



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

(21) **PI 0614518-3 A2**

(22) Data de Depósito: 31/07/2006  
(43) Data da Publicação: 27/11/2012  
(RPI 2186)



(51) *Int.Cl.:*  
G06K 9/00

(54) **Título:** SISTEMA PARA FORMAÇÃO DE IMAGENS EM UMA BARRA ALONGADA

(30) **Prioridade Unionista:** 02/08/2005 US 11/194.985

(73) **Titular(es):** OG TECHNOLOGIES, INC.

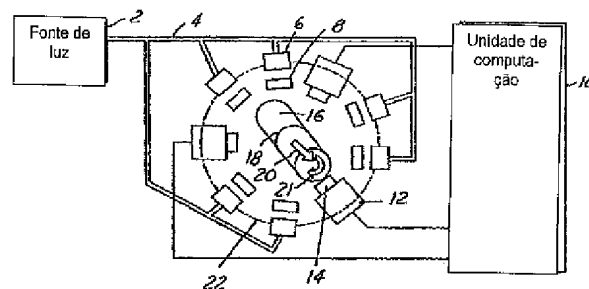
(72) **Inventor(es):** Daniel Gutches, Hsun-Hau Huang, Tzyy-Shuh Chang

(74) **Procurador(es):** BHERING ADVOGADOS

(86) **Pedido Internacional:** PCT US2006029884 de 31/07/2006

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/016544de 08/02/2007

(57) **Resumo:** SISTEMA PARA FORMAÇÃO DE IMAGENS EM UMA BARRA ALONGADA. A presente invenção visa resolver os problemas associados à detecção de defeitos de superfícies em barras de metal assim como problemas associados à aplicação de sistemas de inspeção de superfícies planas de metal para barras de metal para detecção de defeitos de superfícies não-destrutivos. Um sistema de formação de imagens projetado especialmente, que é compreendido por uma unidade de computação, luzes de linha e câmeras de varredura de linha de taxas de dados alta, é desenvolvido com o propósito acima mencionado. A aplicação alvo são as barras de corte transversal igual ou menor do que 4,25 quando a área de corte transversal é unidade para a forma dada, (2) cujos cortes transversais são redondos, ovais ou na forma de um polígono, e (3) são fabricadas pro processos de redução de corte transversal mecanicamente. O dito metal pode ser aço, aço inoxidável, alumínio, cobre, bronze, titânio, níquel, e assim por diante, e/ou suas ligas. As ditas barras de metal podem estar na temperatura quando elas estão sendo fabricadas. Um cassete removível inclui vários espelhos. Um tubo de proteção isola a barra de metal móvel do conjunto de luz de linha e da câmera de aquisição de imagens. Um mecanismo de redução de contaminantes aplica um vácuo para remover contaminantes aerotransportados.



**SISTEMA PARA FORMAÇÃO DE IMAGENS EM UMA BARRA ALONGADA**  
**ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

Campo Relacionado

A presente invenção refere-se geralmente a um sistema de  
5 formação de imagens que pode formar imagens dos detalhes da  
superfície de uma peça de trabalho, tal como uma barra de  
metal laminada.

Descrição de Técnica Relacionada

A produção de uma barra de metal por um processo  
10 mecânico tal como a laminação ou estiramento é conhecida. Tal  
barra de metal é diferente de uma placa, lupa ou tira de  
metal (daqui por diante mencionada como Superfície Plana de  
Metal) pelo fato de que o corte transversal de tal barra tem  
15 uma proporção circunferência/área do corte transversal menor  
de modo que a barra pode girar/retorcer em volta de um eixo  
longitudinal enquanto se move para frente longitudinalmente.  
Por exemplo, os modelos de barra mostrados na figura 2 têm  
uma proporção de circunferência para a área seccional  
20 seccional transversal que é igual ou menor do que 4,25 quando a área  
seccional transversal é unidade para o dado modelo. O modelo,  
quando visto em corte transversal, de tal barra de metal pode  
ter uma forma redonda (item 102), uma forma oval (item 104),  
ou uma forma poligonal, como é mostrada como um hexágono  
(item 106), octógono (item 108) ou um quadrado (item 110) na  
25 figura 2. Além disso, tal barra de metal é grande em  
comprimento. O comprimento da razão da circunferência é  
tipicamente superior a 10 e o comprimento da dimensão crítica  
do corte transversal (tal como o diâmetro de uma barra  
redonda ou a largura lateral de uma barra quadrada) é  
30 superior a 30. Uma barra de metal deste tipo é tipicamente  
mencionada como "produtos longos" em vez de "produtos planos"  
nas indústrias relacionadas. Laminação, estiramento, extrusão  
e similares, como são usados nesta descoberta e daqui por  
diante mencionados como um Processo de Redução descrevem os  
35 modos para reduzir as dimensões seccionais transversais da  
peça de trabalho de metal através do contato mecânico das

ferramentas aplicáveis, tais como laminadores e moldes para estirar, e da peça de trabalho. Estes Processos de Redução são geralmente contínuos, ou substancialmente contínuos, por natureza.

5 Na indústria de produção de metal, a presença ou ausência de defeitos na superfície é um critério relevante com o qual avaliações dos produtos de metal são feitas. Por exemplo, defeitos na superfície respondem por metade das rejeições externas (isto é, rejeitado pelo cliente) para a  
10 indústria de varas e barras de aço. Entretanto, a técnica convencional não fornece meios confiáveis para detectar tais defeitos. Existem vários desafios que abordagens de inspeção convencionais foram incapazes de superar.

Primeiro, no caso onde a inspeção ocorre enquanto os  
15 produtos de barra de metal estão "quentes", a temperatura pode ser tão alta quanto  $1.100^{\circ}\text{C}$ , impedindo o uso de muitas tecnologias de inspeção. Segundo, a velocidade diretriz de tal barra de metal ao longo de seu eixo longitudinal como é descrita acima pode ser, logo, tão rápida quanto 100 m/s,  
20 várias vezes mais rápida do que a velocidade da tira de metal mais rápida e quase 100 vezes mais rápida do que uma placa ou lupa de metal. Além do mais, aumentos de velocidade são esperados no futuro próximo na variação de 150 m/s a 200 m/s. Abordagens de inspeção convencionais simplesmente não podem  
25 acomodar velocidades diretrizes tão altas. Terceiro, uma barra de metal com temperatura alta tal como a descrita acima é tipicamente confinada em uma tubulação seccional de modo que a barra não fique grosseira. A remendagem é um incidente no qual uma barra de metal de velocidade alta e quente corre  
30 livremente por fora da tubulação. O espaço, portanto, para qualquer dispositivo de inspeção é extremamente limitado. Por último, o comprimento de tal barra de metal, junto com o fato de seu movimento longitudinal, torna o manuseio da barra difícil e caro.

35 Enquanto se conhece a aplicação de várias abordagens de formação de imagens para a inspeção de Superfícies Planas de

Metal laminadas ou fundidas em série, tecnologias de formação de imagens leves visíveis não tinham sido usadas antes em inspeção de Produtos Longos em série (isto é, barra de metal com um comprimento substancial). Sistemas de formação de  
5 imagens convencionais não são vistos como eficientes para o uso na inspeção de barras de metal e similares porque a geometria das barras de metal invalida a iluminação e os desenhos de formação de imagens que são usados para realçar/capturar defeitos em superfícies planas. A figura 4  
10 ilustra as diferenças de aplicação de iluminação e de captura de imagens em uma peça de trabalho plana (isto é, a linha de imagem 318 converge na linha de iluminação na superfície plana 316) versus uma peça de trabalho redonda. Em relação à  
15 peça de trabalho não-plana, a liberdade no alinhamento ótico e variações de trabalho ótico desaparecem quando o objeto de interesse não tem uma superfície plana. Por exemplo, a linha de imagem 18 e a linha de iluminação 18' podem não se sobrepor se a luz ou a câmera estiver inclinada, como é  
20 mostrado no modelo exemplar na figura 4. Uma abordagem de técnica anterior emprega o uso de câmeras de área para inspecionar as superfícies das barras. Entretanto, ele precisa que a barra esteja parada durante a formação de  
25 imagens. Uma outra abordagem de técnica anterior emprega o uso de câmeras de varredura de linha, que ainda precisa que a barra gire para a varredura devido ao seu desenho de  
iluminação plano. Para lidar com a velocidade diretriz longitudinal alta, diodos foto sensíveis, em vez de sensores de formação de imagens são usados ainda em outra técnica  
30 anterior. O uso de diodos foto sensíveis limita a capacidade de detecção de defeitos transversos curtos na superfície da barra. Esta abordagem é incapaz de detectar defeitos estreitos e longos, tais como sulcos em uma barra de aço.

Para evitar o problema da iluminação, o uso de dispositivos de formação de imagens de infravermelho (IR) é  
35 relatado. Nesta abordagem, câmeras de IR são usadas para capturar a luz auto-radiada dos produtos longos. Esta

abordagem é limitada à detecção de defeitos na superfície baseada unicamente na temperatura da superfície. Sabe-se que aberturas na superfície de um objeto quente parecem ser mais quentes do que suas cercanias devido à teoria da cavidade, embora estas aberturas estejam na mesma temperatura de suas cercanias. Esta abordagem está ainda limitada a sua capacidade de detecção por causa do limite de resolução de foco da radiação de IR. Aqueles versados na técnica sabem que a resolução de foco ótico é inversamente proporcional ao comprimento da onda da radiação. Câmeras de IR típicas são quase 10 vezes mais caras do que uma visível e câmeras de IR são limitadas em sua velocidade de formação de imagens devido a propriedade do sensor. Como resultado, esta abordagem não seria capaz de acomodar a velocidade dos produtos longos de hoje.

A temperatura também torna os produtos longos diferentes de suas contrapartes planas. As barras de metal estão tipicamente em uma temperatura mais alta do que as Superfícies Planas de Metal. A dissipação de calor de um objeto é proporcional à área exposta aos meios de resfriamento, tal como o ar do ambiente ou pulverização de água. A área de uma Superfície Plana de Metal é várias vezes maior do que a área de uma barra de metal, assumindo que ambas a superfície plana e a barra sejam feitas do mesmo material e que ambas tenham a mesma densidade de unidade longitudinal e área de corte transversal.

Entretanto, conhece-se o emprego de instrumentos baseados na formação de imagens para medição/controle de medida de barra (medição de sombra), existência/presença de barra, e medição de velocidade diretriz de barra no Processo de Redução.

Também se conhece o emprego de dispositivos eletromagnéticos, tais como instrumentos baseados na corrente de Foucault, na avaliação de produtos longos. Sistemas de sensores baseados na corrente de Foucault são usados para a detecção de imperfeições de superfície no Processo de Redução

para inspeção em série. Esta abordagem tem uma taxa de resposta alta, capaz de trabalhar em um ambiente de linha de produção de saída alta (por exemplo, um quilômetro de barras de aço quente por minuto). Entretanto, esta abordagem tem

5 várias desvantagens. Primeiro, ela deve estar muito perto da superfície quente (tipicamente menos do que 2,5 mm). Conseqüentemente, ela é sensível à vibração e sensível a temperatura. Além do mais, não é quantitativa no sentido que ela não é capaz de descrever a natureza do defeito detectado.

10 Finalmente, as abordagens da corrente de Foucault são incapazes de detectar certos tipos de defeitos. Como conseqüência, o resultado da inspeção de dispositivos da corrente de Foucault não é usado pela indústria de metal para um julgamento determinístico sobre a qualidade de um produto

15 específico. Ao contrário, o trabalho efetivo de instrumentos baseados na corrente de Foucault é somente usado para análise qualitativa, tal como "este lote de barras de aço é de modo geral pior do que o lote produzido na semana passada", no Processo de Redução somente por razões de controle do

20 processo, por exemplo.

