



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112015009986-6 B1



(22) Data do Depósito: 08/11/2013

(45) Data de Concessão: 15/12/2020

(54) Título: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE LÂMINAS DE TURBINAS EM LIGA METÁLICA

(51) Int.Cl.: B23P 15/02; F01D 5/14.

(30) Prioridade Unionista: 09/11/2012 FR 1260682; 15/01/2013 FR 1300071.

(73) Titular(es): MECACHROME FRANCE.

(72) Inventor(es): ARNAUD DE PONNAT; OLIVIER MARTIN.

(86) Pedido PCT: PCT FR2013052695 de 08/11/2013

(87) Publicação PCT: WO 2014/072661 de 15/05/2014

(85) Data do Início da Fase Nacional: 30/04/2015

(57) Resumo: PROCESSO E DISPOSITIF DE FABRICAÇÃO DE LÂMINAS DE TURBINAS. A presente invenção refere-se a um processo e a um dispositivo de fabricação de lâminas (5; 7; 28; 33) de turbinas em liga metálica. A partir de uma barra (10; 34) de geometria simples e/ou axissimétrica m liga de titânio e de alumínio, fazem-se simultaneamente pelo menos dois esboços (2; 3; 4; 8; 11) imbricados um no outro, na barra (10; 34) por recorte ao jato dá água (16), depois se usina separadamente cada um dos esboços (2; 3; 4; 8; 11) assim obtidos para chegar às lâminas (5; 7; 28; 33) com um perfil definitivo.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
"PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE LÂMINAS DE TURBINAS EM LIGA METÁLICA".

[001] A presente invenção refere-se a um processo de fabricação de lâminas de turbinas em liga metálica.

[002] A invenção se refere também a um dispositivo de fabricação, aplicando esse processo, assim como as lâminas assim obtidas.

[003] A invenção encontra uma aplicação particularmente importante, embora não exclusiva no domínio das lâminas ou pás utilizadas no setor da aeronáutica ou no domínio da energia.

[004] Tradicionalmente, as lâminas em aeronáutica são oriundas seja de bruto e fundição, seja de bruto de forja, parcial ou totalmente reusinadas.

[005] Quando a usinagem é apenas parcial e, em particular, quando o perfil da lâmina é acabado sem reusinagem mecânica, uma operação de correção, conformação e/ou calibragem é então indispensável para assegurar o dimensionamento funcional.

[006] Para as lâminas de turbina de pequena dimensão, no caso de constituição de protótipo de desenvolvimento, ou para atualização, ou ainda para lâminas de série em materiais facilmente usináveis e baratos, utilizam-se faixas ditas em massa talhada.

[007] Essas soluções apresentam inconvenientes no caso em que se desejaria utilizar o alumineto de titânio (faixa TiAl), que apresenta uma boa resistência em temperatura, mas uma fragilidade importante à temperatura ambiente.

[008] Mais precisamente, essas soluções conhecidas apresentam os seguintes problemas.

[009] Quando se situa no âmbito de uma faixa obtida a partir de uma barra bruta forjada, a forjadura deve ser realizada em condições quase isotermas e com velocidades de deformação relativamente

baixas e à alta temperatura. Nesse caso, os instrumentos são caros e têm uma duração de vida limitada.

[0010] Cadências importantes são, por outro lado, difíceis de atingir (multiplicação de meios específicos e caros) e a calibragem deve, além disso, ser realizada à alta temperatura. É desde logo difícil de fabricar uma lâmina com um perfil acabado nesse tipo de material, mesmo com uma retomada em usinagem química de uma eventual superespessura.

[0011] Em conclusão, partir de um bruto superespesso de forja ou extrudado e retomar na totalidade a superfície em usinagem mecânica é possível, mas necessita uma faixa em usinagem complexa para ser capaz de seguir as deformações ligadas aos relaxamentos de esforço, até mesmo utilizar uma faixa autoadaptativa. Além disso, utilizar um bruto de forja obriga a ter no mínimo três famílias de operação: elaboração matéria, forjadura e usinagem, com um ciclo de fabricação relativamente longo.

[0012] São conhecidos processos de fabricação de lâminas para turbomáquina (EP 1 623 792) fabricadas por retirada de um esboço em uma coroa com parede tubular.

[0013] As lâminas assim forjadas apresentam desvantagens. Sua geometria é muito trabalhosa, ficando contida em um segmento de tubulação. Notadamente, devido à curvatura da tubulação, ela necessita de uma operação de curvatura/ arqueamento e o processo não permite a obtenção de um produto acabado por usinagem. Elas são, além disso, limitadas em sua dimensão, notadamente, e espessura.

