

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901944649A1

Publication Date

20121112

Applicant

ADIGE S.P.A.

Title

PROCEDIMENTO PER LA SCANSIONE DI UN TUBO DESTINATO A ESSERE
LAVORATO SU UNA MACCHINA DI TAGLIO LASER

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Procedimento per la scansione di un tubo destinato a essere lavorato su una macchina di taglio laser"

Di: Adige S.p.A, nazionalità italiana, Via per Barco 11, 38056 Levico Terme (TN)

Inventori designati: Paolo GALVAGNINI, Sergio NICOLETTI, Matteo BRIGADUE

Depositata il: 12 Maggio 2011

DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda in generale un procedimento per il taglio laser di tubi mediante, e più in particolare un procedimento per la scansione di un tubo su una macchina di taglio laser.

Nella descrizione e nelle rivendicazioni che seguono, il termine "tubo" è utilizzato per individuare un qualsiasi corpo allungato avente sezione (indifferentemente aperta o chiusa) uniforme lungo il proprio asse longitudinale, laddove nel caso di sezione chiusa il corpo allungato è un corpo cavo.

Il taglio laser di tubi è un'applicazione industriale nota, che presenta però alcune difficoltà dovute in particolare alla natura della sezione del tubo che deve essere lavorato e alla differenza tra la sua posizione teorica di lavoro e quella effet-

tiva raggiunta a seguito della sua movimentazione.

Per quanto riguarda la natura della sezione del tubo, a causa dei difetti geometrici la sezione effettiva del tubo differisce da quella teorica. Le tipologie di sezioni di tubo lavorabili mediante laser sono varie, e tra le più comuni sono da annoverare quelle illustrate nella figura 1 dei disegni allegati. In particolare, possono esserci i seguenti tipi di sezione:

- sezione circolare (figura 1a),
- sezione quadrata (figura 1b),
- sezione rettangolare (figura 1c), sia raccordata sia a spigolo vivo,
- sezione piatta ovale (figura 1d),
- sezione semipiatta ovale (figura 1e),
- sezione ellittica o a forma di cerchio schiacciato (figura 1f),
- sezione a forma di U o C (figura 1g), sia ottenuta per piegatura sia ottenuta per estrusione, e quindi sia con lo spigolo esterno o quello interno raccordati sia con lo spigolo esterno o quello interno vivi,
- sezione a forma di L (figura 1h), sia ottenuta per piegatura sia ottenuta per estrusione, e quindi sia con lati raccordati sia a spigolo vivo,

- sezione a ferro piatto o piattina (figura 1i), indifferentemente con spigolo vivo o smussato, e
- sezione a forma di H (figura 1j) o I (figura 1k).

Tranne i casi in cui non vi sia chiaramente almeno una faccia piana nella sezione (come nel caso di una sezione circolare o di una sezione ellittica), è possibile definire una faccia di bordo o riferimento, un raggio o smusso di raccordo e una faccia di lavoro. In altre parole, quando si sta eseguendo ad esempio un taglio su una faccia (faccia di lavoro) di un tubo, è possibile definire dove tale faccia inizia o finisce utilizzando come riferimento un'altra faccia, tipicamente una faccia perpendicolare alla faccia di lavoro, connessa a alla faccia di lavoro tramite un raccordo.

I raccordi sopra citati con riferimento alle varie tipologie di sezioni di tubo possono essere a spigolo vivo, a quarto di cerchio o smussati con un piano, come mostrato nella figura 2.

