



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

(11) PI 0924954-0 B1



(22) Data do Depósito: 28/05/2009

(45) Data de Concessão: 26/11/2019

(54) Título: MÉTODO DE ANÁLISE ESPECTRAL DE UMA CAMADA DE REVESTIMENTO METÁLICO DEPOSITADO NA SUPERFÍCIE DE UMA CINTA DE AÇO, DISPOSITIVO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO

(51) Int.Cl.: G01N 21/89; C23C 2/00; G01N 21/71; G01B 11/06.

(30) Prioridade Unionista: 07/05/2009 EP 09 290338.4.

(73) Titular(es): PRIMETALS TECHNOLOGIES FRANCE SAS.

(72) Inventor(es): JEAN PERRET; MARC MICHAUT; LAURENT CLOUTOT.

(86) Pedido PCT: PCT EP2009056564 de 28/05/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/127713 de 11/11/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 04/11/2011

(57) Resumo: MÉTODO DE ANÁLISE ESPECTRAL DE UMA CAMADA DE REVESTIMENTO METÁLICO DEPOSITADO NA SUPERFÍCIE DE UMA CINTA DE AÇO, DISPOSITIVO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO A presente invenção refere-se a um método de análise espectral de uma camada de revestimento metálico depositado na superfície de uma cinta de aço (1), caracterizado pelo fato de apresentar as seguintes etapas: - essa cinta (1) é colocada em passagem segundo um arco de círculo na superfície (813) de um cilindro (8) em rotação e com parede cilíndrica orientando a cinta (1) por contato; - um feixe dito de ablação laser é conduzido em uma cavidade interna à parede cilíndrica, a fim de ser colocado em incidência óptica sob um eixo normal (41) na superfície externa do cilindro (8) sobre um ponto de contato alvo (11) da cinta (1) e do cilindro (8), a passagem desse feixe através da parede sendo efetuada por uma abertura de parede (811), transparente ao feixe; - uma distribuição de emissão espectral plásmica proveniente da ablação laser no ponto de contato é coletada por retorno óptico sob a direção do eixo normal (41) na superfície externa do cilindro (8) e através da abertura, a fim de ser conduzida para uma unidade de medida espectral; - o eixo normal à superfície externa adaptada à (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO DE ANÁLISE ESPECTRAL DE UMA CAMADA DE REVESTIMENTO METÁLICO DEPOSITADO NA SUPERFÍCIE DE UMA CINTA DE AÇO, DISPOSITIVO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO E UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO**".

[001] A presente invenção refere-se a um método e a um dispositivo de análise espectral de uma camada de revestimento metálico depositado na superfície de uma cinta de aço.

[002] A invenção refere-se, em particular, ao controle da qualidade de um revestimento metálico depositado na têmpera sobre uma cinta metálica em passagem contínua, por exemplo, um revestimento de liga de zinco que sofreu um tratamento de liga.

[003] A galvanização à têmpera de cintas de aço laminado que passam em contínuo é uma técnica bem conhecida. Ela comporta essencialmente duas variantes, aquela na qual a cinta que sai do forno de galvanização desce obliquamente em um banho de zinco líquido e se acha desviada verticalmente para cima por um cilindro imerso nesse zinco líquido. A outra variante consiste em desviar a cinta de aço em passagem verticalmente e para cima em sua saída do forno e em fazê-la em seguida passar em um canal vertical, contendo zinco líquido sustentado magneticamente.

[004] A cinética de formação desse depósito é conhecida do versado na técnica, ela constitui o objeto de numerosas comunicações dentre as quais "*Modelling of galvanizing reactions*" de Giorgi et al. em "A revista de Metalurgia - CIT" de outubro de 2004. Essa documentação estabelece que em contato com uma mistura de revestimento com a cinta se produz uma dissolução do ferro proveniente da cinta de aço que, por uma parte, participa da formação, sobre a superfície da cinta, de uma camada de combinação de aproximadamente $0,1 \mu$ de composto $Fe_2Al_5Zn_x$ e, para uma outra parte, difusa para o banho de mistu-

ra líquida tanto que a camada de $\text{Fe}_2\text{Al}_5\text{Zn}_x$ não é formada de maneira contínua. A camada de $\text{Fe}_2\text{Al}_5\text{Zn}_x$ serve de suporte à camada protetora de zinco, enquanto que o ferro dissolvido vai contribuir para formar na mistura líquida precipitados compostos de Fe, Al, Zn nomeados "*mat-tes*" ou "*dross*".

[005] O revestimento das cintas de aço com uma liga metálica à base de zinco é utilizado em múltiplas aplicações como a carroceria automóvel, o eletrodoméstico, a construção. Vários revestimentos se distinguem por sua composição e eventuais tratamentos posteriores à sua aplicação sobre a cinta.

[006] Um dos dois, em particular, sofre um tratamento dito de "liga" por aquecimento que assegura por difusão a formação de uma liga entre o ferro e o aço e o zinco do revestimento. Esse tipo de revestimento é geralmente designado pela abreviação "GA" ou o termo "galvaneal". A galvanização GA assegura uma proteção do aço contra a corrosão e certas qualidades particulares, como sua porosidade e sua textura de superfície, o tornam, além disso, particularmente apto à pintura, do qual ele aumenta a aderência e facilitam a soldagem por resistência das cintas revestidas. Por essas razões, é principalmente utilizado na indústria automobilística.

[007] A liga ferro zinco de um revestimento GA pode se apresentar sob a forma de várias fases de composição e de malha cristalográficas diferentes. A fim de assegurar ao revestimento características ótimas de encaixe e de pintura, estudos mostraram que o teor em ferro na superfície do revestimento devia permanecer baixo, sem, todavia, ser nula.

[008] Numerosos parâmetros são de natureza a afetar a microestrutura da camada de galvaneal: a composição química da cinta e aquela do banho de revestimento, a rugosidade de superfície da cinta, a temperatura do banho de revestimento e, sobretudo, a temperatura

no forno de ligação e a velocidade de passagem da cinta.

[009] Estudos foram feitos a fim de definir meios de traçar a evolução do teor em zinco, ferro e alumínio através da espessura de depósitos galvaneados, a fim de melhor conhecer a influência de cada parâmetro e de poder assegurar um acompanhamento da qualidade das cintas revestidas. Vários métodos de estabelecimento do perfil de concentração em elementos de ligas sobre amostras de cintas revestidas foram propostos, dentre as quais a medida por espectroscopia de tipo "*Glow discharge optical emission spectroscopy* GD-OES" ou de tipo "*Laser Induced breakdown spectroscopy* LIBS".