[0014] No caso de uma faixa obtida com um bruto de fundição, a fundição deve ser fabricada sob vácuo ou sob atmosfera protetora e com processos que permitem alimentar com metal muito rapidamente seções relativamente finas (processos de centrifugação, por exemplo).

[0015] A obtenção de um perfil aceitável sem retomada em usinagem mecânica necessita então de uma correção, que se

assemelha à calibragem precedente, no caso em que se utilizaria Alumineto de Titânio (faixa TiAl) e isto, para limitar a taxa de peças não conformes, com os mesmos inconvenientes que indicados acima.

[0016] Na realidade, partir de um bruto superespesso de fundição e retomar na totalidade a superfície em usinagem mecânica é certamente possível, mas não necessita no caso ainda de uma faixa em usinagem complexa para ser capaz de seguir as deformações ligadas aos relaxamentos de esforço, esse processo gerando, qualquer que seja uma taxa de escória importante ligado aos defeitos de fundição que sai após usinagem.

[0017] Uma operação de compressão isostática a quente é, dessa forma, também frequentemente necessário para conter defeitos de fundição e limitar assim sua presença no bruto.

[0018] Utilizar um bruto de fundição obriga enfim de ter de três a cinco famílias de operação: elaboração matéria, fundição, eventualmente compressão isostática a quente, eventualmente correção e enfim usinagem, e isto no caso ainda com um ciclo de fabricação relativamente longo.

[0019] Conhecem-se também processos de fabricação de elementos de turbina, a partir de um bruto de fundição e por tratamento térmico e usinagem (EP 2 423 340).

[0020] Esses processos acrescentam ainda uma etapa de tratamento térmico, complexa e onerosa. Além disso, eles procedem por recorte de partes retangulares de matérias justapostas, o que não permite economizar matéria.

[0021] No caso de uma faixa dita massa talhada em usinagem mecânica, trata-se no caso de partir de um pedaço (fabricado por fundição ou por extrusão) e transformar essa geometria simples naquela da peça, retirando o excesso de matéria por usinagem.

[0022] Considerando-se a dificuldade de usinar a faixa TiAl (ainda

uma vez condições de corte muito pequenas, desgaste importante das ferramentas, fragilidade da matéria à temperatura ambiente...) e do custo importante da matéria, essa via apresenta aqui ainda inconvenientes sérios para a realização de lâminas em série.

[0023] A presente invenção visa a prevenir esses inconvenientes e a propor um processo e um dispositivo respondendo melhor do que aqueles anteriormente conhecidos nas exigências da prática, notadamente limitando a quantidade de matéria utilizada, e, portanto, de matéria a usinar em relação à faixa dita massa de tamanha, a se livrar da operação de teste, a reduzir os ciclos de fabricação, e o custo energético, e tudo isto utilizando meios industriais padrões.

[0024] Por teste, entende-se o reposicionamento ou a orientação no espaço de uma peça para medir seus defeitos de planeidade e/ou deformação em relação a uma referência, de forma a minimizar / mediar os defeitos geométricos da peça.

[0025] Com a invenção vai ser possível conceber produtos brutos, permitindo a exclusão ou a minimização dos defeitos ligados à fundição.

[0026] Segue-se um número menor de refugos.

[0027] Para isto, a invenção parte da ideia de escolher geometrias simples e/ou axissimétricas para por em forma de barra sólida inicial, que permitem utilizar o estágio de elaboração da matéria (mistura dos diferentes elementos para fazer dela uma liga) para formar essa barra. Isto permite se livrar desde a partida da operação de fundição próxima das cotas buscadas.

[0028] Por barra de geometria simples entende-se uma barra sólida de seção geratriz poligonal, circular ou oval, ou sensivelmente poligonal, sensivelmente circular ou sensivelmente oval.

[0029] A barra pode, portanto, por exemplo, apresentar uma forma paralelepípedica de seção retangular, quadrada ou trapezoidal.

[0030] A seção pode ser constante ou não em função, por exemplo.

Da forma das peças buscadas *in fine*, por exemplo, com extremidades mais volumosas que a parte central.

[0031] Por barra axissimétrica entende-se uma barra sólida alongada em torno de um eixo e apresentando, por exemplo, uma forma geométrica cilíndrica, cônica ou troncônica.

[0032] No caso ainda a seção pode ser constante ou variar em função da posição da seção sobre o eixo.