Nella figura 2a è illustrata una porzione d'angolo di una sezione rettangolare di tubo, in cui una faccia di lavoro 2 e una faccia di riferimento 4 sono connesse l'una all'altra tramite un raccordo a quarto di cerchio 6a. Con 8a è indicato

un punto di controllo utilizzato dall'apparecchiatura di lavorazione laser quale riferimento per determinare la posizione del raccordo e quindi della faccia di riferimento. Nella figura 2b è illustrata una porzione d'angolo di una sezione rettangolare di tubo con un raccordo a spigolo vivo 6b e due associati punti di controllo 8b. Nella figura 2c è illustrata una porzione d'angolo di una sezione rettangolare di tubo con un primo raccordo a smusso 6c e un punto di controllo 8c, mentre nella figura 2d è illustrata una porzione d'angolo di una sezione rettangolare di tubo con un secondo raccordo a smusso 6d, comprendente due tratti ad arco 6d' e un tratto rettilineo 6d'', e con un punto di controllo 8d. Nella figura 2e sono illustrati due raccordi a quarto di cerchio 6e' e 6e'', che si uniscono in una zona centrale 9, e due punti di controllo 8e' e 8e''.

Ogni procedura che abbia come presupposto l'esattezza della forma del raccordo per eseguire le misure, ad esempio di posizione, è destinata a fallire o comunque a essere imprecisa.

Un ulteriore problema è dato dal fatto che le sezioni effettive dei tubi hanno dimensioni diverse da quelle teoriche. Le macchine di taglio laser no-

te sono provviste di sistemi meccanici di auto-adattamento che permettono di tenere conto di lievi variazioni dimensionali, ma tali variazioni possono comunque causare problemi quando si cerca di individuare la posizione del tubo da lavorare. Ad esempio, uno dei metodi tipicamente utilizzati oggi-giorno per determinare la posizione della faccia di lavoro di un tubo è quello di ruotare il tubo di 90° e di andare a toccare la relativa faccia di riferimento. Una differenza tra la quota misurata e quella teorica può essere in questo caso interpretata come uno spostamento rigido della faccia di interesse, ma potrebbe anche essere dovuto al fatto che la sezione ha dimensioni diverse da quelle teoriche.

Un altro problema, come sopra detto, riguarda la differenza tra la posizione teorica del tubo in lavorazione e quella effettivamente raggiunta a seguito della movimentazione.

Con riferimento ora alla figura 3, verranno descritti alcuni esempi di architetture utilizzate per la movimentazione dei tubi nelle macchine di taglio laser utilizzate per il taglio di tubi.

La figura 3a mostra schematicamente un'architettura mandrino-lunetta. Con 10 è indicato un man-

drino predisposto per fare traslare un tubo T lungo il proprio asse e per farlo ruotare intorno al proprio asse. Con 12 è invece indicata una lunetta di sostegno attraverso cui passa, ed è così mantenuto in posizione orizzontale, il tubo T. La macchina di taglio laser comprende inoltre, in modo per sé noto, una testa di taglio (non mostrata) che può lavorare immediatamente a monte (zona 14a) o a valle (zona 14b) della lunetta 12. La testa di taglio può essere movimentata fra le zone 14a e 14b o mediante un proprio meccanismo di movimentazione o per effetto del movimento di traslazione della lunetta 12. In alternativa, il movimento della testa di taglio può risultare dalla combinazione del movimento comandato dal proprio meccanismo di movimentazione e del movimento impartito alla lunetta 12.

La figura 3b mostra schematicamente un'architettura a tre mandrini. Con 10 è indicato un mandrino del tipo di quello mostrato nella figura 3a. Nel caso di tubi aventi un peso lineare maggiore di 25 kg/m, il mandrino 10 ha, oltre alla funzione di sostegno e di manipolazione del tubo durante lavorazione, anche la funzione di scarico del tubo al termine della lavorazione. Con 16 e 18 sono indicati due ulteriori mandrini realizzati come mandrini

passanti. La testa di taglio (non mostrata) è provvista di un proprio meccanismo di movimentazione per lavorare a monte dei due mandrini passanti (zona 14a), a valle dei due mandrini passanti (zona 14b) o tra i due mandrini passanti (zona 14c).