Uma outra abordagem tentada na técnica emprega sensores ultra-sônicos. Esta é uma abordagem para substituir os sensores da corrente de Foucault por sensores ultra-sônicos. Entretanto, muitas das restrições associadas a instrumentos

25 baseados na corrente de Foucault, tais como a distância de trabalho curta, se aplicam com força igual.

Outras tecnologias de inspeção usadas na técnica incluem formação de imagens de infravermelho, circunfluentes e magnético penetrante com calor de indução. O uso destas

30 tecnologias, entretanto é restrito. Primeiro, estas técnicas somente podem ser usadas em barras de metal "frias". Isto é, estas tecnologias não podem ser usadas para inspeção em série durante ou logo após aplicações de laminação quente. Também, as barras de metal devem ser removidas antes da inspeção.

35 Além disso, o uso de penetrante magnético é desordenado e incômodo. Este processo conta tipicamente com a observação

humana com iluminação ultravioleta, em vez de formação de imagens e detecção automáticas. O dispositivo circunfluento é uma unidade baseada na corrente de Foucault, projetada com uma cabeça de detecção giratória. Tal mecanismo giratório limita a aplicação deste dispositivo em inspeção de barras de metal com velocidades diretrizes altas, tipicamente usadas em aproximadamente 3 m/s. Tal dispositivo também é caro devido ao projeto principal de sensor de movimento. A combinação de calor de indução e formação de imagens infravermelhas é baseada no fato de que a corrente de indução é somente formada na superfície da barra de metal, e os defeitos na superfície na barra de metal resultarão em resistência elétrica mais alta. Portanto, os pontos com defeitos na superfície aquecerão mais rápido do que outras áreas. Existem questões associadas com esta abordagem pelo fato de que (a) tal aquecimento mais rápido é um efeito transitório e deste modo a regulação do tempo (tempo para fazer as imagens) é muito crítica; e (b) sensores infravermelhos não são disponíveis para taxas de dados muito altas e portanto não podem suportar barras de metal com velocidade diretriz alta.

É claro que a inspeção é possível após a fabricação das barras de metal. Entretanto, a inspeção após a fabricação frequentemente não é possível porque o produto é tão longo e enroscado, tornando as superfícies de barras não acessíveis para tecnologias de inspeção fria.

Atualmente, a inspeção em tempo real de barras de metal fabricadas com Processos de Redução é muito limitada. As barras de metal são geralmente enviadas do fabricante para o cliente mesmo se sinais defeituosos são denunciados por um sistema de inspeção de corrente de Foucault em série convencional. As reclamações dos clientes podem, portanto, aparecer de 3 a 6 meses mais tarde devido aos defeitos na superfície nos produtos de barras de metal que não são aparentes imediatamente para o cliente. Tais reclamações custam aos fornecedores de barras de metal (isto é, fabricantes). Os fornecedores das barras de metal

reembolsarão os clientes pelo rolo/lote inteiro ou dividirão o custo das despesas de trabalho adicional para inspecionar as partes feitas do rolo/lote das barras de metal.

Existe, portanto, uma necessidade de um aparelho e  
5 método para minimizar ou eliminar um ou mais problemas demonstrados acima.

#### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

É um objetivo da presente invenção superar um ou mais problemas mencionados acima com abordagens convencionais para  
10 um aparelho baseado na formação de imagens adequado para ser usado em linha ou fora de linha para detectar defeitos na superfície em barras de metal estiradas/laminadas.

A presente invenção é direcionada a resolver um ou mais problemas associados a sistemas de inspeção de barras de  
15 metal convencionais assim como problemas associados a aplicação de sistemas de inspeção de superfícies planas de metal para inspeção não destrutiva de defeitos na superfície em barras de metal através do uso de um sistema de formação de imagens.

20 Uma vantagem da presente invenção é que ela pode ser eficazmente empregada na produção de barras de metal com as características mencionadas anteriormente, a saber, aquelas que podem estar em uma temperatura de fabricação, talvez até  
25 quente o suficiente para produzir radiação auto-emitida, assim como aquelas sujeitas a rotação relativa a um eixo longitudinal e podem potencialmente estar trabalhando em uma velocidade alta. Outras vantagens da presente invenção incluem: (i) eficazmente empregada para formar imagens e  
30 detectar defeitos em superfícies não-planas; (ii) uso para inspecionar barras de metal sem considerar sua temperatura; (iii) uso para inspecionar barras de metal movendo-se em velocidades de 100 m/s ou mais rápido; (iv) fornecimento de uma distância de trabalho aumentada para a superfície da barra de metal, deste modo minimizando ou eliminando os  
35 problemas demonstrados nos Antecedentes para instrumentos baseados na corrente de Foucault; (v) fornecimento de uma

produção compreendendo dados quantitativos com imagens de lugares com defeitos verificáveis; (vi) inspeção da peça de trabalho mesmo antes que a crosta se forme em sua superfície; (vii) adequada para uso em inspeção em qualquer estágio (entre os postos de redução ou no final da linha) do processo de redução, não afetada por ou contando com efeitos transitórios; (viii) fornecimento de informação da qualidade da superfície em tempo real ou próximo do tempo real; (ix) fornecimento de um sistema sem quaisquer cabeças de sensores móveis, deste modo minimizando ou eliminando os problemas de componentes móveis demonstrados nos Antecedentes; (x) fornecimento de um sistema precisando somente de uma abertura muito pequena (menos do que 50 mm) capaz de operar entre seções de condutos de guia de barras de metal; e (xi) não necessita de aparelhos/mecanismos adicionais para o manuseio de barras. Entretanto, um aparelho e/ou método não precisa ter todas as vantagens anteriores, ou mesmo a maioria delas. A invenção é limitada somente pelas reivindicações anexadas.

Um sistema é fornecido para a formação de imagem de uma barra alongada estendendo-se ao longo de um eixo longitudinal. O sistema inclui um conjunto de aquisição de imagem, um conjunto de luz de linha, e uma unidade de computação. O conjunto de aquisição de imagem tem um campo de visão configurado para formar a imagem de uma primeira largura predeterminada sobre uma circunferência de uma superfície da barra para definir uma correia de imagem. O conjunto de aquisição de imagem é ainda configurado para produzir dados de imagem correspondente à correia de imagem adquirida.

O conjunto de luz de linha é configurado para projetar uma correia de linha de luz tendo uma segunda largura predeterminada sobre a superfície da barra. O conjunto de linha de luz é disposto, por exemplo, pelo alinhamento, em relação ao conjunto de aquisição de imagem de modo que a correia de imagem é dentro da correia de linha de luz. O conjunto de linha de luz é ainda configurado de modo que uma

intensidade de luz é substancialmente uniforme ao longo da correia de imagem quando a luz é coletada por cada um dos sensores de aquisição de imagem.

Por razões de acondicionamento, o conjunto de luz de  
5 linha pode incluir uma coleção de elementos refletores tais como espelhos para alcançar o ângulo de projeção intencional. Por utilidade, a coleção de elementos refletores é projetada para ser destacável.

Finalmente, a unidade de computação é acoplada ao  
10 conjunto de aquisição de imagem e é configurada para receber dados de imagem para uma pluralidade de cinturões de imagem adquiridas pelo conjunto de aquisição de imagem enquanto a barra se move ao longo do eixo longitudinal. A unidade de computação é ainda configurada para processar os dados de  
15 imagem para detectar aspectos da superfície predeterminada da barra. Em uma modalidade preferida, os aspectos detectados são defeitos de superfície e o conjunto de aquisição de imagem inclui câmeras digitais  $n$ , onde  $n$  é um número inteiro 3 ou maior, preparado de modo que um campo combinado de vista  
20 das câmeras corresponde à correia de imagens.

Um método de formação de imagens de uma barra de metal é também apresentado.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

A presente invenção será descrita agora, por meio de  
25 exemplo, em referência aos desenhos que a acompanham, nos quais numerais de referência similares identificam componentes idênticos nas várias figuras, nas quais:

A figura 1 é uma vista de um diagrama de bloco e esquemática de uma modalidade da presente invenção.

30 A figura 2 é uma vista seccional transversal de geometrias exemplares para peças de trabalho adequadas para inspeção por uma modalidade de acordo com a presente invenção.

A figura 3 ilustra uma geometria seccional transversal  
35 de uma superfície plana de metal.

A figura 4 é uma vista diagramática ilustrando um

esquema de iluminação convencional como é aplicado a uma superfície plana de metal e uma barra.

5 A figura 5 é uma vista em perspectiva simplificada ilustrando uma barra forçada durante seu movimento por um conduto, e uma abertura entre condutos adjacentes nos quais uma modalidade de acordo com a invenção pode estar situada.

A figura 6 é uma vista do projeto simplificada ilustrando uma cobertura de formação de imagem em uma barra de metal usando uma câmera.

10 A figura 7 é uma vista do projeto simplificada ilustrando uma cobertura de formação de imagem em uma barra de metal usando uma câmera e uma lente telecentrica.

A figura 8 é uma vista do projeto simplificada ilustrando uma variação de comprimento de linha curva baseada em uma projeção de grades do mesmo tamanho, tal como uma linha de pixels, em um perfil de uma barra.

A figura 9 é uma vista do projeto simplificada ilustrando um sistema de iluminação para uma superfície da barra de acordo com a presente invenção.

20 A figura 10 é uma vista do projeto simplificada ilustrando, em maior detalhe, o sistema de iluminação da figura 9.

A figura 11 é uma vista em perspectiva simplificada de uma barra de metal em conexão com a qual o sistema de iluminação da presente invenção é usado.

A figura 12 é uma vista do projeto simplificada ilustrando o sistema de iluminação na direção circunferencial direcionado para uma superfície da barra.

30 A figura 13A é uma vista do projeto ilustrando uma outra modalidade de um sistema de formação de imagem e iluminação para uma superfície da barra de acordo com a invenção.

A figura 13B é uma vista diagramática do sistema de iluminação da figura 13A de modo que a coleção de elementos refletores possa ser recuperada para limpeza e restabelecida para a função facilmente, como é mostrado em uma posição instalada.

A figura 13C é uma vista diagramática do sistema de iluminação da figura 13B, incluindo a coleção de elementos refletores, mostrado em uma posição parcialmente removida.

5 A figura 13D é uma vista em perspectiva, diagramática da modalidade da figura 13B, mostrando um tubo protetor.

A figura 13E é uma vista lateral, diagramática da modalidade da figura 13B.

10 A figura 13F é uma vista em perspectiva, diagramática da modalidade de figura 13B vista de um lado oposto em relação a aquele na figura 13D.

A figura 14A ilustra um defeito de superfície junto com algum barulho de superfície.

15 A figura 14B ilustra um resultado exemplar de uma etapa de processamento de imagem de acordo com a invenção como aplicado à imagem da figura 14A.

As figuras 15A-15C ilustram exemplos de defeitos de superfície longa que podem ser encontrados em barras de metal e que podem ser detectados por uma modalidade de acordo com a presente invenção.

20 As figuras 16A-16C ilustram defeitos de superfície relativamente curta que podem ser encontrados em barras de metal e que podem ser detectados por uma modalidade de acordo com a presente invenção.

#### **DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES PREFERIDAS**

25 A presente invenção permite inspeção automática de barras de metal para defeitos de superfície enquanto as barras de metal estão sendo laminadas, estiradas ou similares (isto é, o processo de redução descrito em Antecedentes da Invenção) sem manuseio adicional das barras. A figura 1  
30 ilustra esquematicamente uma modalidade preferida de acordo com a presente invenção.

