



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

(21) **PI 0917270-0 A2**

(22) Data de Depósito: 20/08/2009
(43) Data da Publicação: 07/05/2013
(RPI 2209)



(51) *Int.Cl.:*
G09B 19/24

(54) **Título:** SISTEMA DE SOLDAGEM DE REALIDADE, MÉTODO DE TREINAMENTO COM O USO DE UM SISTEMA DE SOLDAGEM DE REALIDADE VIRTUAL E SIMULAÇÃO DE SOLDAGEM

(30) **Prioridade Unionista:** 10/07/2009 US 12/501,257,
21/08/2008 US 61/090,794

(73) **Titular(es):** Lincoln Global, Inc.

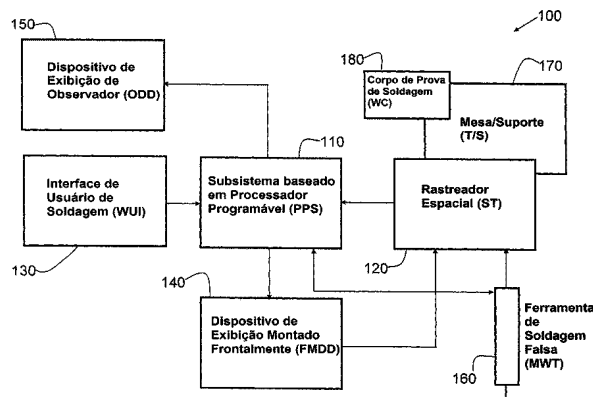
(72) **Inventor(es):** Andrew Paul Lundell, David Anthony Zboray,
Eric A. Preisz, Jeremiah Hennessey, Matthew Alan Bennett, Matthew
Wayne Wallace, Paul Dana, Zachary Steven Lenker

(74) **Procurador(es):** Trench, Rossi e Watanabe

(86) **Pedido Internacional:** PCT IB2009006602 de 20/08/2009

(87) **Publicação Internacional:** WO 2010/020867de
25/02/2010

(57) **Resumo:** SISTEMA DE SOLDAGEM DE REALIDADE, MÉTODO DE TREINAMENTO COM O USO DE UM SISTEMA DE SOLDAGEM DE REALIDADE VIRTUAL E SIMULAÇÃO DE SOLDAGEM. Um sistema de soldagem de realidade virtual em tempo real que inclui um subsistema com base em um processador programável, um rastreador espacial conectado de forma operável ao subsistema com base em um processador programável, ao menos uma ferramenta de soldagem falsa capaz de ser espacialmente rastreado pelo rastreador espacial e ao menos one dispositivo de exibição conectado de forma operável ao subsistema programável com base em um processador. O sistema é capaz de simular, no espaço de realidade virtual, uma pudlagem de solda que tem características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real. O sistema é capaz, ainda, de exibir a pudlagem de solda simulada no dispositivo de exibição em tempo real.



"SISTEMA DE SOLDAGEM DE REALIDADE, MÉTODO DE TREINAMENTO COM O USO DE UM SISTEMA DE SOLDAGEM DE REALIDADE VIRTUAL E SIMULAÇÃO DE SOLDAGEM."

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS/INCORPORAÇÃO

5 RELACIONADOS A TÍTULO DE REFERÊNCIA

Esse pedido de patente reivindica prioridade para e o benefício do Pedido de Patente Provisório Número de Série U.S. 61/090.794 depositado em 21 de agosto de 2008, que se encontra incorporado integralmente ao presente a
10 título de referência.

CAMPO DA TÉCNICA

Determinadas modalidades referem-se à simulação de realidade virtual. Mais particularmente, determinadas modalidades referem-se a sistemas e métodos para a
15 apresentação de treinamento de soldagem por arco em um ambiente de realidade virtual simulado ou ambiente de realidade aumentada usando retorno de pudlagem de solda em tempo real e para uma simulação de soldagem.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

20 O aprendizado sobre como a soldagem por arco tradicionalmente toma muitas horas de instrução, treinamento, e prática. Existem muitos tipos diferentes de soldagem por arco e processos de soldagem por arco que podem ser aprendidos. Tipicamente, a soldagem é aprendida
25 por meio de um estudante usando um sistema de soldagem real e desempenhando operações de soldagem em peças de metal reais. Tal treinamento em mundo real pode impedir recursos de soldagem escassos e esgotar materiais de soldagem limitados. Recentemente, entretanto, a idéia de treinamento

usando simulações de soldagem se tornou mais popular. Algumas simulações de soldagem são implementadas via computadores pessoais e/ou on-line via Internet. Entretanto, simulações de soldagem conhecidas atuais tendem a ser limitadas em seu foco de treinamento. Por exemplo, algumas simulações de soldagem se focam no treinamento somente para "memória muscular", que simplesmente treina um estudante de soldagem para como segurar e posicionar uma ferramenta de soldagem. Outras simulações de soldagem se focam em mostrar os efeitos visuais e de áudio do processo de soldagem, mas somente de uma maneira limitada e geralmente não-realista que não fornece ao estudante um retorno desejado que é altamente representativo de soldagem em mundo real. É esse retorno efetivo que direciona o estudante a fazer ajustes necessários para fazer uma boa solda. A soldagem é aprendida assistindo ao arco e/ou à pudlagem, não por meio de memória muscular.

Desvantagens e limitações adicionais de abordagens propostas convencionais e tradicionais se tornarão evidentes para aquele versado na técnica, através da comparação de tais abordagens com as modalidades da presente invenção conforme exposto no restante do presente pedido em relação aos desenhos.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Uma simulação de soldagem por arco foi planejada para apresentar a simulação de uma pudlagem de solda em um espaço de realidade virtual tendo características de fluidez de metal fundido em tempo real e características de absorção por calor e dissipação de calor.

Em uma modalidade da presente invenção, um sistema de soldagem de realidade virtual inclui um subsistema baseado em processador programável, um rastreador espacial operacionalmente conectado ao subsistema baseado em processador programável, pelo menos uma ferramenta de soldagem falsa capaz de ser rastreada espacialmente por meio do rastreador espacial, e pelo menos um dispositivo de exibição operacionalmente conectado ao subsistema baseado em processador programável. O sistema é capaz de simular, em espaço de realidade virtual, uma pudlagem de solda tendo características de fluidez de metal fundido em tempo real e dissipação de calor. O sistema é adicionalmente capaz de exibir a pudlagem de solda simulada no dispositivo de exibição para descrever uma solda em mundo real. Com base no desempenho do estudante, o sistema exibirá uma solda avaliada que mostrará uma solda aceitável ou uma solda com defeitos.

Essas ou outras características e modalidades da invenção reivindicada, bem como detalhes das modalidades ilustradas da mesma, serão compreendidos de forma mais completa a partir da seguinte descrição, dos desenhos e das reivindicações.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 ilustra uma modalidade de exemplo de um diagrama de bloco de sistema de um sistema apresentando treinamento de soldagem por arco;

a Figura 2 ilustra uma modalidade de exemplo de um console de soldagem simulada combinado e dispositivo de

exibição de observador (*observer display device*, ODD) do sistema da Figura 1;

a Figura 3 ilustra uma modalidade de exemplo do dispositivo de exibição de observador (ODD) da Figura 2;

5 a Figura 4 ilustra uma modalidade de exemplo de uma porção frontal do console de soldagem simulada da Figura 2 mostrando uma interface de usuário de soldagem (*welding user interface*, WUI) física;

10 a Figura 5 ilustra uma modalidade de exemplo de uma ferramenta de soldagem falsa (*mock welding tool*, MWT) do sistema da Figura 1;

a Figura 6 ilustra uma modalidade de exemplo de uma mesa/suporte (*table/stand*, T/S) do sistema da Figura 1;

15 a Figura 7A ilustra uma modalidade de exemplo de um corpo de prova de soldagem (*welding coupon*, WC) de tubo do sistema da Figura 1;

a Figura 7B ilustra o WC de tubo da Figura 7A montado em um braço da mesa/do suporte (TS) da Figura 6;

20 a Figura 8 ilustra diversos elementos de uma modalidade de exemplo do rastreador espacial (*spatial tracker*, ST) da Figura 1;

a Figura 9A ilustra uma modalidade de exemplo de um dispositivo de exibição montado frontalmente (*face-mounted display device*, FMDD) do sistema da Figura 1 ;

25 a Figura 9B é uma ilustração de como o FMDD da Figura 9A fica seguro na cabeça de um usuário;

a Figura 9C ilustra uma modalidade de exemplo do FMDD da Figura 9A montado dentro de um capacete de soldagem;

a Figura 10 ilustra uma modalidade de exemplo de um diagrama de bloco de subsistema de um subsistema baseado em processador programável (*programmable processor-based subsystem*, PPS) do sistema da Figura 1;

5 a Figura 11 ilustra uma modalidade de exemplo de um diagrama de bloco de uma unidade de processamento gráfico (*graphics processing unit*, GPU) do PPS da Figura 10;

10 a Figura 12 ilustra uma modalidade de exemplo de um diagrama de bloco funcional do sistema da Figura 1 ;

a Figura 13 é um fluxograma de uma modalidade de um método de treinamento usando o sistema de treinamento de realidade virtual da Figura 1;

15 as Figuras 14A a 14B ilustram o conceito de um mapa de deslocamento de pixel de soldagem (*wexel*), de acordo com uma modalidade da presente invenção;

20 a Figura 15 ilustra uma modalidade de exemplo de um espaço de corpo de prova e um espaço de solda de um corpo de prova de soldagem (WC) plano simulado no sistema da Figura 1;

a Figura 16 ilustra uma modalidade de exemplo de um espaço de corpo de prova e um espaço de solda de um corpo de prova de soldagem (WC) de canto (junta em T) simulado no sistema da Figura 1;

25 a Figura 17 ilustra uma modalidade de exemplo de um espaço de corpo de prova e um espaço de solda de um corpo de prova de soldagem de tubo (WC) simulado no sistema da Figura 1;

a Figura 18 ilustra uma modalidade de exemplo do corpo de prova de soldagem de tubo (WC) da Figura 17; e

as Figuras 19A a 19C ilustram uma modalidade de exemplo do conceito de um modelo de pudlagem de deslocamento duplo do sistema da Figura 1.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Uma modalidade da presente invenção compreende um sistema de soldagem por arco de realidade virtual (*virtual reality arc welding*, VRAW) compreendendo um subsistema baseado em processador programável, um rastreador espacial operacionalmente conectado ao subsistema baseado em processador programável, pelo menos uma ferramenta de soldagem falsa capaz de ser rastreada espacialmente por meio do rastreador espacial, e pelo menos um dispositivo de exibição operacionalmente conectado ao subsistema baseado em processador programável. O sistema é capaz de simular, em um espaço de realidade virtual, uma pudlagem de solda tendo características de fluidez de metal fundido em tempo real e dissipação de calor. O sistema também é capaz de exibir a pudlagem de solda simulada no dispositivo de exibição em tempo real. As características de fluidez de metal fundido em tempo real e dissipação de calor da pudlagem de solda simulada fornecem retorno visual em tempo real a um usuário da ferramenta de soldagem falsa quando exibida, permitindo que o usuário ajuste ou mantenha uma técnica de soldagem em tempo real em resposta ao retorno visual em tempo real (isto é, auxilia o usuário a aprender soldar corretamente). A pudlagem de solda exibida é representativa de uma pudlagem de solda que seria formada

no mundo real baseado na técnica de soldagem do usuário e nos parâmetros e processo de soldagem selecionados. Visualizando uma pudlagem (por exemplo, formato, cor, escória, tamanho, dimes empilhados), um usuário pode
5 modificar sua técnica para fazer uma boa solda e determinar o tipo de soldagem que está sendo feita. O formato da pudlagem é sensível ao movimento da pistola ou vara. Conforme usado neste documento, o termo "tempo real" significa perceber e sentir a tempo em um ambiente simulado
10 da mesma maneira que um usuário perceberia e sentiria em um cenário de soldagem de mundo real. Além disso, a pudlagem de solda é sensível aos efeitos do ambiente físico incluindo gravidade, permitindo que um usuário pratique realisticamente a soldagem em diversas posições incluindo
15 soldagem superior e diversos ângulos de soldagem de tubo (por exemplo, 1G, 2G, 5G, 6G).

A Figura 1 ilustra uma modalidade de exemplo de um diagrama de bloco de sistema de um sistema 100 apresentando treinamento de soldagem por arco em um
20 ambiente de realidade virtual em tempo real. O sistema 100 inclui um subsistema baseado em processador programável (PPS) 110. O sistema 100 inclui adicionalmente um rastreador espacial (ST) 120 operacionalmente conectado ao PPS 110. O sistema 100 também inclui uma interface de
25 usuário de soldagem física (WUI) 130 operacionalmente conectada ao PPS 110 e um dispositivo de exibição montado frontalmente (FMDD) 140 operacionalmente conectado ao PPS 110 e ao ST 120. O sistema 100 inclui adicionalmente um dispositivo de exibição de observador (ODD) 150

operacionalmente conectado ao PPS 110. O sistema 100 também inclui pelo menos uma ferramenta de soldagem falsa (MWT) 160 operacionalmente conectada ao ST 120 e ao PPS 110. O sistema 100 inclui adicionalmente uma mesa/um suporte (T/S) 170 e pelo menos um corpo de prova de soldagem (WC) 180 capaz de ser afixado à T/S 170. De acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção, uma garrafa de gás falsa é fornecida (não mostrada) simulando uma fonte de gás de blindagem e tendo um regulador de fluxo ajustável.

A Figura 2 ilustra uma modalidade de exemplo de um console de soldagem simulada combinado 135 (simulando uma interface de usuário de fonte de energia de soldagem) e um dispositivo de exibição de observador (ODD) 150 do sistema 100 da Figura 1. A WUI física 130 reside em uma porção frontal do console 135 e apresenta botões de controle, botões, e um joystick para a seleção do usuário de diversos modos e diversas funções. O ODD 150 é afixado a uma porção de topo do console 135. A MWT 160 se apóia em um detentor afixado a uma porção lateral do console 135. Internamente, o console 135 segura o PPS 110 e uma porção do ST 120.

A Figura 3 ilustra uma modalidade de exemplo do dispositivo de exibição de observador (ODD) 150 da Figura 2. De acordo com uma modalidade da presente invenção, o ODD 150 é um dispositivo de exibição de cristal líquido (*liquid crystal display*, LCD). Outros dispositivos de exibição também são possíveis. Por exemplo, o ODD 150 pode ser um visor de tela sensível ao toque, de acordo com outra modalidade da presente invenção. O ODD 150 recebe vídeo

(por exemplo, formato SVGA) e informação de visor a partir do PPS 110.

Conforme mostrado na Figura 3, o ODD 150 é capaz de exibir uma primeira cena de usuário mostrando diversos parâmetros de soldagem 151 incluindo posição, ponta para operação, ângulo de solda, ângulo de percurso, e velocidade de percurso. Esses parâmetros podem ser selecionados e exibidos em tempo real em forma gráfica e são usados para ensinar a técnica de soldagem apropriada. Além disso, conforme mostrado na Figura 3, o ODD 150 é capaz de exibir estados de descontinuidade de soldagem simulada 152 incluindo, por exemplo, tamanho de solda impróprio, posicionamento de rebordo deficiente, rebordo côncavo, convexidade excessiva, rebaixo, porosidade, fusão incompleta, inclusão de escória, respingo em excesso, enchimento excessivo, e perfuração (através de fusão). O rebaixo é um sulco fundido no interior do metal de base adjacente à solda ou raiz de solda e não preenchido à esquerda por metal de solda. O rebaixo também é formado, com frequência, devido a um ângulo incorreto de soldagem. A porosidade são as descontinuidades de tipo de cavidade formadas por meio de aprisionamento de gás durante a solidificação ocasionada com frequência movimentando o arco muito distante do corpo de prova.

Além disso, conforme mostrado na Figura 3, o ODD 50 é capaz de exibir seleções de usuário 153 incluindo menu, ações, sinais visuais, corpo de prova novo, e passe de extremidade. Essas seleções de usuário ficam preças aos botões de usuário sobre o console 135. Na medida em que um

usuário faz diversas seleções via, por exemplo, uma tela sensível ao toque do ODD 150 ou via WUI física 130, as características exibidas podem mudar para fornecer informação selecionada e outras opções ao usuário. Além disso, o ODD 150 pode exibir uma visualização vista por meio de um soldador soldando o FMDD 140 na mesma visualização angular do soldador ou em diversos ângulos diferentes, por exemplo, escolhidos por um instrutor. O ODD 150 pode ser visualizado por um instrutor e/ou pelos estudantes para diversos propósitos de treinamento. Por exemplo, a visualização pode ser girada em torno da solda acabada permitindo inspeção visual por meio de um instrutor. De acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção, o vídeo a partir do sistema 100 pode ser enviado a um local remoto via, por exemplo, Internet para visualização remota e/ou análise. Além disso, o áudio pode ser fornecido, permitindo comunicação de áudio em tempo real entre um estudante e um instrutor remoto.