La figura 3c mostra schematicamente un'architettura a quattro mandrini, che rispetto all'architettura della figura 3b comprende inoltre un quarto mandrino 20 realizzato come mandrino non passante e avente funzione di estrazione, rotazione e sostegno del tubo. Anche in questo caso la testa di taglio (non mostrata) è provvista di un proprio meccanismo di movimentazione per lavorare a monte dei due mandrini passanti (zona 14a), a valle dei due mandrini passanti (zona 14b) o tra i due mandrini passanti (zona 14c).

La figura 3d mostra schematicamente un'architettura con soli due mandrini passanti 10 e 20 aventi entrambi funzione di traslazione, rotazione ed estrazione del tubo. Anche in questo caso la testa di taglio (non mostrata) è provvista di un proprio meccanismo di movimentazione per lavorare a monte dei due mandrini (zona 14a), a valle dei due mandrini (zona 14b) o tra i due mandrini (zona 14c).

Le architetture sopra descritte presuppongono tutte che sia nota la posizione del tubo in lavorazione rispetto all'asse di riferimento definito dal sistema di movimentazione tubo costituito dai mandrini. Tale presupposto vale se il sistema di movimentazione tubo della macchina di taglio laser è in grado di centrare per simmetria propria il tubo in lavorazione, cioè è in grado di esercitare una forza sufficiente a ridurre la freccia o la torsione del tubo stesso. Ciò tuttavia si verifica generalmente, a causa delle sollecitazioni cui è sottoposto il tubo, solo in prossimità dei punti di contatto tra i mandrini e il tubo. Man mano che ci si allontana da tali punti di contatto il tubo risulta sempre meno centrato rispetto all'asse di riferimento. Il centraggio del tubo è tanto più preciso quanto più la testa di taglio lavora vicino a un punto di contatto del tubo con un mandrino, ed è in genere più preciso quando la testa di taglio lavora nella zona compresa fra due mandrini (zona indicata con 14c nelle figure dalla 3b alla 3d). In ogni caso, lavorando con tubi particolarmente sottili e flessibili o con tubi di elevato peso lineare (indicativamente valori maggiori di 20kg/m) è difficile assicurare un corretto centraggio del tubo.

Un ulteriore problema legato alla lavorazione laser di tubi riguarda la determinazione della posizione dell'estremità, o testa, del tubo in lavorazione, necessaria per riferire correttamente la posizione delle lavorazioni da eseguire sul tubo. Anche in questo caso, l'esigenza è quella di stabilire un riferimento per la posizione del tubo in lavorazione non tanto rispetto a un punto ideale nello spazio, quanto piuttosto rispetto all'effettiva posizione di incidenza dell'utensile che esegue la lavorazione, nel presente caso l'effettiva posizione della testa di taglio.

In alcuni casi risulta interessante ricercare non tanto l'estremità del tubo intesa come superficie o linea, quanto piuttosto un punto o un'area di una faccia, che viene preso come riferimento per le lavorazioni da eseguire sul tubo. Ciò accade ad esempio nel caso in cui l'estremità del tubo sia angolata (figura 4a) o abbia un profilo complesso (figura 4b).

In altri casi i tubi hanno già subito lavorazioni precedenti, ad esempio lavorazioni di foratura, e devono quindi essere sottoposti a lavorazione laser di taglio o rifilatura. Nella figura 5 sono mostrati due esempi (a) e (b) di tubi precedente-

mente sottoporti a foratura. In questi casi, la macchina di taglio laser deve riferire le lavorazioni laser da eseguire rispetto alle lavorazioni preesistenti, di cui deve quindi andare a ricercare la posizione.

Una volta eseguita una lavorazione di taglio laser, ad esempio un foro circolare o una tasca quadrata o rettangolare, può esserci l'esigenza di misurare le dimensioni caratteristiche di tale lavorazione. Ciò avviene ad esempio quando si vuole valutare la dimensione della lavorazione tenendo conto della reale larghezza del solco di taglio laser.

Scopo della presente invenzione è dunque proporre un procedimento per la scansione di un tubo da lavorare mediante macchina di taglio laser, che permetta di misurare la posizione di un punto su una faccia del tubo indipendentemente sia dalla posizione del tubo nella macchina di taglio laser sia dalla conformazione del tubo stesso.