[0010] O documento WO 00/08446 apresenta bases desse método de análise por ablação laser (LIBS) e o documento US 2003/0016353 fornece um certo número de melhorias, visando a aumentar a precisão das medidas.

[0011] Todavia, os métodos de análise descritos apresentam reais dificuldades de aplicação para uma utilização em tempo real sobre uma linha de galvanização na qual a cinta passa a uma velocidade que vai até mais de 3 metros por segundo.

[0012] Com efeito, de maneira conhecida, o processo LIBS utiliza a interação laser e matéria, a fim de aquecer um alvo a analisar à temperatura muito elevada e a gerar riscos espectrais característicos do material aquecido no ponto alvo da cinta. Um laser pulsado age, portanto, sobre o alvo durante um tempo muito curto, da ordem de 10 nano-segundos, com uma energia de algumas dezenas de milli-Joules focalizada sobre uma superfície muito pequena. Cria-se um micro-plasma que emite um contínuo de radiações e, após alguns micro-segundos, aparecem os primeiros riscos espectrais característicos do material que constitui o alvo e, portanto, do revestimento de cinta. Um espectrômetro realiza a análise espectral da luz emitida em uma porta temporal de medida situada nos micro-segundos conforme o tiro laser

quando o ruído de fundo do contínuo se reduziu suficientemente.

[0013] Ora, durante um único microssegundo de defasagem entre o tiro laser e a medida pelo espectrômetro, e para uma passagem da ordem de três metros por segundo, a cinta e, portanto, o alvo e o plasma se deslocaram de três milímetros. Para realizar uma medida sobre um alvo móvel, conviria a um técnico, portanto, criar uma defasagem de posição entre o eixo de tiro do laser e o eixo óptico do dispositivo de medida, o que é muito difícil de assegurar com uma precisão suficiente tanto quanto a velocidade de passagem da cinta em curso de galvanização pode variar em uma ampla medida em função da espessura dessa cinta, da capacidade de aquecimento do forno de galvanização, da espessura de revestimento visado, desempenhos dos dispositivos de secagem do revestimento líquido.

[0014] Além disso, vibrações ou deformações intrínsecas da cinta ou de sua trajetória de passagem tornam essa medida muito inexata, sabendo-se que uma precisão de alvo local é desejada em um intervalo de alguns microns. Um artigo "*New approach to online monitoring of the Al depth profile of the hot dip galvanised sheet steel using LIBS*", H. Balzer et al., publicado em 29 de março de 2006, *Springer Verlag* 2006 apresenta para isso um exemplo de sistema de sistema que recorre a uma compensação de vibração complexa. Nesse mesmo artigo, é mencionado que esse sistema é adaptado para velocidades baixas de passagem de cinta permitidas (menos de 1 m/s), enquanto que industrialmente as velocidades requeridas podem ser da ordem de 3 a 4 m/s. Esse sistema está, portanto, além de suas capacidades para compensar vibrações em consequência.

[0015] Uma finalidade da presente invenção é de permitir uma medida de análise espectral de uma camada de revestimento metálico depositado na superfície de uma cinta de aço, essa medida sendo apropriada ao fato de essa cinta estar em passagem. Deve ser obser-

vado que a cinta pode ter diferentes formatos ou diversas velocidades de passagem, potencialmente além de 1 m/s. Essa medida é tornada possível por meio de um método descrito pela invenção. Da mesma forma, um dispositivo para a aplicação desse método é também proposto em várias concretizações abrangendo muitas variantes vantajosas adaptadas unitariamente à invenção. Enfim, utilizações desse dispositivo apropriadas ao âmbito da invenção são também propostas através de concretizações.

[0016] A partir de um método de análise espectral de uma camada de revestimento metálico depositado na superfície de uma cinta de aço, a invenção se caracteriza pelas seguintes etapas:

- a dita cinta é colocada em passagem segundo um arco de círculo na superfície externa de um cilindro em rotação e com parede cilíndrica orientando a cinta por contato;

- um feixe dito de ablação laser é conduzido em uma cavidade interna à parede cilíndrica, a fim de ser colocado em incidência óptica sob um eixo normal na superfície externa do cilindro sobre um ponto de contato alvo da cinta e do cilindro, a passagem desse feixe e através da parede sendo efetuada por uma abertura de parede transparente ao feixe;

- uma distribuição de emissão espectral plásmica proveniente da ablação laser no ponto de contato é coletada por retorno óptico sob a direção do eixo normal à superfície externa do cilindro e através da abertura, a fim de ser conduzida para uma unidade de medida espectral;

- o eixo normal à superfície externa adaptada à incidência e ao retorno ópticos é colocado em rotação síncrona com o cilindro.

[0017] O cilindro pode ser vantajosamente motor ou portador de qualquer tipo, tal como um cilindro de acionamento de cinta ou um cilindro de orientação acionado pela cinta. Um aspecto maior é que o

método de medida, de acordo com a invenção, assegura que a cinta está e permanece em contato sobre a parte de arco de círculo (por exemplo, sobre 90°) a fim de que o ponto alvo do laser esteja exatamente na interseção da superfície externa do cilindro e do revestimento de cinta. Assim, qualquer risco de fazer uma medida fora do campo desejado é afastada, por que qualquer vibração da cinta em passagem é afim completamente atenuada. O cilindro exerce uma tensão natural que favorece uma colocação perfeita da cinta na superfície externa de cilindro. Sistemas de tensão anexados da cinta ao cilindro podem, todavia, ser acrescentados nesse sentido.

[0018] Esse método pode ser aplicado por meio de um dispositivo simples e apresentando variantes de realização múltiplas que, em particular, facilitarão sua instalação no nível dos cilindros em uma linha de tratamento de cinta de aço.

[0019] Em particular, esse dispositivo de aplicação do método, de acordo com a invenção, tal como adaptado à análise espectral de uma camada de revestimento metálico depositado na superfície de uma cinta de aço, pode ser caracterizado por:

- um emissor do feixe dito de ablação laser, um receptor de emissão espectral plásmico,
- um primeiro percurso óptico disposto na saída do emissor e adaptado ao conduto do feixe de ablação laser na cavidade de cilindro e apresentando um meio de orientação óptica para a colocação em incidência desse feixe sobre o ponto de contato alvo,
- um segundo percurso óptico disposto na entrada do receptor e adaptado para coletar a distribuição de emissão espectral plásmica através desse meio de orientação óptica;
- pelo menos o meio de orientação óptica é rotativo por um acoplamento mecanicamente síncrono à rotação do cilindro. A fim de poder assegurar uma incidência do laser, assim como um retorno óti-

co da distribuição plásmica no ponto alvo, o meio de orientação óptica pode compreender um espelho dicroico e inclinado a 45° em relação ao eixo normal e ao eixo de rotação do cilindro. Graças a esse espelho, uma colocação sob direção do feixe incidente segundo o eixo normal, assim como de um feixe de retorno óptico é tornado possível e permite utilizar apenas um único caminho óptico sobre o eixo normal. O espelho dicroico é, portanto, pelo menos disposto sobre o eixo normal.