A Figura 4 ilustra uma modalidade de exemplo de uma porção frontal do console de soldagem simulada 135 da Figura 2 mostrando uma interface de usuário de soldagem (WUI) física 130. A WUI 130 inclui um conjunto de botões 131 correspondendo às seleções de usuário 153 exibidas no ODD 150. Os botões 131 são coloridos para corresponderem às cores das seleções de usuário 153 exibidas no ODD 150. Quando um dos botões 131 for pressionado, um sinal é enviado ao PPS 110 para ativar a função correspondente. A WUI 130 também inclui um joystick 132 capaz de ser usado por um usuário para selecionar diversos parâmetros e

seleções exibidas no ODD 150. A WUI 130 inclui adicionalmente um botão mostrador ou botão de controle 133 para ajustar amplificadores/velocidade de alimentação de fiação, e outro botão mostrador ou botão de controle 134 para ajustar volts/compensação. A WUI 130 também inclui um botão mostrador ou botão de controle 136 para selecionar um processo de soldagem por arco. De acordo com uma modalidade da presente invenção, três processos de soldagem por arco são selecionáveis incluindo soldagem por arco tubular (*flux cored arc welding*, FCAW) incluindo processos de auto-blindagem e de blindagem por gás; soldagem por arco e gás de proteção (*gas metal arc welding*, GMAW) incluindo arco curto, aspersão axial, STT, e pulso; soldagem por arco com eletrodo de tungstênio sob gás inerte (*gas tungsten arc welding*, GTAW); e soldagem por arco com eletrodo revestido (*shielded metal arc welding*, SMAW) incluindo os eletrodos E6010 e E7010. A WUI 130 inclui adicionalmente um botão mostrador ou botão de controle 137 para selecionar uma polaridade de soldagem. De acordo com uma modalidade da presente invenção, três polaridades de soldagem por arco são selecionáveis incluindo corrente alternada (AC), corrente direta positiva (DC+), e corrente direta negativa (DC-).

A Figura 5 ilustra uma modalidade de exemplo de uma ferramenta de soldagem falsa (MWT) 160 do sistema 100 da Figura 1. A MWT 160 da Figura 5 simula uma ferramenta de soldagem de vara para soldagem de tubo e placa e inclui um detentor 161 e um eletrodo revestido simulado 162. Um disparador no MWD 160 é usado para comunicar um sinal ao

PPS 110 para ativar um processo de soldagem simulado selecionado. O eletrodo revestido simulado 162 inclui uma ponta tatilmente resistiva 163 para simular retorno resistivo que ocorre durante, por exemplo, um procedimento de soldagem de passe de raiz em soldagem de tubo em mundo real ou quando soldando uma placa. Se o usuário mover o eletrodo revestido simulado 162 muito longe para trás fora da raiz, o usuário será capaz de sentir ou perceber a resistência mais baixa, derivando, desse modo, o retorno para uso no ajuste ou na manutenção do processo de soldagem atual.

Contempla-se que a ferramenta de soldagem de vara pode incorporar um atuador, não mostrado, que remove o eletrodo revestido simulado 162 durante o processo de soldagem virtual. A saber, na medida em que um usuário participa da atividade de soldagem virtual, a distância entre o detentor 161 e a ponta do eletrodo revestido simulado 162 é reduzida para simular o consumo do eletrodo. A taxa de consumo, isto é, a remoção do eletrodo revestido 162, pode ser controlada pelo PPS 110 e mais especificamente por meio de instruções codificadas executadas pelo PPS 110. A taxa de consumo simulado também pode depender da técnica do usuário. É notável para mencionar no presente que na medida em que o sistema 100 facilita a soldagem virtual com tipos diferentes de eletrodos, a taxa de consumo ou a redução do eletrodo revestido 162 pode alterar com o procedimento de soldagem usado e/ou a definição do sistema 100.

Outras ferramentas de soldagem falsas também são possíveis, de acordo com outras modalidades da presente invenção, incluindo um MWD que simula uma pistola de soldagem semi-automática portátil tendo um eletrodo de fio alimentado através da pistola, por exemplo. Além disso, de acordo com outras determinadas modalidades da presente invenção, uma ferramenta de soldagem real poderia ser usada como a MWT 160 para melhor simular a sensação efetiva da ferramenta nas mãos do usuário, embora, no sistema 100, a ferramenta não seja usada para criar efetivamente um arco real. Além disso, uma ferramenta de esmerilhamento simulada pode ser fornecida, para uso em um modo de esmerilhamento simulado do simulador 100. De forma similar, uma ferramenta de corte simulada pode ser fornecida, para uso em um modo de corte simulado do simulador 100. Além disso, um material de preenchimento ou tocha de soldagem por arco com eletrodo de tungstênio sob gás inerte (GTAW) simulado pode ser fornecido para uso no simulador 100.

A Figura 6 ilustra uma modalidade de exemplo de uma mesa/um suporte (T/S) 170 do sistema 100 da Figura 1. A T/S 170 inclui uma mesa ajustável 171, um suporte ou uma base 172, um braço ajustável 173, e um poste vertical 174. Cada um da mesa 171, do suporte 172, e do braço 173 são afixados ao poste vertical 174. Cada um da mesa 171 e do braço 173 são capazes de ser ajustados manualmente para cima, para baixo, e rotacionalmente em relação ao poste vertical 174. O braço 173 é usado para segurar diversos corpos de prova de soldagem (por exemplo, corpo de prova de soldagem 175) e um usuário pode apoiar seu braço sobre a

mesa 171 quando estiver treinando. O poste vertical 174 é indexado com a informação de posição para que um usuário possa saber exatamente onde o braço 173 e a mesa 171 ficam posicionados verticalmente no poste 171. Essa informação de posição vertical pode ser inserida no sistema por um usuário usando a WUI 130 e o ODD 150.

De acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção, as posições da mesa 171 e do braço 173 podem ser definidas automaticamente por meio do PSS 110 via definições pré-programadas, ou via WUI 130 e/ou ODD 150 conforme comandado por um usuário. Em tal modalidade alternativa, a T/S 170 inclui, por exemplo, motores e/ou servomecanismos, e comandos de sinal a partir do PSS 110 ativam os motores e/ou servomecanismos. De acordo com uma modalidade alternativa adicional da presente invenção, as posições da mesa 171 e do braço 173 e o tipo de corpo de prova são detectados pelo sistema 100. Dessa maneira, um usuário não tem que inserir manualmente a informação de posição via interface de usuário. Em tal modalidade alternativa, a T/S 170 inclui detectores de orientação e posição e envia comandos de sinal ao PSS 110 para fornecer informação de orientação e posição, e o WC 175 inclui sensores de detecção de posição (por exemplo, sensores espiralados para a detecção de campos magnéticos). Um usuário é capaz de ver uma renderização do ajuste de T/S 170 no ODD 150 na medida em que os parâmetros de ajuste são mudados, de acordo com uma modalidade da presente invenção.

A Figura 7A ilustra uma modalidade de exemplo de um corpo de prova de soldagem de tubo (WC) 175 do sistema

100 da Figura 1. O WC 175 simula dois tubos de 15,24 cm de diâmetro (6 polegadas) 175' e 175" colocados juntamente para formarem uma raiz 176 a ser soldada. O WC 175 inclui uma porção de conexão 177 em uma extremidade do WC 175, permitindo que o WC 175 seja afixado de uma maneira repetível e precisa ao braço 173. A Figura 7B ilustra o WC de tubo 175 da Figura 7A montado sobre o braço 173 da mesa/do suporte (TS) 170 da Figura 6. A maneira repetível e precisa em que o WC 175 é capaz de ser afixado ao braço 173 permite a calibragem espacial do WC 175 a ser desempenhada somente uma vez na fábrica. Então, no campo, desde que se diga ao sistema 100 a posição do braço 173, o sistema 100 é capaz de rastrear a MWT 160 e o FMDD 140 em relação ao WC 175 em um ambiente virtual. Uma primeira porção do braço 173, a que o WC 175 é afixado, é capaz de ficar inclinada em relação a uma segunda porção do braço 173, conforme mostrado na Figura 6. Isso permite que o usuário pratique a soldagem de tubo com o tubo em quaisquer dos diversos ângulos e das diversas orientações diferentes.

A Figura 8 ilustra diversos elementos de uma modalidade de exemplo do rastreador espacial (ST) 120 da Figura 1. O ST 120 é um rastreador magnético que é capaz de formar operacionalmente uma interface com o PPS 110 do sistema 100. O ST 120 inclui uma fonte magnética 121 e um cabo magnético, pelo menos um sensor 122 e um cabo associado, software host no disco 123, uma fonte de energia 124 e cabo associado, cabos USB e RS-232 125, e uma unidade de rastreamento de processador 126. A fonte magnética 121 é capaz de ser operacionalmente conectada à unidade de

rastreamento de processador 126 via um cabo. O sensor 122 é capaz de ser operacionalmente conectado à unidade de rastreamento de processador 126 via um cabo. A fonte de energia 124 é capaz de ser operacionalmente conectada à unidade de rastreamento de processador 126 via um cabo. A unidade de rastreamento de processador 126 é capaz de ser operacionalmente conectada ao PPS 110 via um cabo USB ou RS-232 125. O software host no disk 123 é capaz de ser carregado no PPS 110 e permite comunicação funcional entre o ST 120 e o PPS 110.

Referindo-se à Figura 6, a fonte magnética 121 do ST 120 é montada na primeira porção do braço 173. A fonte magnética 121 cria um campo magnético em torno da fonte 121, incluindo o espaço abrangendo o WC 175 afixado ao braço 173, que estabelece uma estrutura espacial em 3D de referência. A T/S 170 é largamente não-metálica (não-férrica e não-condutora) a fim de não distorcer o campo magnético criado pela fonte magnética 121. O sensor 122 inclui três bobinas de indução alinhadas ortogonalmente ao longo de três direções espaciais. Cada uma das bobinas de indução do sensor 122 mede a força do campo magnético em cada uma das três direções e fornece aquela informação à unidade de rastreamento de processador 126. Como resultado, o sistema 100 é capaz de conhecer onde qualquer porção do WC 175 está em relação à estrutura espacial em 3D de referência estabelecida por meio do campo magnético quando o WC 175 está montado sobre o braço 173. O sensor 122 pode ser afixado à MWT 160 ou ao FMDD 140, permitindo que a MWT 160 ou o FMDD 140 sejam rastreados pelo ST 120 em relação à

estrutura espacial em 3D de referência tanto em espaço quanto em orientação. Quando dois sensores 122 são fornecidos e operacionalmente conectados à unidade de rastreamento de processador 126, tanto a MWT 160 quanto o FMDD 140 podem ser rastreados. Dessa maneira, o sistema 100 é capaz de criar um WC virtual, uma MWT virtual, e uma T/S virtual em espaço de realidade virtual e exibir o WC virtual, a MWT virtual, e a T/S virtual no FMDD 140 e/ou no ODD 150 na medida em que a MWT 160 e o FMDD 140 são rastreados em relação à estrutura espacial em 3D de referência.

De acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção, o(s) sensor(es) 122 pode(m) formar interface sem fio interface com a unidade de rastreamento de processador 126, e a unidade de rastreamento de processador 126 pode formar interface sem fio com o PPS 110. De acordo com outras modalidades alternativas da presente invenção, outros tipos de rastreadores espaciais 120 podem ser usados no sistema 100 incluindo, por exemplo, um rastreador baseado em acelerômetro/giroscópio, um rastreador óptico (ativo ou passivo), um rastreador infravermelho, um rastreador acústico, um rastreador a laser, um rastreador de rádiofrequência, um rastreador inercial, e sistemas de rastreamento baseados em realidade aumentada. Outros tipos de rastreadores também podem ser possíveis.

A Figura 9A ilustra uma modalidade de exemplo do dispositivo de exibição montado frontalmente 140 (FMDD) do sistema 100 da Figura 1. A Figura 9B é uma ilustração de

como o FMDD 140 da Figura 9A fica seguro na cabeça de um usuário. A Figura 9C ilustra uma modalidade de exemplo do FMDD 140 da Figura 9A integrado no interior de um capacete de soldagem 900. O FMDD 140 se conecta operacionalmente ao PPS 110 e ao ST 120 via meios com fio ou sem fio. Um sensor 122 do ST 120 pode ser afixado ao FMDD 140 ou ao capacete de soldagem 900, de acordo com diversas modalidades da presente invenção, permitindo que o FMDD 140 e/ou o capacete de soldagem 900 sejam rastreados em relação à estrutura espacial em 3D de referência criada pelo ST 120.

De acordo com uma modalidade da presente invenção, o FMDD 140 inclui dois microvisualizadores de OLED em 3D de SVGA de alto contraste capazes de distribuírem vídeo de movimento total de fluido nos modos de vídeo sequencial de estrutura e em 2D. O vídeo do ambiente de realidade virtual é fornecido e exibido no FMDD 140. Um modo de zoom (por exemplo, 2X) pode ser fornecido, permitindo que um usuário simule uma lente de proteção e aumento, por exemplo.

O FMDD 140 inclui adicionalmente dois auto-falantes de fone de ouvido 910, permitindo que o usuário ouça sons de ambiente e sons relacionados à soldagem simulados produzidos pelo sistema 100. O FMDD 140 pode operacionalmente formar interface com o PPS 110 via meios sem fio ou com fio, de acordo com diversas modalidades da presente invenção. De acordo com uma modalidade da presente invenção, o PPS 110 fornece vídeo estereoscópico ao FMDD 140, fornecendo percepção de profundidade intensificada para o usuário. De acordo com uma modalidade alternativa da

presente invenção, um usuário é capaz de usar um controle na MWT 160 (por exemplo, um botão ou comutador) para solicitar e selecionar opções de exibição e menus no FMDD 140. Isso pode permitir que o usuário redefina facilmente uma solda, se o mesmo cometer um erro, altere determinados parâmetros, ou recue um pouco para refazer uma porção de uma trajetória de rebordo de solda, por exemplo.

A Figura 10 ilustra uma modalidade exemplificadora de um diagrama em bloco do subsistema do subsistema baseado em processador programável (PPS) 110 do sistema 100 da Figura 1. O PPS 110 inclui uma unidade de processamento central (CPU) 111 e duas unidades de processamento de gráficos (GPU) 115, de acordo com uma modalidade da presente invenção. As duas GPUs 115 são programadas para fornecer uma simulação de realidade virtual de uma pudlagem da solda (também conhecida como uma poça de fusão) que tem características de fluidez de metal fundido em tempo real e de absorção de calor e dissipação, de acordo com uma modalidade da presente invenção.

A Figura 11 ilustra uma modalidade exemplificadora de um diagrama em bloco de uma unidade de processamento de gráficos (GPU) 115 do PPS 110 da Figura 10. Cada GPU 115 suporta a implantação de algoritmos paralelos de dados. De acordo com uma modalidade da presente invenção, cada GPU 115 fornece duas saídas de vídeo 118 e 119 capazes de fornecer duas vistas de realidade virtual. Duas dentre as saídas de vídeo podem ser encaminhadas para o FMDD 140, renderizando o ponto de vista do soldador, e uma terceira saída de vídeo pode ser

encaminhada para o ODD 150, por exemplo, renderizando ou o ponto de vista do soldador ou algum outro ponto de vista. A quarta saída de vídeo restante pode ser encaminhada a um projetor, por exemplo. Ambas as GPUs 115 realizam as mesmas

5 computações físicas de soldagem, mas podem assumir o ambiente de realidade virtual dos mesmos ou dos diferentes pontos de vista. A GPU 115 inclui uma arquitetura de dispositivo unificado de computação (CUDA) 116 e um sombreador 117. A CUDA 116 é a engenharia de computação da

10 GPU 115 que é acessível aos desenvolvedores de software através das linguagens de programação padrão da indústria. A CUDA 116 inclui núcleos paralelos e é usada para executar o modelo físico da simulação de pudlagem da solda descrita no presente documento. A CPU 111 fornece dados de entrada

15 de soldagem em tempo real para a CUDA 116 na GPU 115. O sombreador 117 é responsável pelo desenho e aplicação de todas as visualizações da simulação. As visualizações de rebordo e pudlagem são acionadas pelo estado de um mapa de deslocamento de pixel de soldagem que é descrito

20 posteriormente no presente documento. De acordo com uma modalidade da presente invenção, o modelo físico é executado e atualizado em uma taxa de cerca de 30 vezes por segundo.

A Figura 12 ilustra uma modalidade

25 exemplificadora de um diagrama em bloco funcional do sistema 100 da Figura 1. Os vários blocos funcionais do sistema 100 conforme mostrados na Figura 12 são amplamente implantados via módulos e instruções de software executados no PPS 110. Os vários blocos funcionais do sistema 100

incluem uma interface física 1201, modelos de grampo e
tocha 1202, modelos de ambiente 1203, funcionalidade de
conteúdo de som 1204, sons de soldagem 1205, modelo de
5 mesa/suporte 1206, funcionalidade de arquitetura interna
1207, funcionalidade de calibragem 1208, modelos de corpo
de prova 1210, propriedades físicas de soldagem 1211,
ferramenta de ajuste físico interno (ajustador) 1212,
funcionalidade da interface de usuário gráfica 1213,
funcionalidade de representação por gráfico 1214,
10 funcionalidade de relatórios de estudante 1215,
renderizador 1216, renderização de rebordo 1217, texturas
3D 1218, funcionalidade de sinais visuais 1219,
funcionalidade de tolerância e pontuação 1220, editor de
tolerância 1221 e efeitos especiais 1222. A funcionalidade
15 de arquitetura interna 1207 fornece a logística de software
de nível mais elevado dos processos do sistema 100
incluindo, por exemplo, carregar arquivos, reter
informações, gerenciar segmentos, ligar o modelo físico e
disparar menus. A funcionalidade de arquitetura interna
20 1207 é executada na CPU 111, de acordo com uma modalidade
da presente invenção. Determinadas entradas em tempo real
para o PPS 110 incluem a localização de arco, posição da
pistola, FMDD ou posição do capacete, estado ligado ou
desligado da pistola e estado realizado por contato (sim
25 /não).