Questo e altri scopi sono raggiunti grazie a un procedimento per la scansione di un tubo comprendente i passi specificati nell'annessa rivendicazione indipendente 1.

Modalità di attuazione vantaggiose del proce-

dimento di scansione secondo l'invenzione formano oggetto delle rivendicazioni dipendenti, il cui contenuto è da intendersi come parte integrale e integrante della descrizione che segue.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno dalla descrizione dettagliata che segue, data a puro titolo di esempio non limitativo con riferimento ai disegni allegati, in cui:

le figure dalla 1a alla 1h mostrano esempi di sezioni di tubo che possono essere sottoposte a lavorazioni di taglio laser;

le figure dalla 2a alla 2e mostrano esempi di zone di raccordo fra due facce piane adiacenti di un tubo;

le figure dalla 3a alla 3d sono viste laterali schematiche di alcune architetture utilizzabili per la movimentazione del tubo in una macchina per il taglio laser di tubi;

le figure 4a e 4b sono viste prospettiche che mostrano due esempi di realizzazione di un'estremità di tubo;

le figure 5a e 5b sono viste prospettiche che mostrano due esempi di tubi da lavorare in cui sono già presenti lavorazioni, in particolare forature, eseguite prima della lavorazione laser;

la figura 6 è una vista schematica di una macchina per il taglio laser di tubi su cui è implementabile il procedimento secondo la presente invenzione; e

la figura 7 è un diagramma a blocchi di un procedimento per la scansione di un tubo su macchina di taglio laser secondo la presente invenzione. Con riferimento alla figura 6, una macchina di taglio laser per il taglio laser di tubi comprende innanzitutto un sistema di movimentazione tubo predisposto per fare traslare un tubo T lungo il proprio asse (indicato con x) e per farlo ruotare intorno al proprio asse. Nell'esempio mostrato nella figura 6, il sistema di movimentazione comprende un solo mandrino 10. Alternativamente, è possibile utilizzare una qualsiasi delle architetture note sopra descritte con riferimento alle figure dalla 3a alla 3d. La macchina di taglio laser comprende inoltre una testa di taglio 50 e una sorgente laser 52. La testa di taglio 50 comprende, fra l'altro, un insieme di lenti per focalizzare sul tubo T il fascio laser proveniente dalla sorgente laser 52 e un ugello per l'adduzione di gas di assistenza. La testa di taglio 50 è di tipo per sé noto e non verrà pertanto qui descritta in dettaglio. Alla testa

di taglio 50 è associato un sistema di movimentazione testa (anch'esso di tipo per sé noto, e quindi non mostrato) per movimentare la testa di taglio 50. La sorgente laser 52 è predisposta per inviare un fascio laser alla testa di taglio 50 tramite un sistema di trasporto del fascio 54 di per sé noto, quale ad esempio un sistema di specchi o una fibra ottica. La macchina di taglio laser comprende inoltre un sensore 56 predisposto per rilevare, quando il tubo T è esposto al fascio laser focalizzato dalla testa di taglio 50, la radiazione riflessa (e quindi avente la medesima lunghezza d'onda del fascio laser) o emessa (radiazione proveniente dal materiale del tubo o dall'ambiente gassoso in cui il tubo è immerso, a seguito di un'eccitazione provocata dal fascio incidente). Il segnale ottico (radiazione riflessa o emessa) rilevato dal sensore 56 ha una lunghezza d'onda compresa nell'intervallo da 180 a 2000nm. Il sensore 56 può essere fissato alla testa di taglio 50, come nell'esempio mostrato nella figura 6, o essere fissato al sistema di trasporto del fascio 54. Secondo l'invenzione, ai fini della misura della posizione di un punto su una faccia del tubo T in lavorazione la testa di taglio 50 viene opportunamente comandata (in termini di

