



INSTITUTO NACIONAL
DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

(11) *Número de Publicação:* PT 854004 E

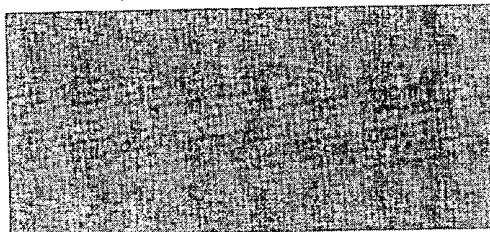
(51) *Classificação Internacional:* (Ed. 6)
B23K026/00 A

(12) *FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO*

(22) <i>Data de depósito:</i> 1996.04.09	(73) <i>Titular(es):</i> LFC LASER FINISHING CENTER AG ORFFSTRASSE 6 91074 HERZOGENAURACH	DE
(30) <i>Prioridade:</i> 1995.04.06 DE 29505985 U		
(43) <i>Data de publicação do pedido:</i> 1998.07.22	(72) <i>Inventor(es):</i> ALEXANDER BESTENLEHRER	DE
(45) <i>Data e BPI da concessão:</i> 2001.10.04	(74) <i>Mandatário(s):</i> ANTÓNIO JOÃO COIMBRA DA CUNHA FERREIRA RUA DAS FLORES 74 4/AND. 1294 LISBOA	PT

(54) *Epígrafe:* PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE SUPERFÍCIES DE VEDAÇÃO EM FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO COMPLEMENTARES

(57) *Resumo:*





DESCRIÇÃO

“Processo para a produção de superfícies de vedação em ferramentas de conformação complementares”

O presente invento refere-se a um processo e a um dispositivo para maquinagem, em particular polimento e estruturação de quaisquer superfícies de conformação tridimensional por meio de laser, isto é, superfícies de conformação livre, e à utilização deste processo para a produção de superfícies de vedação em ferramentas de conformação complementares.

A utilização de raios laser é conhecida a partir da DE-OS 42 41 527, em particular um laser Excimer pulsado para polir superfícies metálicas. Devido à operação pulsada com densidades de energias no âmbito de 5×10^7 Watt/cm², a superfície do metal é fundida. Devido à utilização de um laser de ultravioleta, ou seja, Excimer, isto só se realiza nas zonas marginais superiores do metal até uma profundidade de 1 a 2 µm, de modo que não ocorrem nenhuma deformações ou fissuras e a superfície do metal é alisada.

São conhecidos a partir das DE-OS-42 17 530, da DE-OS-39 22 377, da EP-A-0 419 999 e da US-A-4,825,035 processos e dispositivos para o endurecimento de superfícies metálicas submetidas a grandes esforços como por exemplo superfícies de atrito do êmbolo.

É conhecido a partir da DE-OS 41 33 620 o modo de estruturar superfícies metálicas por meio de raios laser. Neste caso o raio laser percorre trajectórias curvas sobre a superfície metálica cuja forma corresponde à estruturação pretendida.

É conhecido a partir da DE-OS 44 01 597 um dispositivo de maquinagem por laser, aliás de corte por laser, no qual o molde do corte pode ser introduzido sob forma de dados CAD.

É conhecido a partir da DE-OS 41 06 008 um autómato de soldadura, no qual a qualidade da costura de solda é controlada em linha (on-line) através de um controlo óptico da costura de solda, isto é, da soldadura por injeção.

É conhecido a partir da DE-OS-37 11 470 um processo para a produção de um modelo tridimensional, o qual é composto por uma pluralidade de discos, os quais apresentam os contornos do modelo e são de matéria prima em placas, sendo realizadas através de uma maquinagem de remoção de material por meio de laser. Neste caso é

removido material num determinado ponto durante um tempo determinado até ser atingido um valor NOMINAL.

É conhecido a partir da DE-OS-42 19 809 um processo e um dispositivo para uma remoção controlada de camadas de uma superfície por meio de laser. Para simplificar o comando, isto é, a regulação da remoção, é garantido que as partes de superfície maquinadas em sequência apresentem sempre uma superfície constante.

Os processos e dispositivos conhecidos no estado da arte para maquinagem por meio de raios, isto é, de laser, apresentam essencialmente a desvantagem de que só se poderão maquinar formas previamente conhecidas. Por conseguinte com isto não é possível uma aplicação à escala industrial nem a maquinagem de superfícies de conformação tridimensionais de quaisquer formas complicadas.

É conhecido a partir da US-A-4,986,664 um processo e um dispositivo para uma remoção controlada de material. Neste caso a superfície a ser maquinada é medida directamente antes da maquinagem e, com base nestes dados de medição, são seleccionados os parâmetros de maquinagem adequados.

É conhecido a partir da JP-A-63101092 um dispositivo para a maquinagem de superfícies de conformação tridimensionais, onde a superfície a ser maquinada é medida directamente antes da maquinagem. Com base nos dados de medição e na forma pretendida são calculados os parâmetros de maquinagem adequados e convertidos na respectiva maquinagem de material.

É um objectivo do invento disponibilizar um processo para a produção de superfícies de vedação complementares em ferramentas de conformação complementares.

A solução deste quesito efectua-se por meio das características da reivindicação 1 aliás 2.

Com o processo de acordo com o invento podem-se produzir de modo simples superfícies de vedação complementares em ferramentas de conformação complementares com quaisquer formas. Pela elevada exactidão do processo de acordo com o invento consegue-se que as superfícies de vedação complementares a serem sobrepostas estejam muito bem ajustadas entre si e por isso vedem muito bem.