A funcionalidade da interface de usuário gráfica
1213 permite a um usuário, através do ODD 150 com o uso do
controle 132 da interface do usuário física 130, definir um
cenário de soldagem. De acordo com uma modalidade da

presente invenção, a definição de um cenário de soldagem inclui a seleção de uma linguagem, entrada de nome de usuário, seleção de uma placa prática (isto é, um corpo de prova de soldagem), seleção de um processo de soldagem (por exemplo, FCAW, GMAW, SMAW) e aspersão axial associada, pulso ou métodos de arco curto, seleção de um tipo de gás e taxa de fluxo, seleção de um tipo de eletrodo revestido (por exemplo, 6010 ou 7018) e seleção de um tipo de arame tubular (por exemplo, auto-blindado, gás-blindado). A

10 definição de um cenário de soldagem também inclui a seleção de uma altura de mesa, uma altura de braço, uma posição do braço e uma rotação do braço da T/S 170. A definição de um cenário de soldagem inclui adicionalmente a seleção de um ambiente (por exemplo, um ambiente de fundo no espaço de

15 realidade virtual), configuração de uma velocidade de alimentação de arame, configuração de um nível de voltagem, configuração de amperagem, seleção de uma polaridade e colocação de sinais visuais particulares na posição ligada ou desligada.

20 Durante um cenário de soldagem simulado, a funcionalidade de representação por gráfico 1214 reúne parâmetros de desempenho de usuário e fornece os parâmetros de desempenho de usuário para a funcionalidade da interface de usuário gráfica 1213 para a exibição em um formato

25 gráfico (por exemplo, no ODD 150). A informação de rastreamento da ST 120 serve como alimento para a funcionalidade de representação por gráfico 1214. A funcionalidade de representação por gráfico 1214 inclui um módulo de análise simples (SAM) e um módulo de análise de

entrelaçamento/chicote (WWAM). O SAM analisa os parâmetros de soldagem de usuário incluindo ângulo de percurso de soldagem, velocidade de percurso, ângulo de solda, posição e uma ponta para trabalhar a distância comparando os

5 parâmetros de soldagem para os dados armazenados em mesas de rebordo. O WWAM analisa os parâmetros de chicote de usuário incluindo espaçamento de dime, tempo de chicote e tempo de pudlagem. O WWAM também analisa os parâmetros de

10 entrelaçamento de usuário incluindo largura de entrelaçamento, espaçamento de entrelaçamento e tempo de entrelaçamento. O SAM e WWAM interpretam dados de entrada brutos (por exemplo, dados de posição e orientação) para dados úteis de maneira funcional por representação de gráfico. Para cada parâmetro analisado pelo SAM e WWAM, uma

15 janela de tolerância é definida pelos limites de parâmetro em torno de um ponto de ajuste ótimo ou ideal introduzidos em mesas de rebordo com o uso do editor de tolerância, 1221 e a funcionalidade de tolerância e de pontuação 1220 é realizada. O editor de tolerância 1221 inclui um medidor de

20 solda que aproxima o uso do material, uso elétrico e tempo de soldagem. Adicionalmente, quando determinados parâmetros estão fora de tolerância, descontinuidades de soldagem (isto é, defeitos de soldagem) podem ocorrer. O estado de quaisquer descontinuidades de soldagem é processado pela

25 funcionalidade de representação por gráfico 1214 e apresentado através da funcionalidade da interface de usuário gráfica 1213 em um formato gráfico. Essas descontinuidades de soldagem incluem tamanho de solda impróprio, fraca colocação de rebordo, rebordo côncavo,

convexidade excessiva, rebaixo, porosidade, fusão incompleta, aprisionamento de escória, enchimento excessivo, perfuração e respingo excessivo. De acordo com uma modalidade da presente invenção, o nível ou quantidade
5 de uma descontinuidade é dependente do quão distante um parâmetro de usuário particular está de um ponto de ajuste ótimo ou ideal.

Os limites de parâmetro diferentes podem ser pré-definidos por tipos diferentes de usuários como, por
10 exemplo, novatos em soldagem, experientes em soldagem e indivíduos em uma feira comercial. A funcionalidade de tolerância e pontuação 1220 fornece pontuações de número dependendo do quão próximo ao ótimo (ideal) um usuário está para um parâmetro particular e dependendo do nível de
15 descontinuidades ou defeitos presentes na solda. Os valores ótimos são derivados dos dados em mundo real. As informações da funcionalidade de tolerância e pontuação 1220 e da funcionalidade de representação por gráficos 1214 podem ser usadas pela funcionalidade de relato de estudante
20 1215 para criar um relato de desempenho para um instrutor e/ou um estudante.

O sistema 100 é capaz de analisar e exibir os resultados da atividade de soldagem virtual. Ao analisar os resultados, entende-se que o sistema 100 é capaz de
25 determinar quando durante o passe da soldagem e onde ao longo das juntas de solda, o usuário se desvia dos limites aceitáveis do processo de soldagem. Uma pontuação pode ser atribuída ao desempenho do usuário. Em uma modalidade, a pontuação pode ser uma função de desvio na posição,

orientação e velocidade da ferramenta de soldagem falsa 160
através das faixas de tolerância, que podem se estender de
um passe de soldagem ideal para marginal ou atividade de
soldagem inaceitável. Qualquer gradiente de faixas pode ser
5 incorporado no sistema 100 conforme escolhido para
pontuação do desempenho de usuário. A pontuação pode ser
exibida numericamente ou alfa numericamente.
Adicionalmente, o desempenho do usuário pode ser exibido
graficamente mostrando, em tempo e/ou posição ao longo da
10 junta de solda, o quão próximo a ferramenta de soldagem
falsa atravessou a junta de solda. Os parâmetros como
ângulo de percurso, ângulo de trabalho, velocidade e
distância da junta de solda são exemplos do que pode ser
medido, embora quaisquer parâmetros possam ser analisados
15 para propósitos de pontuação. As faixas de tolerância dos
parâmetros são retiradas dos dados de soldagem do mundo
real, dessa forma, fornecendo um retorno preciso de como o
usuário se desempenhará no mundo real. Em outra modalidade,
a análise dos defeitos correspondentes ao desempenho do
20 usuário também pode ser incorporada e exibida no ODD 150.
Nessa modalidade, um gráfico pode ser descrito indicando
que tipo de descontinuidade resultou da medição dos vários
parâmetros monitorados durante a atividade de soldagem
virtual. Enquanto as oclusões não estão visíveis no ODD
25 150, os defeitos ainda podem ocorrer como um resultado do
desempenho do usuário, sendo que os resultados do mesmo
ainda podem ser exibidos de maneira correspondente, isto é,
reproduzidos por gráficos.

A funcionalidade de sinais visuais 1219 fornece retorno imediato ao usuário ao exibir indicadores e cores sobrepostas no FMDD 140 e/ou no ODD 150. Os sinais visuais são fornecidos para cada dentre os parâmetros de soldagem 5 151 incluindo posição, ponta para o trabalho à distância, ângulo de solda, ângulo de percurso, velocidade de percurso e comprimento de arco (por exemplo, para soldagem de vara) e indicam visualmente ao usuário se algum aspecto da técnica de soldagem do usuário deveria ser ajustada com 10 base nas tolerâncias ou limites pré-definidos. Os sinais visuais também podem ser fornecidos para técnica de entrelaçamento/chicote e espaçamento de "dime" de rebordo de solda, por exemplo. Os sinais visuais podem ser configurados independentemente ou em qualquer combinação 15 desejada.

A funcionalidade de calibragem 1208 fornece a capacidade de emparelhar componentes físicos no espaço do mundo real (quadro 3D de referência) com componentes visuais no espaço de realidade virtual. Cada tipo diferente 20 de corpo de prova de soldagem (WC) é calibrado na fábrica pela montagem do WC no braço 173 da T/S 170 e toque do WC em pontos pré-definidos (indicados por, por exemplo, três dimples sobre o WC) com um estilo de calibragem conectado de maneira operativa ao ST 120. O ST 120 lê as intensidades 25 do campo magnético nos pontos pré-definidos, fornece informações de posição para a PPS 110, e a PPS 110 usa as informações de posição para desempenhar a calibragem (isto é, a translação do espaço do mundo real para o espaço da realidade virtual).

Qualquer tipo particular de WC se ajusta ao braço 173 da T/S 170 da mesma maneira possível de repetição que esteja de acordo com as tolerâncias muito restritas. Dessa forma, uma vez que um tipo de WC particular é calibrado, 5 aquele tipo de WC não precisa ser recalibrado (isto é, calibragem de tipo particular de WC é um evento único). Os WCs do mesmo tipo são intecambiáveis. A calibragem garante que o retorno físico percebido pelo usuário durante um processo de soldagem se emparelhe com o que é exibido para 10 o usuário no espaço de realidade virtual, tornando a simulação mais real possível. Por exemplo, se o usuário deslizar a ponta de uma MWT 160 em torno do canto de um WC real 180, o usuário verá a ponta deslizando em torno do canto do WC virtual sobre o FMDD 140 conforme o usuário 15 perceber a ponta deslizando em torno do canto real. De acordo com uma modalidade da presente invenção, a MWT 160 é colocada em um gabarito pré-posicionado e é assim calibrada, com base na posição de gabarito conhecida. De acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção, 20 corpos de prova "inteligentes" são fornecidos, tendo sensores nos mesmos, por exemplo, os cantos dos corpos de prova. O ST 120 é capaz de rastrear os cantos de um corpo de prova "inteligente" tal que o sistema 100 conheça continuamente onde o corpo de prova "inteligente" se 25 encontra no espaço 3D do mundo real. De acordo com uma modalidade alternativa adicional da presente invenção, as chaves de autorização são fornecidas para "desbloquear" os corpos de prova de soldagem. Quando um WC particular é adquirido, a chave de autorização é fornecida permitindo

que o usuário introduza a chave de autorização no sistema 100, desbloqueando o software associado àquele WC. De acordo com outra modalidade da presente invenção, corpos de prova de soldagem não padrão especiais podem ser fornecidos com base nos desenhos de CAD do mundo real de partes. Os usuários podem ser capazes de treinar na soldagem uma parte de CAD mesmo antes de a parte ser realmente produzida no mundo real.

A funcionalidade de conteúdo de som 1204 e os sons de soldagem 1205 fornecem tipos particulares de sons de soldagem que se alteram, dependendo, se determinados parâmetros de soldagem se encontram dentro da tolerância ou fora da tolerância. Os sons são embutidos aos vários parâmetros e processos de soldagem. Por exemplo, em um processo de soldagem por arco de aspersão MIG, um som de craqueamento é fornecido quando o usuário não tem a MWT 160 corretamente posicionada, e um som de sibilação é fornecido quando a MWT 160 está corretamente posicionada. Em um processo de soldagem por arco curto, um som de fritura ou craqueamento firme é fornecido para uma técnica de soldagem adequada e um som de sibilação pode ser fornecido quando um rebaixo estiver ocorrendo. Esses sons imitam os sons do mundo real correspondendo à técnica de soldagem correta e incorreta.

O conteúdo de som de alta fidelidade pode ser retirado de gravações do mundo real de soldagem real com o uso de uma variedade de meios mecânicos e eletrônicos, de acordo com várias modalidades da presente invenção. De acordo com uma modalidade da presente invenção, o volume

percebido e a direcionalidade de som são modificados dependendo da posição, orientação e distância da cabeça do usuário (assumindo que o usuário esteja usando um FMDD 140 que é rastreado pelo ST 120) com relação ao arco simulado
5 entre a MWT 160 e o WC 180. O SM pode ser fornecido ao usuário através de auto-falantes de fone de ouvido 910 no FMDD 140 ou através de auto-falantes configurados no console 135 ou T/S 170, por exemplo.

Os modelos de ambiente 1203 são fornecidos para
10 proporcionar várias cenas de fundo (estáticas e em movimento) no espaço da realidade virtual. Esses ambientes de fundo podem incluir, por exemplo, uma loja de soldagem caseira, uma pista de corrida ao ar livre, uma garagem, etc. e pode incluir carros em movimento, pessoas, pássaros,
15 nuvens e vários sons ambientais. O ambiente de fundo pode ser interativo, de acordo com uma modalidade da presente invenção. Por exemplo, um usuário deve inspecionar uma área de fundo, antes de iniciar a soldagem, a fim de garantir que o ambiente esteja apropriado (por exemplo, seguro) para
20 a soldagem. Os modelos de grampo e tocha 1202 são fornecidos os quais modelam vários MWTs 160 incluindo, por exemplo, pistolas, detentores com eletrodos revestidos, etc. no espaço de realidade virtual.

Os modelos de corpo de prova 1210 são fornecidos
25 os quais modelam vários WCs 180 incluindo, por exemplo, corpos de prova de placa plana, corpos de prova de junta em T, corpos de prova de junta de topo, corpos de prova de solda de sulco e corpos de prova de tubo (por exemplo, tubo com diâmetro de 2 polegadas e tubo com diâmetro de 6

polegadas) no espaço de realidade virtual. Um modelo de suporte/mesa 1206 é fornecido o qual modela as várias partes da T/S 170 incluindo uma mesa ajustável 171, um suporte 172, um braço ajustável 173 e um poste vertical 174
5 no espaço de realidade virtual. Um modelo de interface físico 1201 é fornecido o qual modela as várias partes da interface de usuário de soldagem 130, console 135 e ODD 150 no espaço de realidade virtual.

De acordo com uma modalidade da presente
10 invenção, a simulação de uma poça ou pudlagem da solda no espaço de realidade virtual é realizada onde a pudlagem da solda simulada tem fluidez de metal fundido em tempo real e características de dissipação de calor. No coração da
simulação de pudlagem da solda está a funcionalidade das
15 propriedades físicas de soldagem 1211 (conhecida como, o modelo físico) que é executada nas GPUs 115, de acordo com uma modalidade da presente invenção. A funcionalidade de propriedades físicas de soldagem emprega uma técnica de camada de deslocamento duplo para modelar precisamente uma
20 viscosidade/fluidez dinâmica, solidez, gradiente de calor (dissipação e absorção de calor), esteira de poça e formato de rebordo, e é descrita em maiores detalhes no presente documento com relação às Figuras 14A a 14C.

A funcionalidade de propriedades físicas de
25 soldagem 1211 se comunica com a funcionalidade de renderização de rebordo 1217 para renderizar um rebordo de solda em todos os estados desde o estado fundido aquecido até o estado solidificado resfriado. A funcionalidade de renderização de rebordo 1217 usa informações da

funcionalidade de propriedades físicas de soldagem 1211 (por exemplo, calor, fluidez, deslocamento, espaçamento de dîme) para renderizar precisa e realisticamente um rebordo de solda no espaço de realidade virtual em tempo real. A

5 funcionalidade de texturas 3D 1218 fornece mapas de textura para a funcionalidade de renderização de rebordo 1217 para sobrepor texturas adicionais (por exemplo, chamuscamento, escória, granulação) sobre o rebordo de solda simulado. Por exemplo, escória pode ser mostrada renderizada sobre um

10 rebordo de solda durante e imediatamente após um processo de soldagem e, então, removida para revelar o rebordo de solda sobreposto. A funcionalidade renderizadora 1216 é usada para renderizar várias características específicas de não pudlagem com o uso de informações do módulo de efeitos

15 especiais 1222 incluindo fagulhas, respingo, fumaça, brilho de arco, vapores e gases, e determinadas descontinuidades como, por exemplo, rebaixo e porosidade.

A ferramenta de ajuste de propriedades físicas internas 1212 é uma ferramenta de ajuste que permite que

20 vários parâmetros de propriedades físicas de soldagem sejam definidos, atualizados e modificados para os vários processos de soldagem. De acordo com uma modalidade da presente invenção, uma ferramenta de ajuste de propriedades físicas internas 1212 é executada na CPU 111 e os

25 parâmetros atualizados ou ajustados são transferidos por download para as GPUs 115. Os tipos de parâmetros que podem ser ajustados através da ferramenta de ajuste de propriedades físicas internas 1212 incluem parâmetros relacionados a corpos de prova de soldagem, parâmetros de

processo que permitem que um processo seja alterado sem que tenha que redefinir um corpo de prova de soldagem (permite a realização de um segundo passo), vários parâmetros globais que podem ser alterados sem a redefinição de toda a
5 simulação e vários outros parâmetros.

A Figura 13 é um fluxograma de uma modalidade de um método 1300 de treinamento com o uso do sistema de treinamento de realidade virtual 100 da Figura 1. Na etapa 1310, move-se uma ferramenta de soldagem falsa com relação
10 ao corpo de prova de soldagem de acordo com uma técnica de soldagem. Na etapa 1320, rastreia-se a posição e orientação da ferramenta de soldagem falsa no espaço tri-dimensional com o uso de um sistema de realidade virtual sistema. Na etapa 1330, visualiza-se uma exibição do sistema de
15 soldagem de realidade virtual que mostra uma simulação de realidade virtual em tempo real da ferramenta de soldagem falsa e o corpo de prova de soldagem em um espaço de realidade virtual à medida que a ferramenta de soldagem falsa simulada deposita um material de rebordo de solda
20 simulado sobre pelo menos uma superfície simulada do corpo de prova de soldagem simulado através da formação de uma pudlagem da solda simulada na proximidade de um arco simulado que emite a partir da dita ferramenta de soldagem falsa simulada. Na etapa 1340, visualizam-se no visor, as
25 características de fluidez de metal fundido em tempo real e de dissipação de calor da pudlagem da solda simulada. Na etapa 1350, se modifica em tempo real, pelo menos um aspecto da técnica de soldagem em resposta à visualização das características de fluidez de metal fundido em tempo

real e de dissipação de calor da pudlagem da solda simulada.

O método 1300 ilustra como um usuário é capaz de visualizar uma pudlagem da solda no espaço de realidade virtual e modificar sua técnica de soldagem em resposta à visualização de várias características da pudlagem da solda simulada, incluindo fluidez de metal fundido em tempo real (por exemplo, viscosidade) e dissipação de calor. O usuário também pode visualizar e responder a outras características incluindo esteira de poça em tempo real e espaçamento de dime. A visualização e resposta às características da pudlagem da solda são como a maioria das operações de soldagem que são atualmente realizadas no mundo real. A modelagem da camada de deslocamento duplo da funcionalidade de propriedades físicas de soldagem 1211 é executada nas GPUs 115 permitindo que tais características de fluidez de metal fundido em tempo real e de dissipação de calor sejam modeladas precisamente e representadas ao usuário. Por exemplo, a dissipação de calor determina o tempo de solidificação (isto é, quanto tempo leva para que um pixel de soldagem se solidifique completamente).