[0020] Vantajosamente, o primeiro percurso óptico pode compreender um guia de luz, tal como uma fibra óptica ou um guia de ar que permitem distribuir melhor, isto é, levar a luz incidente ou reconduzir a luz emitida pelo plasma, diretamente ao ponto de alvo ou por intermédio do espelho dicroico respectivamente por reflexo ou/e por transmissão. Uma variante do dispositivo munido de um espelho dicroico é também realizável, substituindo-o por pelo menos um espelho com reflexo total.

[0021] Analogicamente, o segundo percurso óptico pode compreender um guia de luz, tal como uma fibra óptica ou um guia de ar, a fim de levar um feixe da distribuição de plasma ao receptor.

[0022] Alternativamente, a um espelho dicroico no interior da cavidade do cilindro (sobre o eixo normal), o primeiro e o segundo percursos ópticos podem compreender pelo menos uma fibra óptica que apresenta uma curva com 90° como meio de orientação óptica, delimitando assim uma zona de fibra que contorna o eixo de rotação do cilindro e uma zona de fibra que contorna o eixo normal no ponto de contato alvo.

[0023] A disposição de um espelho dicroico é, todavia, apreciável fora da cavidade do cilindro, de forma a separar os dois feixes que saem do emissor e entram no receptor, caso uma única fibra (ou um feixe de várias fibras conjuntas) lhes serve de um mesmo lado do cilin-

dro.

[0024] Em função de múltiplas exigências de configurações desejadas, o dispositivo, de acordo com a invenção, pode ser adaptado de maneira flexível. Com efeito, é previsto poder dispor pelo menos o emissor ou/e o receptor fora da cavidade interna do cilindro. Isto permite, além disso, poder facilmente instalar um instrumento de tipo LIBS sem intervenção maior e complexa na cavidade do cilindro. Junções ópticas (colimadores, lentes ...) ou mecânicas (juntas giratórias são, nesse caso, necessárias para assegurar uma ligação energética desses elementos ou/e uma ligação óptica segundo o fato de LIBS (emissor ou/e receptor) girar ou não com o cilindro.

[0025] Com efeito, pode assim ser previsto que o emissor ou/e o receptor seja acoplado em rotação síncrona com o meio de orientação óptica, particularmente quando é disposto na cavidade do cilindro, caso no qual é também acoplado a uma ligação elétrica com junta giratória, idealmente para uma alimentação energética, uma sinalização de comando ou/e de controle deste.

[0026] A abertura sobre uma parte dita virola de cilindro compreende uma janela em material opticamente transparente ou permeável ao feixe de ablação laser e às emissões espectrais plásmicas induzidas pela ablação. Isto permite evitar que a face da cinta e seu revestimento em contato com a superfície do cilindro seja marcada, quando de sua passagem sobre a janela de tiro aberta na virola do cilindro, esta sendo munida dessa janela, cuja superfície externa é cuidadosamente ligada às bordas da abertura em forma de janela.

[0027] Várias utilizações do dispositivo que utilizam um método, de acordo com a invenção, são possíveis, em particular para uma medida de análise química de superfície de revestimento de uma cinta de aço que passa sobre um cilindro em saída de um processo de galvanização.

[0028] A esse respeito, é também possível prever uma medida muito precisa, com repetição sob a forma quase contínua (pela elevada frequência de impulsos de laser, essa medida sendo permitida pelo fato de, mesmo se o alvo girar em contato com o cilindro, o ponto de alvo permanecerá o mesmo em um referencial ligado ao cilindro, desde quando se desloca sobre o arco de círculo de contato (definido em um referencial fixo no solo), por exemplo, sobre um ângulo de 90° sobre os 360° do cilindro).

[0029] A experiência mostrou que a série seguinte de etapas de processo é particularmente bem apropriada a essa utilização do dispositivo:

- um acionamento de tiros temporalmente sucessivos de feixe de ablação laser a diversas profundidades da cinta e em único ponto de contato de cinta em passagem com o cilindro em rotação. Esse ponto sendo considerado com um alvo dos tiros,

- um acionamento de medida de análise química associadas a cada um dos tiros a esse ponto alvo,

- pelo menos um dos tiros de ablação laser é feito a uma profundidade:

- a) entre 0 e 3 micrometros da superfície externa do revestimento da cinta, idealmente entre 1 e 2 micrometros,

- b) sob uma espessura próxima de 40 a 60% da espessura do revestimento,

- c) sob uma espessura próxima de 90 a 95% da espessura do revestimento.

[0030] É claro que segundo o formato e as características da cinta e de seu revestimento, esses parâmetros podem ser adaptados. Em particular, a medida permitindo uma análise espectral precisa, o método, de acordo com a invenção, pode autonomamente avaliar se, em razão de uma presença ou de uma carência de um elemento visado do

revestimento, um novo tiro mais ou menos profundo deve ser engajado, a fim de aí prevenir isso.

[0031] Uma utilização do dispositivo de aplicação do método, de acordo com a invenção, é também proposta para comandar parâmetros que controlam a regulagem de uma instalação aplicando o processo de galvanização e controlando a regulagem de um forno de ligação disposto a jusante da instalação de galvanização. Com efeito, a análise química do revestimento obtido sendo muito confiável, ela pode assim servir de indicador de divergência(s) desse revestimento obtido em relação a um revestimento para minimizar essas divergências.

[0032] Essa utilização do dispositivo de aplicação do método, de acordo com a invenção, se estende assim também a um modo para controlar em tempo real dados de funcionamento do processo de galvanização em relação a dados de referência. Com efeito, a medida de análise sendo feita sobre a cinta em passagem sem necessidade de diminuir-lhe a velocidade ou congelá-la, um circuito de regulagem em tempo real é vantajosamente possível.

[0033] Enfim, uma utilização do dispositivo de aplicação do método, de acordo com a invenção, decorre daí para liberar cenários de comando com desempenho em função de parâmetros escolhidos para assegurar uma obtenção de dados de funcionamento sob uma tolerância de dados de referência. O método, de acordo com a invenção, é assim tornado ainda mais autônomo para convergir a revestimentos, cujas características requerem tolerâncias pontuais.