potenza laser, distanza dal tubo e pressione del gas di assistenza) per focalizzare sul tubo un fascio laser tale da non essere in grado di incidere o tagliare il tubo, ma solo da far emettere dalla superficie del tubo una radiazione destinata a essere rilevata dal sensore 56. A titolo di esempio, il fascio laser utilizzato per la scansione della superficie del tubo T viene ottenuto stabilendo per la sorgente laser 52 una potenza compresa nell'intervallo da 200 a 3000W, utilizzando un gas di assistenza avente una pressione compresa nell'intervallo da 0,5 a 5 bar e posizionando la testa di taglio 50 a una distanza dal tubo compresa nell'intervallo da 0,5 a 4,5 mm. Il sensore 56 è collegato a un'unità di controllo 58 che, sulla base del segnale fornito dal sensore stesso, è in grado di determinare la presenza o l'assenza del tubo T con una risoluzione spaziale laterale tipica pari al raggio del fascio laser nel punto di incidenza sul tubo, dunque tipicamente compresa fra 25 μ m e 80 μ m. Tale risoluzione spaziale deriva dal fatto che è solo la zona a più alta densità di potenza a far emettere un segnale significativo.

Verrà ora descritto il procedimento secondo l'invenzione per la scansione di un tubo su una

macchina di taglio laser quale quella sopra descritta con riferimento alla figura 6. I passi del procedimento di scansione secondo l'invenzione sono indicati nel diagramma a blocchi della figura 7.

Come primo passo 200 viene selezionata, sulla base di un'indicazione fornita da un operatore, la caratteristica geometrica da trovare/misurare. L'operatore può fornire la sua indicazione, ad esempio inviando un segnale *wireless* all'unità di controllo 58 della macchina di taglio laser tramite un dispositivo di comunicazione portatile remoto o agendo direttamente su un modulo di interfaccia della macchina collegato all'unità di controllo 58. Le scelte a disposizione dell'operatore possono ad esempio essere le seguenti:

- ricerca di una faccia di riferimento,
- ricerca di due facce di riferimento,
- ricerca dell'estremità del tubo,
- ricerca dell'estremità in una zona specifica,
- ricerca di un foro o di una cava già presenti sul tubo, e
- misura di un foro o di una cava.

A seconda del tipo di ricerca o di misura da eseguire, viene impostata una scansione, come descritto in seguito, in una direzione (usualmente

una direzione parallela all'asse x del tubo T o lungo una direzione perpendicolare all'asse x) tale da non comportare la rotazione del tubo T e da richiedere quindi la sola movimentazione della testa di taglio 50. Nel caso in cui però sia richiesto di ricercare una cava su un tubo tondo, è necessario ruotare il tubo intorno al proprio asse.

Al passo successivo 202 viene eseguito un campionamento preliminare di posizione lungo una direzione z perpendicolare all'asse x del tubo T (vedere figura 6) in modo sicuro (cioè in modo da evitare danneggiamenti al tubo) e in modo certo (cioè in una posizione in cui si è certi di trovare il materiale del tubo). Il campionamento preliminare di posizione viene eseguito andando a toccare il tubo T con l'ugello della testa di taglio 50 dall'alto o utilizzando un sistema a sensore capacitivo (di tipo per sé noto). Il campionamento preliminare di posizione lungo l'asse z, e quindi la definizione della distanza tra l'ugello della testa di taglio 50 e il tubo T (cioè la posizione del fuoco), serve a posizionare il fuoco il più possibile sulla superficie del materiale, al fine di massimizzare la risoluzione della misura, garantendo il minimo diametro possibile del fascio laser incidente sul ma-

teriale.