Antes de proceder a uma descrição detalhada da presente invenção encaixada aos desenhos, uma visão geral será mostrada. A presente invenção fornece as seguintes  
35 características:

1. É capaz de trabalhar com barras de metal fabricadas

através de processos de redução em geometria de cortes transversais diferentes;

2. É capaz de trabalhar com barras de metal em série a uma temperatura de até 1.650°C;

5 3. É capaz de trabalhar com barras de metal movimentando-se a 100 m/s ou mais;

4. É capaz de detectar defeitos de superfície cujas dimensões críticas são tão pequenas quanto 0,025 mm;

10 5. É capaz de relatar a natureza do defeito tal como seu tamanho, localização (na barra), imagem, e similares;

6. É capaz de acomodar tamanhos diferentes de barras, somente, por exemplo, de 5 mm a 250 mm com ajuste mínimo;

7. É capaz de fornecer resultados de inspeção em tempo real ou próximo do tempo real;

15 8. É capaz de trabalhar com uma janela de acesso pequena (menor do que 50 mm) para o objeto alvo;

9. Nenhuma parte móvel durante a inspeção;

10. Nenhum manuseio adicional das barras; e

20 11. Operação contínua em fábricas de produção de metal industrial pesado e comercial.

A figura 1 é um diagrama de bloco e esquemático simplificado de um sistema de acordo com a presente invenção. A figura 1 mostra um conjunto de luz de linha que pode incluir pelo menos uma fonte de luz 2, um conduto de luz 4, 25 uma pluralidade de luzes de linha 6 e uma pluralidade correspondente de dínamos de reforço óticos 8. A figura 1 ainda mostra uma unidade de computação 10 e um conjunto de aquisição de imagem que pode incluir uma pluralidade de câmeras 12 cada uma tendo uma lente correspondente 14.

30 Com referência continuada a figura 1, uma peça de trabalho ou objeto sob inspeção, tal como uma barra de metal alongada 16 estendendo-se ao longo de um eixo longitudinal, é mostrada se movendo ao longo de sua direção longitudinal 20 a uma velocidade de até 100 m/s ou mais rápido enquanto a barra 35 16 está passando por um processo de redução. A barra de metal 16 pode ser formada de um material selecionado do grupo

compreendendo aço, aço inoxidável, alumínio, titânio, níquel, cobre, bronze, ou qualquer outro metal e/ou suas ligas. A barra 16 pode ser sólida ou oca. Tipicamente tal barra de metal 16 está se movendo dentro de um conduto, com é mostrado em maior detalhe no conduto 24 na figura 5, não-mostrado na figura 1. Uma abertura 26, mostrada na figura 5, é definida entre dois condutos adjacentes 24, e é tipicamente muito pequena, por exemplo, entre aproximadamente 20 até 50 mm tirados na direção axial para trânsito de alta velocidade de barras de metal 16. Deveria ser entendido que a barra de metal 16 pode estar em uma temperatura elevada, por exemplo, tão quente quanto  $1.100^{\circ}\text{C}$  para um processo de laminação quente. Deveria também ser percebido que a barra de metal 16, dada a sua geometria, está a torcer/girar ao redor de seu eixo longitudinal incontrolavelmente na direção indicada pela seta 21 na figura 1 quando ela se movimenta na direção 20. Esta possibilidade de rotação incontrolável tem, entre outros itens, apresentou problemas para sistemas de formação de imagens convencionais. Como será descrito em maiores detalhes abaixo, a presente invenção supera este problema para fornecer um sistema de formação de imagens que é resistente à torção e/ou rotação.

Para detectar defeitos de superfície na barra 16, um sistema de formação de imagens de acordo com a presente invenção deve ser fornecido tendo certas características, como descritas abaixo. Com referência continuada a figura 1, o sistema de formação de imagens inclui um conjunto de aquisição de imagens que preferivelmente compreende câmeras de formação de imagens  $n$  12, nas quais  $n$  é um número inteiro 3 ou maior. O parâmetro  $n$  é selecionado para ser três ou mais alto baseado em uma análise demonstrada abaixo. Cada câmera 12 é preparada de modo a cobrir uma extensão circunferencial de pelo menos  $120^{\circ}$  para formar imagens da superfície inteira da barra 16. Isto é, o conjunto de aquisição de imagens tem um compósito ou campo combinado de visão configurado para formar imagens da circunferência inteira da superfície da

barra 16 para definir uma correia de imagens 18. Como é descrito ainda abaixo, o conjunto de aquisição de imagens é ainda configurado para produzir dados de imagens baseado na correia de imagens 18. A análise para o parâmetro  $n$  para o número de câmeras será agora demonstrada.

Como é mostrada na figura 6, uma lente regular associada com a câmera 12 terá um ângulo de visão (campo de visão) formado pelas duas linhas de vista tangenciais estendendo-se de um ponto de lente focal 14 para a superfície da barra 16. Este ângulo de visão, quando projetado sobre uma superfície não-plana, tal como a mostrada na figura 6, resultará em uma cobertura circunferencial que é menos do que  $180^\circ$  e será insuficiente para cobrir  $360^\circ$  somente com duas lentes/unidades de câmera onde as lentes não são telecentricas.

A figura 7 mostra uma disposição com uma lente telecentrica 14'. Uma lente telecentrica verdadeira, que coleta linhas de vista que estão em paralelo, mesmo se usada, não supriria praticamente um sistema de câmera de duas lentes por causa da variação de comprimento da curva. Em particular, as linhas de vista 28 são paralelas com a adição da lente telecentrica 14' para lente 14. Neste caso, a cobertura circunferencial 30 é  $360^\circ$ . Teoricamente falando, a superfície total de uma barra de forma redonda 16 pode ser coberta usando somente duas lentes/unidades de câmera. Entretanto, como foi aludido acima, aparece um problema de tamanhos de pixels não-uniformes.

Como são ilustradas na figura 8, as linhas de vista espaçadas uniformemente, como são derivadas de um sensor de formação de imagens uniformemente espaçadas tendo uma pluralidade de pixels, pode resultar em um comprimento de curva não-uniforme 36 na superfície da barra 16, pixel-para-pixel. O espaçamento uniforme é uma disposição bem típica em um sensor de formação de imagens como um chip CCD. O comprimento de curva 36 pode ser calculado usando a equação (1) como se segue:

$$\text{EQN (1): } S = p/\cos(\theta)$$

Onde  $S$  é o comprimento da curva 36 mapeado para o pixel na posição  $y$ ,  $p$  é o grau do conjunto de pixel ou o tamanho do pixel e  $\theta$  é o ângulo projetado que pode ser derivado da

5       $\text{EQN(2): } \theta = \text{curva do seno } (y/r), \text{ na qual } y \leq r \text{ e } r \text{ é o raio da barra de metal 16.}$

Pela figura 8 pode-se saber que como  $y \rightarrow r$ ,  $\theta \rightarrow 90^\circ$ . Como  $\theta \rightarrow 90^\circ$ ,  $S$  o comprimento da curva 36 se aproximará do infinito baseado na EQN (1). Na realidade,  $S$  ainda será um  
10 número finito. Entretanto,  $S$  será substancialmente (várias vezes) maior do que  $p$ , o tamanho do pixel. Isto é, a resolução da imagem nesta área se deteriorará tanto que esta abordagem é impraticável. Note-se que a mesma análise de comprimento de curva pode ser aplicada na metade da base na  
15 figura 8, no caso em que  $y \rightarrow -r$ .

Com três câmeras,  $\theta$  pode ser estabelecido em  $60^\circ$ . Quando  $\theta = 60^\circ$ ,  $S$  o comprimento de curva 36 (nas posições 12 horas e 6 horas na figura 8) é somente  $2p$ , uma deterioração controlável e aceitável na resolução de imagens. Se for  
20 desejada melhor resolução de imagens, quatro ou cinco câmeras, ou mesmo mais podem ser usadas (isto é, o parâmetro  $n$  referido acima pode ser um número inteiro igual a quatro, cinco, ou maior). Todas as combinações de câmera 12/lente 14, como ilustradas na figura 1, são preferivelmente preparadas  
25 de modo que todas as combinações de câmera/lente sejam posicionadas ao longo de um percurso circular 22 que é concêntrico a geometria circular da barra de metal exemplar 16 tal que as distâncias de trabalho, a distância de cada lente 14 para a superfície de metal mais próxima, sejam as  
30 mesmas ou quase as mesmas para todas as combinações de câmera/lente. Note-se que o percurso 22 pode ficar circular se a barra de metal é não-circular, digamos um hexágono, com o propósito de servir geralmente a mesma linha de fabricação. Aquele que seja versado na técnica pode avaliar que o  
35 percurso 22 pode, se desejado, ser adaptado à geometria de barra vigente.

Para acomodar a velocidade diretriz potencialmente muito alta da barra de metal 16, câmeras 12 de taxas de dados altas são usadas preferencialmente. As câmeras 12 no sistema são deste modo preferivelmente câmeras digitais, com saídas 5 digitais para a unidade de computação 10. Este formato de saída digital é desejável para acomodar o ambiente inóspito para fidelidade de sinal. Este sinal de imagem de formato digital pode ser recebido pela unidade de computação 10 através de canais de comunicação padrão tal como IEEE-1394 10 (também conhecido como FireWire), Conexão de Câmera ou portas USB, ou uma interface especial conhecida como um prendedor de quadro. Cada câmera 12 preferivelmente é capaz de gerar pelo menos 10.000.000 (ou 10 Mega) pixels por segundo de modo que uma característica defeituosa que tenha 0,025 mm x 0,5 mm 15 possa ser identificada. Deveria ser avaliado, entretanto, que para detectar características maiores, uma resolução reduzida, e conseqüentemente taxa de dados reduzida (em pixels por segundo) seriam necessárias. Câmeras de varredura de linha são preferidas apesar de câmeras de varredura de 20 área progressiva (não-interlaçadas) poderem ser usadas quando a barra 16 não está se movimentando rapidamente. Câmeras de varredura de linha têm uma vantagem sobre câmeras de varredura de área pelo fato de que câmeras de varredura de linha necessitam somente de uma linha de iluminação, em vez 25 de uma área de iluminação. Isto simplificará a complexidade de iluminação causada pela superfície não-plana. No caso de uso de varreduras de linha, todas as câmeras na figura 1 serão alinhadas de modo que suas linhas de formação de imagens estarão formando um anel circunferencial, uma correia 30 de imagens 18, em barra 16. Este alinhamento é necessário para endereçar o problema de torção e/ou rotação (item 21). Se este alinhamento não é mantido, o movimento de torção ou rotação pode resultar em cobertura incompleta da superfície da barra.

35 Fazendo referência de novo à figura 1, cada câmera terá uma lente 14 para coletar a luz refletida da superfície da

barra. Lentes telecentricas (lentes que coletam raios de luz de imagens paralelas, como ilustrado na figura 7) são preferidas para uma distribuição de comprimento de curva mais uniforme, embora lentes regulares possam ser usadas. Além disso, câmeras 12 podem ser configuradas para incluir uma íris de lente para controlar a exposição, e ainda, preferivelmente configuradas (se incluídas) com o uso de uma armação de íris de lente predeterminada para melhorar a profundidade do foco/campo na aplicação.