[0034] Em particular, a utilização do dispositivo para um comando de uma instalação de galvanização à têmpera de cintas de aço em passagem contínua se caracteriza assim pela utilização de medidas, feitas a várias profundidades, do teor em certos elementos de liga do revestimento, como, por exemplo, o ferro, o alumínio e o zinco, as medidas sendo realizadas sobre a cinta em passagem por um dispositivo

de análise espectrométrica por ablação laser. Para isso, dados adquiridos pelo dispositivo de análise são explorados pelo sistema de automatismos de comando da instalação de galvanização, a fim de comandar a potência de aquecimento do forno de ligação em função, notadamente, da velocidade de passagem da cinta.

[0035] Por outro lado, os dados adquiridos pelo dispositivo de análise são transmitidos a um sistema de otimização de processo, da mesma forma que outros dados registrados ou medidos, por outro lado, tais como o formato, a composição química, a rugosidade de superfície da cinta, a composição química e a temperatura do banho de revestimento, a potência do forno de ligação, a velocidade de passagem da cinta.

[0036] Esse sistema de otimização de processo está apto a avaliar a pertinência de dados de funcionamento do processo em relação a uma zona de funcionamento estável e ótimo pré-definida da instalação. Essa zona de funcionamento podendo ser, por exemplo, o envoltório das velocidades de passagem de cinta possíveis, em função de todos os outros parâmetros.

[0037] É, portanto, esse sistema de otimização que está também apto a propor cenários possíveis de melhoria dos desempenhos do processo ao interior dessa zona de funcionamento estável e ótimo. Esses cenários são baseados em estratégias de controle adaptativo que podem ser de mesmo tipo que aquelas do sistema de automatismos de comando de instalação.

[0038] Exemplos que ilustram a invenção sob suas diferenças categorias são fornecidos com o auxílio de figuras descritas:

- figura 1: esquema geral de galvanização à têmpera de uma cinta de aço em passagem,
- figura 2: diagrama de variações de teores em zinco, ferro e alumínio de um revestimento de tipo GA,

- figura 3A: dispositivo de análise química, de acordo com um primeiro modo de realização da invenção,
- figura 3B: dispositivo de análise química, de acordo com um segundo modo de realização da invenção,
- figura 4: dispositivo de análise química, de acordo com um terceiro modo de realização da invenção,
- figura 5: dispositivo de análise química, de acordo com um quarto modo de realização da invenção,
- figura 6: dispositivo de análise química, de acordo com um quinto modo de realização da invenção,
- figura 7: dispositivo de análise química, de acordo com um sexto modo de realização da invenção,

[0039] A figura 1 mostra que um esquema geral de galvanização à têmpera de uma cinta de aço (1) em passagem: a cinta (1) proveniente de um forno de galvanização mergulha em um banho líquido de revestimento (2) e se acha desviada verticalmente por um cilindro imerso (3) no banho. A cinta passa em seguida sequencialmente diante de um dispositivo de secagem da película líquida (4), em um dispositivo de aquecimento por indução (5), em um dispositivo de manutenção em temperatura de ligação (6) e em um dispositivo de resfriamento (7) no qual a película de revestimento se solidifica. A cinta se enrola em seguida parcialmente em torno de um primeiro cilindro defletor (8), depois de um segundo cilindro (9) antes que prossigam as operações de transformação e um reenrolamento em boinas galvanizadas.

[0040] A figura 2 representa a título de exemplo de um diagrama de variações de teores em zinco, ferro e alumínio de um revestimento de tipo GA: o eixo das abscissas (10) representa uma variação de profundidade no revestimento, a superfície desse revestimento estando na intercessão com o eixo das ordenadas (11) que representa as variações de teores dos diferentes elementos zinco, ferro e alumínio: a

curva (12) representa a variação de teor em zinco, a curva (13) a variação de teor em alumínio. Um primeiro intervalo (131) com pequenas variações de profundidade da curva (13) corresponde a uma presença de uma primeira fase de liga ferro / zinco dita de tipo ζ , um segundo intervalo (132), com medianas variações de profundidade, corresponde a uma segunda fase dita de tipo δ e um terceiro intervalo (133) corresponde a uma terceira fase dita de tipo Γ . Respectivamente em cada uma das fases, uma primeira zona armação (151) do diagrama corresponde assim a uma zona preferência de um primeiro tipo de ablação laser, e analogicamente uma segunda e uma terceira zonas armações (152, 153) correspondem a zonas preferenciais de tiros sucessivos ao primeiro.

[0041] Com o auxílio desse diagrama, é, portanto, possível definir parâmetros de referência para aplicar o método, de acordo com a invenção, ou de utilizar um dispositivo ligado a ele.

[0042] A figura 3A representa um dispositivo de análise química, de acordo com um primeiro modo de realização da invenção, permitindo assim aplicar o método pré-citado e adaptado à análise espectral de uma camada de revestimento metálico colocado na superfície de uma cinta de aço (1), pelo fato de:

- a dita cinta é colocada em passagem, segundo um arco de círculo na superfície externa (813) de um cilindro (8) em rotação em torno de um eixo (51) e com parede cilíndrica orientando a cinta por contato;

- um feixe dito de ablação laser é conduzido em uma cavidade interna à parede cilíndrica a fim de ser colocado em incidência óptica sob um eixo normal (41) na superfície externa do cilindro sobre um ponto de contato alvo (11) da cinta e do cilindro, a passagem desse feixe através da parede sendo efetuada por uma abertura de parede (811), transparente ao feixe,

- uma distribuição de emissão espectral plásmica proveniente da ablação laser no ponto de contato é coletada por retorno óptico sob a direção do eixo normal (41) na superfície externa do cilindro e através da abertura, a fim de ser conduzida para uma unidade de medida espectral,

- o eixo normal na superfície externa adaptada à incidência e ao retorno óptico é colocado em rotação síncrona com o cilindro.

[0043] O dispositivo, para isso, representado compreende assim:

- um emissor (40) do feixe dessa ablação laser, um receptor (30) de emissão espectral plásmica,

- um primeiro percurso óptico (P1) disposto na saída do emissor e adaptado ao conduto do feixe de ablação laser na cavidade de cilindro e apresentando um meio de orientação óptica (20) para a colocação em incidência desse feixe sobre o ponto de contato alvo (11) pelo laser de ablação;

- um segundo percurso óptico (P2) disposto na entrada do receptor e adaptado para coletar a distribuição de emissão espectral plásmico através desse meio de orientação óptica (20);

- pelo menos o meio de orientação óptica (20) é rotativo por um acoplamento mecanicamente síncrono à rotação do cilindro (8, 81, 82, 83) à superfície (813) de virola (81, 812, 813) do qual a cinta passa.