Numa primeira variante, dos pares de partes de superfície de vedação complementares é maquinado em primeiro lugar apenas uma metade e a forma REAL atualizada apurada é utilizada como forma teórica para a segunda metade dos pares de partes de superfície de vedação. Desta forma os erros, isto é, as divergências da primeira metade dos pares de partes de superfície de vedação da forma teórica na maquinagem da segunda metade dos pares de partes de superfície de vedação são compensadas, ou seja, neutralizadas.

Numa segunda variante, a maquinagem das partes de superfície de vedação complementares efectua-se para uma distância constante entre as partes de superfície de vedação complementares. Com isto podem-se maquinar, isto é, produzir apenas com um único conjunto de dados teóricos duas superfícies de vedação complementares contíguas.

Se a remoção de material provocada por um raio laser for aplicada como função da fluência laser sobre a superfície a ser maquinada, então resulta, na manutenção constante de outros parâmetros de maquinagem, uma curva que, na gama de uma baixa fluência do laser ascende ligeiramente, na gama de uma fluência média do laser ascende de forma acentuada e na gama de uma alta fluência do laser ascende de novo ligeiramente. De acordo com uma concretização preferencial do invento, o laser é operado nas zonas com ligeira ascensão dado que as oscilações de fluência não têm ali praticamente efeito sobre a remoção de material, de modo que resultam superfícies uniformes e lisas.

No polimento com raios laser de peças por acabar é aproveitada de preferência a área plana da curva com baixa fluência do laser, dado que no polimento com raios laser não é desejado qualquer material de remoção.

As restantes reivindicações subsequentes referem-se a outros aperfeiçoamentos adicionais favoráveis do invento.

O presente pedido é um pedido divisionário relativamente à EP 96909025.7 (Pedido Original). O dispositivo para o polimento com laser descrito no Pedido Original é particularmente adequado para a execução do processo de acordo com o invento.

Outras características, pormenores e vantagens do invento resultam da descrição de uma concretização que se segue exemplificada com base no desenho. A mesma mostra:

na fig. 1 uma representação esquemática de um dispositivo exemplificado para a realização do processo de acordo com o invento;

na fig. 2 um pormenor do dispositivo de acordo com a fig. 1;

na fig. 3 uma representação esquemática para o esclarecimento do modo de funcionamento do dispositivo conforme as Figs. 1 e 2;

na fig. 4 um fluxograma para a demonstração de fases parciais essenciais do processo de acordo com o invento;

na fig. 5 uma representação esquemática de uma ferramenta de conformação com duas peças complementares;

na fig. 6 um fluxograma para o esclarecimento de uma primeira concretização do processo para a produção de superfícies de vedação de acordo com o presente invento;

na fig. 7 uma representação esquemática para o esclarecimento de uma segunda concretização do processo para a produção de superfícies de vedação;

na fig. 8 uma representação qualitativa da remoção de material em função da fluência laser; e

nas Figs. 9a e 9b - ópticas de reprodução com um comprimento Rayleigh grande e pequeno.

O dispositivo exemplificado para a realização do presente invento, mostrado na fig. 1, compreende uma unidade laser 2 composta por uma cabeça de laser 3 e uma unidade geradora de raios laser 4 com a respectiva unidade de comando 6, pela qual se podem comandar, isto é, regular os parâmetros de maquinagem, como por exemplo a frequência de pulsação, duração da pulsação, grau de focalização, avanço, etc. do raio laser 5. A unidade geradora de raios laser 4 está ligada à cabeça de laser 3 através de um cabo condutor óptico 7. A cabeça de laser 3 está fixa a um suporte de cabeça de laser 8, o qual é parte de uma unidade de posicionamento XYZ 10. A cabeça de laser 3 também compreende uma óptica de reprodução, ou seja, uma unidade de focalização 12, através da qual o raio laser 5 a sair da cabeça de laser 3 pode ser focalizado sobre a superfície de uma peça 14 a ser trabalhada. Desta forma a cabeça de laser 3, e com isso o raio laser 5 que sai da cabeça de laser 3, pode ser movimentada e posicionada em todas as três dimensões X, Y e Z.

Também estão ligados à cabeça de laser 3 sensores de medição 16, por meio dos quais pode ser determinado o contorno da superfície da peça 14 a ser maquinada, por exemplo por triangulação, directamente antes da passagem do raio laser 5 e directamente após a passagem do raio laser 5. Desta forma é controlado directamente durante a maquinagem o resultado da maquinagem com o raio laser 5, e a quantidade de passagens

sobre a superfície de conformação tridimensional com o raio laser 5 pode ser otimizada de acordo com o resultado de operação pretendido.

O comando de toda a instalação efectua-se através do dispositivo de comando 6 pelo qual, tanto a unidade laser 2 composta por uma cabeça de laser 3 e a unidade geradora de raios laser 4, bem como a unidade de posicionamento 10 e os sensores de medição 16, são comandados e regulados. O dispositivo de comando 6 forma, em conjunto com os sensores de medição 16, uma unidade de medição de contornos 18 bidimensional ou tridimensional. Quanto ao dispositivo de comando 6, trata-se por exemplo de um micro-computador com uma memória de baixa prioridade. Nesta memória podem ser memorizados por exemplo dados CNC da peça 14 a ser maquinada. Com a unidade de medição de contornos 18 pode com isso ser apurado o desvio NOMINAL - REAL e ajustadas respectivamente as fases de maquinagem e também as características do raio laser.