Adicionalmente, um usuário pode realizar um segundo passe sobre o material de rebordo de solda com o uso da mesma ou de uma diferente (por exemplo, uma segunda) ferramenta de soldagem falsa e/ou processo de soldagem. Nesse segundo cenário de passe, a simulação mostra a ferramenta de soldagem falsa simulada, o corpo de prova de soldagem e o material de rebordo de solda simulado original no espaço de realidade virtual à medida que a ferramenta de

soldagem falsa simulada deposita um segundo material de rebordo de solda simulado que se une ao primeiro material de rebordo de solda simulado através da formação de uma segunda pudlagem da solda simulada na proximidade de um arco simulado que emite a partir da ferramenta de soldagem falsa simulada. Os passes subsequentes adicionais com o uso das mesmas ou de diferentes ferramentas ou processos de soldagem podem ser realizados em um modo semelhante. Em qualquer segundo ou subsequente passe, o material de rebordo de solda anterior é unido com o novo material de rebordo de solda a ser depositado como uma nova pudlagem da solda formada no espaço de realidade virtual a partir da combinação de qualquer dentre os materiais de rebordo de solda anteriores, do novo material de rebordo de solda e, possivelmente, do material de corpo de prova sobreposto de acordo com determinadas modalidades da presente invenção. Esses passes subsequentes podem ser necessários para produzir uma solda de largo friso ou sulco, realizada para reparar um rebordo de solda formado por um passe anterior, por exemplo, ou pode incluir um passe a quente e uma ou mais passes de tampa e preenchimento após um passe de raiz conforme é feito na soldagem de tubos. De acordo com várias modalidades da presente invenção, material de base e de rebordo de solda pode incluir aço Tomás, aço inoxidável, alumínio, ligas com base de níquel ou outros materiais.

As Figuras 14A a 14B ilustram o conceito de um elemento de um mapa de deslocamento de soldagem (pixel de soldagem), de acordo com uma modalidade da presente invenção. A Figura 14A mostra uma vista lateral de um corpo

de prova de soldagem plano (WC) 1400 que tem uma superfície de topo plana 1410. O corpo de prova de soldagem 1400 existe no mundo real como, por exemplo, uma parte plástica e também existe no espaço de realidade virtual como um

5 corpo de prova de soldagem simulado. A Figura 14B mostra uma representação da superfície de topo 1410 do WC simulado 1400 rompido em uma rede ou arranjo de elementos de soldagem (isto é, pixels de soldagem) que forma um mapa de pixel de soldagem 1420. Cada pixel de soldagem (por

10 exemplo, pixel de soldagem 1421) define uma pequena porção da superfície 1410 do corpo de prova de soldagem. O mapa de pixel de soldagem define a resolução da superfície. Os valores do parâmetro de canal variáveis são designados para cada pixel de soldagem, permitindo que os valores de cada

15 pixel de soldagem alterem dinamicamente em tempo real no espaço de solda de realidade virtual durante um processo de soldagem simulado. Os valores do parâmetro de canal variáveis correspondem aos canais de pudlagem (deslocamento de fluidez de metal fundido/viscosidade), aquecimento

20 (dissipação/absorção de calor), deslocamento (deslocamento sólido) e extra (vários estados extras, por exemplo, escória, grão, chamusco, metal virgem). Esses canais variáveis são referidos no presente documento como PHED para Pudlagem, Aquecimento, Extra e Deslocamento,

25 respectivamente.

A Figura 15 ilustra uma modalidade exemplificadora de um espaço de corpo de prova e um espaço de solda do corpo de prova de soldagem plano (WC) 1400 da Figura 14 simulados no sistema 100 da Figura 1. Os pontos

O, X, Y e Z definem o espaço de corpo de prova 3D local. Em geral, cada tipo de corpo de prova define o mapeamento do espaço de corpo de prova 3D em relação ao espaço de solda de realidade virtual 2D. O mapa de pixel de soldagem 1420 da Figura 14 é um arranjo bidimensional de valores que mapeiam em relação ao espaço de solda na realidade virtual. Um usuário deve soldar do ponto B para o ponto E conforme mostrado na Figura 15. Uma linha de trajetória do ponto B para o ponto E é mostrada tanto no espaço de corpo de prova 10 34 quanto no espaço de solda 2D na Figura 15.

Cada tipo de corpo de prova define a direção de deslocamento para cada local no mapa de pixel de soldagem. Para o corpo de prova de soldagem plano da Figura 15, a direção de deslocamento é a mesma em todos os locais no 15 mapa de pixel de soldagem (isto é, na direção Z). As coordenadas de textura do mapa de pixel de soldagem são mostradas como S, T (às vzes, denominadas U, V) em ambos os espaço de corpo de prova 3D e espaço de solda 2D, a fim de esclarecer o mapeamento. O mapa de pixel de soldagem é 20 mapeado e representa a superfície retangular 1410 do corpo de prova de soldagem 1400.

A Figura 16 ilustra uma modalidade exemplificadora de um espaço de corpo de prova e um espaço de solda de um corpo de prova de soldagem de canto (junta em T)(WC) 1600 simulados no sistema 100 da Figura 1. O canto WC 1600 tem duas superfícies 1610 e 1620 no espaço de corpo de prova 3D que são mapeados em relação ao espaço de solda 2D conforme mostrado na Figura 16. Novamente, os pontos O, X, Y1 e Z definem o espaço de corpo de prova 3D 25

local. As coordenadas de textura do mapa de pixel de soldagem são mostradas como S, T em ambos os espaços de corpo de prova 3D e espaço de solda2D, a fim de esclarecer o mapeamento. Um usuário deve soldar do ponto B para o ponto E conforme mostrado na Figura 16. Uma linha de trajetória do ponto B para o ponto E é mostrada tanto no espaço de corpo de prova 3D quanto no espaço de solda 2D na Figura 16. No entanto, a direção de deslocamento é em direção à linha X'-O' conforme mostrado no espaço de corpo de prova3D, em direção ao canto oposto conforme mostrado na Figura 16.

A Figura 17 ilustra uma modalidade exemplificadora de um espaço de corpo de prova e um espaço de solda de um corpo de prova de soldagem em tubo (WC) 1700 simulados no sistema 100 da Figura 1. O tubo WC 1700 tem uma superfície curvada 1710 no espaço de corpo de prova 3D que é mapeado em relação ao espaço de solda 2D conforme mostrado na Figura 17. Novamente, os pontos O, X, Y e Z definem o espaço de corpo de prova 3D local. As coordenadas de textura do mapa de pixel de soldagem são mostradas como S, T tanto no espaço de corpo de prova 3D quanto no espaço de solda 2D, a fim de esclarecer o mapeamento. Um usuário deve soldar do ponto B para o ponto E ao longo de uma trajetória curvada conforme mostrado na Figura 17. Uma linha e curva de trajetória do ponto B para o ponto E é mostrada no espaço de corpo de prova 3D e no espaço de solda 2D, respectivamente, na Figura 17. A direção de deslocamento é para longe da linha Y-O (isto é, longe do centro do tubo). A Figura 18 ilustra uma modalidade

exemplificadora do corpo de prova de soldagem em tubo (WC) 1700 da Figura 17. O tubo WC 1700 é feito de um plástico não condutor não ferroso e simula duas peças de tubulação 1701 e 1702 que formam, juntas, uma junta de raiz 1703. Uma
5 peça de fixação 1704 para fixar à arm 173 do T/S 170 também é mostrada. Da mesma maneira que um mapa de textura pode ser mapeado em relação a uma área de superfície retangular de uma geometria, um mapa de pixel de soldagem soldável pode ser mapeado em relação a uma superfície retangular de
10 um corpo de prova de soldagem. Cada elemento do mapa soldável é designado como um pixel de soldagem no mesmo sentido que cada elemento de uma figura é designado como um pixel (uma contração de elemento de figura). Um pixel contém canais de informação que definem a cor (por exemplo,
15 vermelho, verde, azul, etc.). Um pixel de soldagem contém canais de informação (por exemplo, P, H, E, D) que definem uma superfície soldável no espaço de realidade virtual.

De acordo com uma modalidade da presente invenção, o formato de um pixel de soldagem é sumarizado
20 como canais PHED (Pudlagem, Calor, Extra, Deslocamento) que contém quatro números de ponto flutuante. O canal Extra é tratado como um conjunto de bits que armazena informação lógica sobre o pixel de soldagem como, por exemplo, se há ou não escória no local de pixel de soldagem. O canal de
25 Pudlagem armazena um valor de deslocamento para qualquer metal liquefeito no local de pixel de soldagem. O canal de Armazenamento armazena um valor de deslocamento para o metal solidificado no local de pixel de soldagem. O canal de Calor armazena um valor que fornece a magnitude de calor

no local de pixel de soldagem. Desta maneira, a parte soldável do corpo de prova pode mostrar deslocamento devido a um rebordo soldado, uma "pudlagem" de superfície trêmula devido ao metal líquido, cor devido ao calor, etc. Todos
5 estes efeitos são alcançados através dos sombreadores de pixel e vértice aplicados à superfície soldável.

De acordo com uma modalidade da presente invenção, um mapa de deslocamento e um sistema de partícula são usados onde as partículas podem interagir entre si e
10 colidir com o mapa de deslocamento. As partículas são partículas de fluido dinâmico virtual e fornecem o comportamento líquido da pudlagem de solda, mas não são diretamente renderizadas (isto é, não são diretamente avistadas). Ao invés disso, apenas os efeitos de partícula
15 sobre o mapa de deslocamento são vistos. A entrada de calor em um pixel de soldagem afeta o movimento de partículas próximas. Existem dois tipos de deslocamento envolvidos na simulação de uma pudlagem de soldagem que inclui Pudlagem e Deslocamento. A pudlagem é "temporária" e dura apenas
20 enquanto existem partículas e calor presentes. O deslocamento é "permanente". O deslocamento de pudlagem é o metal líquido da soldagem que muda rapidamente (por exemplo, tremula) e pode ser pensado como estando "no topo" do Deslocamento. As partículas sobrepõem uma porção de um
25 mapa de deslocamento de superfície virtual (isto é, um mapa de pixel de soldagem). O Deslocamento representa o metal sólido permanente incluindo tanto o metal base inicial quanto o rebordo de solda que foi solidificado.

De acordo com uma modalidade da presente invenção, o processo de soldagem simulada no espaço de realidade virtual funciona como segue: o fluxo de partículas do emissor (emissor do MWT simulado 160) sob a
5 forma de um cone delgado. As partículas fazem o primeiro contato com a superfície do corpo de prova de soldagem simulada onde a superfície é definida por um mapa de pixel de soldagem. As partículas interagem entre si e com o mapa de pixel de soldagem e acumulam em tempo real. É adicionado
10 mais calor quanto mais próximo um pixel de soldagem estiver de um emissor. O calor é modelado em dependência da distância do ponto de arco e a quantidade de tempo que o calor é admitido do arco. Determinadas visualizações (por exemplo, cor, etc.) são acionadas pelo calor. A pudlagem de
15 solda é desenhada ou renderizada no espaço de realidade virtual para pixels de soldagem que têm calor suficiente. Onde quer que seja aquecido o suficiente, o mapa de pixel de soldagem liquefaz, fazendo com que o deslocamento de Pudlagem "eleve" para aqueles locais de pixel de soldagem.
20 O deslocamento de Pudlagem é determinado através da amostragem das partículas "mais elevadas" em cada local de pixel de soldagem. Enquanto o emissor se move ao longo da trajetória de solda, os locais de pixel de soldagem são resfriados. O calor é removido de um local de pixel de
25 soldagem a uma taxa particular. Quando é alcançado um limite de resfriamento, o mapa de pixel de soldagem solidifica. Como tal, o deslocamento de Pudlagem é gradualmente convertido para Deslocamento (isto é, um rebordo solidificado). O Deslocamento adicionado é

equivalente à Pudlagem removida de tal modo que a altura geral não altere. As vidas úteis de partícula são alteradas ou ajustadas para persistirem até que a solidificação se complete. Determinadas propriedades de partícula que são
5 modeladas no sistema 100 incluem atração/repulsão, velocidade (relacionada ao calor), amortecimento (relacionado à dissipação de calor), direção (relacionada à gravidade).

As Figuras 19A a 19C ilustram uma modalidade
10 exemplificadora do conceito do modelo de pudlagem de deslocamento duplo (deslocamento e partículas) do sistema 100 da Figura 1. Os corpos de prova de soldagem são simulados em espaço de realidade virtual que têm ao menos uma superfície. As superfícies do corpo de prova de
15 soldagem são simuladas em espaço de realidade virtual como uma camada de deslocamento duplo incluindo uma camada de deslocamento sólido e uma camada de deslocamento de pudlagem. A camada de deslocamento de pudlagem é capaz de modificar a camada de deslocamento sólido.

20 Conforme descrito no presente documento, a "pudlagem" é definida por uma área do mapa de pixel de soldagem em que o valor de Pudlagem foi elevado pela presença de partículas. O processo de amostragem está representado nas Figuras 19A a 19C. Uma seção de um mapa de
25 pixel de soldagem é mostrada tendo sete pixels de soldagem adjacentes. Os valores de Deslocamento de corrente estão representados através de barras retangulares não sombreadas 1910 de uma determinada altura (isto é, um determinado deslocamento para cada pixel de soldagem). Na Figura 19A,

as partículas 1920 são mostradas como pontos não sombreados arredondados colidindo com os níveis de Deslocamento de corrente e são empilhados. Na Figura 19B, as alturas de partícula "mais elevada" 1930 são provadas em cada local de pixel de soldagem. Na Figura 19C, os retângulos sombreados 1940 quanto Pudlagem foi adicionada ao topo do Deslocamento como resultado das partículas. A altura de pudlagem de solda não é configurada instantaneamente em relação aos valores provados já que a Pudlagem é adicionada a uma taxa de liquificação particular com base no Calor. Embora ao mostrado nas Figuras 19A a 19C, é possível visualizar o processo de solidificação enquanto a Pudlagem (retângulos sombreados) encolhem gradualmente e o Deslocamento (retângulos não sombreados) cresce gradualmente de baixo para tomar o lugar exatamente da Pudlagem. Desta maneira, as características de fluidez de metal fundido em tempo real são precisamente simuladas. Enquanto um usuário pratica um processo de soldagem particular, o usuário é capaz de observar as características de fluidez do metal fundido e as características de dissipação de calor da pudlagem de solda em tempo real no espaço de realidade virtual e usar essa informação para ajustar ou manter sua técnica de soldagem.

O número de pixels de soldagem que representam a superfície de um corpo de prova de soldagem é fixo. Além disto, as partículas de pudlagem que são geradas pela simulação a fim de modelar a fluidez são temporárias, conforme descrito no presente documento. Portanto, uma vez que uma pudlagem inicial é gerada no espaço de realidade

virtual durante um processo de soldagem simulada com o uso do sistema 100, número de pixels de soldagem mais partículas de pudlagem tende a permanecer relativamente constante. Isto se dá devido ao fato de que o número de
5 pixels de soldagem que foram processados é fixo e o número de partículas de pudlagem que existem e são processadas durante o processo de soldagem tende a permanecer relativamente constante devido ao fato de que as partículas de pudlagem são criadas e "destruídas" a uma taxa similar
10 (isto é, as partículas de pudlagem são temporárias). Portanto, a carga de processamento do PPS 110 permanece relativamente constante durante uma sessão de soldagem simulada.

De acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção, as partículas de pudlagem podem ser
15 geradas na ou abaixo da superfície do corpo de prova de soldagem. Em tal modalidade, o deslocamento pode ser modelado como sendo positivo ou negativo em relação ao deslocamento de superfície original de um corpo de prova virgem (isto é, não soldado). Desta maneira, as partículas de pudlagem podem não apenas acumular sobre a superfície de um corpo de prova de soldagem, mas também pode penetrar o
20 corpo de prova de soldagem. No entanto, o número de pixels de soldagem ainda é fixo e as partículas de pudlagem que são criadas e destruídas ainda é relativamente constante.
25

De acordo com modalidades alternativas da presente invenção, ao invés de partículas de modelagem, pode ser fornecido um mapa de pixel de soldagem de deslocamento tendo mais canais para modelar a fluidez da

puçagem. Ou, ao invés de partículas de modelagem, um mapa de pixel de volume denso pode ser modelado. Ou, ao invés de um mapa de pixel de soldagem, apenas partículas podem ser modeladas que são provadas e nunca se movem. Tais
5 modalidades alternativas, no entanto, podem não fornecer uma carga de processamento relativamente constante para o sistema.

Além disto, de acordo com uma modalidade da presente invenção, é simulado um buraco de fechadura ou de
10 sopro atravessante ao tirar o material. Por exemplo, se um usuário mantém um arco no mesmo local por muito tempo, no mundo real, o material poderia queimar formando um furo. Tal queima de mundo real é simulada no sistema 100 através de técnicas de dizimação de pixel de soldagem. Se a
15 quantidade de calor absorvido por um pixel de soldagem for determinada como muito elevada pelo sistema 100, aquele pixel de soldagem pode ser sinalizado ou designado como sendo queimado e renderizado como tal (por exemplo, renderizou como um furo). Subsequentemente, no entanto,
20 pode ocorrer a reconstituição de pixel de soldagem para determinados processos de soldagem (por exemplo, soldagem de tubulação) onde o material é adicionado de volta após ser inicialmente queimado. Em geral, o sistema 100 simula dizimação de pixel de soldagem (retirada de material) e
25 reconstituição de pixel de soldagem (isto é, adicionar material de volta). Além disto, a remoção de material na soldagem de passe de raiz é apropriadamente simulada no sistema 100.