[0033] Vantajosamente, a barra apresenta uma e/ou umas face(s) plana(s) e/ou convexa(s).

[0034] De acordo com um modo de realização vantajoso da invenção, a barra apresenta faces planas ou sempre convexas.

[0035] Essa mesma geometria simples permite limitar a presença de defeitos de matéria e posicioná-los em zonas precisas e reproduzíveis que serão jogadas fora (eliminadas).

[0036] A geometria simples e/ou axissimétrica permite, além disso, não ter nível de esforço residual muito importante, pois o resfriamento é mais homogêneo em relação a uma peça que apresenta zonas maciças e finas.

[0037] Há, portanto, menos risco de refugo por causa de deformação, quando da usinagem.

[0038] Com essa finalidade, a invenção propõe notadamente um processo de fabricação de lâminas de turbinas em liga metálica, a partir de um elemento em liga de titânio e de alumínio, caracterizado pelo fato de, a liga sendo de alumineto de titânio e o elemento sendo uma barra sólida, se fabricarem simultaneamente pelo menos dois esboços imbricados um no outro, nessa barra por recorte com jato d'água, depois se usina separadamente cada um desses esboços assim obtidos para chegar a essas lâminas com um perfil definitivo.

[0039] Em outros termos, realiza-se a imbricação otimizada de várias lâminas, por exemplo, em faixa TiAl, em um mesmo pedaço (ou

barra), o que necessita de ir ao encontro das ideias recebidas, favorecendo as faixas com fundição (perfil acabado ou semiacabado).

[0040] Para isto, era preciso aceitar otimizar toda vez a imbricação, o que necessita de uma reflexão a montante sobre o posicionamento das peças umas em relação às outras, definindo, além disso, o número ótimo, integrando as dificuldades do(s) processo(s) de recorte a utilizar.

[0041] Em determinados casos, isto vai acarretar uma modificação em retorno da concepção da peça para otimizar-lhe a imbricação, deslocando, por exemplo, partes de platina sobre o disco ou acrescentando uma peça, que vai ao encontro do funcionamento de pensamento do técnico.

[0042] O recorte imbricado permite fazer várias peças na mesma barra e, portanto, limitar a quantidade de matéria.

[0043] Ele permite também recuperar a matéria de boa qualidade e, além disso, grande quantidade para reciclá-la. Anotar-se-á aqui que só as peças são recuperáveis pela via de fundição, os ataques de fundição sendo descartados.

[0044] A presente invenção permite evitar esses inconvenientes.

[0045] Com a presente invenção, é assim possível partir de uma barra, por exemplo, de 2,3 kg de matéria, para dois esboços de 0,4 kg após recorte com jato de água, para se obterem duas peças (lâminas), por exemplo, 90 gramas.

[0046] A taxa de refugo observado é, então, inferior a 5 %, enquanto que a taxa de refugo habitual em série da técnica anterior para essas peças e em uma liga mais fácil de trabalhar que aquele da invenção é da ordem de 35 %.

[0047] A decomposição do custo da peça (com perímetro de refugo igual, e preço de matéria no quilo igual, etc...) mostra um ganho de 10 % em relação ao que é observado habitualmente.

[0048] Em modos de realização vantajosos da invenção, recorreu-

se, além disso, a uma e/ou à outra das seguintes disposições:

- os esboços imbricados são idênticos, realizados alternadamente, de forma simétrica dois a dois, respectivamente em relação a um ponto, uma reta ou um plano central;
- a liga de alumineto de titânio é da faixa TiAl;
- realizam-se os esboços, a partir de uma barra feita em fundição;
- realizam-se os esboços a partir de uma barra extrudada;
- realizam-se os esboços a partir de uma barra cilíndrica;
- realizam-se os esboços a partir de uma barra que apresenta uma ou umas faces externas, comportando unicamente superfícies retas ou convexas.

[0049] A invenção propõe também um dispositivo aplicando o processo descrito antes.

[0050] Ela propõe também um dispositivo de fabricação de lâminas de turbinas em liga metálica, caracterizado pelo fato de compreender um instrumento de corte com jato d'água de uma barra metálica, um autômato de comando do instrumento de recorte ajustado para realizar simultaneamente pelo menos dois esboços imbricados um no outro, em uma mesma barra em liga de titânio e de alumínio, e meios de usinagem de cada um desses esboços assim obtidos para chegar a essas lâminas com um perfil definitivo.

[0051] Vantajosamente, o instrumento e o autômato de comando do instrumento são ajustados para recortar esboços imbricados idênticos, alternadamente, de forma simétrica dois a dois em relação a um ponto, uma reta ou um plano central.