A fig. 3 mostra uma representação esquemática do dispositivo representado na fig. 1, com uma unidade geradora de raios laser 4, um dispositivo de comando 6 e uma óptica de focalização 12 da qual sai o raio laser 5 e aparece sobre a superfície da peça 14 a ser maquinada, a qual é representada como linha de contorno 20 (forma REAL). A forma NOMINAL 22 é representada a tracejado. A unidade de medição de contornos 18 neste caso está integrada na óptica de focalização 12 e o raio de operação 5 é utilizado simultaneamente como raio de medição para a unidade de medição de contornos 18. Através do dispositivo de comando 6 pode-se variar, por meio de operações de ajuste não representadas em pormenor, a distância entre a óptica de focalização 12 e a superfície 20 da peça a ser maquinada, o que é assinalado por uma seta dupla 24. Também é actuado e comandado igualmente com o dispositivo de comando 6 o avanço referente à peça 14. Isto é representado pela seta 26. Como se pode verificar na fig. 3, a transição da forma REAL 20 para a forma NOMINAL 22 não é atingida com uma única passagem do raio laser 5. Na zona 28 já passada ainda se pode verificar um desvio entre NOMINAL e REAL.

Para tornar a maquinagem do material menos sensível contra vibrações e estremecimentos, o raio para a maquinagem é gerado com um comprimento Rayleigh de 300 μ m e mais. Os pormenores para isto são explicados em conjunto com a fig. 9.

A fig. 4 mostra um fluxograma para o esclarecimento das fases parciais essenciais do processo de acordo com o invento com as quais a superfície de uma peça 14 a ser maquinada é transferida da forma REAL para a forma NOMINAL. Numa fase S1 é em primeiro lugar determinado num sistema de coordenadas de referência a forma NOMINAL pretendida. Esta

forma NOMINAL pode estar disponível por exemplo sob a forma de dados CNC ou CAD. Numa fase S2 esta forma REAL da peça 14 ainda não maquinada ou preparada é então apurada e representada em coordenadas do sistema de coordenadas de referência. Numa fase S3 é verificado se o valor REAL na parte de superfície da peça 14 a ser maquinada já coincide ou não com o valor NOMINAL. Se isto for o caso é verificado numa fase S4 se já todas as partes de superfície foram maquinadas ou não. Se isto for o caso, a maquinação está concluída. Se ainda não foram maquinadas todas as partes de superfície, então efectua-se numa fase S5 a transição para a próxima parte de superfície e a maquinação inicia-se novamente com a fase S2.

Se da verificação na fase S3 resultar um NÃO, então desvia-se para uma fase S6 na qual, devido a uma comparação dos dados NOMINAL e REAL com base em entradas externas sobre o material a ser maquinado, etc., é apurado o parâmetro de maquinação para o laser 2 e a estratégia da maquinação. Numa fase S7 é então executada a maquinação com laser da respectiva parte de superfície de acordo com os parâmetros apurados na fase S6. Em seguida volta-se para a fase S2.

A fig. 5 mostra de forma esquemática uma ferramenta de conformação 30, a qual é composta por duas peças 32 e 33 complementares. Ambas as peças 32 e 33 podem ser unidas e o espaço oco envolvido pelas mesmas é então vedado por meio de duas partes de superfície de vedação 34 e 36 complementares. As partes de superfície de vedação 34 e 36 podem ser moldadas praticamente com qualquer forma.

A fig. 6 mostra um fluxograma para explicar a realização das superfícies de vedação 34 e 36 com o processo de acordo com o presente invento. Numa fase S1' é em primeiro lugar determinada a forma NOMINAL de apenas uma das duas partes de superfície de vedação, por exemplo, da parte de superfície de vedação 34. Em seguida efectua-se a maquinação de acordo com as fases S2 até S7 conforme a fig. 4. Quando a primeira parte de superfície de vedação 34 estiver completamente maquinada, então numa fase S8 a forma REAL da primeira parte de superfície de vedação 34 disponível após a maquinação é fixa como forma NOMINAL para a segunda parte de superfície de vedação 36. A maquinação da segunda parte de superfície de vedação 36 efectua-se então novamente de forma análoga às fases S2 até S7 conforme a fig. 4.

A fig. 7 mostra de forma esquemática um corte através de uma parte das peças 32 e 33 da ferramenta de conformação 30, isto é, um corte através de uma porção das partes de superfície de vedação 34 e 36, em que as zonas 38 e 39 são representadas de forma ampliada.

As duas peças 32 e 33, especificamente as suas partes de superfície de vedação 34 e 36, estão dispostas de modo espaçado com uma distância D relativamente uma à outra. Devido à rugosidade das partes de superfície de vedação 34 e 36, a distância efectiva D_i (distância REAL) varia entre elementos de superfície opostos das partes de superfície de vedação 34 e 36. As duas peças da ferramenta de conformação 32 e 34 são fixas relativamente ao espaço a uma distância fixa uma para com a outra e é medida a distância REAL D_i entre elementos de superfícies opostos das partes de superfície de vedação 34 e 36. Em seguida é fixa a distância NOMINAL D_s e ambas as partes de superfície de vedação 34 e 36 são maquinadas com o laser de tal forma que estejam dentro das tolerâncias $D_i = D_s$. Se esta condição for cumprida, ambas as partes de superfície de vedação apresentam a forma NOMINAL 34' e 36' pretendida.