Usando come riferimento in quota la posizione individuata tramite il campionamento preliminare di posizione eseguito al passo 202, l'unità di controllo 58 si prepara alla scansione allontanando, al passo 204, la testa di taglio 50 dal tubo T o comunque dall'area in cui si suppone ci sia il bordo del materiale da trovare. Nel caso in cui il campionamento preliminare di posizione sia eseguito mediante sensore capacitivo, il campionamento continua a essere eseguito durante l'allontanamento della testa di taglio 50 dal tubo T, permettendo così alla testa di taglio di inseguire il profilo del tubo. Tale inseguimento viene eseguito controllando comunque che la testa di taglio 50 non scenda di una distanza superiore al raggio del tubo T. A tale scopo, come valore del raggio del tubo viene per comodità utilizzato il valore teorico, dato che ciò non inficia la bontà della misura, ma al più ne riduce solo la precisione.

Al passo 206 la sorgente laser 52 viene accesa con un potenza tale da non permettere a fascio laser focalizzato di tagliare o incidere il materiale del tubo T e il gas di assistenza viene erogato dall'ugello della testa di taglio 50 con una pres-

sione tale da evitare spruzzi di materiale dal tubo verso l'interno della testa di taglio.

Al passo 208 la testa di taglio 50 inizia il movimento di scansione, partendo da una posizione in cui è certa l'assenza di materiale e procedendo verso il materiale T, in modo da spostare progressivamente la zona di focalizzazione del fascio laser in tale verso. Il fascio laser focalizzato proveniente dalla sorgente 52 è tale da essere riflesso quando incontra il materiale del tubo T o da fare emettere il materiale del tubo o il/i gas in cui è immerso il tubo nella zona di focalizzazione. Il sensore 56 rileva lo scalino di segnale tra materiale presente e materiale non presente, portando automaticamente la testa di taglio 50 a posizionarsi in un punto di controllo 8a-8e quale uno di quelli mostrati nelle figure dalla 2a alla 2e, indipendentemente dal fatto che il raccordo sia a quarto di cerchio, a spigolo vivo o smussato. Eventuali offset di posizionamento sistematici possono essere tenuti in conto semplicemente offrendo all'operatore la possibilità di inserire un *offset* fisso sulla misura.

L'unità di controllo 58 continua a monitorare il segnale ottico riflesso od emesso dalla zona di

focalizzazione durante la scansione sino al raggiungimento dell'estremità del tubo T. A questo punto (passo 210), l'unità di controllo 58 registra la posizione raggiunta e interrompe il ciclo di scansione.

Nel caso di lavorazione su una faccia delimitata da altre due, è possibile risolvere il problema della de-convoluzione tra difetto di posizione e difetto di dimensione mantenendo il tubo fermo durante la scansione e scansionando le due facce di riferimento. L'operatore potrà scegliere se riferire la lavorazione al centro della faccia così misurata o a uno dei due bordi campionati.

Il procedimento di scansione secondo l'invenzione permette di scansionare non solo il bordo e l'estremità di un tubo, ma anche lavorazioni preesistenti (quali fori o cave) di forma qualsiasi, purché sia possibile dare un significato univoco alle posizioni rilevate durante la scansione.

Infine, la scansione permette di misurare la dimensione, lungo la direzione di scansione, anche di una lavorazione laser appena eseguita, ad esempio ai fini del controllo qualità o per creare un riferimento per successive lavorazioni. In quest'ultimo caso, è prevista preferibilmente la

realizzazione di una lavorazione in una zona sacrificale, ad esempio all'interno di un'area destinata a diventare lo sfrido di una lavorazione successiva, per tarare l'apparecchiatura laser.

Se necessario, la scansione può essere ripetuta per ottenere una migliore risoluzione.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, le forme di attuazione ed i particolari di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto è stato descritto ed illustrato a puro titolo di esempio non limitativo, senza per questo uscire dall'ambito dell'invenzione come definito nelle annesse rivendicazioni.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per la scansione di un tubo (T) destinato a essere lavorato su una macchina di taglio laser,