[0044] A cinta (1) se enrola assim parcialmente sobre um arco de círculo do cilindro (8) constituído de sua virola (81), de dois eixos de (suporte de) rotação (82) em cada uma de suas extremidades acopladas a placas de junção (83). Uma janela é aberta na virola que forma assim a abertura (811). Um dispositivo óptico como meio de orientação (20) contíguo ao primeiro percurso óptico (P1) sob a forma de guia de ar (44a) é disposto perpendicularmente a uma superfície interna (812) da virola (81) e dirige o tiro do feixe laser oriundo do emissor (40) so-

bre a superfície da cinta (1) em contato com uma superfície externa (813) da virola (81) através da janela (811). Esse dispositivo óptico comporta um espelho dicroico (21) que dirige o feixe laser oriundo do emissor (40) em incidência sobre o ponto alvo (11) e deixa passar em retorno via o segundo percurso óptico (P2) sob a forma de orientação do ar (31) um feixe luminoso emitido pelo plasma em direção ao dispositivo espectrométrico, isto é, o receptor (30). Lentes de focalização e elementos necessários à fixação dos dispositivos de ablação e de análise (não representados) completa o dispositivo óptico. O emissor (40) e o receptor (30) são respectivamente ligados por cabos (42, 32) que os acopla a uma junta giratória (50) ele próprio conectado a um cabo fixo externo ao cilindro e que fornece aos dispositivos (40, 30) a energia necessária a seu funcionamento, assim como a distribuição dos sinais que controlam sua atividade (comando, regulação, controle, alarmes, etc).

[0045] Assim, esse sistema apresenta o meio de orientação óptica (20) como um simples espelho dicroico inclinado a 45° em relação ao eixo normal (41) e ao eixo de rotação (51) do cilindro.

[0046] O primeiro e o segundo percursos ópticos compreendem assim um guia de luz materializado por um simples guia compreendido no meio de orientação (20).

[0047] A abertura (811) compreende uma janela em material opticamente transparente ao feixe de ablação laser e às emissões espectrais plásmicas.

[0048] Deve ser observado que, nesse modo de realização, o emissor e o receptor são todos dois dispostos na cavidade interna ao cilindro e solidariamente ao cilindro para assegurar uma rotação síncrona do eixo normal (41).

[0049] Todavia, é somente requerido que pelo menos o emissor ou/e o receptor seja acoplado em rotação síncrona com o meio de ori-

entação óptica, particularmente, quando é disposto na cavidade do cilindro, caso no qual é também acoplado a uma ligação elétrica (42, 32) com junta giratória (50), idealmente para uma alimentação energética, uma sinalização de comando ou/e de controle, etc.

[0050] Este último aspecto alternativo à figura 3A é apresentado na figura 3B onde o receptor (30) é disposto na cavidade, tal como a figura 3A, enquanto que o emissor (40) é colocado fora da cavidade, por exemplo, a uma das extremidades do cilindro. O emissor (40) é então possivelmente acoplado mecanicamente ao eixo de rotação (51) do cilindro e possui, portanto, um movimento de rotação síncrono ao cilindro. Nesse caso, o primeiro percurso óptico (P1) compreende um guia de luz que pode ser materializado por uma fibra óptica (44b) acoplada por meio de orientação (20) ou ainda por um guia de ar (não representado) se o espelho dicróico (21) no meio de orientação (20) é alternativamente colocado sobre o eixo de rotação (51), permitindo assim interceptar o feixe incidente oriundo do emissor (40) e desviá-lo sobre o ponto alvo (11). Esse dispositivo de análise química, conforme um segundo modo de realização da invenção prevê, portanto, o emissor e o receptor estão no caso ainda em rotação síncrona com o cilindro e o eixo normal (41).

[0051] Enfim, sempre alternativamente à figura 3A e analogicamente à disposição do emissor, segundo a figura 3B, o emissor e o receptor (40, 30) podem ser dispostos ambos fora da cavidade do cilindro. O emissor e o receptor nas extremidades podem assim ser colocados (ou não, segundo a óptica e a montagem mecânica escolhida nas extremidades) solidariamente em rotação síncrona com o eixo de cilindro.

[0052] Uma disposição semelhante é representada por um dispositivo, conforme um terceiro modo de realização ilustrado na figura 4. O emissor e o receptor são respectivamente acoplados via respectiva-

mente o primeiro e o segundo percursos ópticos (P1, P2) compreendendo uma fibra óptica (44b, 34) por meio de orientação (20), assegurando a incidência e o retorno dos feixes luminosos a partir de uma saída de fibra óptica (44b) para a incidência ou para uma entrada de fibra óptica (34) para o retorno. Só o emissor (40) está em rotação síncrona com o cilindro e o eixo normal (41), tal como na figura 3B. O receptor (30) é disposto não rotativo fora da cavidade e sua entrada óptica que recebe o segundo percurso óptico (P2) (munido da fibra óptica 34) prevê segundo a necessidade um acoplamento rotativo acoplado à extremidade de fibra óptica.

[0053] A figura 5 representa um quarto modo de realização do dispositivo baseado parcialmente na figura 4, pelo fato de o primeiro e o segundo percursos ópticos (P1, P2) compreenderem respectivamente uma fibra óptica (50a, 50b) chegando sobre um meio de orientação (20) munido de um espelho dicróico (21) e de ópticos de acoplamento (56) das fibras e colocado face à abertura de virola em direção ao ponto alvo de tiro. Com a diferença da figura 4, as fibras ópticas (50a, 50b) que definem os percursos ópticos (P1, P2) estão em rotação síncrona (solidariamente com o cilindro e sua entrada de saída nas extremidades do eixo do cilindro. Elas são, por exemplo, dispostas em uma das duas embocaduras (51a, 51b) de manutenção de fibra sobre o eixo de rotação do cilindro, esta recebendo ou emitindo um feixe luminoso em uma óptica de acoplamento transitório (55) ligada respectivamente ao emissor (40) ou ao receptor (30), estes sendo fixos em relação ao solo (portanto, dessolidarizados do cilindro e não rotativo) de um lado e do outro do eixo do cilindro. Meios de proteção (310, 330) desse acoplamento óptico transitório de tipo aéreo é possível, por exemplo, por meio de uma tubulação isolante, solidários ao cilindro ou ao emissor ou ao receptor. Esse modo de realização permite ainda evitar implantar o emissor e o receptor na cavidade do cilindro, e necessita de uma

simples adaptação eletricamente e opticamente "passiva" nessa cavidade, o que torna a concepção ou a manutenção do cilindro mais simples.

