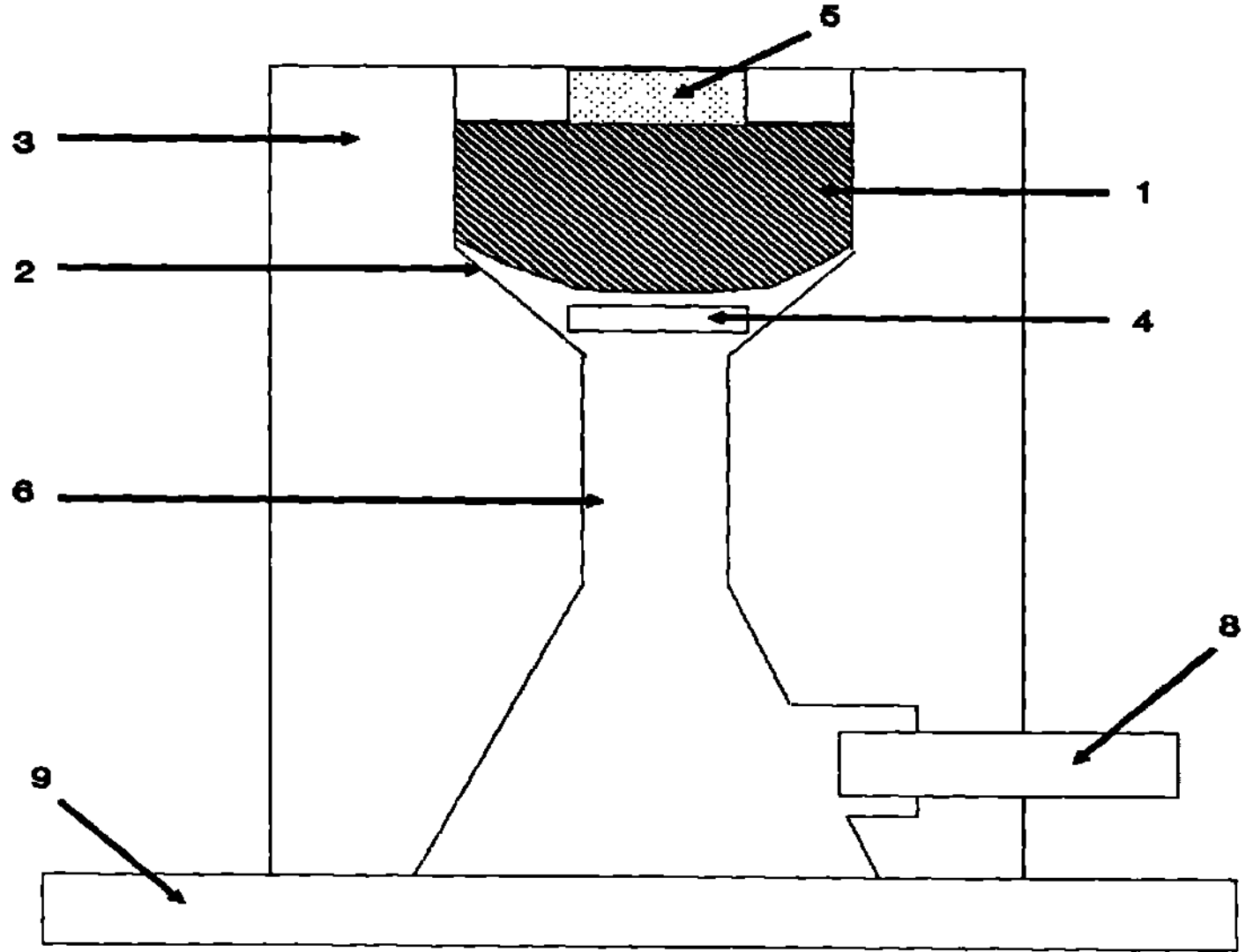


Fig. 4



FIG. 5

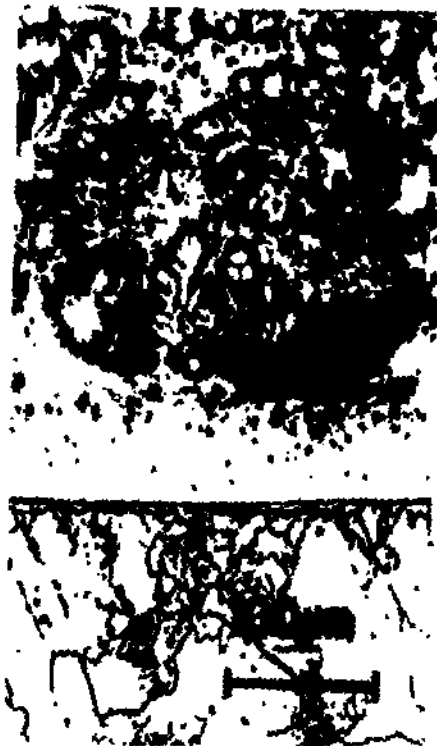


FIG. 6

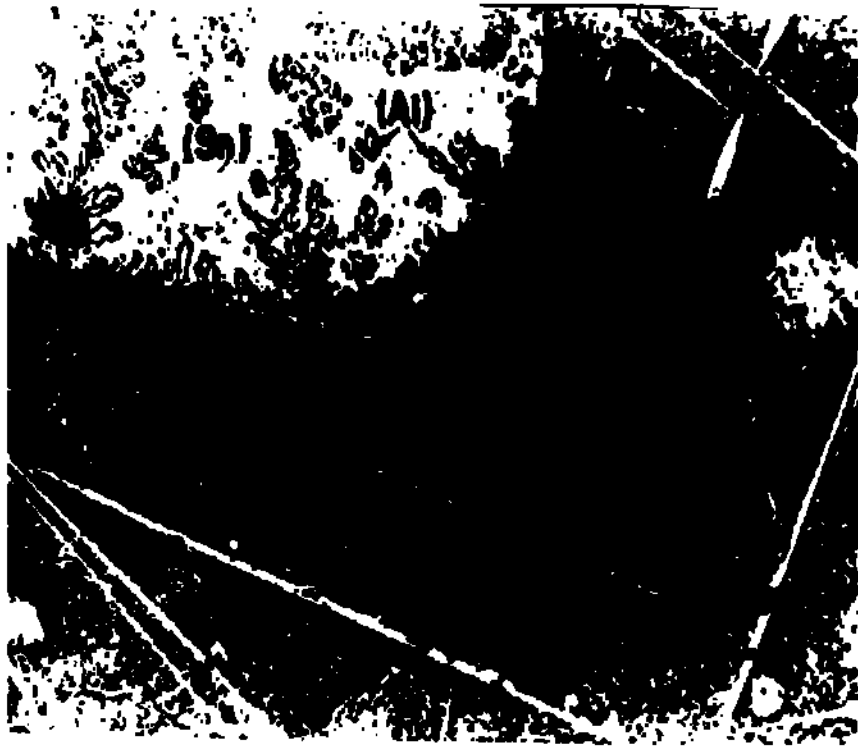


FIG. 7

9103968

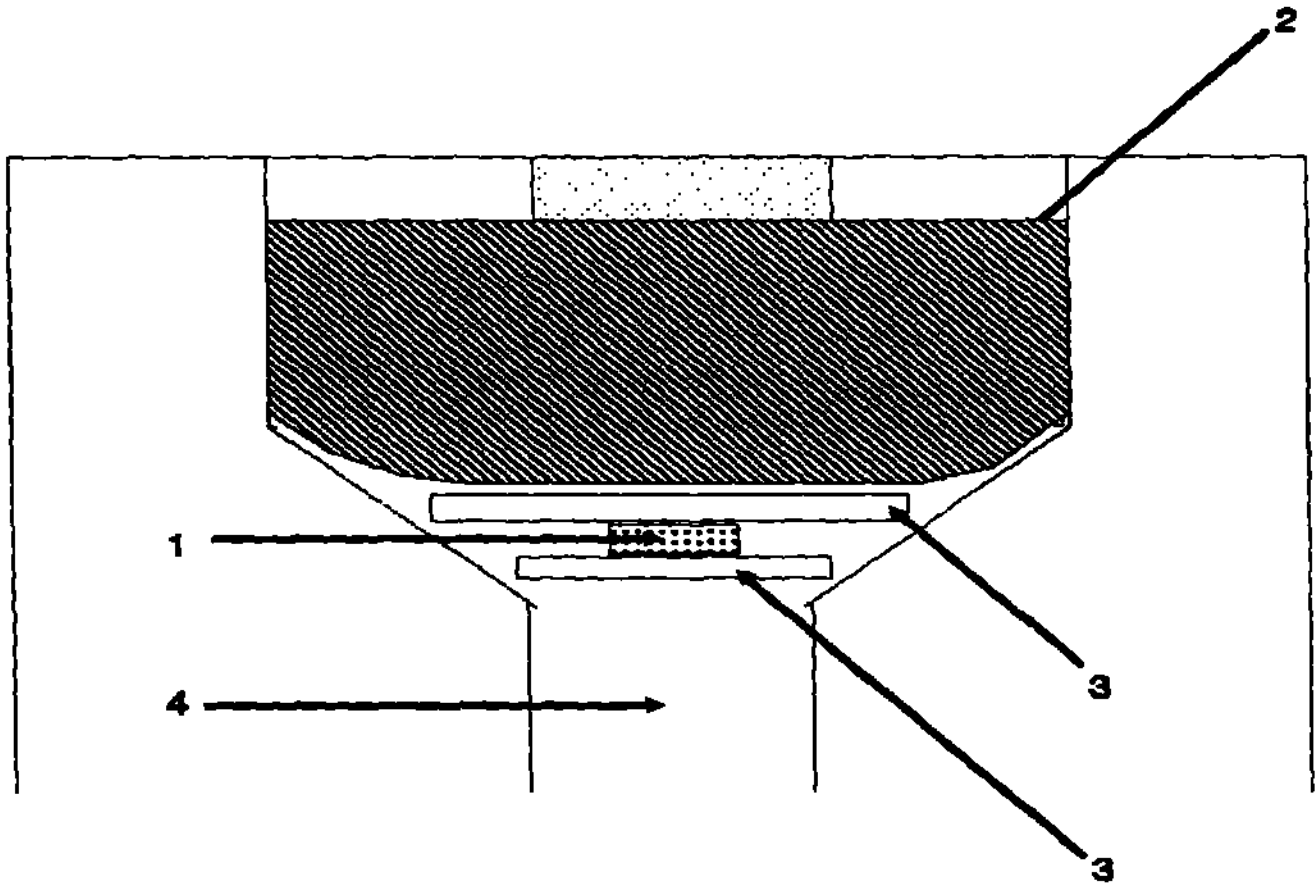