10 Com referência continuada a figura 1, o sistema de formação de imagens de acordo com a presente invenção também inclui um conjunto de luz de linha configurado para projetar uma correia de luz de linha sobre a superfície da barra de metal 16. Preferivelmente, o conjunto de luz de linha inclui 15 uma pluralidade de luzes de linha 6. Estas luzes de linha 6 podem ser fontes de luz individuais, tais como lasers, ou dispositivos de distribuição de luz, tais como luzes de fibra ótica, como é mostrado na figura 1. Os dispositivos de distribuição de luz devem trabalhar com pelo menos uma fonte 20 de luz, como é mostrado na figura 1. Mais do que uma fonte de luz pode ser usada se densidade de luz mais alta for necessária para iluminação. Para barras de metal 16 que se movimentam em velocidade muito alta, as câmeras podem sentir falta de luz devido a taxas de moldura/linha muito altas 25 equiparando-se a um tempo de exposição relativamente curto. Um intensificador ótico 8 pode portanto ser usado para cada luz de linha para concentrar a luz e aumentar a intensidade da luz. Este intensificador 8 pode ser uma lente cilíndrica ou uma lente semicilíndrica. Para usar o sistema de formação 30 de imagens de acordo com a presente invenção para barras de metal 16 que estão em uma temperatura elevada, as luzes de linha e os intensificadores devem ser feitos de materiais especiais configurados para suportar temperaturas tão elevadas. Cada luz de linha 6, por exemplo, pode ser 35 configurada para ter seu próprio refletor de vidro para servir a este propósito. No caso da luz de linha de fibra

ótica, o material que liga as fibras deve ser capaz de suportar alta temperatura, tal como o epóxi de temperatura alta. Os intensificadores 8 devem ser feitos de materiais que podem suportar alta temperatura também. Materiais usáveis  
5 incluem vidro, vidro pirex, cristal, safira e similares.

A figura 9 é uma vista superior da modalidade preferida mostrada na figura 1. Para lidar com a falta de luz, o alinhamento entre as luzes de linha e as câmeras é importante. Como é ilustrada na figura 9, a superfície da  
10 barra de metal após o processo de redução, antes, por exemplo, de um processo de desincrustação, pode ser tratada como uma superfície reflexiva. Portanto, a lei ótica demonstrada na equação (3) aplica:

EQN (3): "ângulo incidente = ângulo reflexivo"

15 A EQN (3) é preferivelmente usada em uma modalidade preferida para maximizar a luz refletida que é capturada pela pluralidade de câmeras 12. As luzes de linha 6 emitirão cada uma o raio de luz 40, que é intensificado por um intensificador 8 e projetado sobre a superfície da barra de  
20 metal 16. O raio de luz 40 é refletido para o percurso 42 e recebido pela lente 14 e eventualmente pela câmera 12. Note-se que na figura 9, a barra de metal 16 movimenta-se na direção 20. Os raios de luz 40 e 42 projetados e refletidos formam um ângulo 44, igualmente dividido pela linha normal  
25 para a superfície da barra de metal 16. Este ângulo 44 deve ser tão pequeno quanto possível, devido ao problema de iluminação descrito acima que é associado a uma superfície não-plana, como é ilustrado na figura 4. Na figura 4, a linha de luz 18' e a linha de imagem 18 não se sobreporão em uma  
30 superfície não-plana. O caso ideal é para o ângulo 44 na figura 9 ser 0°. Como isto somente é possível com o uso de um divisor de feixes de luz, é menos prático fazer isto quando o sistema está sentindo falta de luz devido às perdas de força inerentes imposta pelo uso de um divisor de feixes de luz,  
35 por exemplo. A eficácia mais alta que um divisor de feixes de luz pode alcançar é 25%, assumindo uma perda de transmissão

de 0%. Portanto, o ângulo 44 é preferivelmente selecionado de modo a ser razoavelmente pequeno, tal como 1° ou em seus arredores. Se necessário, um espelho refletor 38 pode ser usado para auxiliar na vedação da câmara e da luz para um  
 5 ângulo pequeno 44. Esta é uma outra razão para usar câmeras de varredura de linha nesta aplicação. Câmeras de varredura de linha somente precisam de um percurso de imagem 42 com uma largura pequena, tal como de 5 até 30 microns. O ângulo 44 pode ser mantido bem pequeno com esta característica de  
 10 percurso de imagem pequeno.

A figura 10 mostra em maiores detalhes uma porção da configuração de iluminação da figura 9. Como foi mencionado acima, o ângulo 44 não será 0 grau a menos que um divisor de feixes de luz seja usado. Portanto, cada luz de linha 6 deve  
 15 ter uma largura substancial W (item 41 na figura 10). Uma pessoa pode ver que na figura 10 a barra de metal 16 tem uma linha central 46. A linha 48 indica a marca 60 na superfície da barra, começando da divisa tangencial na lateral esquerda da barra, como é mostrado na figura 10, e aumentando para a  
 20 direita. Uma câmara deve ser capaz de formar imagem da barra de metal 16 para a metade superior para esta linha de marca 48 a 60°. Em uma modalidade com três câmeras, os cálculos acima se aplicam. Se mais câmeras são usadas, a linha 48 pode representar 45° para um sistema de quatro câmeras, a 36 para  
 25 um sistema de cinco câmeras, e assim por diante. Se projetada simetricamente, a câmara pode também formar imagens da metade inferior da barra de metal 16 para 60°. Para conseguir esta cobertura, a largura da linha de luz W deve ser maior do que um limite baseado em:

30 
$$\text{EQN (4): } W \geq 2 \cdot r \cdot (1 - \cos 60^\circ) \cdot \text{sen} \alpha$$

Na qual  $r$  é o raio da barra e  $\alpha$  é o ângulo incidente (metade do ângulo 44). O ângulo de 60° pode ser substituído por um outro ângulo se um número diferente de câmeras que não seja três for usado no sistema de formação de imagens  
 35 inventivo. Esta noção é melhor ilustrada na figura 11, na qual a linha de imagem 42 é claramente curvada

diferentemente, ainda coberta pela linha de luz 40. Em outras palavras, o conjunto de aquisição de imagens (por exemplo, a pluralidade de câmeras na modalidade preferida) captura uma correia de imagens 18 tendo uma primeira largura predeterminada sobre a circunferência inteira da superfície da barra 16. O conjunto de luz de linha (por exemplo, a pluralidade de fontes de luz de linha na modalidade preferida) projeta uma correia de linha de luz sobre a superfície da barra 16 tendo uma segunda largura predeterminada. O conjunto de luz de linha é disposto e alinhado em relação ao conjunto de aquisição de imagem de modo que a correia de imagem caia dentro da correia de linha de luz. Através dos antecedentes, o problema de superfícies não-planas é superado.

Adicionalmente, estas luzes de linha devem ser posicionadas de modo que a intensidade da luz quando refletida de um ponto na superfície da barra para a câmera que cobre aquele ponto é uniforme para todos os pontos na correia de imagem 18 (figura 1). Uma ilustração mais detalhada é mostrada na figura 12. Toda a iluminação deve seguir a lei descrita na EQN (3). A figura 12 ilustra esta disposição para uma câmera. Deveria ser avaliado que tal disposição pode ser duplicada para outras câmeras usadas no sistema de formação de imagens inventivo. Baseado na EQN (3), o ângulo formado pelo raio de luz incidente 40 e o raio de luz refletida 42 devem ser uniformemente divididos pelo normal da superfície 50. Como na figura 12, um iluminador 52 inclui preferencialmente uma superfície curvada. O iluminador 52 é um dispositivo cujos raios de luz emitidos (perpendiculares a esta superfície curvada no ponto de emissão) serão refletidos pela superfície da barra 16 para o sensor de formação de imagens na câmera 12 e lente 14 baseados na EQN (3). Note-se que a curva 52 não precisa ser uma curva circular. Esta curva 52 depende da distância entre a curva 52 e a superfície da barra 16 (isto é, alvo). A curva 52 pode não ser uma curva suave se a barra não for circular.

Embora um iluminador com curva 52 possa ser feito com tecnologias modernas, tal iluminador somente pode ser usado com barras 16 no diâmetro designado. Em algumas aplicações ele não é prático. Uma alternativa é simular tal efeito de  
5 iluminação com um conjunto de linhas de luz 6 e 8, como é mostrado na figura 12. Cada combinação de linha de luz/intensificador pode ser ajustável de modo que sua direção possa ser reindicada como é mostrado pelo item 54 para acomodar alvos com diâmetros diferentes. A abordagem da linha  
10 de luz também é benéfica no caso em que a barra 16 não é circular.

A figura 13A é uma vista de um diagrama de bloco e esquemática simplificada de uma outra modalidade de um sistema de acordo com a presente invenção. Esta modalidade  
15 fornece um cassete muito facilmente aproveitável contendo elementos refletores que são acondicionados em um espaço relativamente pequeno (por exemplo, 20 a 50 mm) de modo a serem operáveis no pequeno espaço de acesso 26 (melhor mostrado na figura 5) com a peça de trabalho/barra móvel 16  
20 estando contida e se movendo longitudinalmente na direção 20 através do conduto 24 ou similar. A figura 13A mostra o conjunto de luz de linha 6, o intensificador ótico 8, a câmara 12, a lente 14, o espelho refletor 38 para o raio de luz iluminado/incidente 40, um segundo espelho refletor 38'  
25 para o raio de luz (imagem) refletida 42 representando a imagem da superfície da barra, e um dispositivo de proteção tal como um tubo 43 tendo uma primeira parte 43a e uma segunda parte 43b separadas e deslocadas da primeira parte 43a ao longo do eixo "A" para definir um espaço de acesso  
30 43c. As partes de proteção 43a, 43b são configuradas para proteger os componentes de iluminação e formação de imagem relativamente frágeis do calor, de choque (por exemplo, contato) e outra contaminação (por exemplo, partículas) originada da barra móvel 16, que pode estar a uma temperatura  
35 elevada (como foi descrito acima). As partes 43a e 43b podem ser circunferenciais. A abertura 43c pode ser configurada em

tamanho e forma para permitir a entrada/saída de raios de luz de iluminação 40 e raios de luz (imagem) refletidos 42. O tubo de proteção 43 pode ser formado de metal ou outro material durável adequado para segregar a barra de aço quente 16 do resto do sistema inventivo.

A figura 13A ainda mostra um mecanismo de redução de contaminação, empregando um vácuo, que é configurado para reduzir a presença de contaminantes 62 de tamanho relativamente pequeno aerotransportados, tais como pó de crosta de laminação ou pequena neblina, que podem estar presentes no espaço próximo ou perto do espaço de acesso 43c do tubo de proteção 43 (isto é, contaminantes que estão emanando da barra de metal móvel no interior do tubo de proteção). Este mecanismo de redução de contaminantes pode operar em combinação com facas pneumáticas ou limpadores pneumáticos ou similares dentro e em torno do acesso 43c, que são configurados para bloquear itens maiores de saírem completamente do espaço de acesso 43c. Uma vantagem do mecanismo de redução de contaminantes baseado a vácuo é que ele mantém os componentes óticos relativamente livres de contaminantes, ou em um nível de contaminantes reduzido, deste modo mantendo-os mais limpos e melhorando o desempenho ótico (isto é, comparado a componentes óticos sujos). Adicionalmente, este mecanismo de redução de contaminação pode ser eficiente para reduzir os contaminantes aerotransportados no percurso de formação de imagens, o que pode melhorar a visibilidade dos meios de aquisição de imagens.

O mecanismo de redução de contaminantes inclui um efector terminal a vácuo 64 tendo um conector à vácuo 66, um tubo ou outro conduto à vácuo 66 tendo uma primeira extremidade configurada para se conectar ao conector 66, e uma fonte de vácuo tal como uma bomba á vácuo 72, que é acoplada a outra extremidade do conduto 66'.

O efector terminal a vácuo 64 é preferivelmente em forma de anel, como é mostrado nas figuras, e é formado em torno de

um eixo anelar e tem uma entrada de sucção a vácuo 70 circunscrevendo o espaço dentro e ao redor do espaço de acesso 43c do tubo de proteção 43. Quando instalado, o eixo anelar do efector terminal 64 é substancialmente coincidente com o eixo longitudinal ao longo do qual a barra de metal se move. O efector terminal 64 é de construção de parede fina e de uma geometria geralmente fechada cuja pluralidade de laterais de paredes finas externas, contíguas definem um compartimento a vácuo interior 68. Na modalidade preferida, o efector terminal a vácuo em forma de anel 64 é caracterizado por uma forma retangular em um corte transversal radial (melhor mostrado na figura 13E). Deveria ser entendido, entretanto, que o efector terminal a vácuo 64 pode ter várias formas, por exemplo, um par de meio-anéis dispostos em um modo de cooperação para fornecer cobertura a vácuo ao redor do perímetro do espaço de acesso 43c. Adicionalmente, o efector terminal a vácuo pode ter a forma de uma pluralidade de barras retas dispostas ao redor do perímetro do espaço de acesso 43c. Outras variações são possíveis, que estão dentro do espírito e do escopo da presente invenção.