[0054] A figura 6 apresenta um quinto modo de realização segundo a figura 5, pelo fato de o emissor e o receptor serem dispostos fora da cavidade do cilindro, mas no caso de forma solidária ao eixo de rotação do cilindro (por meio de acoplamento (310, 330) para uma fixação mecânica ao eixo rotativo do cilindro, analogamente a uma das extremidades do cilindro segundo a figura 6). Esta última solidarização não é, todavia, indispensável e pode ser evitada por uma óptica de acoplamento, tal como na figura 5 (na qual os elementos 330, 55 seriam dessolidarizados). Nesse caso, um elemento de desacoplamento em rotação é disposto entre os elementos ditos de acoplamento (310, 330) e o guia de ar (520). Deve ser observado que a solidarização do emissor e do receptor no cilindro ou seu eixo oferece uma vantagem de compensação total de vibrações incômodas. Assim, uma possível dessolidarização desses elementos em relação ao cilindro exige que meios de acoplamento ou desacoplamento assegurem uma compensação satisfeita de vibrações. Isto é, possível tecnicamente, mas pode tornar a realização mais complexa.

[0055] Na figura 6, o emissor e o receptor são também ligados a um mesmo e único percurso óptico à guisa de primeiro e segundo percurso ópticos (P1, P2), tal como um simples conduto aéreo (520) previsto no eixo de rotação cilindro. Um espelho com reflexo total, 411 adaptado para formar uma incidência e um retorno óptico sobre / do ponto alvo (11) é disposto na cavidade de cilindro, e intercepta o conduto aéreo sob uma inclinação a 45° da direção principal do conduto aéreo (520) paralelo (e idêntico) ao eixo de rotação do cilindro. Um espelho dicróico (401) é disposto fora da cavidade do cilindro permitindo canalizar os feixes luminosos que saem e entram entre o emissor ou o

receptor e o único conduto aéreo (520). Graças a essa disposição, o emissor, o receptor e o espelho dicróico (401) podem ser dispostos sob a forma monobloco de mesmo lado do cilindro (solidariamente ou não a este), facilitando assim a utilização e a manutenção do cilindro, assim como aquelas do dispositivo mesmo de medida. A junção em um único conduto aéreo (520) e esse monobloco pode ser rotativo para evitar que o monobloco seja acionado em rotação com o cilindro.

[0056] A figura 7 apresenta um sexto modo de realização, segundo a figura 6, mas para o qual o espelho com reflexão total (elemento 411, segundo a figura 6) é substituído por pelo menos uma fibra óptica (501) (com faixa passante adaptada) ou um feixe de fibras ópticas cuja faixa passante óptica global é adaptada para transmitir e recepcionar os feixes incidentes e de retorno ao ponto alvo (11) pelo laser de ablação focalizado por uma simples lente (511) nesse ponto. Uma óptica de colimação (512) disposta entre o espelho dicróico (401) externo ao cilindro e a fibra e/ou feixe de fibras (501) para acoplá-la(s) opticamente com o emissor e o receptor (40, 30). Identicamente à figura 6, uma configuração compreendendo o emissor, o receptor e o espelho dicróico sob a forma de monobloco é possível a fim de permitir uma junção desacoplável de um acionamento em rotação pelo cilindro.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de análise espectral de uma camada de revestimento metálico depositado na superfície de uma cinta de aço (1), sendo que apresenta as seguintes etapas,

- a dita cinta (1) é colocada em passagem segundo um arco de círculo na superfície (813) de um cilindro (8) em rotação e com parede cilíndrica orientando a cinta (1) por contato;

caracterizado por apresentar ainda as seguintes etapas,

- um feixe dito de ablação laser é conduzido em uma cavidade interna à parede cilíndrica, a fim de ser colocado em incidência óptica sob um eixo normal (41) na superfície externa do cilindro (8) sobre um ponto de contato alvo (11) da cinta (1) e do cilindro (8), a passagem desse feixe através da parede sendo efetuada por uma abertura de parede (811), transparente ao feixe;

- uma distribuição de emissão espectral plásmica proveniente da ablação laser no ponto de contato é coletada por retorno óptico sob a direção do eixo normal (41) na superfície externa do cilindro (8) e através da abertura, a fim de ser conduzida para uma unidade de medida espectral,

- o eixo normal (41) à superfície externa adaptada à incidência e ao retorno ópticos é colocado em rotação síncrona com o cilindro (8).

2. Dispositivo de aplicação do método, como definido na reivindicação 1, adaptado à análise espectral de uma camada de revestimento metálico depositado na superfície de uma cinta de aço (1), sendo que a dita cinta (1) é colocada em passagem segundo um arco de círculo na superfície (813) de um cilindro (8) em rotação e com parede cilíndrica orientando a cinta (1) por contato, compreendendo,

- um emissor (40) do feixe dito de ablação laser, um receptor (30) de emissão espectral plásmico,

caracterizado por,

- um primeiro percurso óptico (P1) disposto na saída do emissor e adaptado ao conduto do feixe de ablação laser na cavidade de cilindro (8) e apresentando um meio de orientação óptica (20) para a colocação em incidência desse feixe sobre o ponto de contato alvo,
- um segundo percurso óptico (P2) disposto na entrada do receptor e adaptado para coletar a distribuição de emissão espectral plásmica através desse meio de orientação óptica (20);
- pelo menos o meio de orientação óptica (20) ser rotativo por um acoplamento mecanicamente síncrono à rotação do cilindro (8).

3. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o meio de orientação óptica (20) poder compreender um espelho, idealmente dicróico, e inclinado a 45° em relação ao eixo normal e ao eixo de rotação do cilindro (8).

4. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por o primeiro percurso óptico compreender um guia de luz, tal como uma fibra óptica (44b, 50a, 501) ou um guia de ar (44a, 520).

5. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 3 ou 4, caracterizado por o segundo percurso óptico compreender um guia de luz, tal como uma fibra óptica (34, 50b, 501) ou um guia de ar (31, 520).

6. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o primeiro e o segundo percursos ópticos compreenderem pelo menos uma fibra óptica que apresenta uma curva com 90° como meio de orientação óptica (20), delimitando uma zona de fibra que contorna o eixo de rotação (51) do cilindro (8) e uma zona de fibra que contorna o eixo normal (41) no ponto de contato alvo.

7. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 6, caracterizado por pelo menos o emissor ou/e o receptor ser disposto fora da cavidade interna do cilindro (8).

8. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 6, caracterizado por pelo menos o emissor ou/e o receptor ser acoplado em rotação síncrona com o meio de orientação óptica, particularmente quando é disposto na cavidade do cilindro (8), caso no qual é também acoplado a uma ligação elétrica com junta giratória, idealmente para uma alimentação energética, uma sinalização de comando ou/e de controle.

9. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 8, caracterizado por o cilindro (811) compreender uma janela em material opticamente transparente ao feixe de ablação laser e às emissões espectrais plásmicas.

10. Utilização do dispositivo, como definido em qualquer uma das reivindicações 2 a 9, caracterizada por se destinar a uma medida de análise química de superfície de revestimento de uma cinta de aço (1) que passa sobre um cilindro (8) na saída de um processo de galvanização.

11. Utilização, de acordo com a reivindicação 10, caracterizada por incluir,

- um acionamento de tiros temporalmente sucessivos de feixe de ablação laser a diversas profundidades da cinta (1) e em único ponto de contato de cinta (1) em passagem com o cilindro (8) em rotação, esse ponto sendo considerado com um alvo dos tiros, e
- um acionamento de medidas de análise química associadas a cada um dos tiros a esse ponto alvo.

12. Utilização, de acordo com a reivindicação 11, caracterizada por pelo menos um dos tiros de ablação laser ser feito a uma profundidade:

- entre 0 e 3 micrometros da superfície externa do revestimento da cinta (1), idealmente entre 1 e 2 micrometros,
- sob uma espessura próxima de 40 a 60% da espessura

do revestimento, e

- sob uma espessura próxima de 90 a 95% da espessura do revestimento.

13. Utilização do dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 12, caracterizada por se destinar a comandar parâmetros que controlam a regulagem de uma instalação aplicando o processo de galvanização e controlando a regulagem de um forno de ligação disposto a jusante da instalação de galvanização.

14. Utilização, de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 a 13, caracterizada por se destinar a controlar em tempo real dados de funcionamento do processo de galvanização em relação a dados de referência.

15. Utilização, de acordo com a reivindicação 14, caracterizada por se destinar a liberar cenários de comando com desempenho em função de parâmetros escolhidos para assegurar uma obtenção de dados de funcionamento sob uma tolerância de dados de referência.