Na fig. 8 a remoção de material A provocada pelo raio laser 5 é representada em μm como função da fluência laser (densidade de energia vezes o período de irradiação) em J/cm^2 . Disto resulta o decurso de uma curva na forma de um S alongado com um decurso de curva pouco acentuado na gama de uma baixa fluência laser, referência 40, e na gama de uma elevada fluência laser, referência 42, e um decurso de curva bastante acentuado na gama de uma fluência laser média, referência 41. Os valores mencionados na fig. 8 são válidos para um sistema laser com vapor de cobre, como é conhecido através da DE-OS 44 12 443 e à qual se faz referência integral no presente processo. Para um laser com vapor de cobre e alumínio como material a ser maquinado, a zona 40 termina, ou seja, a zona 41 inicia em aproximadamente $1 \text{ J}/\text{cm}^2$ e o fim da zona 41, ou seja, o início da zona 42 situa-se aproximadamente em $250 \text{ J}/\text{cm}^2$. Até uma fluência laser de aproximadamente $1 \text{ J}/\text{cm}^2$ a remoção de alumínio situa-se na ordem de $1 \mu\text{m}$ na zona 40, e na zona 42, com uma fluência laser superior a $250 \text{ J}/\text{cm}^2$, a remoção de alumínio situa-se aproximadamente em $80 \mu\text{m}$.

O laser 2 é operado de acordo com o invento nas zonas 40 e 42 com um decurso de curva pouco acentuado, dado que ali as oscilações de fluência reduzidas, como por exemplo as que ocorrem pelas variações da distância entre a cabeça de laser 3 e a superfície a ser maquinada, devido às vibrações, quase que não têm efeito sobre a grandeza da remoção de material. Consequentemente, torna-se mais simples uma estruturação controlada e exacta. A zona 40 com uma baixa intensidade do laser é particularmente favorável aquando do polimento com laser, dado que no polimento com laser não é desejável uma grande remoção de material.

Uma outra medida para tornar a instalação laser 2 insensível às oscilações de situações e posicionamentos, como acontecem forçosamente com os braços de autómato, é

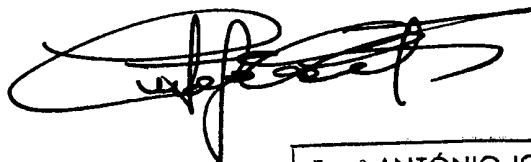
explicada com base nas figs. 9a e 9b. Para este efeito é utilizada na instalação laser 2 um dispositivo de focalização, ou seja, uma óptica de reprodução 12, as quais apresentam um grande comprimento Rayleigh, de preferência $\geq 300 \mu\text{m}$. É do conhecimento que em sistemas ópticos reais o ponto focal B não é um ponto matemático ideal mas uma zona de espaço. O comprimento Rayleigh é uma medida para a variação da secção transversal do feixe luminoso na zona do ponto focal geométrico. Quanto menor for o comprimento Rayleigh tanto mais o feixe luminoso coincide com o percurso dos raios.

A fig. 9a mostra uma óptica 12 com um grande comprimento Rayleigh e a fig. 9b uma óptica 12' com um pequeno comprimento Rayleigh. Se em ambos os casos a distância entre a óptica de reprodução 12, 12' e a superfície a ser maquinada varia pelo ponto focal B em ΔD , então com um pequeno comprimento Rayleigh - fig. 9b - a superfície de secção transversal F do feixe luminoso oscila num domínio entre $+\Delta D$ e $-\Delta D$ e com isso consideravelmente mais a intensidade do laser do que em grandes comprimento Rayleigh - fig. 9a. Uma instalação laser 2 com uma óptica de reprodução 12 com um grande comprimento Rayleigh é, por isso, menos sensível em relação a oscilações de vibração.

Lisboa,

15.09.2001

Por LFC Laser Finishing Center AG
- O AGENTE OFICIAL -



Eng.º ANTÓNIO JOÃO
DA CUNHA FERREIRA
Ag. Of. Pr. Ind.
Rua das Flores, 74-4.º
1200-195 LISBOA



Reivindicações

1. Processo para a produção de superfícies de vedação em ferramentas de conformação complementares com pelo menos duas partes de superfície de vedação complementares, com as seguintes fases de processo:

a) determinação das coordenadas tridimensionais de uma das partes de superfície de vedação (dados nominais);

b) varrimento de pelo menos uma das partes de superfície de vedação complementares por meio de uma unidade de medição de contornos tridimensional para a determinação da forma exacta e efectiva da superfície desta parte de superfície de vedação num sistema de coordenadas de referência (dados reais);

c) cálculo dos parâmetros de maquinagem para uma instalação de maquinagem com raio laser para a remoção de camadas de material com base nos dados nominais apurados e com base nos dados reais apurados pela unidade de medição de contornos tridimensional;

d) maquinagem de uma das partes de superfície de vedação complementares com a instalação de maquinagem com raio laser com base nos parâmetros de maquinagem apurados na fase c);

e) varrimento repetido da parte de superfície de vedação maquinada na fase d) por meio de uma unidade de medição de contornos tridimensional para a determinação da forma da superfície das partes de superfície de vedação existente após a maquinagem (dados reais actualizados);

f) eventual repetição das fases b) até e) até a divergência dos dados nominais para com os dados reais se situar numa determinada gama de tolerância; e

g) determinação da última forma de superfície apurada na fase e) de uma das já maquinadas partes de superfície de vedação como sendo a forma NOMINAL para a outra parte de superfície de vedação complementar; e

h) maquinagem da outra parte de superfície de vedação complementar de acordo com as fases c) até f).