Além disto, a remoção de material na soldagem de passe de raiz é apropriadamente simulada no sistema 100. Por exemplo, no mundo real, a trituração do passe de raiz pode ser realizada antes dos passes de soldagem subsequentes. De modo similar, o sistema 100 pode simular um passe de trituração que remove material da junta de solda virtual. Será observado que o material removido pode ser modelado como um deslocamento negativo no mapa de pixel de soldagem. Isto quer dizer que o passe de trituração remove material que é modelado pelo sistema 100 resultando em um contorno de rebordo alterado. A simulação do passe de trituração pode ser automática, o que significa dizer que o sistema 100 remove uma espessura predeterminada de material, que pode ser em relação à superfície do rebordo de solda de passe de raiz.

Em uma modalidade alternativa, uma ferramenta de trituração real, ou triturador, pode ser simulado que liga e desliga através da ativação da ferramenta de soldagem falsa 160 ou outro dispositivo de entrada. Observou-se que a ferramenta de trituração pode ser simulada para ser similar a um triturador do mundo real. Nesta modalidade, o usuário manobra a ferramenta de trituração ao longo no passe de raiz para remover o material em resposta ao movimento disto. Será compreendido que se pode permitir ao usuário remover muito material. Em uma maneira similar à descrita acima, furos ou outros defeitos (descritos acima) podem resultar se o usuário tritura demais o material. Ainda, podem ser implantadas limitações ou interrupções,

isto é, programados, para evitar que o usuário remova muito material ou para indicar quando muito material é removido.

Em adição às partículas de "pudlagem" não visíveis conforme descrito no presente documento, o sistema

5 100 também usa três outros tipos de partículas visíveis para representar efeitos de Faísca, Chama e Arco, de acordo com uma modalidade da presente invenção. Estes tipos de não interagem com outras partículas de qualquer tipo, mas interagem apenas com o mapa de deslocamento. Enquanto estas

10 partículas colidem com a superfície de solda simulada, as mesmas não interagem entre si. Apenas partículas de Pudlagem interagem entre si, de acordo com uma modalidade da presente invenção. As propriedades físicas das partículas de Faísca são configuradas de tal modo que as

15 partículas de Faísca saltitam e são renderizadas como pontos brilhantes no espaço de realidade virtual. As propriedades físicas das partículas de Arco são configuradas de tal modo que as partículas de Arco atinjam a superfície do rebordo de solda ou corpo de prova simulado e permaneçam por um instante. As partículas de Arco são

20 renderizadas como pontos branco-azulados turvos maiores no espaço de realidade virtual. Isto leva muitos destes pontos sobrepostos para formar qualquer tipo de imagem visual. O resultado final é um nimbo brilhante branco com bordas

25 azuis.

As propriedades físicas das partículas de Chama são modeladas para se elevarem vagarosamente a montante. As partículas de Chama são renderizadas como pontos vermelho-amarelados turvos de tamanho médio. Isto leva muitos destes

pontos sobrepostos para formar qualquer tipo de imagem visual. O resultado final são gotas de chamas laranja-avermelhadas com bordas vermelhas se elevando a montante e se desbotando. Outros tipos de partículas de não pudlagem
5 podem ser implantados no sistema 100, de acordo com outras modalidades da presente invenção. Por exemplo, as partículas de fumaça podem ser modeladas e simuladas de maneira similar às partículas de chama.

As etapas finais na visualização simulada são
10 manuseadas pelos sombreadores de pixel e vértice fornecidos pelos sombreadores 117 das GPUs 115. Os sombreadores de pixel e vértice aplicam Pudlagem e Deslocamento, bem como a refletividade e as cores da superfície se alteram devido ao calor, etc. O canal Extra (E) do formato de pixel de
15 soldagem PHED, conforme discutido anteriormente no presente documento, contém toda a informação extra usado por pixel de soldagem. De acordo com uma modalidade da presente invenção, a informação extra inclui um bit não virgem (verdadeiro=rebordo, falso=aço virgem), um bit de escória,
20 um valor rebaixado (quantidade de rebaixo neste pixel de soldagem onde zero é igual a nenhum rebaixo), um valor de porosidade (quantidade de porosidade neste pixel de soldagem onde zero é igual a nenhuma porosidade) e um valor de esteira de rebordo que encodifica o tempo no qual o
25 rebordo se solidifica. Existe um conjunto de mapas de imagem associado a diferentes visualizações de corpo de prova incluindo aço virgem, escória, rebordo e porosidade. Estes mapas de imagem são usados para mapeamento de textura e mapeamento de ressaltos. A quantidade de mistura destes

mapas de imagem é controlada através das várias sinalizações e valores descritos no presente documento.

Um efeito esteira de rebordo é alcançado através do uso de um mapa de imagem 1D e valor de efeito esteira de rebordo por pixel de soldagem que encodifica o tempo no qual um determinado bit de rebordo é solidificado. Uma vez que um local de pixel de soldagem de pudragem a quente já não é mais quente o suficiente para ser chamado de "pudragem", um tempo é economizado naquele local e é denominado "efeito esteira". O resultado final é que o código do sombreador é capaz de usar o mapa de textura 1D para desenhar as "ondulações" que fornecem a um rebordo sua aparência única que retrata a direção na qual o rebordo foi colocado. De acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção, o sistema 100 é capaz de simular, no espaço de realidade virtual, e exibir um rebordo de solda que tem uma característica de esteira de rebordo de solda em tempo real que resulta de uma transição de fluidez para solidificação em tempo real da pudragem de solda simulada, enquanto a pudragem de solda simulada é movida ao longo de uma trajetória de solda.

De acordo com uma modalidade alternativa da presente invenção, o sistema 100 é capaz de ensinar um usuário como detectar problemas de uma máquina de soldagem. Por exemplo, um modo de detecção de problemas do sistema pode treinar um usuário a se assegurar que o sistema foi configurado pelo próprio corretamente (por exemplo, taxa de fluxo de gás correta, fio de alimentação conectado corretamente, etc.) De acordo com outra modalidade

alternativa da presente invenção, o sistema 100 é capaz de registrar e reproduzir uma sessão de soldagem (ou ao menos uma porção de uma sessão de soldagem, por exemplo, N quadros). Pode ser fornecida uma bola de rastreamento para rolagem através dos quadros de vídeo, permitindo ao usuário ou instrutor criticar uma sessão de soldagem. A reprodução pode ser fornecida também a velocidades selecionáveis (por exemplo, velocidade total, velocidade mediana, um quarto de velocidade). De acordo com uma modalidade da presente invenção, pode ser fornecida uma reprodução em tela dividida, permitindo que duas sessões de soldagem sejam vistas lado a lado, por exemplo, no ODD 150. Por exemplo, uma a sessão de soldagem "satisfatória" pode ser vista próxima a uma sessão de soldagem "não satisfatória" para propósitos de comparação.

Em resumo, é descrito um sistema de soldagem de realidade virtual em tempo real incluindo um subsistema com base em um processador programável, um rastreador espacial conectado de forma operável ao subsistema com base em um processador programável, em que ao menos uma ferramenta de soldagem falsa capaz de ser espacialmente rastreada pelo rastreador espacial e ao menos um dispositivo de exibição está conectado de forma operável ao subsistema com base em um processador programável. O sistema é capaz de simular, no espaço de realidade virtual, uma pudlagem de solda que tem características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real. O sistema é capaz, ainda, de exibir a pudlagem de solda simulada no dispositivo de exibição em tempo real.

Enquanto a invenção foi descrita com referência a determinadas modalidades, será compreendido por aquele elemento versado na técnica que várias mudanças podem ser feitas e equivalentes podem ser substituídos sem se
5 distanciar do escopo da invenção. Em adição, muitas modificações podem ser feitas para adaptar um material ou situação particular aos ensinamentos da invenção sem se distanciar de seu escopo. Portanto, entende-se que a invenção não se limita à modalidade particular descrita,
10 mas que a invenção irá incluir todas as modalidades que se situam dentro do escopo das reivindicações em anexo.

Referências numéricas:

100 sistema	150 dispositivo de exibição de observador
110 subsistema com base em um processador	151 parâmetros de soldagem
111 unidade de processamento central	152 estados de descontinuidade de soldagem
115 unidades de processamento de gráfico	153 exibir seleções de usuário
116 computar arquitetura de dispositivo unificado	160 ferramenta de soldagem falsa
117 sombreador	161 retentor
118 saída de vídeo	162 eletrodo revestido simulado
119 saída de vídeo	163 ponta resistente ao passe de raiz
120 rastreador	170 tabela/plataforma
espacial	171 tabela ajustável
121 fonte magnética	172 plataforma ou base
122 sensor	173 braço ajustável
123 disco	174 poste vertical
124 fonte de energia	175 corpo de prova de soldagem
125 cabos	176 raiz
126 unidade de rastreamento de processador	177 porção de conexão
130 interface de usuário de soldagem	180 corpo de prova de soldagem
131 botões	900 capacete de soldagem
132 joystick	910 alto-falante de fone de ouvido
133 botão de controla	1201 interface física
134 botão de controla	1202 modelos de grampo e tocha
135 console de soldagem	1203 modelos de ambiente
136 botão de controla	1204 funcionalidade de conteúdo de som
137 botão de controla	1205 sons de soldagem
140 dispositivo de exibição montado frontalmente	1600 corpo de prova de soldagem
1206 modelo de abela/plataforma	1610 superfície
1207 funcionalidade de arquitetura interna	1620 superfície
1208 funcionalidade de calibração	1700 corpo de prova
1210 modelos de	

corpo de prova	de soldagem de tubulação
1211 propriedades	1701 peça de
físicas de soldagem	tubulação
1212 ferramenta de	1702 peça de
ajuste de propriedades físicas	tubulação
internas	
1213 funcionalidade	1703 junta de raiz
de interface de usuário de	
gráfico	
1214 funcionalidade	1704 peça de fixação
de representação gráfica	
1215 estudante	1710 superfície
relata funcionalidade	curvada
1216 renderizador	1910 barras
	retangulares não sombreadas
1217 renderização	1920 partículas
de rebordo	
1218 texturas em 3D	1930 alturas de
	partículas
1219 funcionalidade	1940 retângulos
de sinais visuais	sombreados
1220 funcionalidade	6010 selecionar taxa
de tolerância e pontuação	de fluxo /tipo de gás
1221 editor de	7018 selecionar tipo
tolerância	de eletrodo revestido
1222 efeitos	
especiais	
1300 método	
1310 etapa	
1320 etapa	
1330 etapa	
1340 etapa	
1350 etapa	
1400 corpo de prova	
de soldagem plano	
1410 superfície de	
topo plana	
1420 mapa de	
deslocamento	
1421 pixel de	
soldagem	

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de soldagem de realidade virtual (100) **caracterizado** pelo fato de compreender:

um subsistema programável com base em um processador (110);

um rastreador espacial (120) conectado de forma operável ao dito subsistema programável com base em um processador (110);

ao menos uma ferramenta de soldagem falsa (160) capaz de ser espacialmente rastreada pelo dito rastreador espacial (120); e

ao menos um dispositivo de exibição conectado de forma operável ao dito subsistema programável com base em um processador (110),

sendo que o dito sistema (100) é capaz de simular, em um espaço de realidade virtual, uma pudlagem de solda que tem características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real e exibir a dita pudlagem de solda simulada no dito ao menos um dispositivo de exibição (150) em tempo real.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que as ditas características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real da dita pudlagem de solda simulada fornecem um retorno visual em tempo real para um usuário da dita ferramenta de soldagem falsa (160) quando exibida no dito ao menos um dispositivo de exibição, permitindo que o dito usuário ajuste ou mantenha uma técnica de soldagem em tempo real em resposta ao dito retorno visual em tempo real.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que dita ao menos um dispositivo de exibição inclui ao menos um dispositivo de exibição montado frontalmente (140) capaz de ser espacialmente rastreado pelo dito rastreador espacial (160).

4. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de que o dito subsistema com base em um processador programável (110) inclui ao menos uma unidade de processamento de gráfico (GPU) (115).

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que as ditas características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real da dita pudlagem de solda simulada são geradas por um modelo de propriedades físicas (1211) que opera na dita ao menos uma GPU (115).

6. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato de a dita pudlagem de solda simulada compreende, no dito espaço de realidade virtual, uma pluralidade de partículas de fluido dinâmico virtual temporárias que se sobrepõem a uma porção de um mapa de deslocamento de superfície virtual (1420).

7. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de que o dito subsistema com base em um processador programável (110) suporta a implantação de algoritmos paralelos de dados.

8. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado** pelo fato de compreender, ainda, uma interface de usuário de soldagem

(130) que simula uma interface de usuário de fonte de energia de soldagem de mundo real.

9. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizado** pelo fato de que o dito sistema (100) é capaz de simular, no dito espaço de realidade virtual, um rebordo de solda que tem uma característica de esteira de rebordo de solda em tempo real que resulta de uma transição de fluidez para solidificação em tempo real da dita pudlagem de solda simulada enquanto a pudlagem de solda simulada é movida, e que exibe o dito rebordo de solda simulado no dito ao menos um dispositivo de exibição.

10. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado** pelo fato de compreender, ainda, um corpo de prova de soldagem (1600) que tem ao menos uma superfície e que simula uma parte de mundo real a ser soldada, sendo que a dita ao menos uma superfície do dito corpo de prova de soldagem (1600) é simulada no dito espaço de realidade virtual como uma camada de deslocamento duplo que inclui uma camada de deslocamento sólido e uma camada de deslocamento de pudlagem, sendo que a dita camada de deslocamento de pudlagem é capaz de modificar a dita camada de deslocamento sólido.

11. Método de treinamento com o uso de um sistema de soldagem de realidade virtual (100), de acordo, em particular, com uma dentre as reivindicações 1 a 10, **caracterizado** pelo fato de que o dito método compreende:

mover uma primeira ferramenta de soldagem falsa

(160) em relação a um corpo de prova de soldagem (1400, 1600) de acordo com uma primeira técnica de soldagem;

rastrear a dita primeira ferramenta de soldagem falsa (160) no espaço tri-dimensional com o uso do dito sistema de soldagem de realidade virtual (100);

visualizar uma exibição do dito sistema de soldagem de realidade virtual (100) que mostra uma simulação de realidade virtual em tempo real da dita primeira ferramenta de soldagem falsa (160) e o dito corpo de prova de soldagem (1400, 1600) em um espaço de realidade virtual enquanto a dita primeira ferramenta de soldagem falsa simulada (160) deposita um primeiro material de rebordo de solda simulado sobre ao menos uma superfície simulada do dito corpo de prova de soldagem simulada (1400, 1600) ao formar uma pudlagem de solda simulada nas redondezas de um arco simulado que emite da dita primeira ferramenta de soldagem falsa simulada (160);

visualizar, no dito display, as primeiras características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real da dita primeira pudlagem de solda simulada; e

modificar, em tempo real, ao menos m aspecto da dita primeira técnica de soldagem em resposta à visualização das ditas primeiras características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real da dita primeira pudlagem de solda simulada.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de compreender, ainda:

Mover uma segunda ferramenta de soldagem falsa em

relação ao dito corpo de prova de soldagem de acordo com uma segunda técnica de soldagem;

Rastrear a dita segunda ferramenta de soldagem falsa no espaço tri-dimensional com o uso do dito sistema de soldagem de realidade virtual;

visualizar a dita exibição do dito sistema de treinamento de realidade virtual que mostra a dita simulação de realidade virtual em tempo real da dita segunda ferramenta de soldagem falsa, o dito corpo de prova de soldagem e o dito primeiro material de rebordo de solda simulado no dito espaço de realidade virtual enquanto a dita segunda ferramenta de soldagem falsa simulada deposita um segundo material de rebordo de solda simulada unido ao dito primeiro material de rebordo de solda simulado ao formar uma segunda pudlagem de solda simulada nas redondezas de um arco simulado que emite da dita segunda ferramenta de soldagem falsa simulada;

visualizar, na dita exibição, as segundas características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real da dita segunda pudlagem de solda simulada; e

modificar, em tempo real, ao menos um aspecto da dita segunda técnica de soldagem em resposta à visualização das ditas segundas características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real da dita segunda pudlagem de solda simulada.

13. Método, de acordo com a reivindicação 11 ou 12, **caracterizado** pelo fato de compreender, ainda:

mover a dita primeira ferramenta de soldagem

falsa (160) em relação ao dito corpo de prova de soldagem falso (1400, 1600) de acordo com a segunda técnica de soldagem; continuar o rastreamento da dita primeira ferramenta de soldagem falsa (160) no espaço tri-dimensional com o uso do dito sistema de soldagem de realidade virtual;

visualizar a dita exibição do dito sistema de treinamento de realidade virtual que mostra a dita simulação de realidade virtual em tempo real da dita primeira ferramenta de soldagem falsa, o dito corpo de prova de soldagem e o dito primeiro material de rebordo de solda simulado no dito espaço de realidade virtual enquanto a dita primeira ferramenta de soldagem falsa simulada deposita um segundo material de rebordo de solda simulada que se une ao dito primeiro material de rebordo de solda simulado ao formar uma segunda pudlagem de solda simulada nas redondezas do dito arco simulado que emite da dita primeira ferramenta de soldagem falsa simulada;

visualizar, na dita exibição, as segundas características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real da dita segunda pudlagem de solda simulada; e

modificar, em tempo real, ao menos um aspecto da dita segunda técnica de soldagem em resposta à visualização das ditas segundas características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real da dita segunda pudlagem de solda simulada.