FIG 1

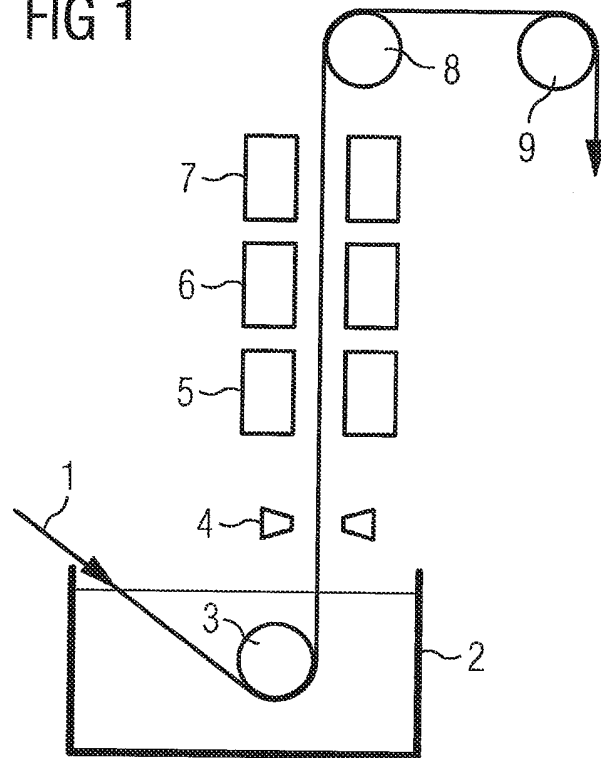


FIG 2

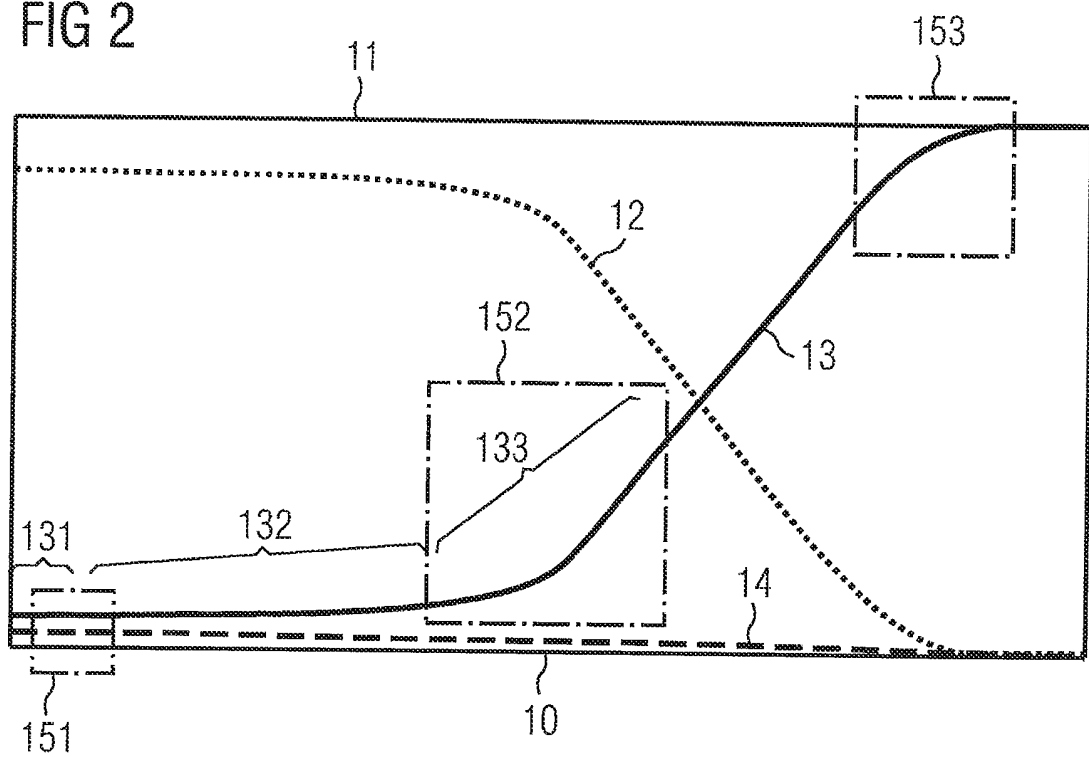


FIG 3A

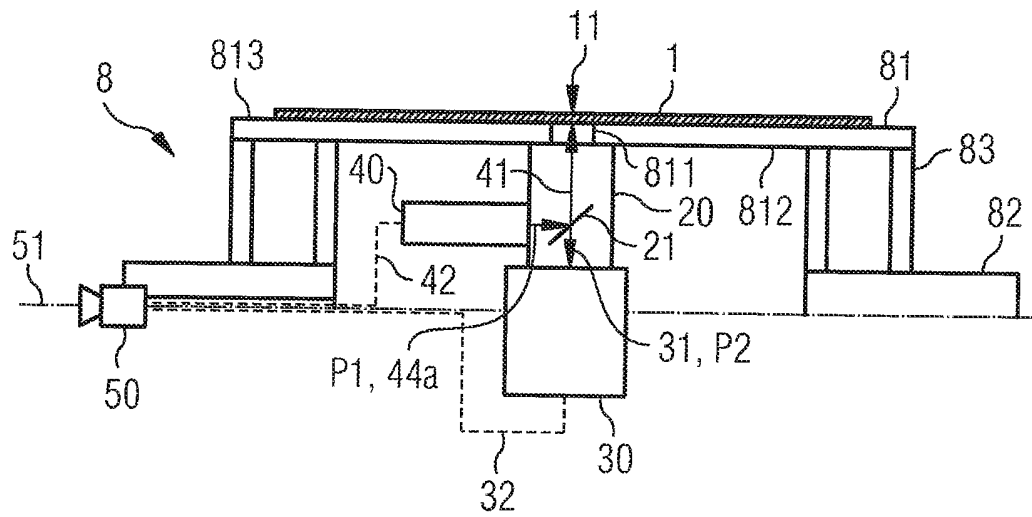


FIG 3B

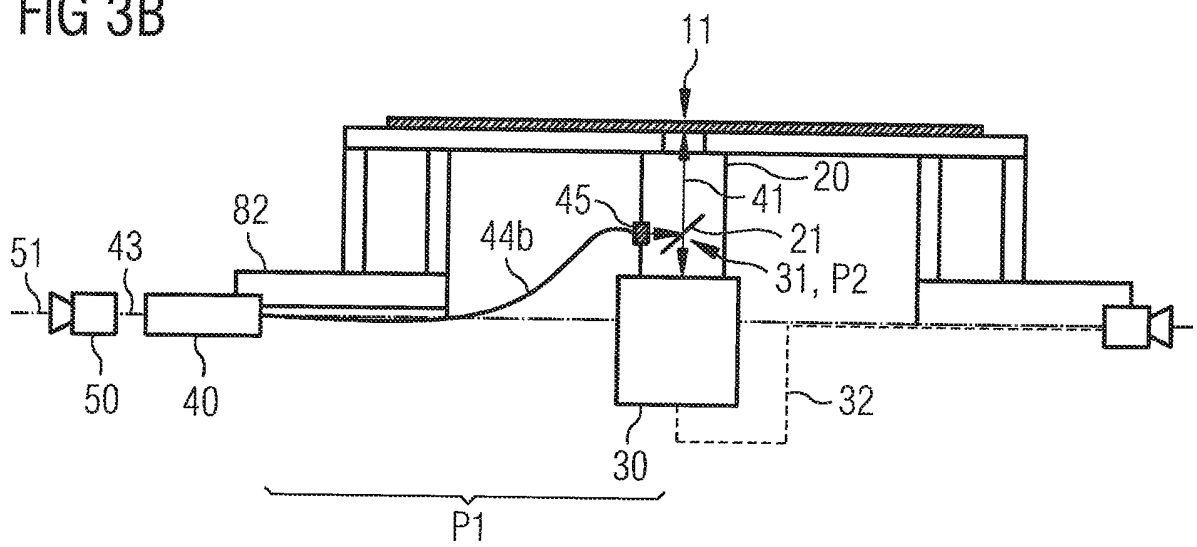


FIG 6

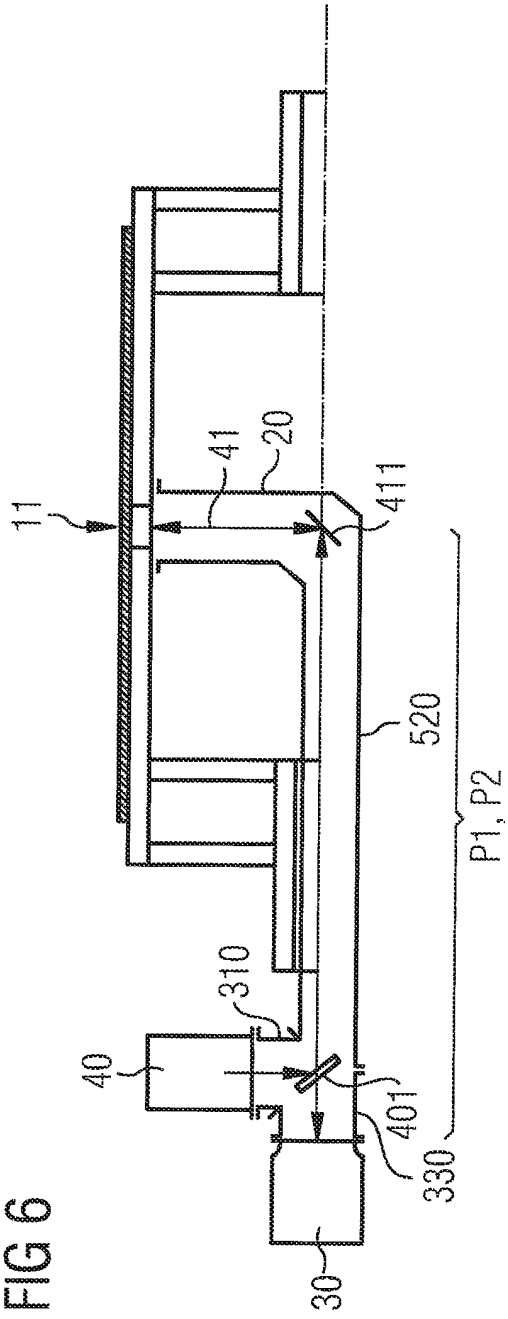


FIG 7