laddove la macchina di taglio laser comprende una testa di taglio (50) predisposta per focalizzare sul tubo (T) da lavorare un fascio laser generato da una sorgente laser (52), e mezzi sensori (56) predisposti per rilevare, quando il tubo (T) è esposto al fascio laser focalizzato dalla testa di taglio (50), una radiazione riflessa o emessa dal tubo (T) e per fornire un segnale indicativo di tale radiazione,

il procedimento comprendendo i passi di

a) emettere tramite la testa di taglio (50) un fascio laser focalizzato tale da non essere in grado di tagliare o incidere il materiale del tubo (T),

b) movimentare la testa di taglio (50) lungo una data direzione di scansione,

c) mentre la testa di taglio (50) si muove lungo la direzione di scansione, rilevare tramite detti mezzi sensori (56) la radiazione riflessa o emessa dal tubo (T) e determinare punto per punto, sulla base del segnale fornito da detti mezzi sensori

(56), la presenza o l'assenza di materiale del tubo (T).

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui il segnale ottico rilevato da detti mezzi sensori (56) ha una lunghezza d'onda compresa nell'intervallo da 180 a 2000nm.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 2, in cui la direzione di scansione lungo cui viene movimentata la testa di taglio (50) al passo b) è diretta parallelamente o perpendicolarmente all'asse (x) del tubo (T).

CLAIMS

1. Method for scanning a tube (T) intended to be worked on a laser cutting machine, wherein the laser cutting machine comprises a cutting head (50) arranged to focus a laser beam generated by a laser source (52) on the tube (T) to be worked, and sensor means (56) arranged to detect, when the tube (T) is exposed to the laser beam focussed by the cutting head (50), a radiation reflected or emitted by the tube (T) and to provide a signal indicative of such a radiation,

the method comprising the steps of:

- a) emitting through the cutting head (50) a focussed laser beam such as not to be able to cut or incise the material of the tube (T),
- b) moving the cutting head (50) along a given scanning direction,
- c) while the cutting head (50) moves along the scanning direction, detecting through said sensor means (56) the radiation reflected or emitted by the tube (T) and establishing point to point, on the base of the signal provided by said sensor means (56), the presence or absence of the material of the tube (T).

2. Method according to claim 1, wherein the opti-

cal signal detected by said sensor means (56) has a wavelength ranging from 180 to 2000nm.

3. Method according to claim 1 or claim 2, wherein the scanning direction along which the cutting head (50) is moved at step b) is parallel or perpendicular to the axis (x) of the tube (T).

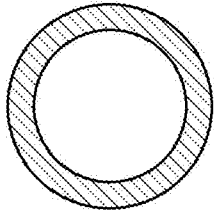


FIG. 1a

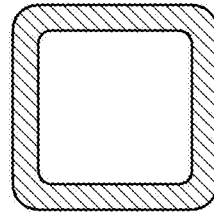
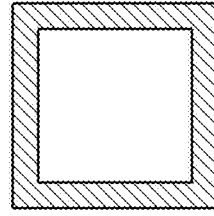


FIG. 1b

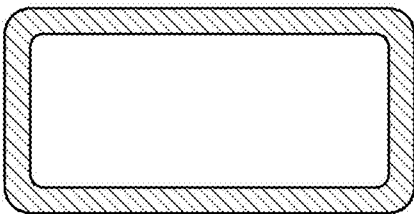
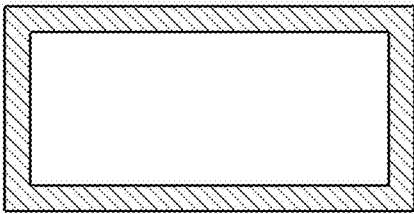