[0052] Também vantajosamente, a liga é o alumineto de titânio (faixa TiAl).

[0053] A invenção propõe também uma lâmina de turbina obtida com o processo descrito acima.

[0054] A invenção será melhor compreendida com a leitura da descrição que se segue de modos de realização descritos a seguir a título de exemplos não limitativos.

[0055] A descrição se refere aos desenhos que o acompanham, nos quais:

- a figura 1 ilustra em vista lateral um pedaço ou barra paralelepípedica, no qual são realizados três esboços imbricados para produção de lâminas de turbina, conforme um primeiro modo de realização da invenção;

- a figura 2 mostra uma vista lateral e em vista transversal um outro modo de realização de uma barra cilíndrica na qual são realizados dois esboços / lâminas imbricadas, de acordo com a invenção;

- a figura 3 representa uma vista em corte transversal de dois esboços de lâmina imbricados segundo um outro modo de realização da invenção;

- a figura 4 mostra em vista esquemática um dispositivo de fabricação de uma lâmina de turbina, conforme um modo de realização da invenção;

- a figura 5 representa uma vista em perspectiva de uma lâmina obtida com o processo, de acordo com a invenção, mais particularmente descrito no caso;

- a figura 6 mostra, em perspectiva, dois esboços imbricados de pás realizados conforme o processo, de acordo com a invenção;

- a figura 7 ilustra esquematicamente as etapas de um processo, conforme um modo de realização da invenção.

[0056] A figura 1 mostra esquematicamente uma vista lateral de um pedaço 1 ou barra paralelepípedica sólida, em alumineto de titânio, no qual são realizados três esboços 2, 3, 4 imbricados (um no outro), idênticos ou sensivelmente idênticos (considerando-se uma otimização

das imbricações) para a produção de lâminas 5 de turbinas, conforme um modo de realização da invenção.

[0057] O pedaço 1 é, por exemplo, de 6 kg para realizar três esboços de sensivelmente 2 kg, dos quais serão extraídas três lâminas de 1 kg. As lâminas apresentam, cada uma, um núcleo 5' e duas extremidades 5'' e 5''' configuradas, de forma conhecida em si, por usinagem.

[0058] A figura 2 é um modo de realização de uma outra barra 6 de geometria simples, alongada em torno de um eixo, no caso cilíndrico e próprio para permitir a fabricação de duas lâminas 7, a partir de esboços simétricos 8 em relação a um ponto de simetria 9 pertencente ao plano central 9'.

[0059] Os esboços 2, 3 ou 4 ou 8 imbricados um no outro são obtidos por recorte da mesma barra com jato de água, conforme vai ser descrito a seguir.

[0060] Mostrou-se na figura 3 uma vista em corte transversal de uma barra 10 paralelepípedica na qual são recortados, por intermédio de um canhão de recorte, dois esboços 11 imbricados idênticos, no caso de forma simétrica em relação a um eixo 12 obtido por interseção de dois planos 13 e 14 de simetria da barra paralelepípedica 10.

[0061] A figura 4 mostra mais precisamente um modo de realização de um dispositivo 15, aplicando o processo de recorte do esboço 10.

[0062] Este utiliza um canhão de recorte 15' com jato d'água 16 do tipo conhecido em si.

[0063] A água com pressão muito forte (por exemplo, 3800 bárias) é introduzida em 17 em um tubo de colimação 18, depois focalizada através de um bocal 19 em uma câmara de mistura 20 com abrasivo 21 introduzido em 22 na câmara situada no corpo da cabeça 23 do canhão 15'.

[0064] O canhão de focalização 15' compreende um injetor 24 que

vem atacar em 25 a barra 10 para realizar o recorte 26, segundo a trajetória de recorte buscada pelo responsável pela concepção das lâminas e que foi otimizada notadamente ao nível do consumo de matéria.

[0065] Uma porca de aperto 27 permite a fixação do injetor do canhão de focalização sobre o corpo de cabeça 23.

[0066] A partir dos dois esboços 11 obtidas na barra 10, e segundo o modo de realização do processo mais particularmente descrito no caso se usina em seguida separadamente, cada um, desses esboços 11 assim obtidos para chegar às lâminas 28, tais como representados na figura 5.

[0067] Esse processo de recorte não era utilizado na técnica anterior, pois o técnico não considerava o interesse de uma imbricação de esboços uns com os outros, mas buscava antes de tudo, de imediato, considerando-se a complexidade das peças a serem obtidas, fabricar estas uma por uma, a partir de uma mesma barra de forma mais complexa.