A fonte de vácuo (bomba 72) opera através do conduto 66', do compartimento a vácuo 68, e finalmente por meio da entrada de sucção 70 para aplicar vácuo (e deste modo evacuar substancialmente) o espaço próximo ao espaço de acesso 43c, incluindo quaisquer contaminantes 62 aerotransportados pequenos.

A figura 13B é uma vista em perspectiva de frente diagramática mostrando uma pluralidade de espelhos refletores 38 (dirigindo iluminação) configurados em um cassete removível 152. A figura 13B mostra oito espelhos refletores 38 sustentados por um número correspondente de assentos de espelhos 138. O cassete 152 é removível e é mostrado na posição instalada (figura 13B) e em uma posição quase totalmente removida (melhor mostrada na figura 13C). O cassete é mostrado montado em um recipiente tal como um prato 150. O prato 150 pode ser ligado a outros elementos do

sistema de formação de imagens inventivo através de um prato de base 154.

Na modalidade ilustrativa, o prato 150 é configurado para incluir um encaixe deslizante 156 ao redor de um  
5 perímetro interno do prato 150. O cassete 152 inclui uma pluralidade de alças de encaixe 158 (quatro mostradas dispostas em pares opostos diametricamente) configuradas em tamanho e forma para casar com o encaixe 156. A tolerância dimensional é tal que o cassete 152, particularmente os  
10 espelhos 38 dele, serão adequadamente alinhados com os componentes 14/12 e componentes 6/8 quando o cassete 152 está na posição instalada. Deveria ser avaliado que o cassete 152 inclui os componentes passivos, a saber, espelhos de direção de iluminação 38 e espelhos refletores de imagens 38' (melhor  
15 mostrados nas figuras 13E e 13F), e deste modo não necessita de nenhuma conexão por meio de cabos, fios de força ou similares para os outros elementos externos o cassete 152 que compreende o sistema de formação de imagens e iluminação inventivo. Isto fornece uma vantagem visto que o cassete 152  
20 pode ser removido para limpeza e reinstalado de modo relativamente fácil devido à ausência de tais conexões.

O cassete 152 pode ser mantido na posição instalada (isto é, em alinhamento) através do uso de um mecanismo de retenção e trancamento adequado, tal como um membro de  
25 fechamento simples 153 (mostrado na linha fantasma na figura 13B), tendo características de união adequadas para também deslizar no encaixe 156, e ser retida naquele lugar (por exemplo, prendedores). Qualquer pessoa versada na técnica avaliará que existe uma ampla variedade de mecanismos de  
30 retenção e trancamento adequados alternados.

Na modalidade da figura 13B, quatro câmeras 12 são usadas.

A figura 13B ainda mostra a modalidade anelar do mecanismo de redução de contaminantes na vista em  
35 perspectiva.

A figura 13C é uma vista diagramática simplificada do

cassete 152 na posição afastada. O cassete 152 pode ser facilmente removido pelo primeiro erro/incapacidade em qualquer mecanismo de retenção e trancamento 152 que possa estar em uso, e a remoção do cassete na direção da seta 160, por exemplo, para manutenção (por exemplo, limpeza, conserto, realinhamento). O cassete 152 pode ser remontado/reinstalado facilmente pela reversão do procedimento descrito acima.

5 A figura 13D é uma vista em perspectiva de frente, diagramática da modalidade da figura 13B mostrando um dispositivo de proteção em forma de tubo 43a e 43b. A figura 10 13D também mostra o mecanismo de retenção e trancamento 153 na posição fechada e instalada. Na posição instalada como é mostrado, os espelhos de direção de iluminação 38 e os espelhos de direção de imagens 38' estão em alinhamento com o conjunto de linha de luz (fonte de luz 6 e intensificador 8) e lente 14/câmera 12, respectivamente.

15 A figura 13D mostra além disso o efector terminal a vácuo 64, visto em corte transversal radial através do meio (metade do anel foi omitida para clareza). Como foi mostrado, o efector terminal 64 inclui uma pluralidade de laterais de 20 paredes finas definindo o compartimento a vácuo interior 68. A entrada de sucção 70 também é mostrada, que pode ser formada pela remoção de um canto faceando o interior radialmente para revelar a entrada de sucção 70.

25 A figura 13E é uma vista lateral, diagramática da modalidade da figura 13B, com o cassete 152 na posição instalada. A figura 13E mostra espelhos de direção imagens 38' em alinhamento com a lente 14 e a câmera 12. A figura 13E também mostra a abertura de visão da câmera 43C definida 30 entre as porções do tubo de proteção 43a e 43b.

A figura 13E ainda mostra uma vista lateral do efector 64 terminal a vácuo seccionado transversalmente da figura 13D. A figura 13E mostra como uma vista do projeto lateral, o compartimento de vácuo interior 68 e a entrada de sucção de 35 vácuo 70. A entrada 70 geralmente faz face radialmente próxima ao interior, assim como circunscreve o perímetro do

espaço de acesso 43c.

O efector terminal a vácuo 64 pode ser formado usando técnicas e materiais de construção convencionais (por exemplo, metal ou outros materiais duráveis). O conector a vácuo 66 e conduto 66' pode também compreender técnicas e materiais de construção convencionais conhecidos por aqueles versados na técnica. Adicionalmente, a bomba de vácuo 72 pode também compreender equipamento convencional conhecido por aqueles versados na técnica. Por exemplo, a bomba de vácuo 72 pode ser um venturi ou tipo elétrico ou outro tipo conhecido na técnica.

O nível de vácuo aplicado pré-selecionado desejado (isto é, o nível de vácuo como foi observado na entrada de sucção 70) pode ser determinado pelo grau particular, presença e tipo de pequenos contaminantes 62, e a geometria de orientação e proximidade da entrada de sucção 70 em respeito ao espaço de acesso 43c. As características de desempenho correspondentes da bomba de vácuo 72 podem ser determinadas baseadas no nível de vácuo aplicado desejado determinado acima, em vista da geometria e tamanho/volume particulares do efector terminal 64, assim como o tamanho e comprimento do conector 66 e conduto 66'.

A figura 13F é uma vista em perspectiva traseira diagramática da modalidade da figura 13B. A figura 13F mostra três espelhos de direção de imagem 38' no cassete 152 (um espelho 38' para cada combinação lente 14/câmera 12). Note-se, um espelho 38' está obscurecido na figura 13F, assim como a combinação de lente 14/câmera 12 correspondente.

Em referência de novo a figura 1, a unidade de computação 10 é acoplada a pluralidade de câmeras 12. A unidade de computação 10 é configurada para receber os dados de imagem para uma pluralidade de correia de imagens 18 adquiridas sucessivamente pelas câmeras 12 enquanto a barra 16 se move ao longo do eixo longitudinal na direção 20 (a direção 20 é melhor mostrada na figura 1). Prendedores de quadro podem ser usados para receber os sinais de imagens. As

câmeras 12 no sistema, entretanto, são preferencialmente câmeras digitais, como foi descrito acima. A unidade de computação pode compreender um ou mais computadores para ter força de computação suficiente para processar os dados de  
5 imagens. O hardware de processamento de imagens pode ser usado em conjunção com o software para velocidade de computação mais rápida. Se computadores múltiplos são usados, estes computadores podem ser ligados através de ligações intercomputadores tais como TCO/IP ou similares.

10 Em qualquer caso, a unidade de computação 10 é configurada para processar os dados de imagens para detectar características predeterminadas da superfície da barra 16. Em uma modalidade preferida, as características são defeitos de superfície. Deste modo, os dados de imagens serão processados  
15 para defeitos, tais defeitos sendo mostrados no modo exemplar nas figuras 14A-14B. As imagens contêm tipicamente ambos os defeitos reais (por exemplo, item 302) e barulho, tal como marcas de ruído de raspar (por exemplo, item 304). Algoritmos de processamento de imagens, implementados em códigos de  
20 computador tais como C, C++, linguagens de máquina, e similares, ou implementados em lógica de hardware, são usados para filtrar o barulho, e para detectar os defeitos verdadeiros, como é mostrado no 306. Os defeitos a serem identificados podem ser longos e ter uma proporção de aspecto  
25 grande, como é mostrado nas figuras 15A-15C, onde o item 308 pode ter 1000 mm de comprimento, e o item 310 pode indicar uma largura de 0,050 mm. Ou, os defeitos podem ser curtos e ter uma proporção de aspecto de quase 1-para-1, como é mostrado nas figuras 16A-16C. Estes algoritmos são conhecidos  
30 na técnica, mas serão descritos geralmente. Uma primeira camada de processamento pode envolver uma comparação de contraste local na imagem, tal como pela comparação de uma primeira entrada predeterminada para o contraste local. Uma segunda camada de processamento pode envolver a aplicação de  
35 uma segunda entrada predeterminada para detectar a natureza do defeito tal como tamanho, localização, comprimento e

largura e similares.

A modalidade preferida descrita e ilustrada em conexão com a figura 1 também terá proteção contra poeira, água, vibrações, e outros fatores de danificação em uma fábrica de processos de metal típica tal como uma fábrica de laminação quente ou uma fábrica de estiramento fria.

Aqueles versados na técnica devem avaliar a possibilidade de retrair mais a barra e separadamente usar três ou mais sistemas de câmeras únicas na linha do processo de redução para inspeção.

Aqueles versados na técnica devem também avaliar que cobrir (por exemplo, inspeção de) uma porção da superfície da barra menos do que a circunferência inteira pode ser útil o suficiente para fins de controle do processo estatístico na linha do processo de redução.

Aqueles versados na técnica também entenderão que uma câmera de varredura de área com velocidade muito alta (taxa de dados alta e taxa de quadro alta) pode ser usada no lugar de câmeras de varredura de linha se somente uma certa porção de cada uma das imagens de varredura da área é usada para o processamento.

Uma pessoa pode também entender que se as barras de metal estão em uma temperatura elevada, um filtro ótico pode ser usado em conjunção com a lente tal que somente certos comprimentos de ondas nos raios 42 de luz refletida (na figura 12) serão usados para carregar a informação de superfície das barras de metal. Tais comprimentos de ondas são aqueles não emitidos ou não emitidos predominantemente pelas barras de metal na dita temperatura elevada. Para as barras de metal a  $1.650^{\circ}\text{C}$  ou mais frio, o comprimento da onda de 436 nm pode ser usado. Neste caso, um filtro de interferência a 436 nm será usado com a lente. Este comprimento de onda pode variar com a temperatura. Se a temperatura diminuir, um comprimento de onda mais longo pode ser usado.

Ainda em mais uma variação, o conjunto de linha de luz pode ser configurado para incluir uma luz estroboscópica, na

qual a unidade de computação 10 sincroniza a iluminação (isto é, a seleção de sinal) com a função de captura de imagem desempenhada pelo conjunto de aquisição de imagens (por exemplo, as câmeras 12 na modalidade preferida).

5        Ainda em uma outra modalidade, a unidade de computação 10 é configurada para manter um relatório corrente dos defeitos detectados, incluindo (i) uma localização respectiva de cada defeito detectado relativo a uma posição "inicial", tal como a extremidade condutora, na barra 16 sendo fabricada  
10 através de processos que reduzem mecanicamente a área de corte transversal das barras de metal; (ii) uma anotação respectiva da natureza do defeito detectado, tal como tamanho, forma, contraste; e (iii) opcionalmente, uma imagem  
15 real do local e arredores do defeito detectado. O relatório pode ser útil para o fornecedor/fabricante, por exemplo, para determinar um desconto adiantado, e pode ser fornecido para o cliente (por exemplo, em um disquete ou outro meio  
20 eletrônico) para uso em processamento posterior, por exemplo, que porções da barra evitar ou fazer um trabalho de perto na mesma.