14. Método, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato de que dita exibição está presente

sobre um dispositivo de exibição montado frontalmente (140) ou sobre um dispositivo de exibição de observador (150) ou sobre um dispositivo de exibição de observador.

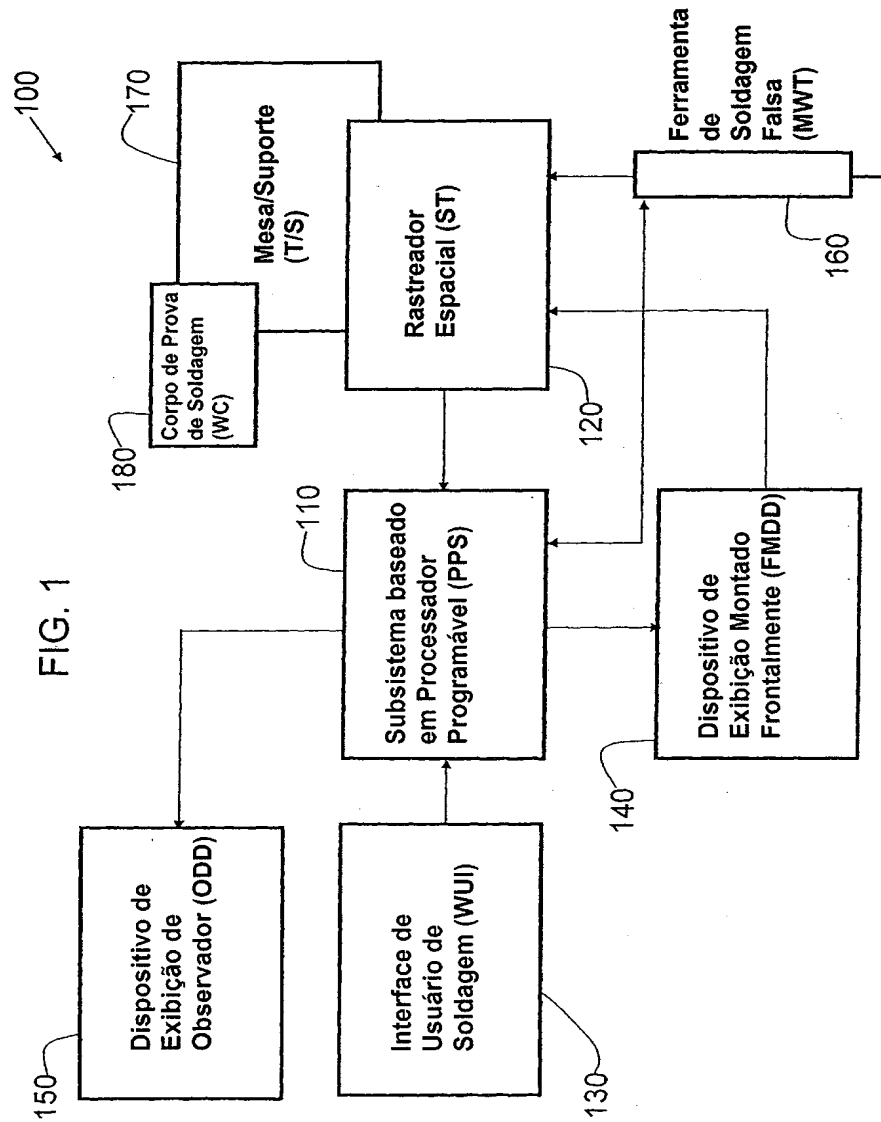
15. Simulação de soldagem **caracterizada** pelo fato de compreender:

meios para simular uma característica de fluidez de metal fundido em tempo real de uma pudlagem de solda simulada; e

meios para simular uma característica de dissipação de calor em tempo real da dita pudlagem de solda simulada.

16. Simulação de soldagem, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizada** pelo fato de compreender, ainda, meios para simular uma característica de esteira de rebordo de solda em tempo real de uma solda simulada e resposta a uma técnica de soldagem de um usuário.

17. Simulação de soldagem, de acordo com a reivindicação 15 ou 16, **caracterizada** pelo fato de compreender, ainda, meios para simular um estado de rebaixo, um estado de porosidade e/ou um estado de perfuração de uma solda simulada induzida por uma técnica de soldagem de um usuário.