Fig. 8



FIG. 9

9103968

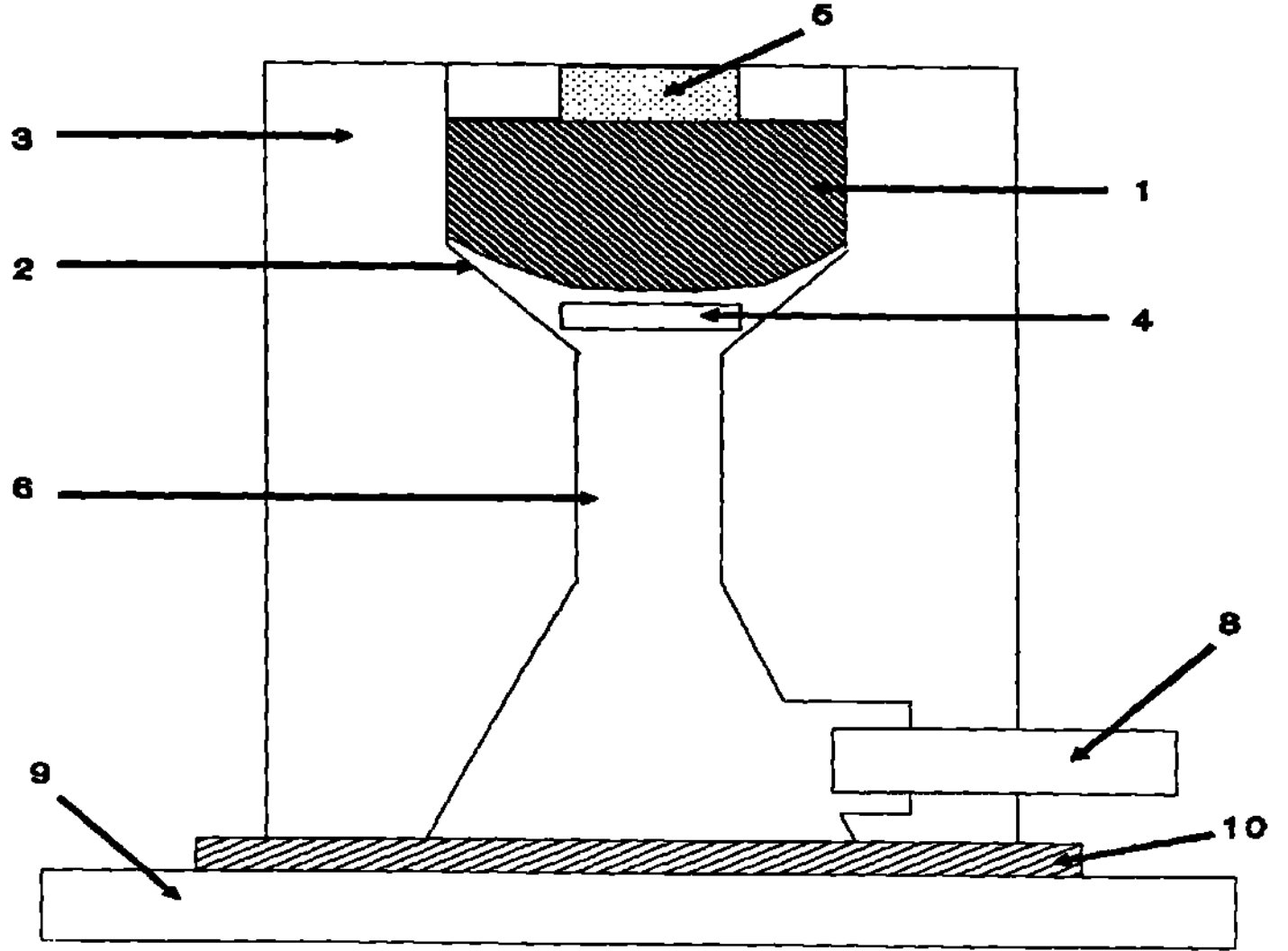


Fig. 10

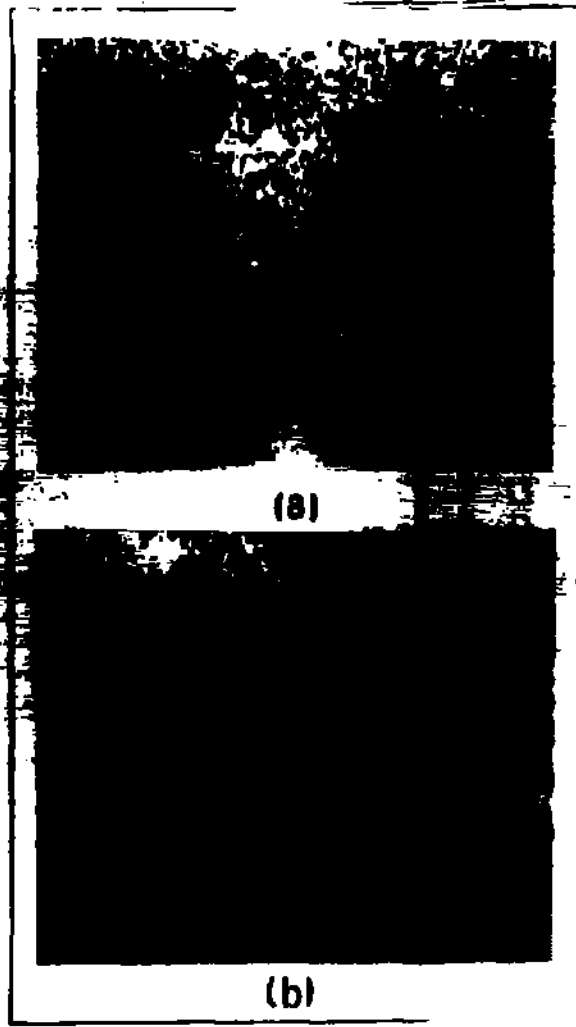


FIG. 11(a)

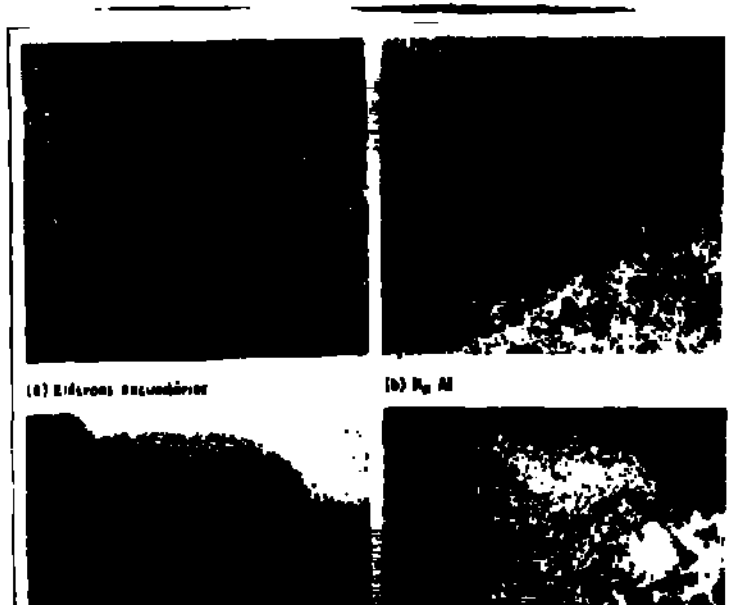




FIG. 12

RESUMO

Patente de Invenção: "PROCESSO DE SOLDAGEM ALUMINOTÉRMICA COM ADIÇÃO DE TITÂNIO À MISTURA ALUMINOTÉRMICA"

Patente de invenção de processo de soldagem aluminotérmica entre
5 materiais dissimilares tais como aço e alumínio ou níquel e
alumínio em que a espessura da camada de fases intermetálicas na
interface aço/metálico de solda é reduzida pela adição de titânio à
mistura aluminotérmica.