**REIVINDICAÇÕES**

1. Sistema para formação de imagens em uma barra alongada, estendendo-se e movimentando-se ao longo de um eixo longitudinal em um processo de fabricação, **caracterizado** por  
5 compreender:

um conjunto de aquisição de imagens tendo um campo de vista configurado para formar imagens de uma primeira largura predeterminada sobre uma circunferência de uma superfície da dita barra enquanto a dita barra está se movendo para definir  
10 uma correia de imagens e produzir dados de imagens correspondentes também, o dito conjunto de aquisição de imagens incluindo câmeras digitais **n**, onde **n** é um número inteiro 3 ou maior, preparado para que um campo combinado de vista dele corresponda à dita correia de imagens, as ditas  
15 câmeras compreendendo câmeras de varredura de linha;

um conjunto de linha de luz configurado para projetar uma correia de linha de luz tendo uma segunda largura predeterminada sobre a superfície da dita barra, o dito conjunto de linha de luz sendo disposto em relação ao dito  
20 conjunto de aquisição de imagens de modo que a dita correia de imagens esteja dentro da dita correia de linha de luz, o dito conjunto de linha de luz sendo ainda configurado de modo que uma intensidade de luz seja substancialmente uniforme ao longo da dita correia de imagens;

um cassete removível tendo uma posição instalada e uma posição removida em relação a um suporte para o dito cassete, o dito cassete incluindo (i) espelhos de direção de iluminação intermediários a uma pluralidade de fontes de luz de linha e a dita barra, e (ii) espelhos de direção de  
30 imagens intermediários a dita barra e ditas câmeras, os ditos espelhos de iluminação e ditos espelhos de direção de imagens estando em alinhamento quando o dito cassete está na dita posição instalada; e

uma unidade de computação acoplada ao dito conjunto de  
35 aquisição de imagens configurado para receber dados de imagens para uma pluralidade de correias de imagens

adquiridas pelo dito conjunto de aquisição de imagens enquanto a dita barra se move ao longo do dito eixo longitudinal, a dita unidade de computação sendo ainda configurada para processar os ditos dados de imagens para  
5 detectar características de superfície predeterminadas da dita barra.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por compreender um mecanismo de retenção e trancamento configurado para reter o dito cassete na dita  
10 posição instalada.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por compreender:

um dispositivo de proteção compreendendo um tubo tendo uma primeira parte e uma segunda parte separada e afastada da  
15 dita primeira parte ao longo do dito eixo longitudinal para definir um espaço de acesso, o dito tubo sendo disposto intermediário entre a barra alongada e o dito meio de aquisição de imagens e o dito conjunto de linha de luz, o dito espaço de acesso sendo configurado em tamanho e forma  
20 para permitir (i) a entrada da dita correia de linha de luz e (ii) a saída da dita correia de imagens, onde os ditos espelhos de direção de iluminação e espelhos de direção de imagens são dispostos no dito espaço de acesso, e em que o dito conjunto de luz de linha é protegido da dita barra por  
25 uma da dita primeira parte e dita segunda parte do dito tubo de proteção, o dito conjunto de aquisição de imagem sendo protegido da dita barra por uma da dita primeira parte e dita segunda parte do dito tubo de proteção.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de que o tubo compreende metal.  
30

5. Sistema para formação de imagens em uma barra alongada, estendendo-se e movimentando-se ao longo de um eixo longitudinal em um processo de fabricação, **caracterizado** por compreender:

35 um conjunto de aquisição de imagens tendo um campo de vista configurado para formar imagens de uma primeira largura

predeterminada sobre a circunferência de uma superfície da dita barra enquanto a dita barra está se movendo para definir uma correia de imagem e produzir dados de imagem correspondentes a ele, o dito conjunto de aquisição de  
5 imagens incluindo câmeras digitais  $n$ , onde  $n$  é um número inteiro 3 ou maior, disposto de modo que um campo de vista combinado dele corresponda a dita correia de imagens, as ditas câmeras compreendendo câmeras de varredura de linha;

um conjunto de linha de luz configurado para projetar  
10 uma correia de linha de luz tendo uma segunda largura predeterminada sobre a superfície da dita barra, o dito conjunto de linha de luz sendo disposto em relação ao dito conjunto de aquisição de imagens tal que a dita correia de imagens está dentro da dita correia de linha de luz, o dito  
15 conjunto de linha de luz sendo ainda configurado de modo que uma intensidade de luz esteja substancialmente uniforme ao longo da dita correia de imagens;

um dispositivo de proteção compreendendo um tubo tendo uma primeira parte e uma segunda parte separada e afastada da  
20 dita primeira parte ao longo do dito eixo longitudinal para definir um espaço de acesso, o dito tubo sendo disposto intermediário entre a barra alongada e o dito meio de aquisição de imagens e o dito conjunto de linha de luz, o dito espaço de acesso sendo configurado em tamanho e forma  
25 para permitir (i) a entrada da dita correia de linha de luz e (ii) a saída da dita correia de imagens, o dito sistema de formação de imagens ainda incluindo (i) espelhos de direção de iluminação intermediários a uma pluralidade de fontes de luz de linha e a dita barra, e (ii) espelhos de direção de  
30 imagem intermediários à dita barra e ditas câmeras, nas quais os ditos espelhos de direção de iluminação e os ditos espelhos de direção de imagens são dispostos no dito espaço de acesso, e no qual o dito conjunto de luz de linha é protegido da dita barra por uma da dita primeira parte e dita  
35 segunda parte do dito tubo de proteção, o dito conjunto de aquisição de imagem sendo protegido da dita barra por uma da

dita primeira parte e dita segunda parte do dito tubo de proteção; e

uma unidade de computação acoplada ao dito conjunto de aquisição de imagens configurado para receber dados de  
5 imagens para uma pluralidade de correias de imagens adquiridas pelo dito conjunto de aquisição de imagens enquanto a dita barra se move ao longo do dito eixo longitudinal, a dita unidade de computação sendo ainda configurada para processar os ditos dados de imagens para  
10 detectar características de superfície predeterminadas da dita barra.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que o tubo compreende metal.

7. Sistema para formação de imagens em uma barra  
15 alongada, estendendo-se e movimentando-se ao longo de um eixo longitudinal em um processo de fabricação, **caracterizado** por compreender:

um conjunto de aquisição de imagens tendo um campo de vista configurado para formar imagens de uma primeira largura  
20 predeterminada sobre a circunferência de uma superfície da dita barra enquanto a dita barra está se movendo para definir uma correia de imagem e produzir dados de imagem correspondentes a ele, o dito conjunto de aquisição de imagens incluindo câmeras digitais  $n$ , onde  $n$  é um número  
25 inteiro 3 ou maior, disposto de modo que um campo de vista combinado dele corresponda à dita correia de imagens, as ditas câmeras compreendendo câmeras de varredura de linha;

um conjunto de linha de luz configurado para projetar uma correia de linha de luz tendo uma segunda largura  
30 predeterminada sobre a superfície da dita barra, o dito conjunto de linha de luz sendo disposto em relação ao dito conjunto de aquisição de imagens tal que a dita correia de imagens está dentro da dita correia de linha de luz, o dito conjunto de linha de luz sendo ainda configurado de modo que  
35 uma intensidade de luz esteja substancialmente uniforme ao longo da dita correia de imagens;

um dispositivo de proteção compreendendo um tubo tendo uma primeira parte e uma segunda parte separada e afastada da dita primeira parte ao longo do dito eixo longitudinal para definir um espaço de acesso, o dito tubo sendo disposto intermediário entre a barra alongada e o dito meio de aquisição de imagens e o dito conjunto de linha de luz, o dito espaço de acesso sendo configurado em tamanho e forma para permitir (i) a entrada da dita correia de linha de luz e (ii) a saída da dita correia de imagens,

um mecanismo de redução de contaminantes configurado para reduzir a presença de contaminantes no espaço próximo ao dito espaço de acesso do dito tubo de proteção;

uma unidade de computação acoplada ao dito conjunto de aquisição de imagens configurado para receber dados de imagens para uma pluralidade de correias de imagens adquiridas pelo dito conjunto de aquisição de imagens enquanto a dita barra se move ao longo do dito eixo longitudinal, a dita unidade de computação sendo ainda configurada para processar os ditos dados de imagens para detectar características de superfície predeterminadas da dita barra.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que os contaminantes compreendem um pó de incrustação de fábrica e neblina de água.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que o dito mecanismo de redução de contaminantes compreende um efector terminal de vácuo tendo uma parede exterior definido um compartimento a vácuo interior, o dito efector terminal ainda incluindo uma entrada de sucção localizada perto do dito espaço de acesso do dito dispositivo de proteção, o dito efector terminal a vácuo sendo configurado para ser conectado a uma fonte de vácuo.

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que o efector terminal a vácuo é uma forma anelar tendo um eixo anelar que é substancialmente coincidente com o dito eixo longitudinal, a dita entrada de

sucção sendo configurada em tamanho e forma para circunscrever o perímetro do dito espaço de acesso.

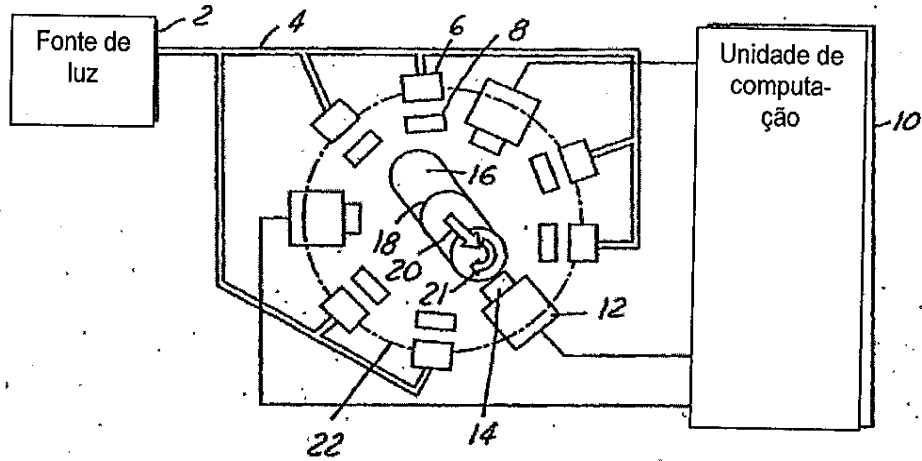
11. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que o efector terminal a vácuo é substancialmente retangular em corte transversal radial, a dita entrada de sucção sendo formada pela remoção de um canto interno radialmente do dito efector terminal a vácuo.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que o efector terminal a vácuo compreende um par de porções de corpo na forma de meio anel.

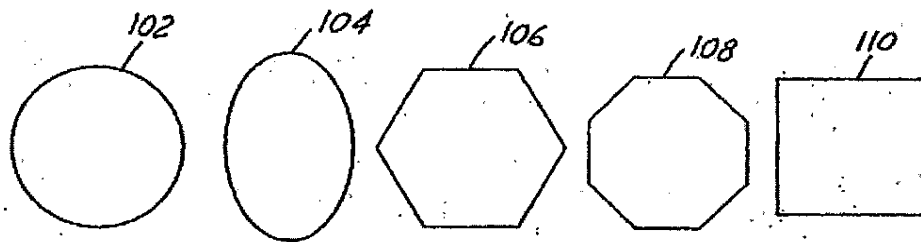
13. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que o efector terminal a vácuo compreende uma pluralidade de barras retas.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que o mecanismo de redução de contaminantes ainda inclui um conduto para conectar a dita fonte de vácuo ao dito efector terminal a vácuo, a dita fonte de vácuo compreendendo uma bomba de vácuo.