[0068] A inteligência residia, portanto, na concepção do molde de fundição.

[0069] O dispositivo 15 compreende, por outro lado, um autômato 30 de comando do canhão 15', comportando um computador 31, programado para realizar simultaneamente os dois esboços 11 imbricados um no outro, de forma conhecida em si. Uma vez os esboços 11 assim obtidos, meios de usinagem 32 por retirada de aparas ou outros meios conhecidos, como a usinagem eletroquímica, compreendendo, por exemplo, centros de fresagem quatro eixos, máquinas de usinagem eletroquímica PECM (iniciais anglo-saxônica de Precision ElectroChemical Machining), centros de retificação... são previstos, a fim de serem obtidas as lâminas 28, tais como descritas antes.

[0070] Representou-se na figura 6 um outro modo de realização de lâminas 33 idênticas obtidas em uma barra paralelepípedica 34 em traço misto na figura, recortadas segundo a curva 35 para a obtenção de esboço e programado em consequência.

[0071] A seguir vai ser descrito um modo de realização da fabricação de uma lâmina com referência à figura 7.

[0072] Após ter escolhido uma barra sólida, o processo compreende uma primeira etapa E1, na qual os parâmetros geométricos da barra são introduzidos no computador 31.

[0073] O computador 31 cria um modelo de barra sobre a base dessas informações.

[0074] Em uma segunda etapa E2, parâmetros de geometria de lâminas são introduzidos no computador 31 que cria também modelos de lâminas para uma utilização determinada, por exemplo, para uma pá colocada no veio de circulação de um fluxo de ar de turbomáquina em condições aerodinâmicas determinadas.

[0075] O computador 31 que compreende meios de cálculo programados compara os modelos de barra e de lâminas para determinar-lhe a disposição ótima, isto é, o mais econômico em matéria, respeitando os problemas físicos.

[0076] Por exemplo, um modelo é formado por uma lista de quádruplos. Cada um dos três primeiros elementos representa uma das três coordenadas de um espaço cartesiano o último corresponde à pertença ou não à peça/ barra modelizada.

[0077] O programa compreende um algoritmo A1 que:

- determina uma marcação no espaço;
- posiciona o modelo da barra nessa marcação;
- posiciona alguns pontos (por exemplo, três) do modelo de lâmina determinada; e
- determina se, em função dos pontos do modelo de lâmina

posicionados nessa marcação, o conjunto do modelo é contido ou não na barra e se nenhum ponto não se superpuser com uma outra lâmina previamente colocada. Essa etapa é realizada, por exemplo, por comparação quádruplo por quádruplo de cada modelo.

* caso se compare uma lâmina e a barra, e que exista pelo menos um quádruplo da lâmina não tendo igual no modelo da barra (caso 1) então pelo menos um ponto da lâmina está fora da barra,

* caso se comparem duas lâminas e exista pelo menos um quádruplo de cada modelo que seja igual entre eles (caso 2) então pelo menos um ponto de cada lâmina se interpenetrem;

- reitera a etapa precedente tanto quanto o caso 1 ou 2 se presente.

[0078] Se o algoritmo não encontrar solução de combinação das lâminas em uma barra então o processo chega por C1 a uma etapa precedente E1 (ou em um outro modo de realização E2).

[0079] Esse cerco permite assegurar uma otimização da imbricação que não seja uma simples justaposição e, portanto, permite economias de matéria e, em certos casos, coloca em evidência a utilidade de uma reengenharia das lâminas.

[0080] O computador 31 pode comportar meios de arquivamentos (não representados), permitindo a visualização das diferentes lâminas em uma mesma barra e sua eventual substituição por um operador 31.

[0081] Outros parâmetros podem também intervir no algoritmo para otimizar o posicionamento das lâminas, tais como, por exemplo, as características do jato d'água de corte (largura, profundidade,...) e de dados relativos à qualidade do material em um ponto considerado.

[0082] Enfim, em uma terceira etapa E3, o computador determina o perfil de recorte, por exemplo, uma curva mediana entre os modelos de lâminas na barra e comanda o jato dá água, em consequência para o recorte.