2. Processo para a produção de superfícies de vedação em ferramentas de conformação complementares com pelo menos duas partes de superfície de vedação complementares, com as seguintes fases de processo:

a) dispor as ferramentas de conformação complementares de tal forma que a distância de secções de superfícies das partes de superfície de vedação correspondentes entre si estejam situadas numa primeira gama de tolerância;



b) determinação da distância exacta de secções de superfícies das partes de superfície de vedação correspondentes entre si através de uma unidade de medição de contornos tridimensional (dados reais);

c) estabelecer uma distância NOMINAL (dados nominais), a qual tem pelo menos a dimensão da maior distância REAL;

d) calcular os parâmetros de maquinagem para uma instalação de maquinagem com raios laser para a remoção de camadas de material com base nos dados nominais apurados e com base nos dados reais apurados pela unidade de medição de contornos tridimensional;

e) maquinagem de pelo menos uma das partes de superfície de vedação complementares com uma unidade de maquinagem com raios laser com base nos parâmetros de maquinagem apurados na fase d);

f) determinação repetida da distância exacta de secções de superfícies das partes de superfície de vedação correspondentes entre si através de uma unidade de medição de contornos tridimensional (dados reais actualizados);

g) eventual repetição das fases d) até f) até a divergência dos dados nominais para com os dados reais se situar numa segunda gama de tolerância, a qual é menor que a primeira gama de tolerância.

3. Processo de acordo com pelo menos umas das reivindicações anteriores 1 ou 2, caracterizado por a superfície da secção transversal do raio laser a incidir sobre a parte de superfície de vedação a ser maquinada cobrir a parte de superfície de vedação na sua largura total.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por o estabelecimento dos dados nominais e o primeiro apuramento dos dados reais serem invertidos.

5. Processo de acordo com pelo menos uma das reivindicações anteriores, caracterizado por a unidade de maquinagem com raios laser ser operada numa gama na qual as alterações da remoção de material, devido às oscilações da intensidade dos raios, seja o mais reduzida possível.

6. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por a unidade de maquinagem com raios laser durante o polimento com laser ser operada numa gama de baixa intensidade laser.

7. Processo de acordo com pelo menos uma das reivindicações anteriores, caracterizado por a unidade de medição de contornos tridimensional operar com triangulação.

8. Processo de acordo com pelo menos uma das reivindicações anteriores, caracterizado por a unidade de maquinagem com raio gerar o raio laser como raio de trabalho.

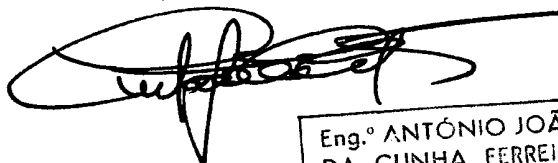
9. Processo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por a unidade de maquinagem com raio gerar um raio laser pulsado.

10. Processo de acordo com a reivindicação 8 ou 9, caracterizado por o raio de trabalho da unidade de maquinagem com raio ser utilizado como raio de medição da unidade de medição de contornos tridimensional.

11. Processo de acordo com pelo menos uma das reivindicações anteriores, caracterizado por o raio de trabalho ser orientado na perpendicular para com a superfície a ser maquinada.

Lisboa, 15. NOV. 2011

Por LFC Laser Finishing Center AG
- O AGENTE OFICIAL -



Eng.º ANTÓNIO JOÃO
DA CUNHA FERREIRA
Ag. Of. Pr. Ind.
Rua das Flores, 74 - 4.º
1200-195 LISBOA