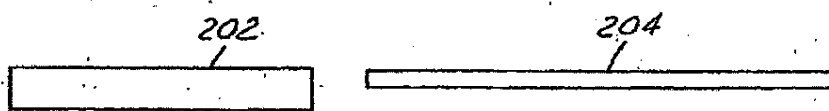
15. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que a dita bomba de vácuo é um tipo venturi.



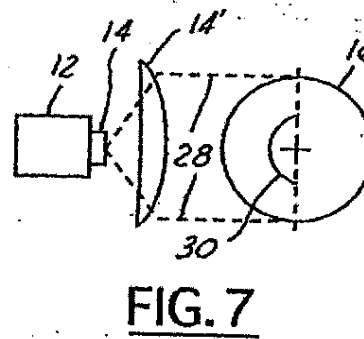
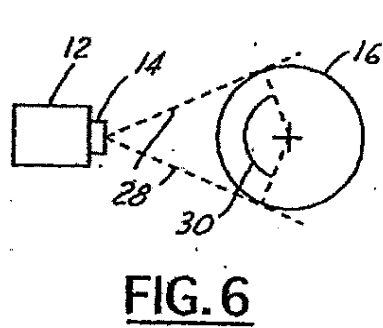
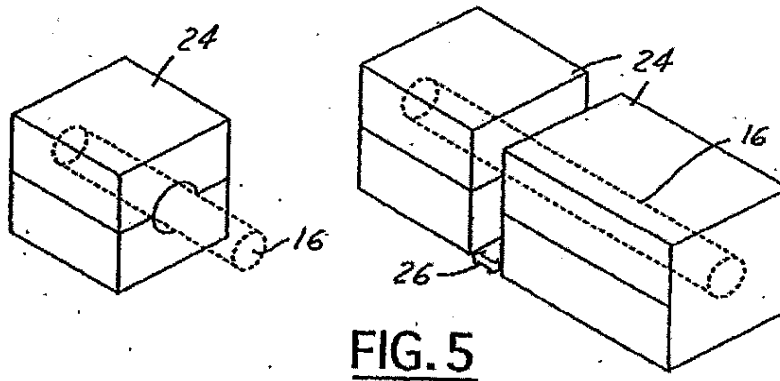
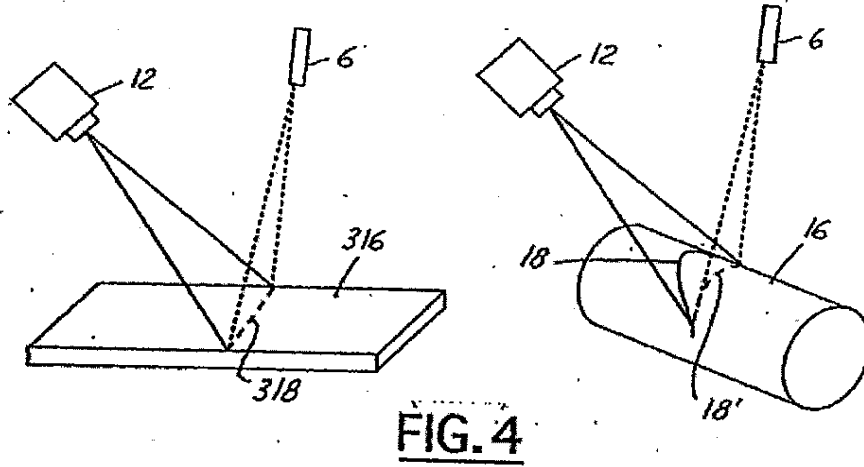
**FIG. 1**

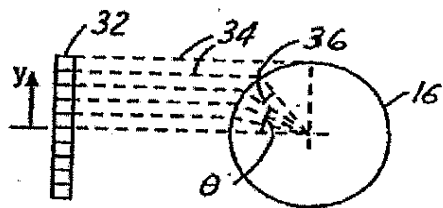


**FIG. 2**

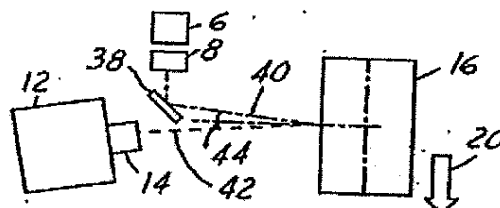


**FIG. 3**

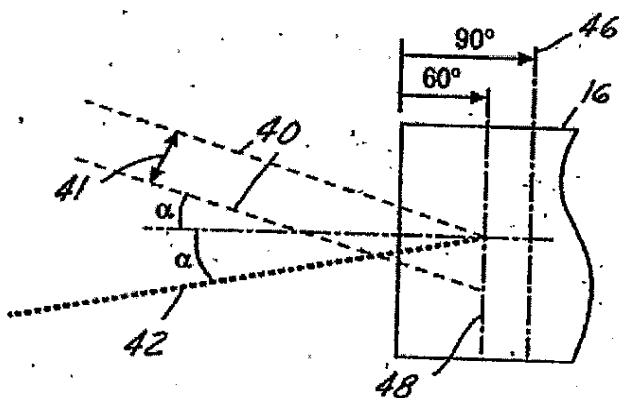




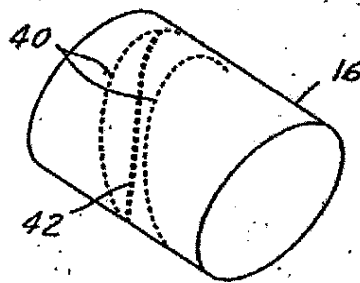
**FIG. 8**



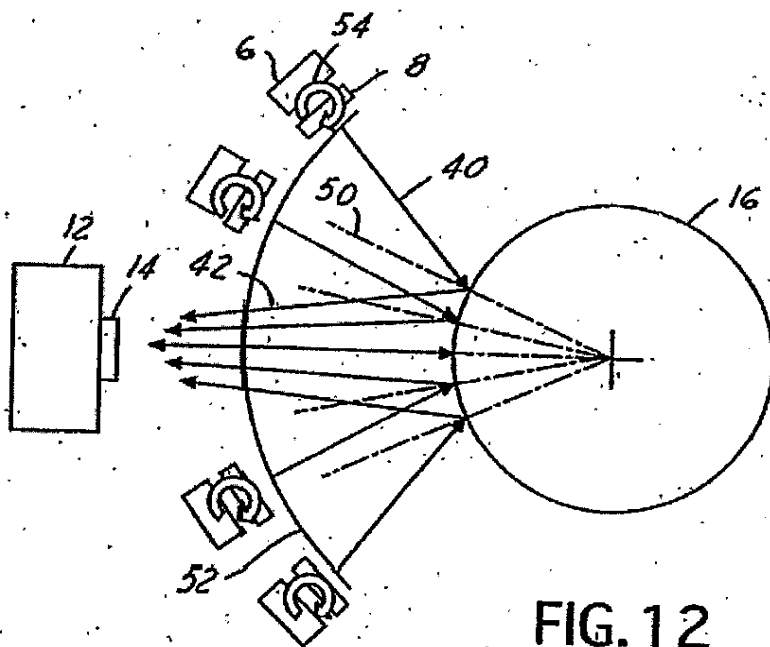
**FIG. 9**



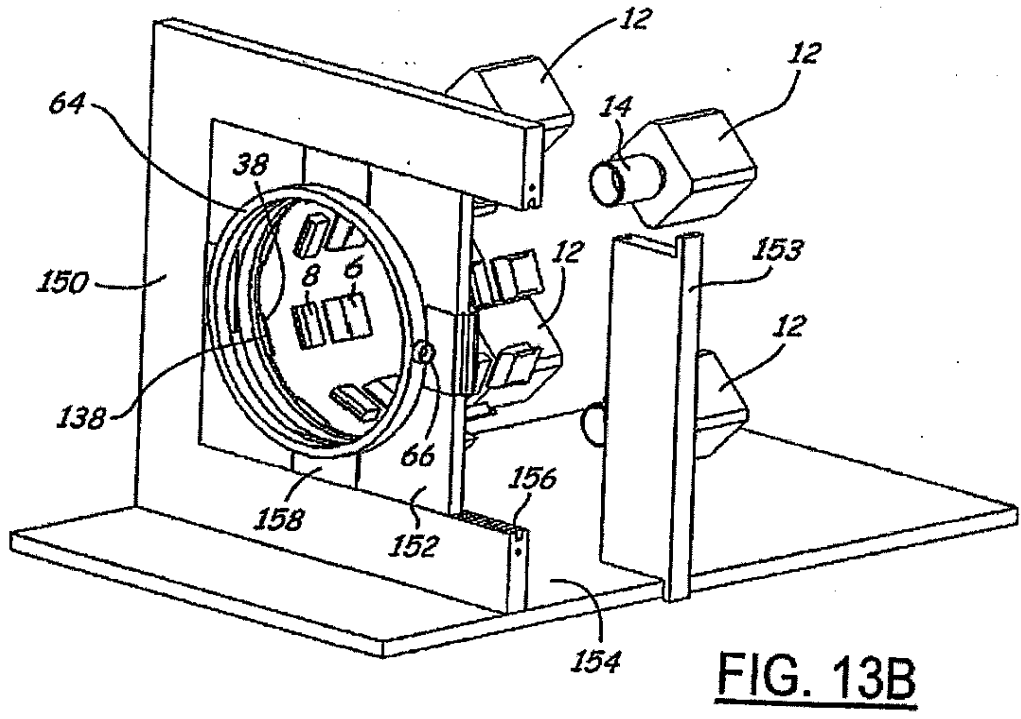
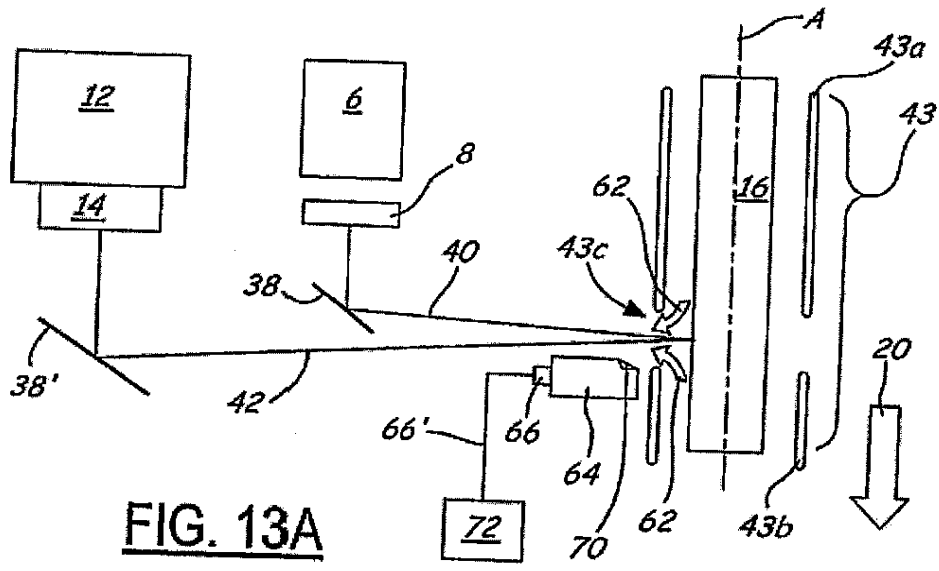
**FIG. 10**