[0083] Conforme é evidente e conforme resulta, além disso, do que precede, a invenção não está limitada aos modos de realizações mais particularmente descritos, mas abrange, ao contrário, todas as variantes e notadamente aquelas onde mais de três esboços são obtidos por recortes simultâneos, onde o perfil de uma barra não reto, mas curvo ou aqueles nos quais os perímetros das seções geradoras compreendem um número pequeno e limitado de pontos (inferior a 25) ligados entre si por retas ou curvas.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de fabricação de lâminas (5; 7; 28; 33) de turbinas em liga metálica a partir de uma barra sólida, caracterizado pelo fato de que essa barra sólida é uma barra (10; 34) feita em fundição ou extrudada, de alumineto de titânio e em que o referido método compreende:

- realizar simultaneamente pelo menos dois esboços (2 ; 3; 4; 8; 11) de lâmina imbricados um no outro nessa barra sólida (10; 34) por recorte ao jato d'água (16),

- usinar separadamente cada um desses esboços (2; 3; 4; 8; 11) para chegar a essas lâminas (5; 7; 28; 33) com um perfil definitivo.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de os esboços (2 ; 3; 4; 8; 11) imbricados serem idênticos, realizados um frente ao outro, de forma que sejam simétricos dois a dois, respectivamente, em relação a um ponto (9), uma reta ou um plano central (9').

3. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de a liga em alumineto de titânio ser gamma TiAl.

4. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de se realizarem os esboços (2; 3; 4; 8; 11) a partir de uma barra (10; 34) cilíndrica e/ou uma barra que apresenta uma ou mais face(s) externa(s), comportando unicamente superfícies retas ou convexas.