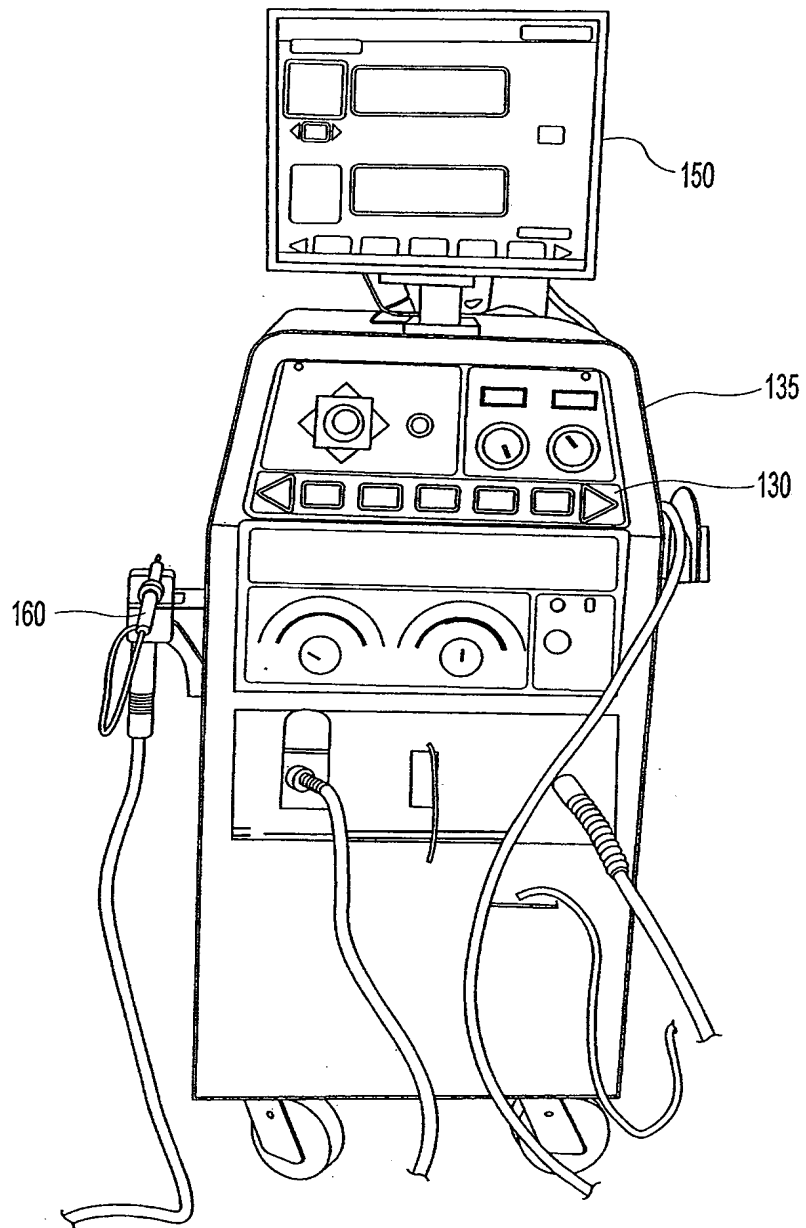


Fig. 2

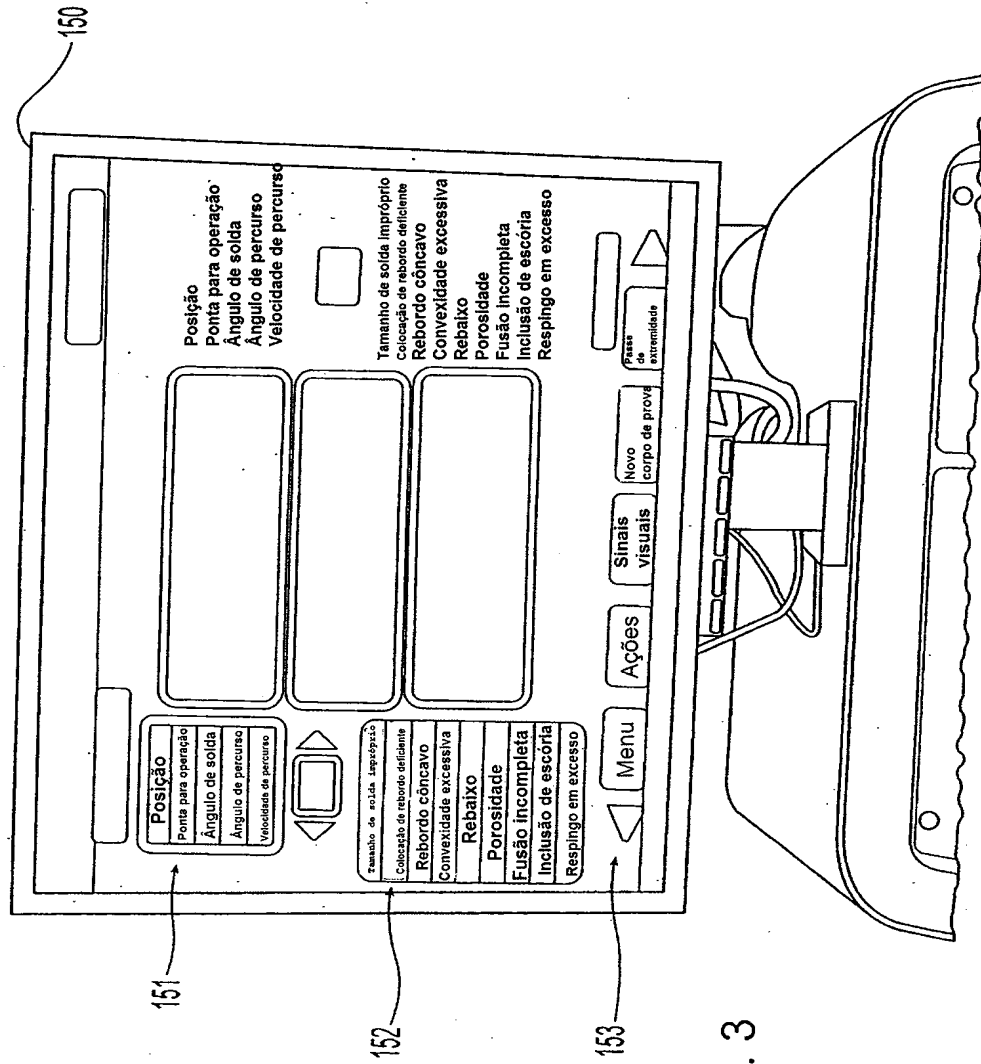


Fig. 3

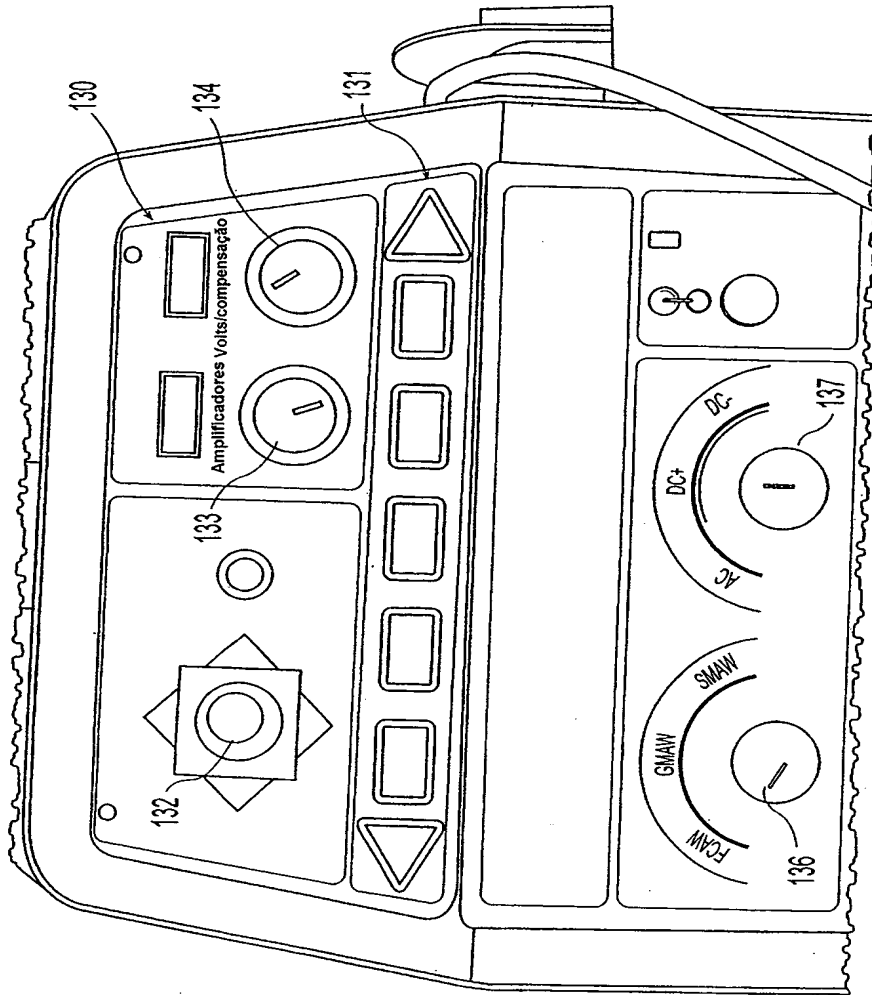


Fig. 4

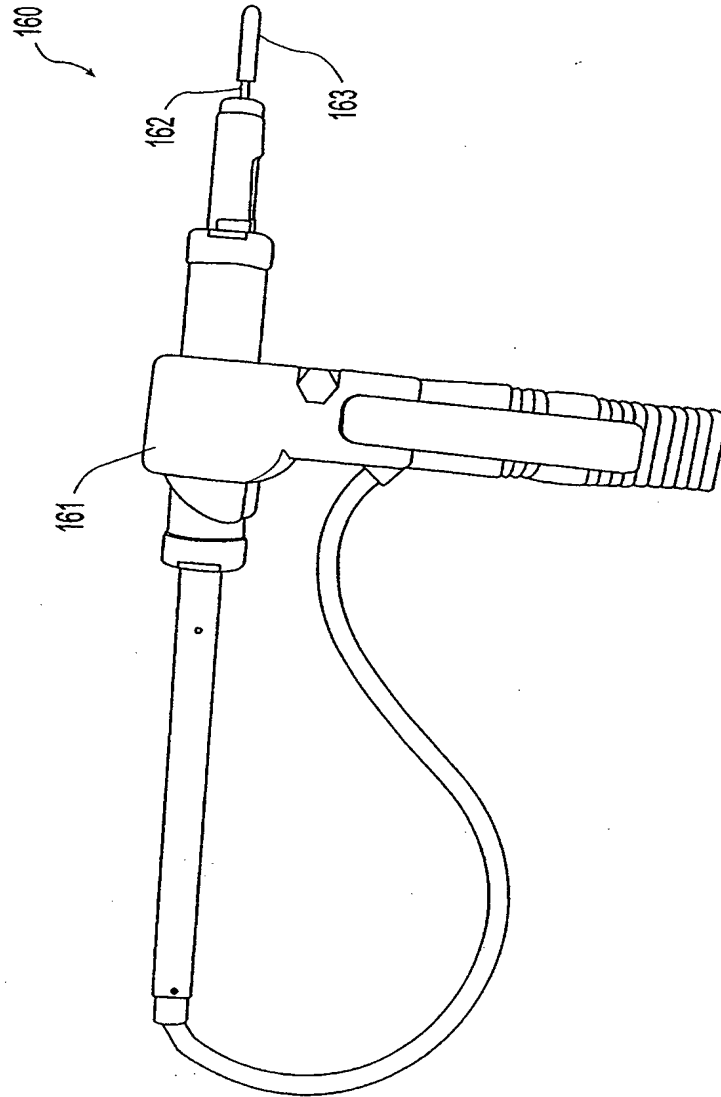


Fig. 5

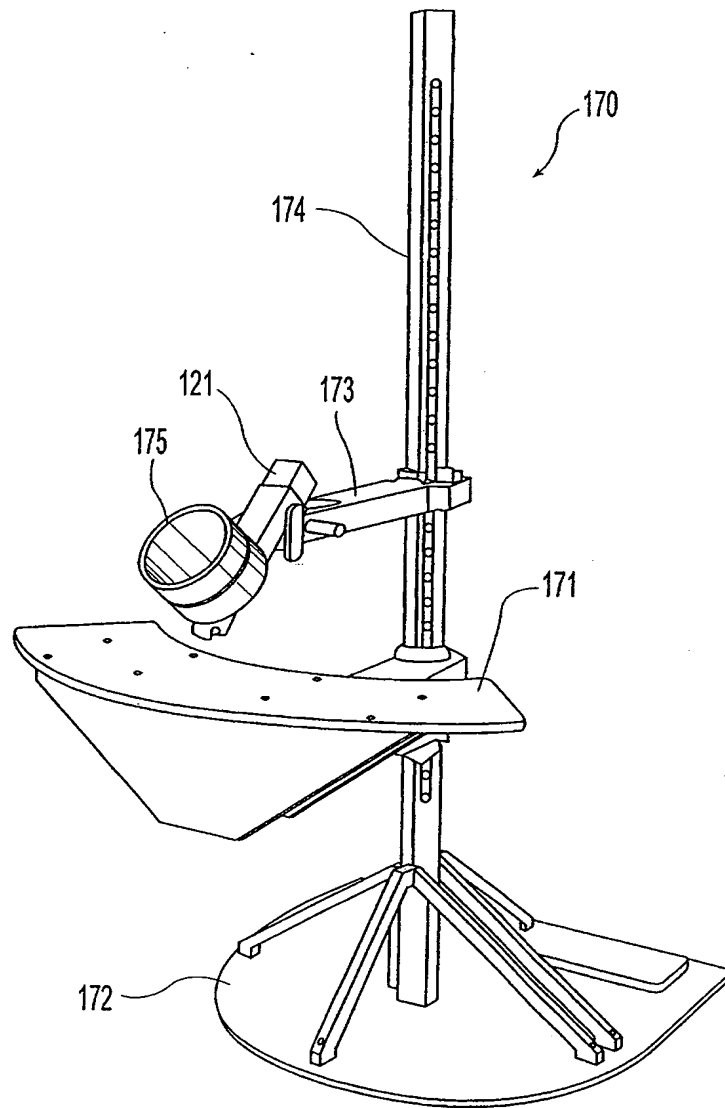


Fig. 6

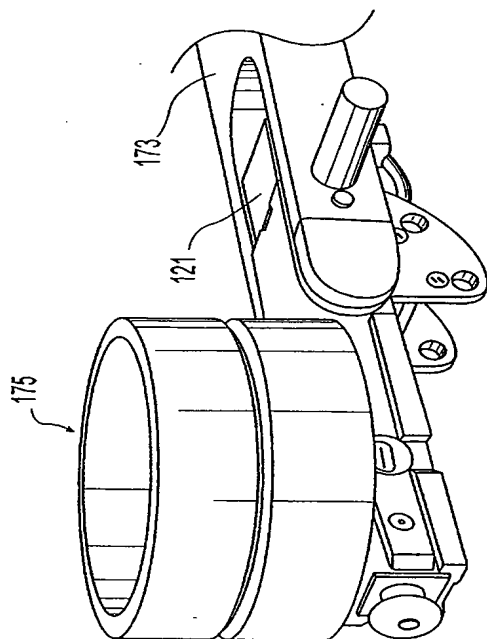


Fig. 7B

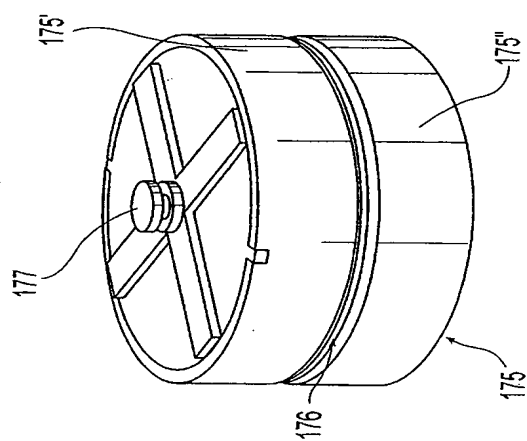


Fig. 7A

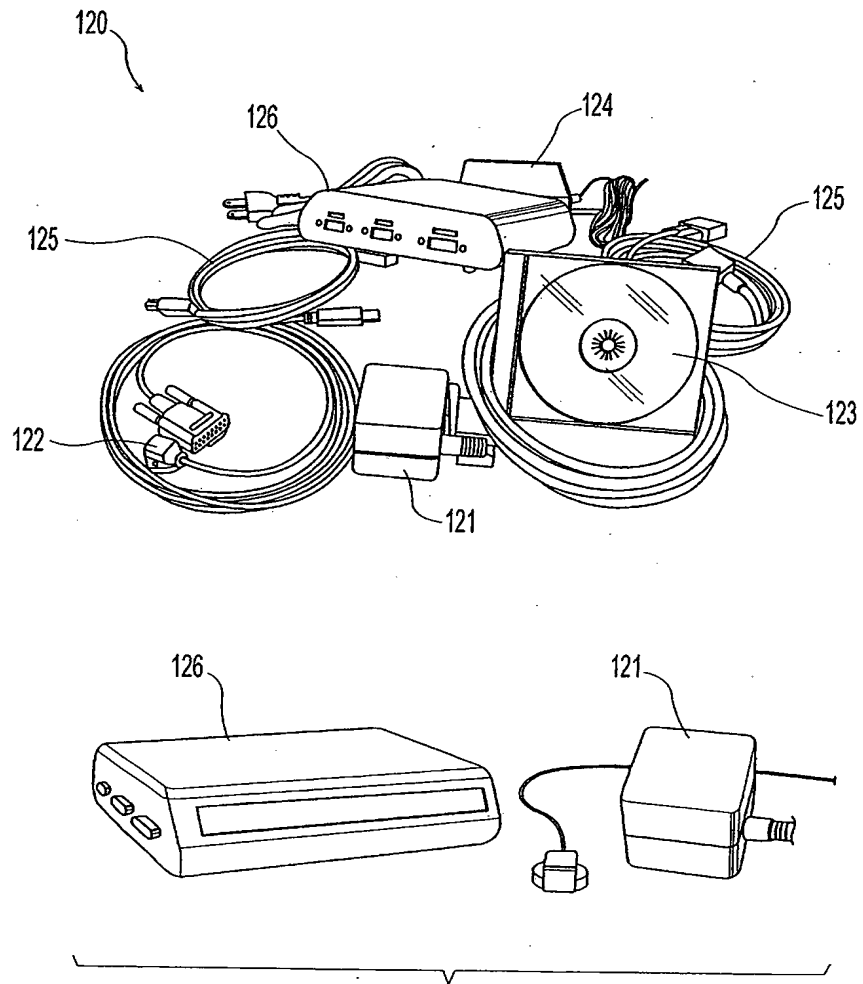


Fig. 8

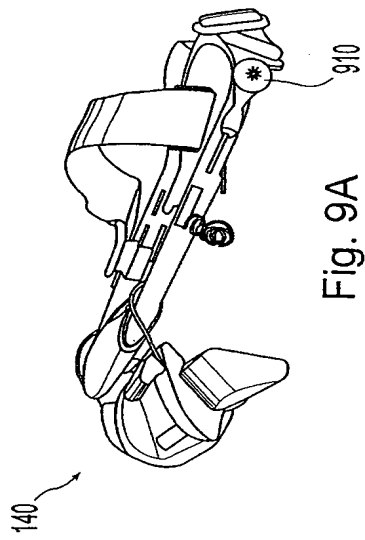


Fig. 9A

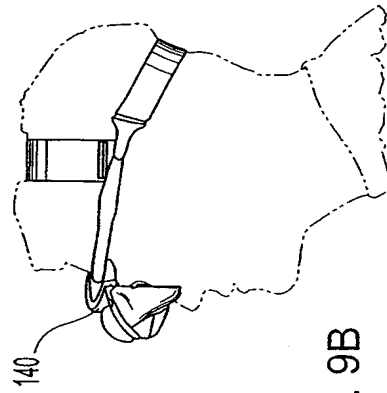


Fig. 9B

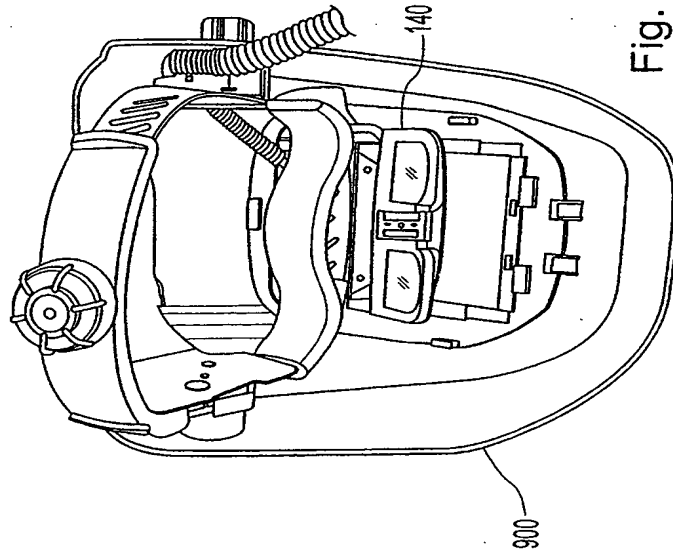


Fig. 9C

FIG. 10

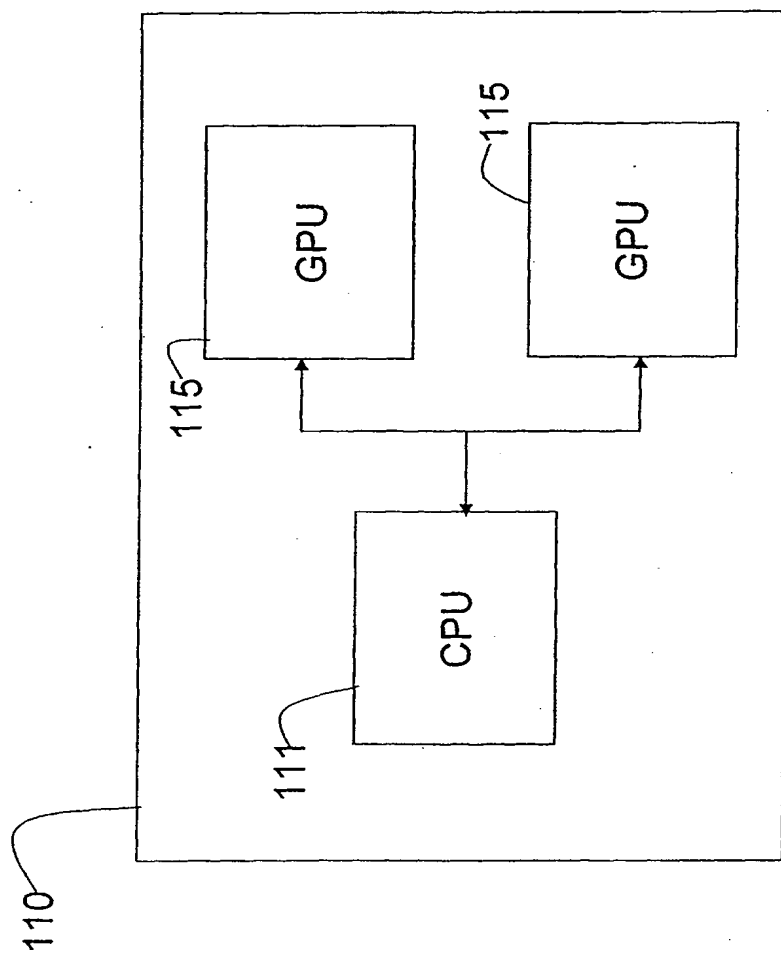
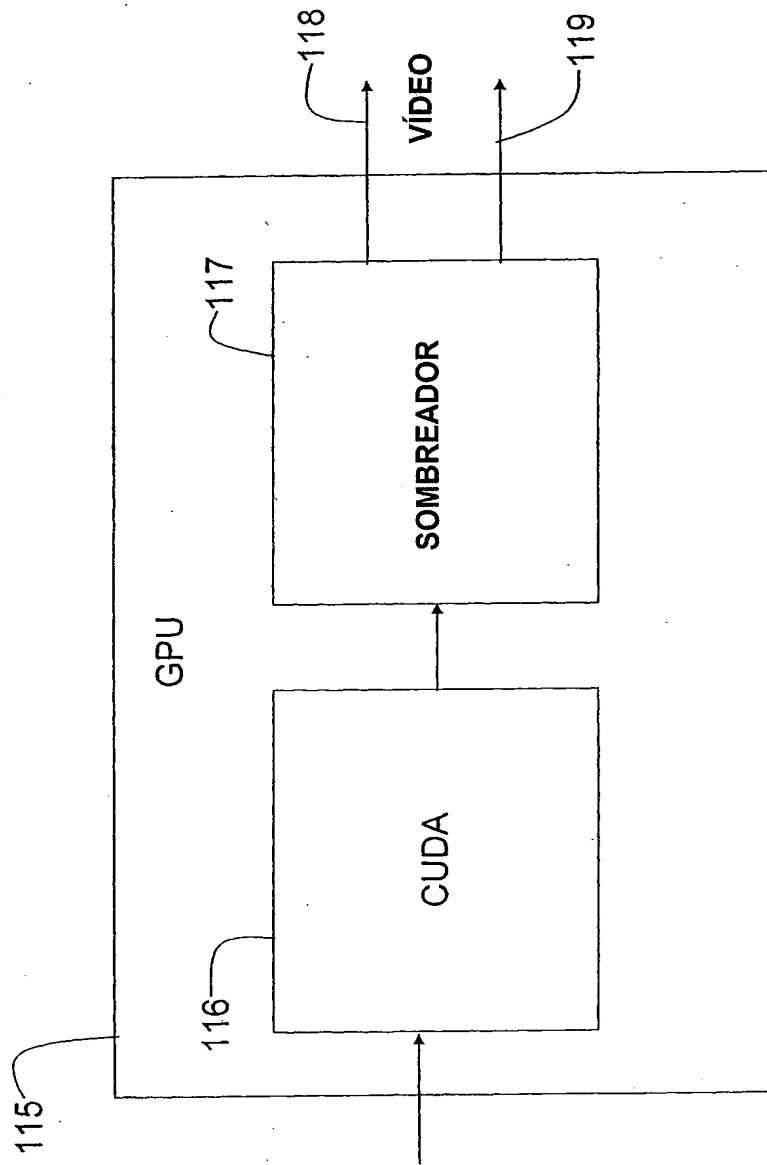


FIG. 11



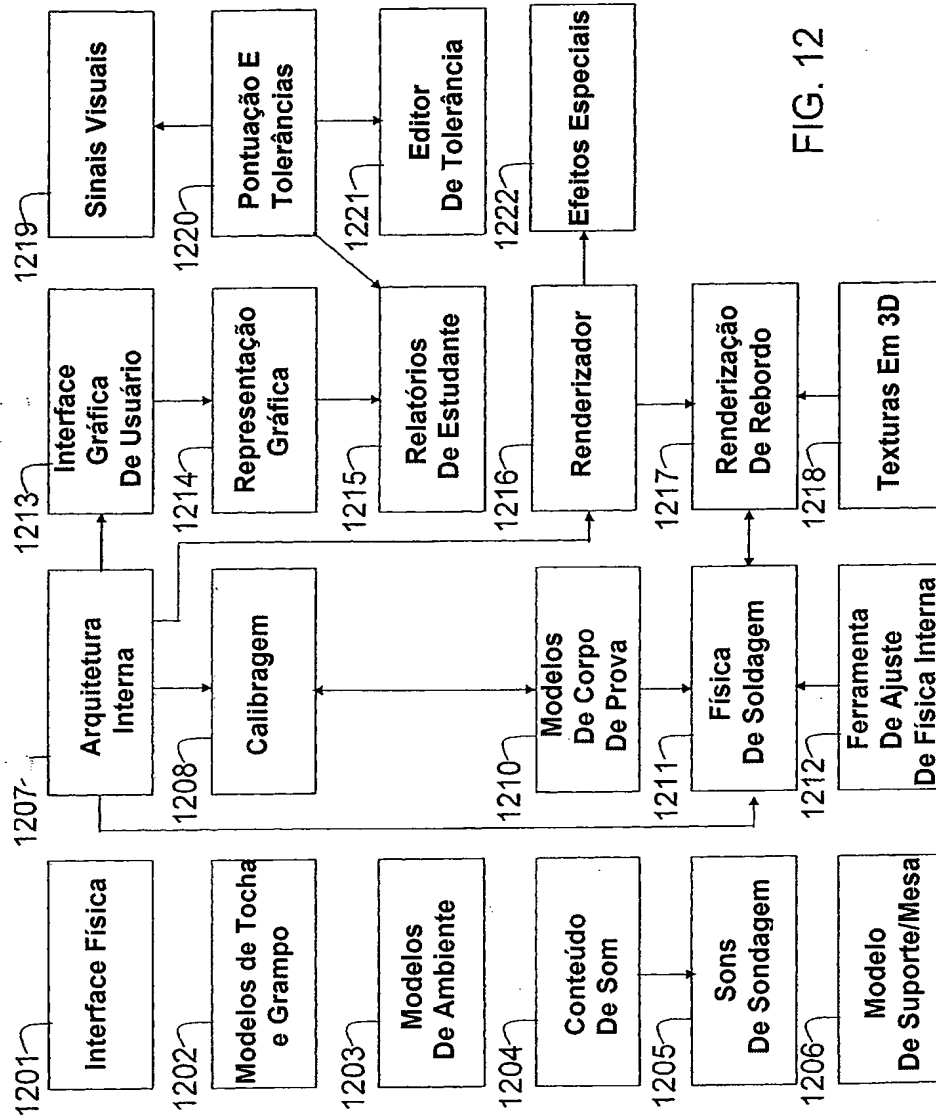
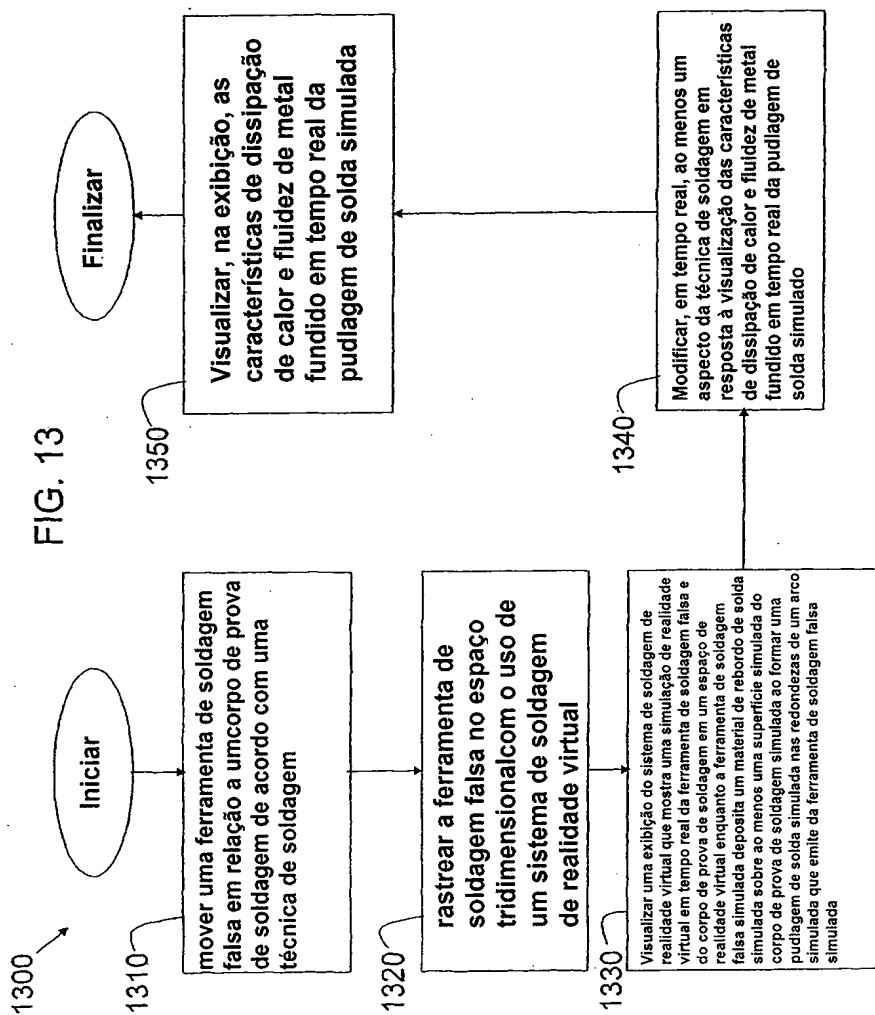