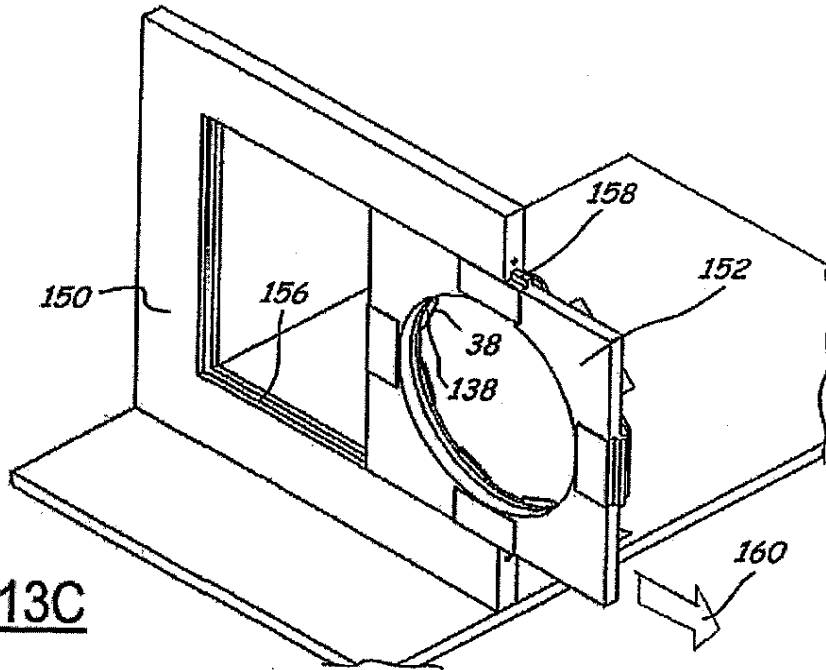


**FIG. 11**

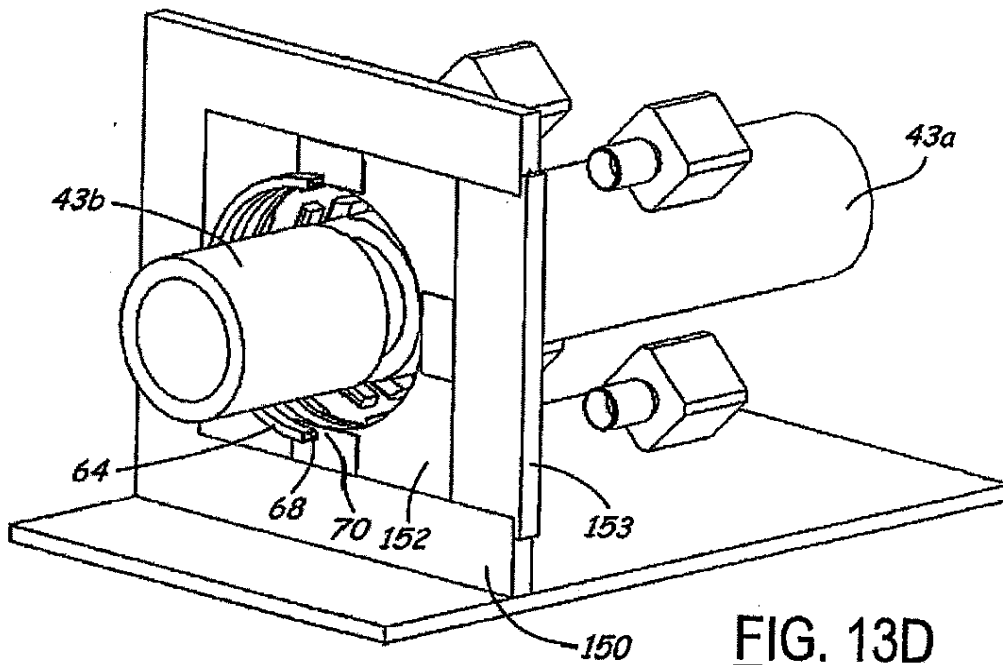


**FIG. 12**





**FIG. 13C**



**FIG. 13D**

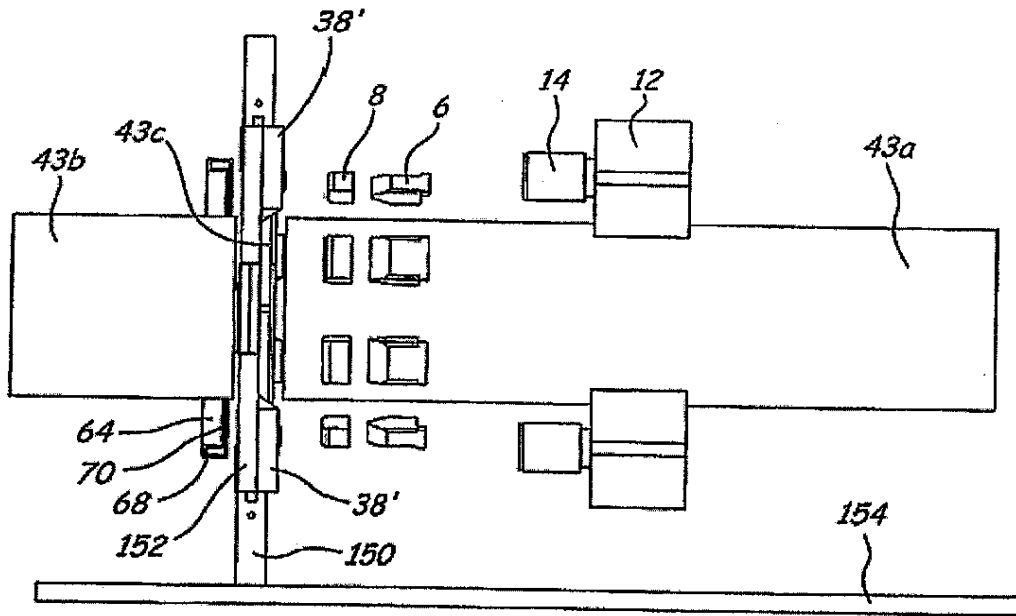


FIG. 13E

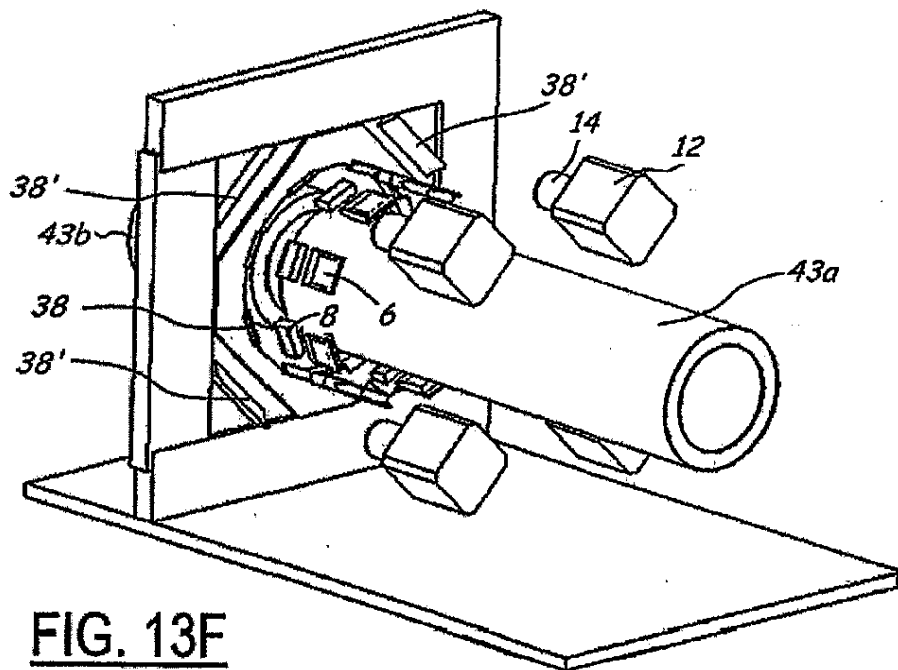
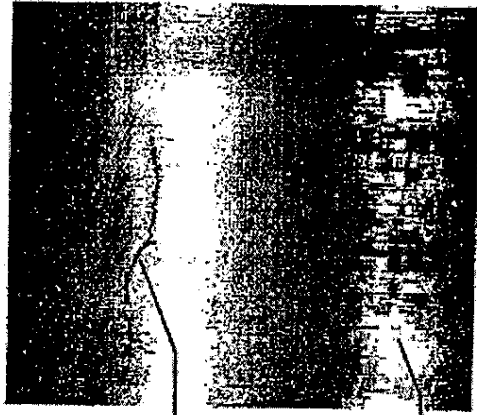


FIG. 13F



302

304

FIG. 14A



306

FIG. 14B

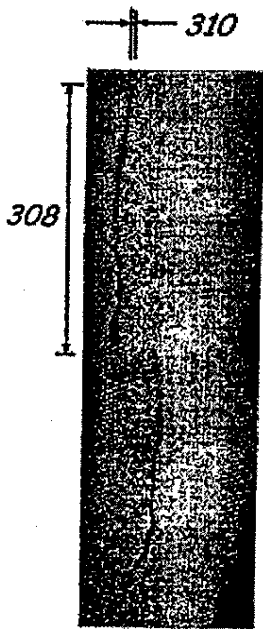


FIG. 15A

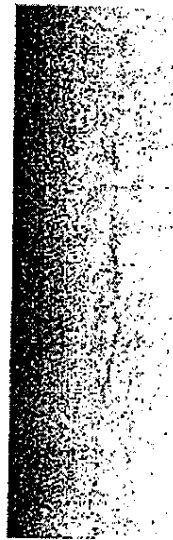


FIG. 15B

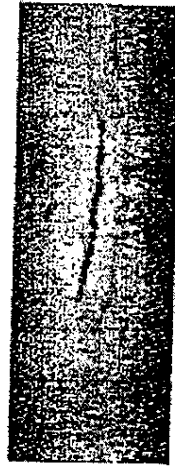


FIG. 15C

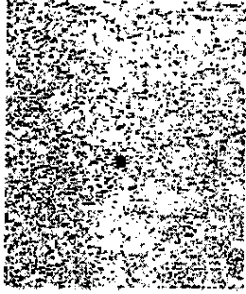


FIG. 16A



FIG. 16B

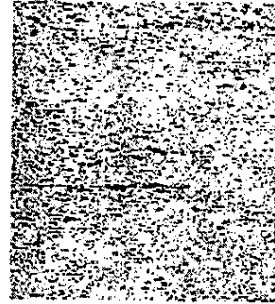


FIG. 16C

**SISTEMA PARA FORMAÇÃO DE IMAGENS EM UMA BARRA LONGADA**

A presente invenção visa resolver os problemas associados à detecção de defeitos de superfície em barras de metal assim como problemas associados à aplicação de sistemas de inspeção de superfícies planas de metal para barras de metal para detecção de defeitos de superfície não-destrutivos. Um sistema de formação de imagens projetado especialmente, que é compreendido por uma unidade de computação, luzes de linha e câmeras de varredura de linha de taxas de dados alta, é desenvolvido com o propósito acima mencionado. A aplicação alvo são as barras de metal (1) que têm uma circunferência/proporção de área de corte transversal igual ou menor do que 4,25 quando a área de corte transversal é unidade para a forma dada, (2) cujos cortes transversais são redondos, ovais, ou na forma de um polígono, e (3) são fabricadas por processos de redução de corte transversal mecanicamente. O dito metal pode ser aço, aço inoxidável, alumínio, cobre, bronze, titânio, níquel, e assim por diante, e/ou suas ligas. As ditas barras de metal podem estar na temperatura quando elas estão sendo fabricadas. Um cassete removível inclui vários espelhos. Um tubo de proteção isola a barra de metal móvel do conjunto de luz de linha e da câmera de aquisição de imagens. Um mecanismo de redução de contaminantes aplica um vácuo para remover contaminantes aerotransportados.