Fig. 1

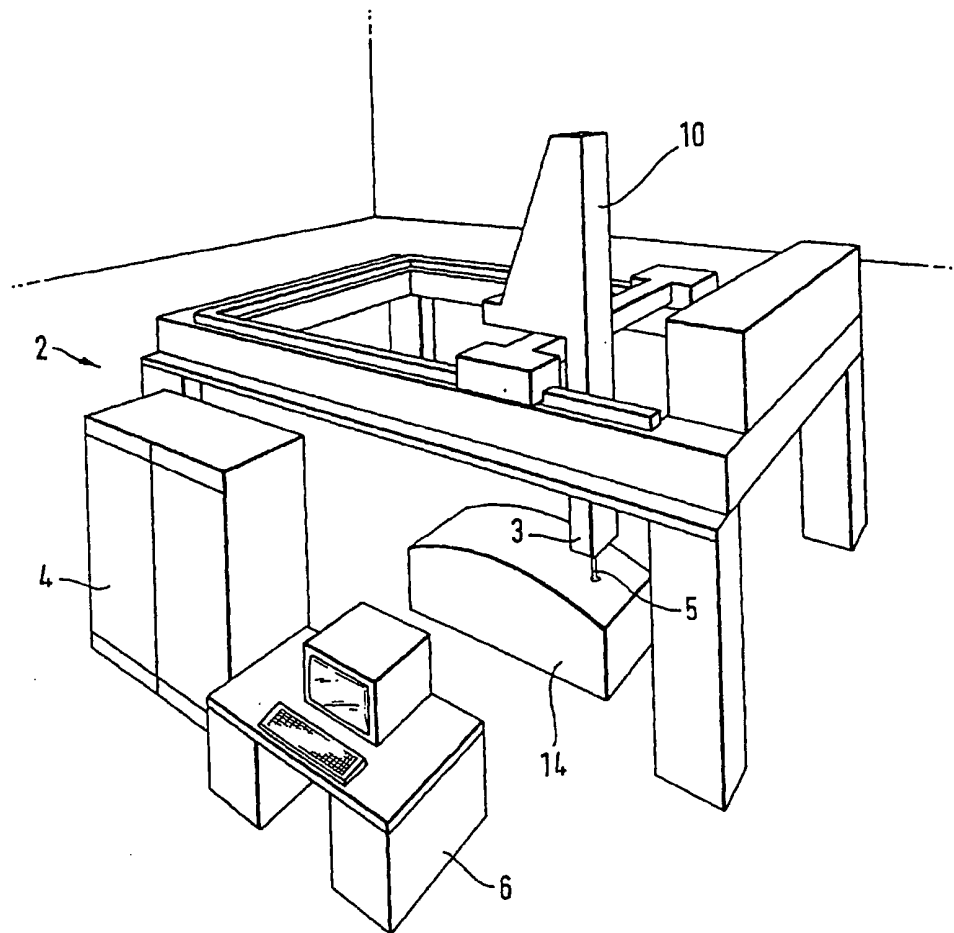




Fig. 2

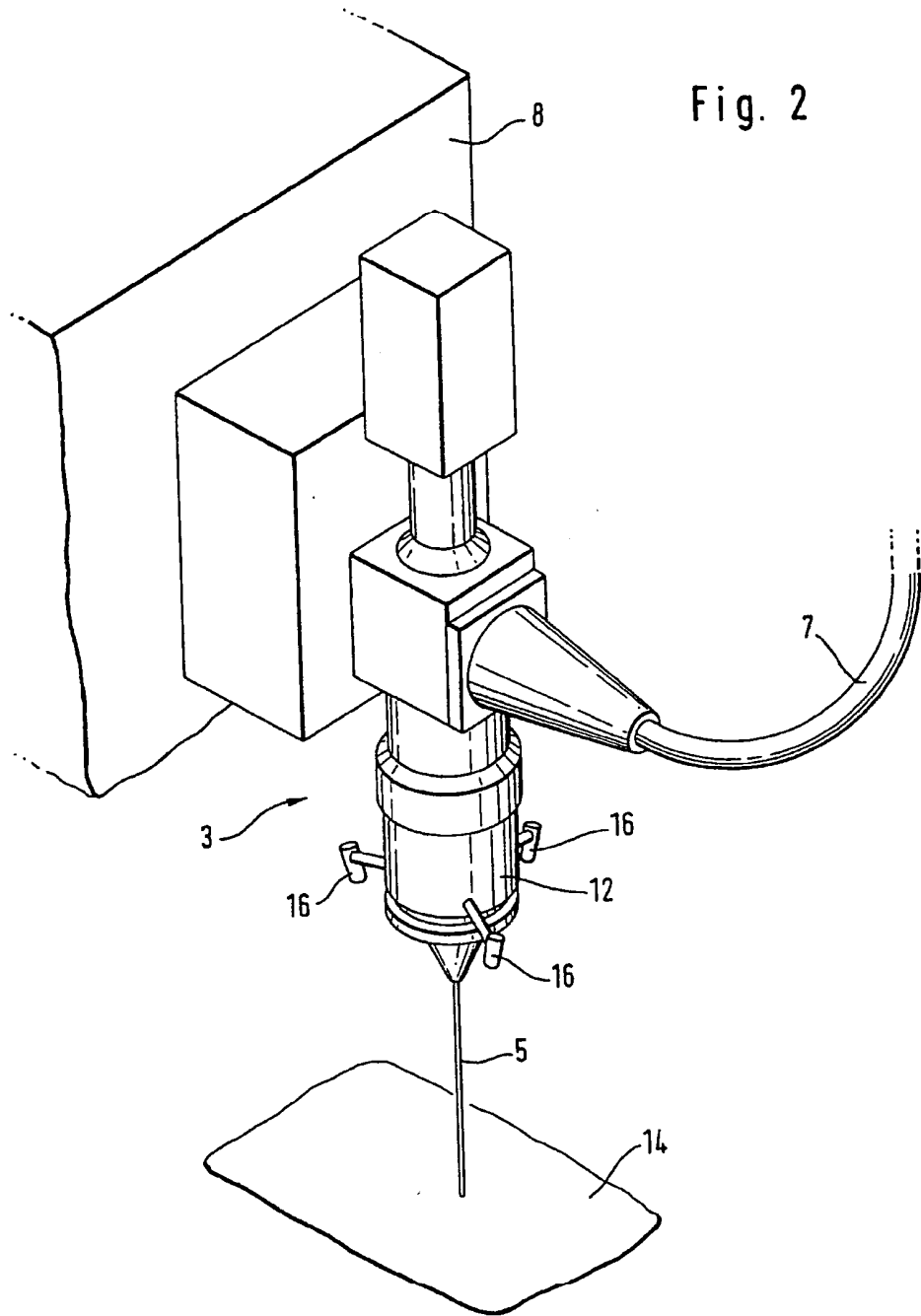


Fig. 3

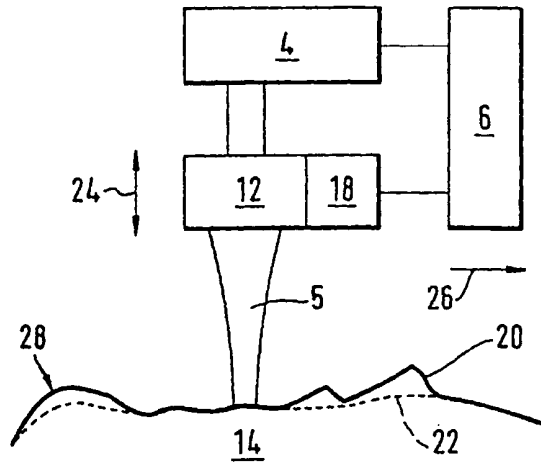


Fig. 7