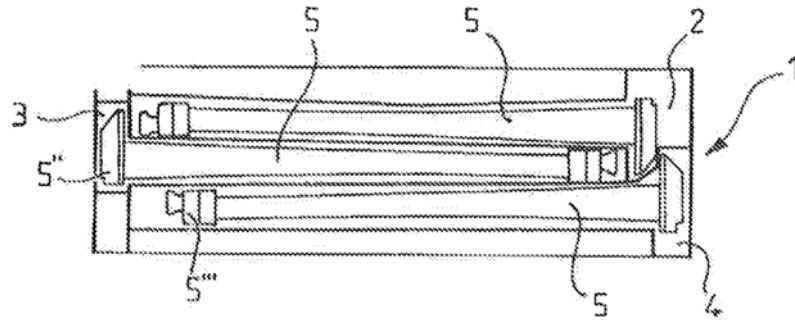


FIG. 1

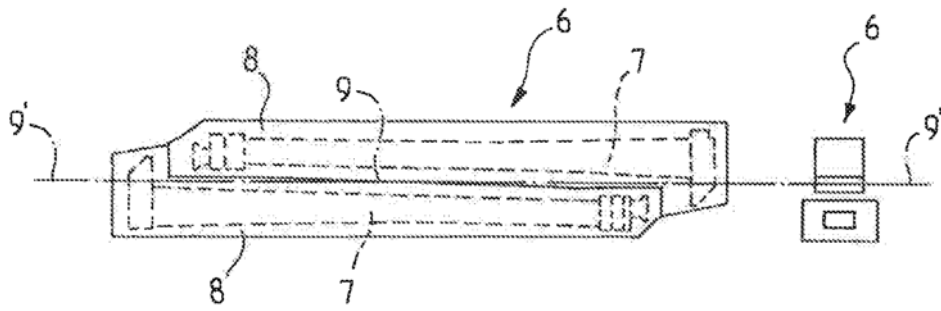


FIG. 2

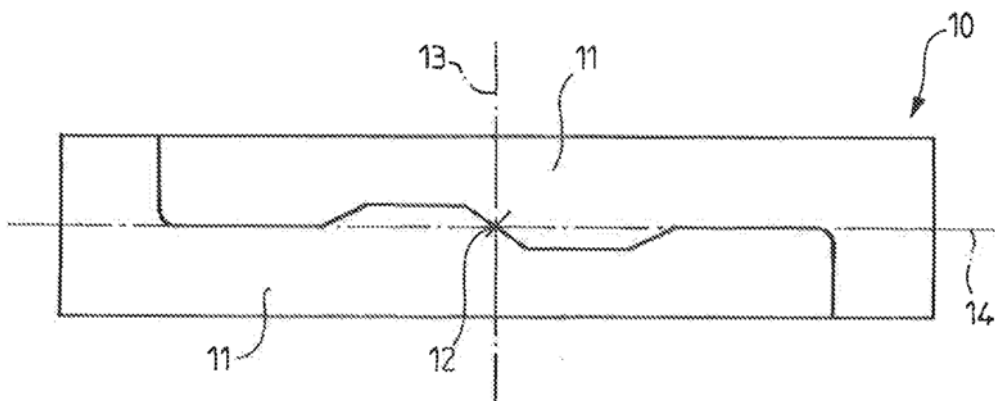


FIG. 3

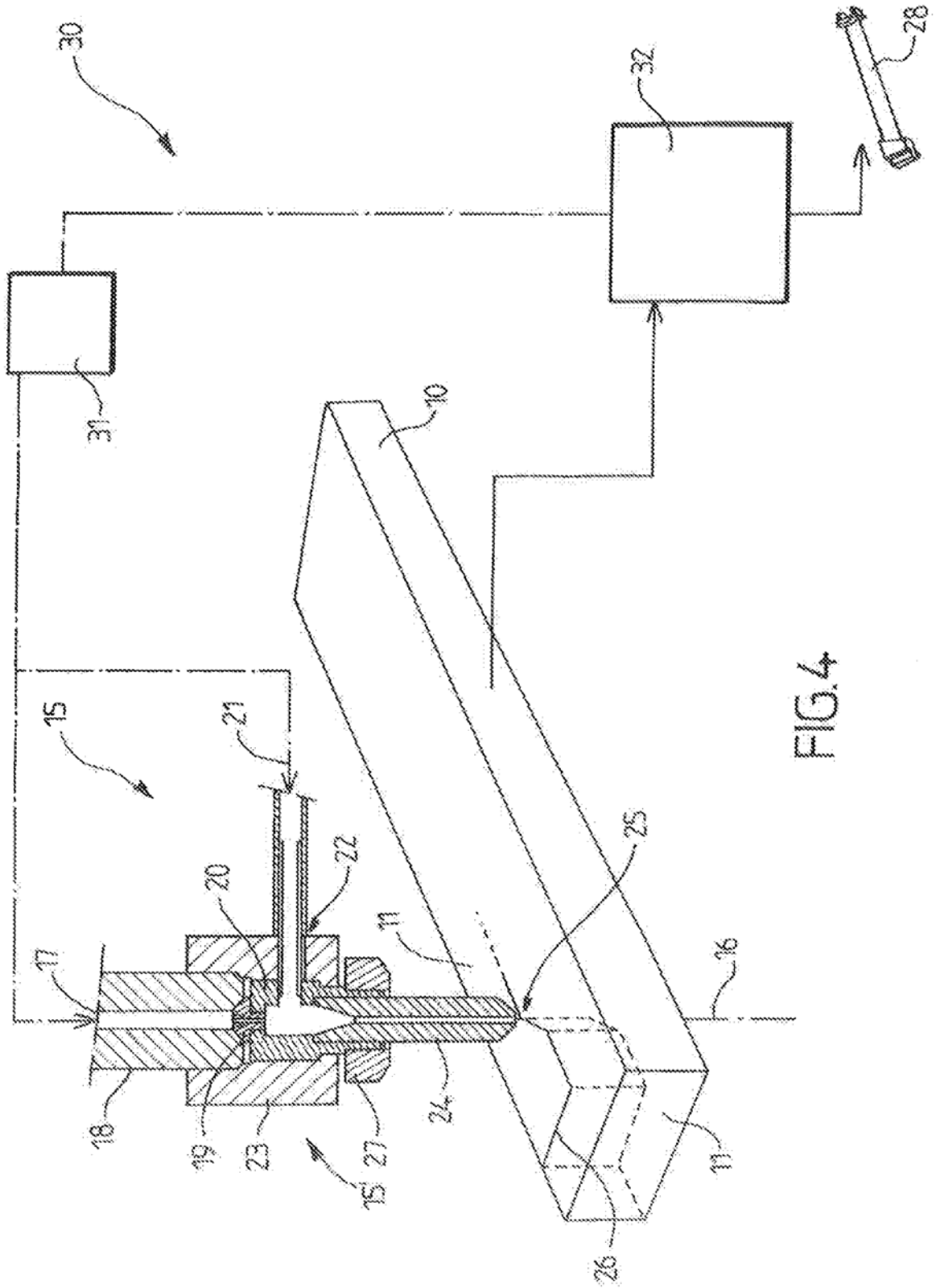