FIG. 12



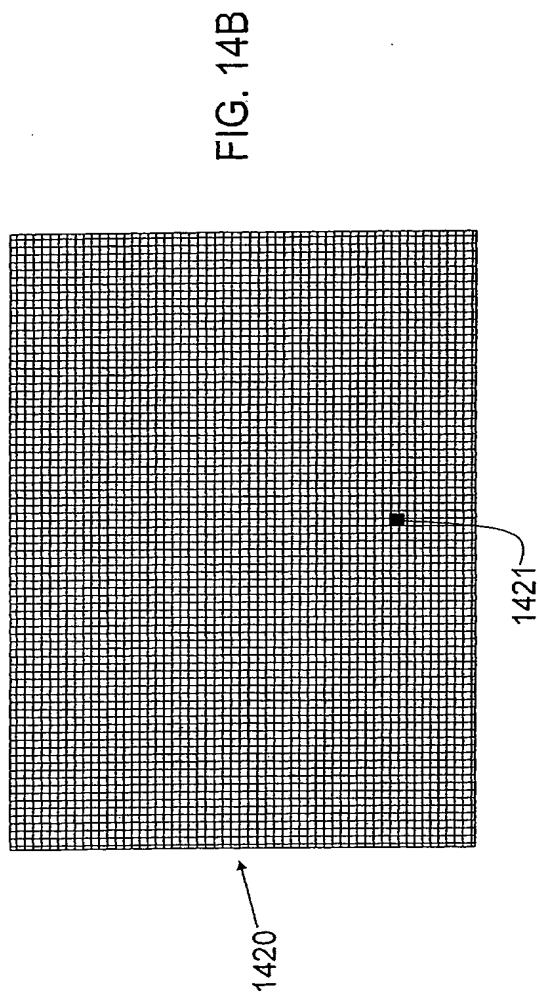
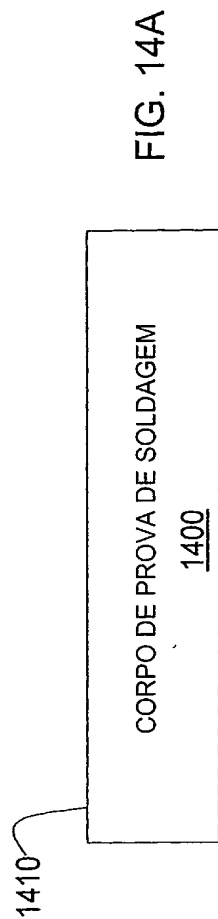


FIG. 15

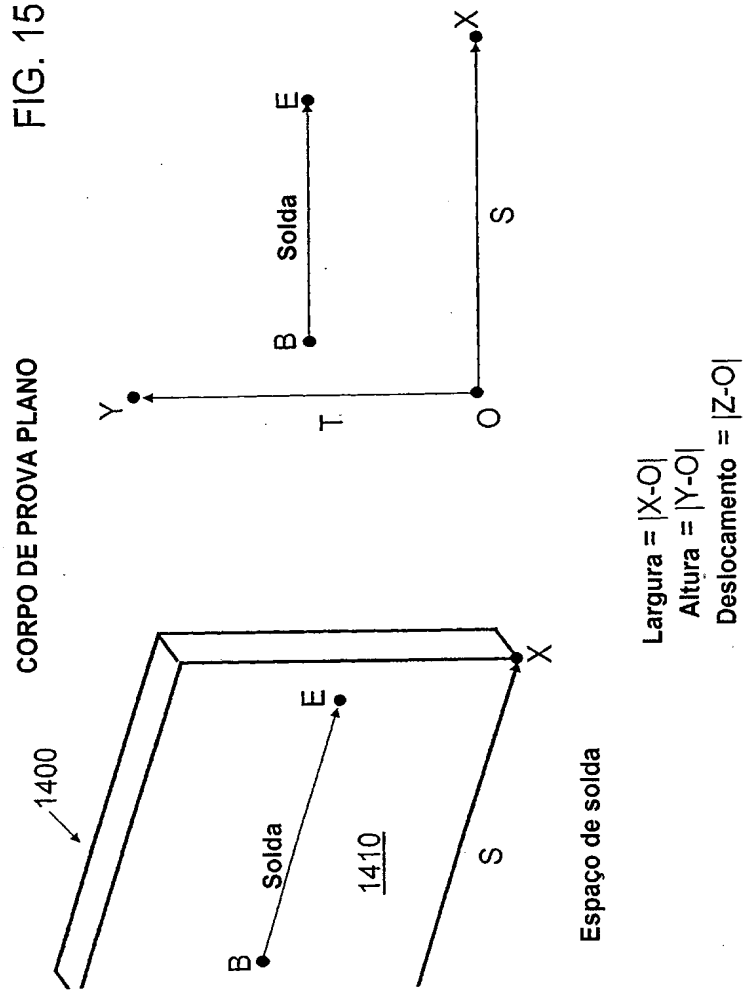
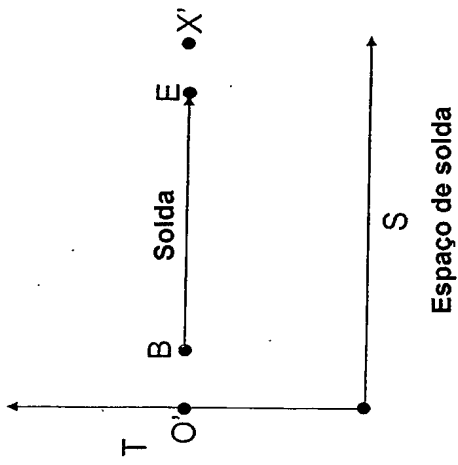
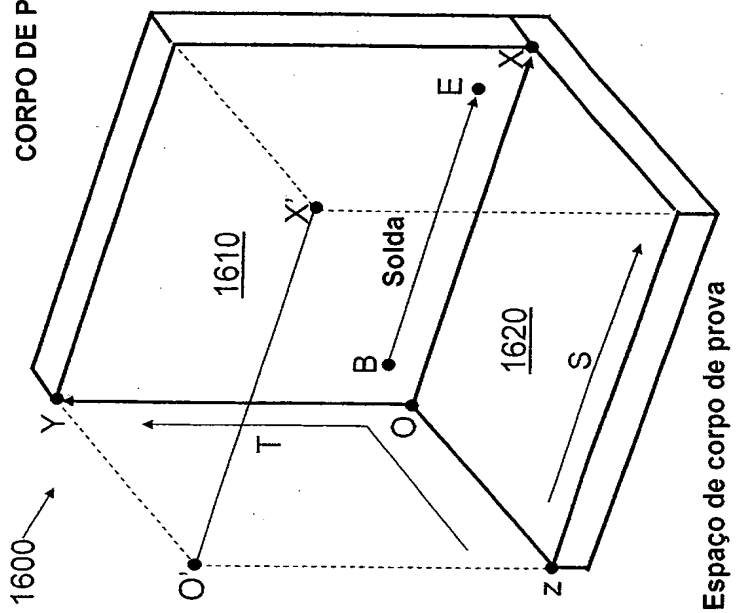


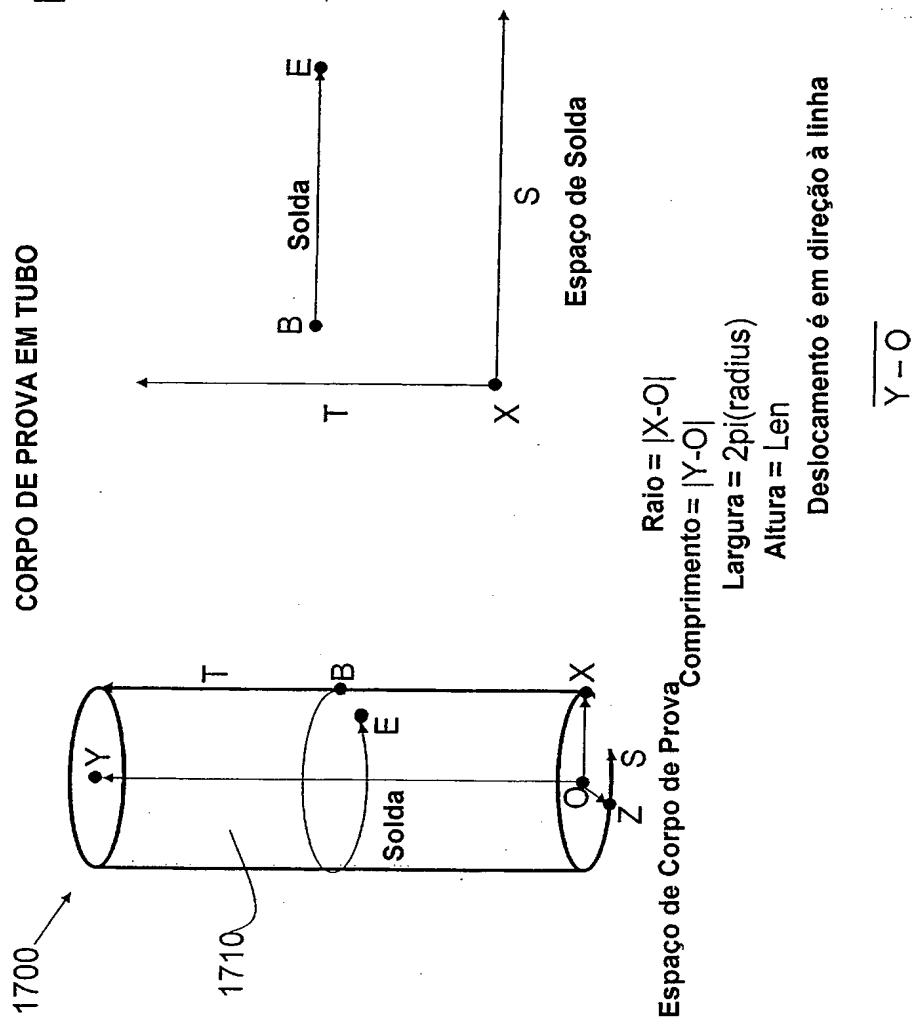
FIG. 16

CORPO DE PROVA DE CANTO



Largura = $|X-O|$
Altura = $|Y-O| + |Z-O|$
 $O' = Z + Y - O$
 $X' = O' + X - O$
Deslocamento é em direção à linha
 $\overline{X'-O'}$

FIG. 17



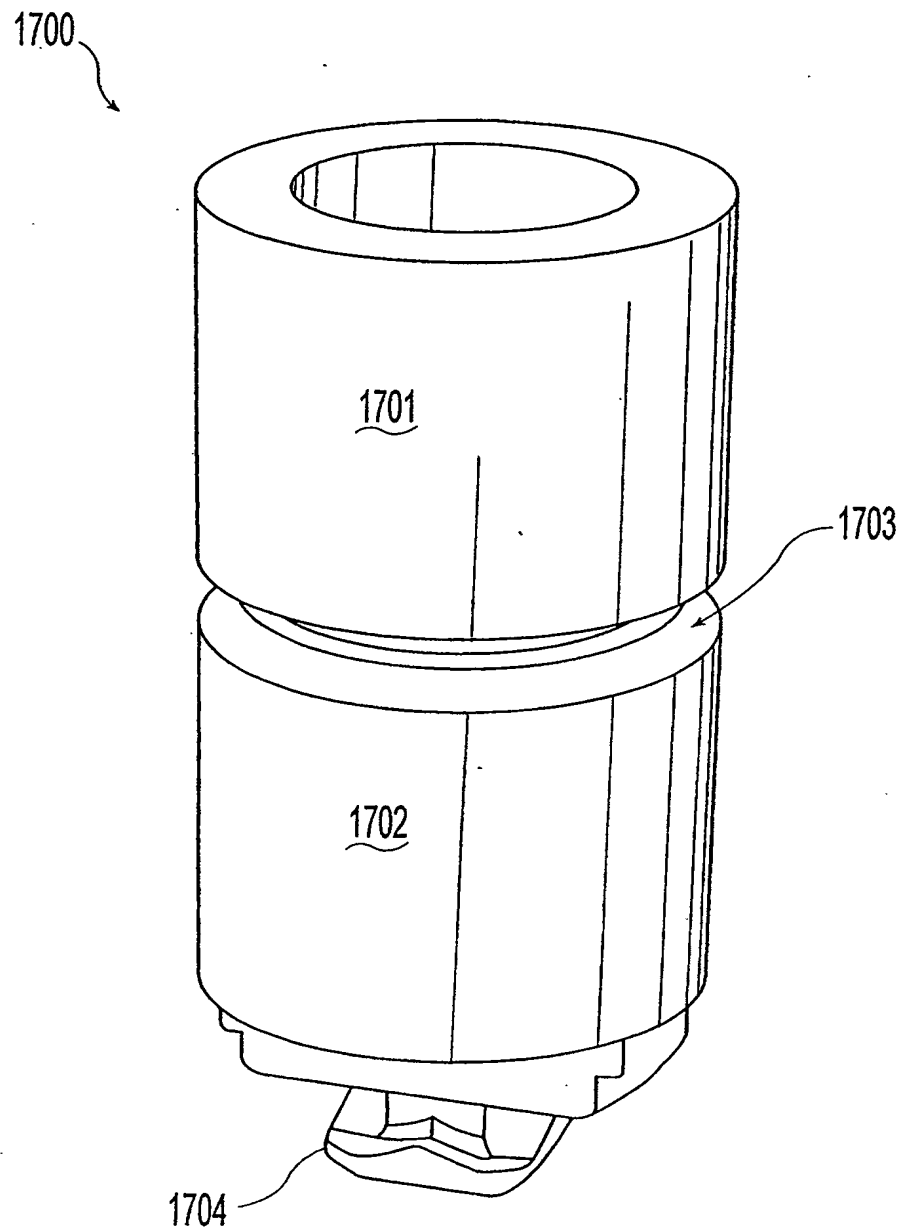


Fig. 18

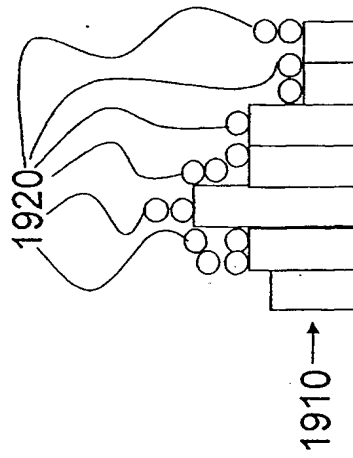


FIG. 19A

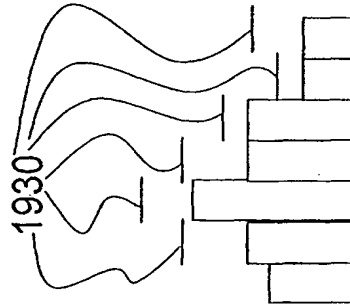


FIG. 19B

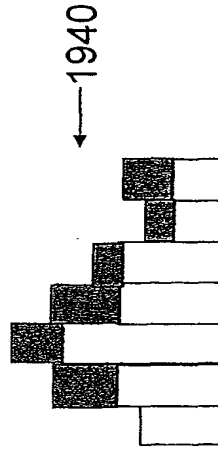


FIG. 19C

RESUMO

"SISTEMA DE SOLDAGEM DE REALIDADE, MÉTODO DE TREINAMENTO COM O USO DE UM SISTEMA DE SOLDAGEM DE REALIDADE VIRTUAL E SIMULAÇÃO DE SOLDAGEM."

5 Um sistema de soldagem de realidade virtual em tempo real que inclui um subsistema com base em um processador programável, um rastreador espacial conectado de forma operável ao subsistema com base em um processador programável, ao menos uma ferramenta de soldagem falsa
10 capaz de ser espacialmente rastreado pelo rastreador espacial e ao menos one dispositivo de exibição conectado de forma operável ao subsistema programável com base em um processador. O sistema é capaz de simular, no espaço de realidade virtual, uma pudlagem de solda que tem
15 características de dissipação de calor e fluidez de metal fundido em tempo real. O sistema é capaz, ainda, de exibir a pudlagem de solda simulada no dispositivo de exibição em tempo real.