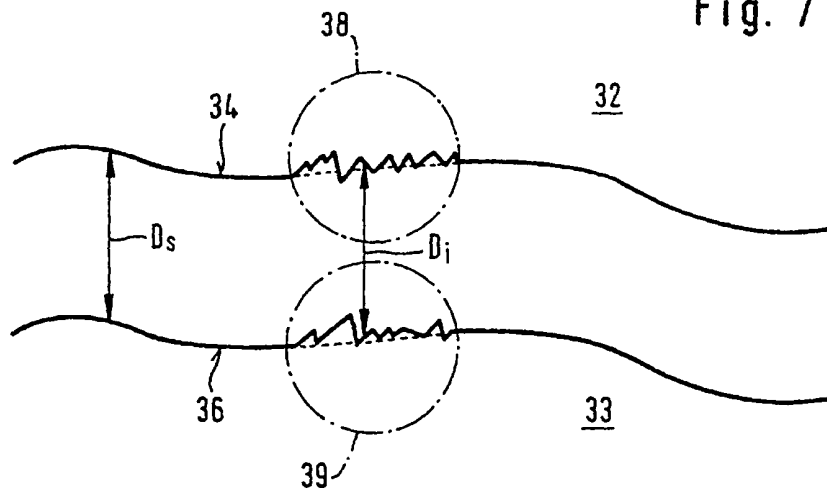


Fig. 4

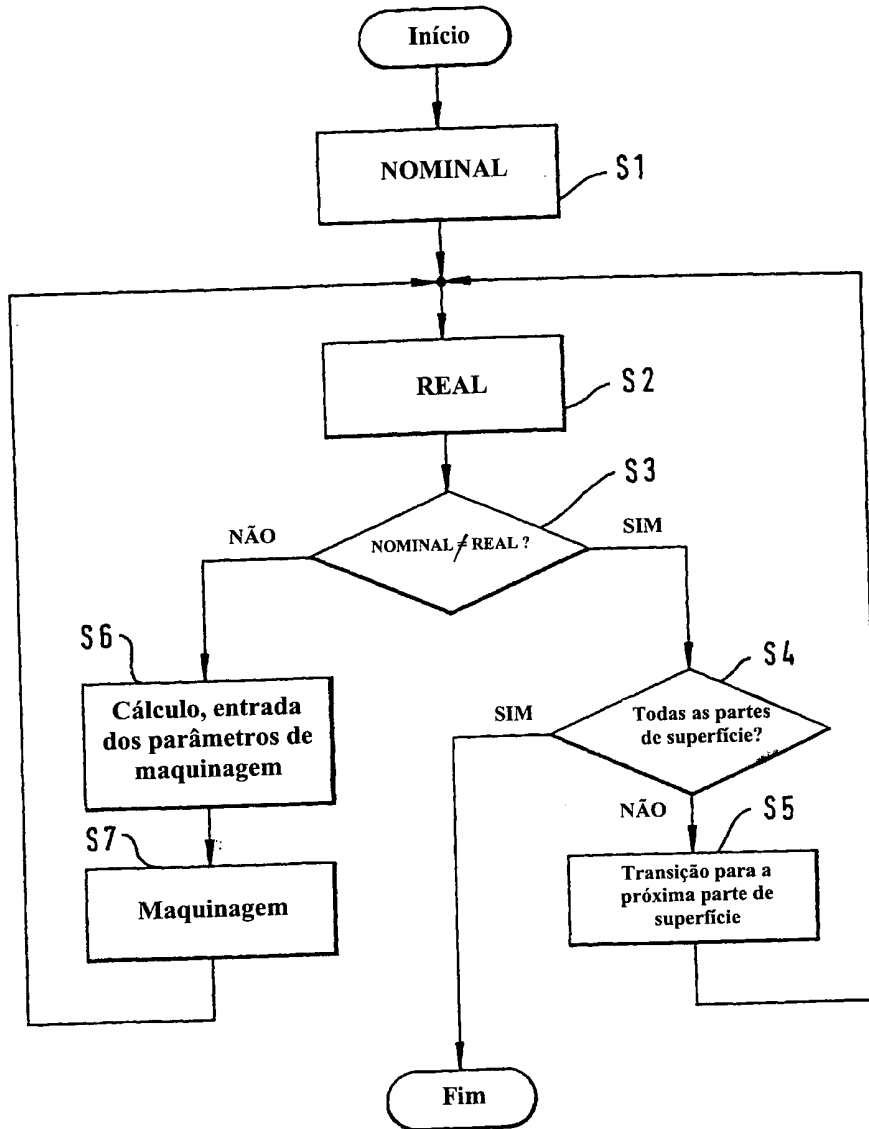


Fig. 5

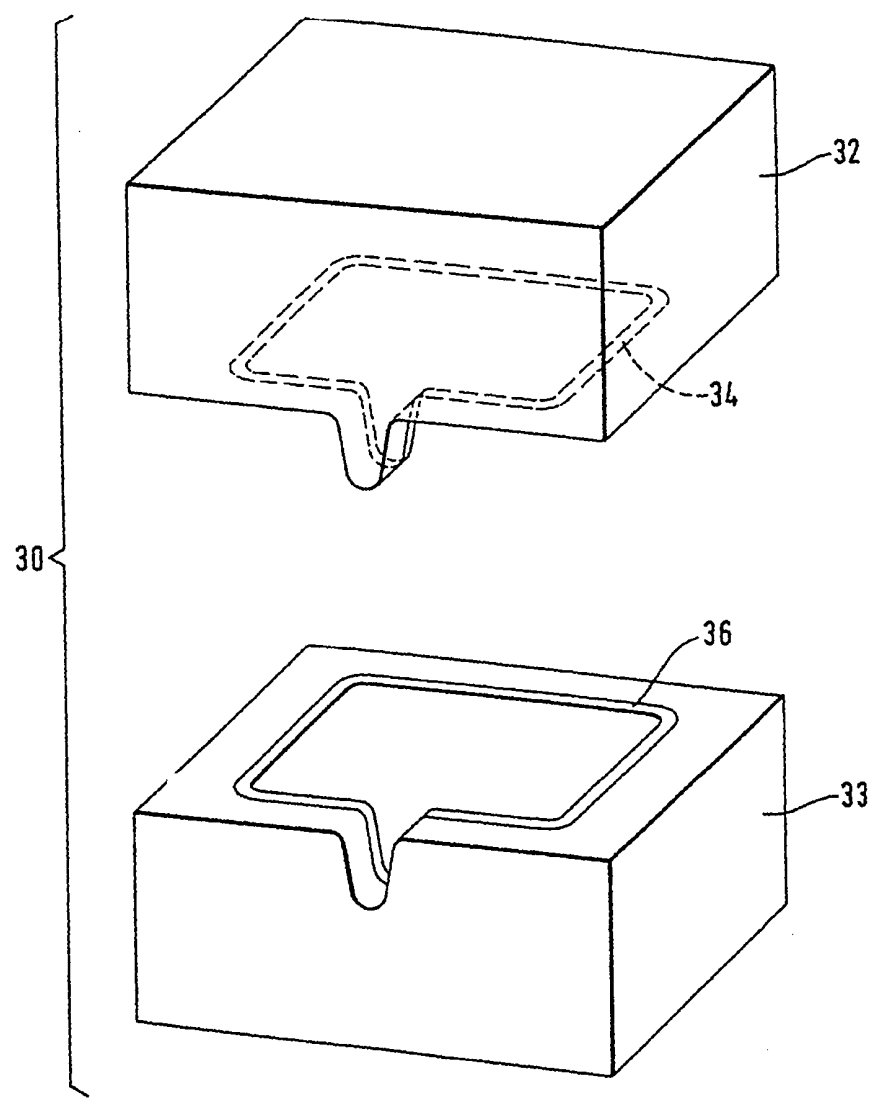


Fig. 6

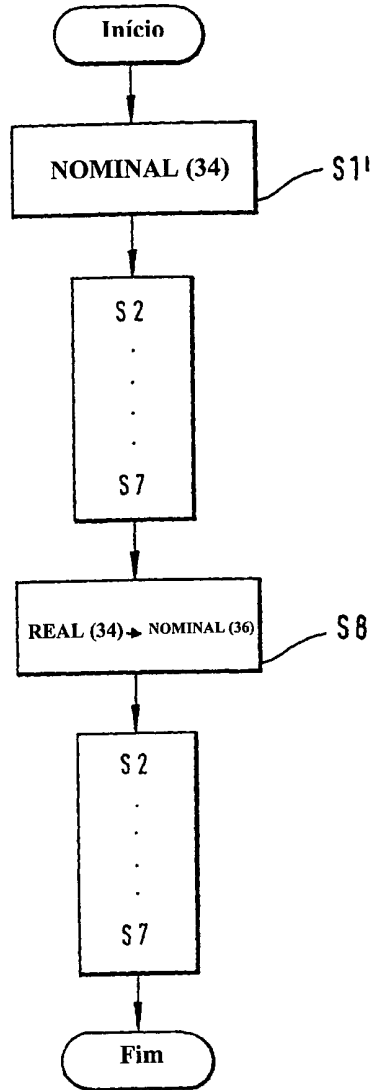