FIG. 4

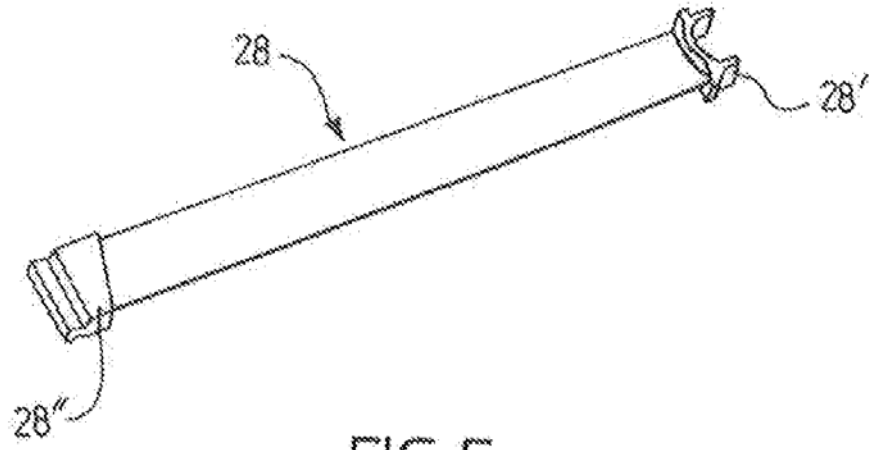


FIG. 5

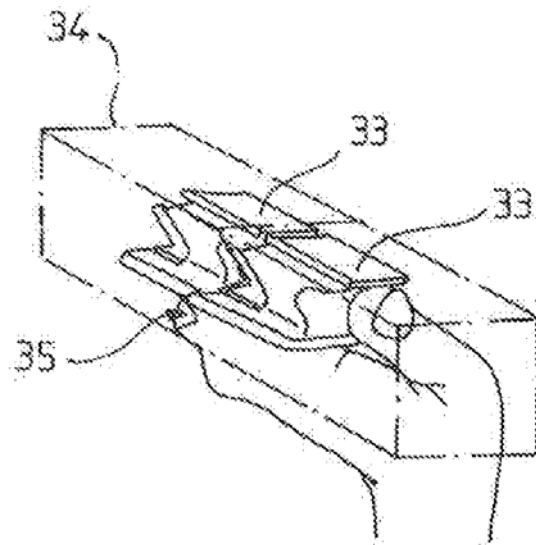


FIG. 6

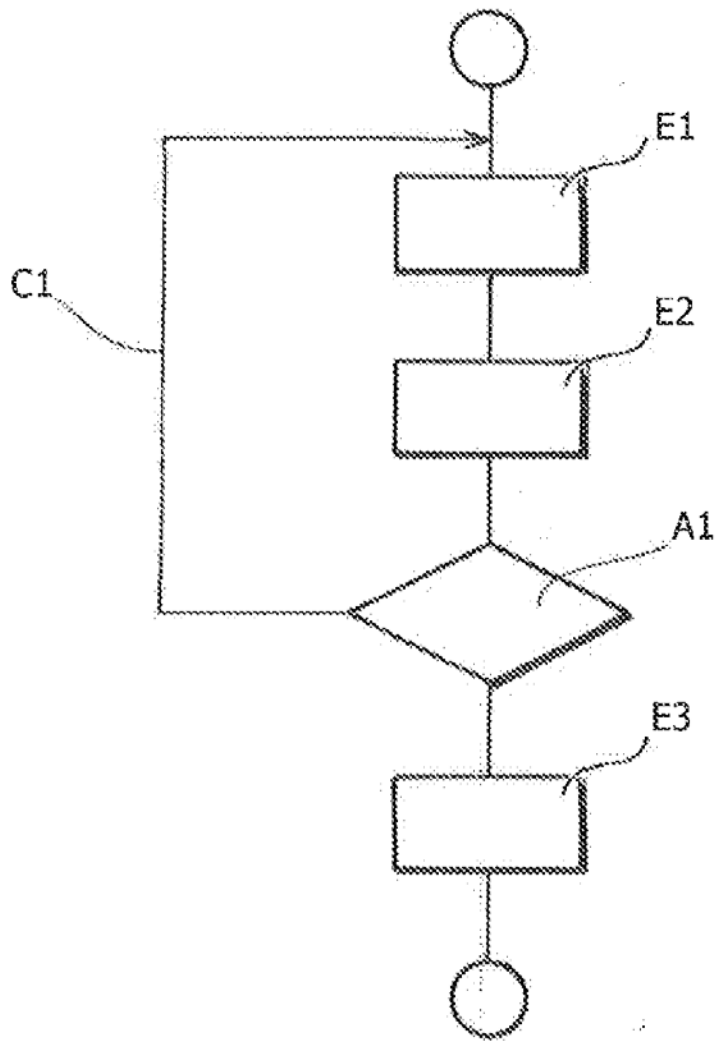


FIG. 7