Fig. 8

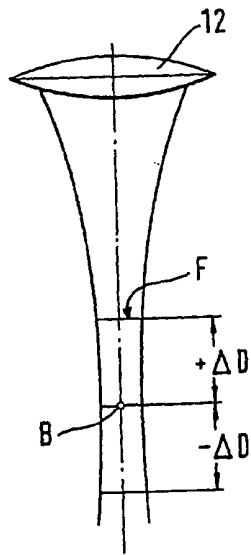
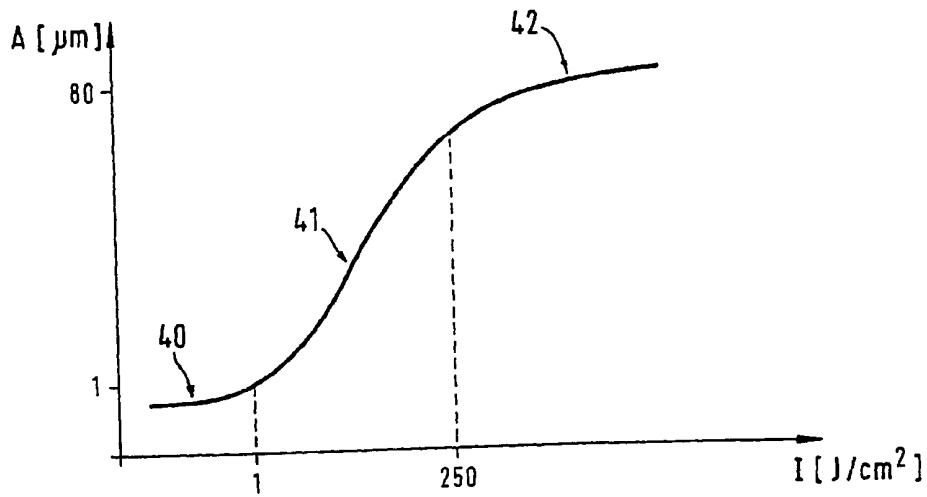


Fig. 9a

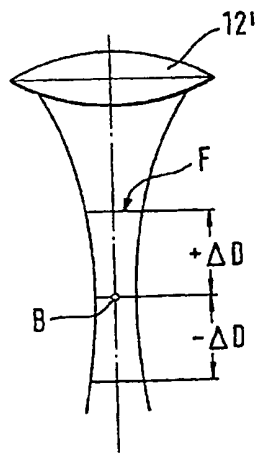


Fig. 9b