FIG. 1c

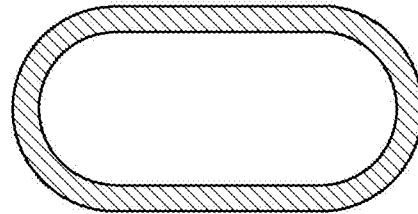


FIG. 1d

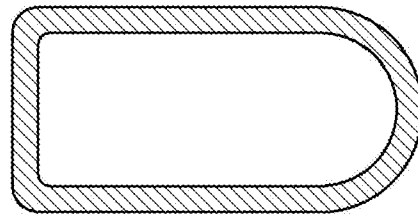


FIG. 1e

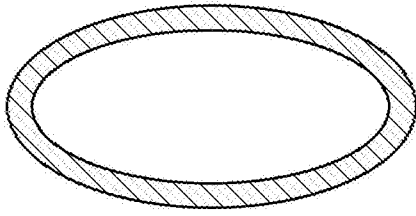


FIG. 1f

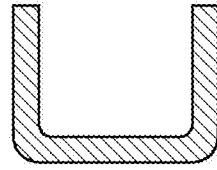


FIG. 1g

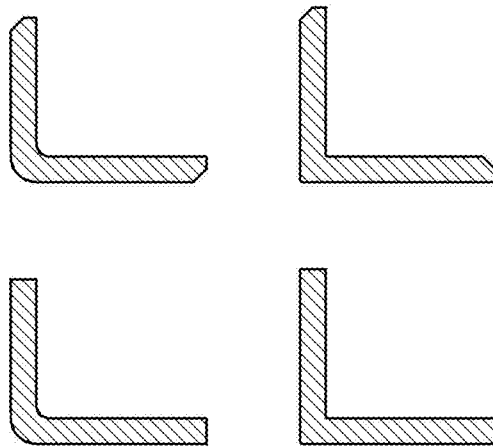


FIG. 1h

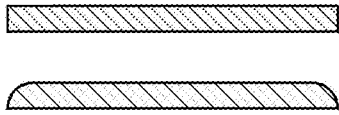


FIG. 1i

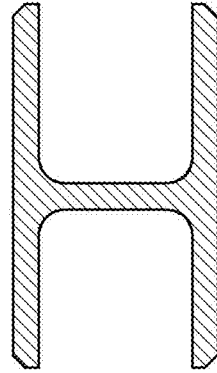


FIG. 1j

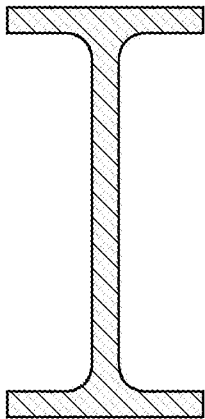
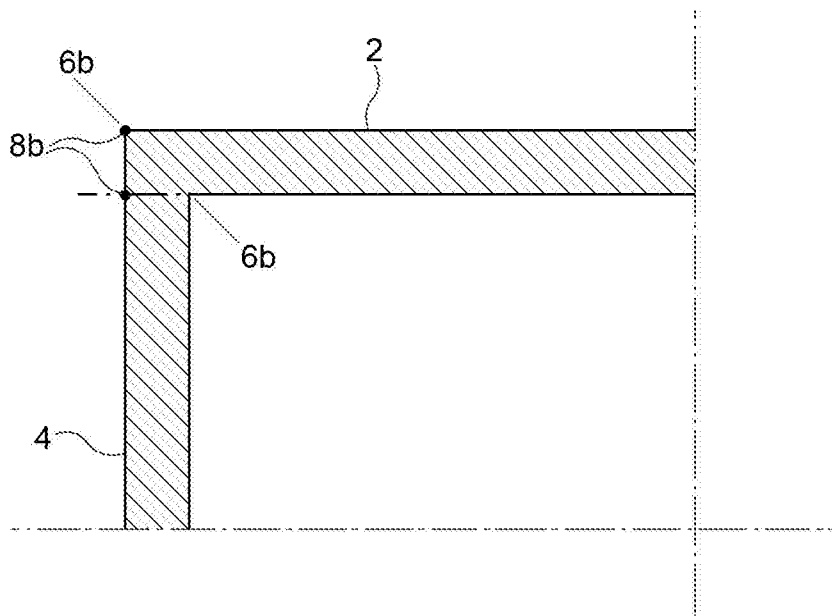
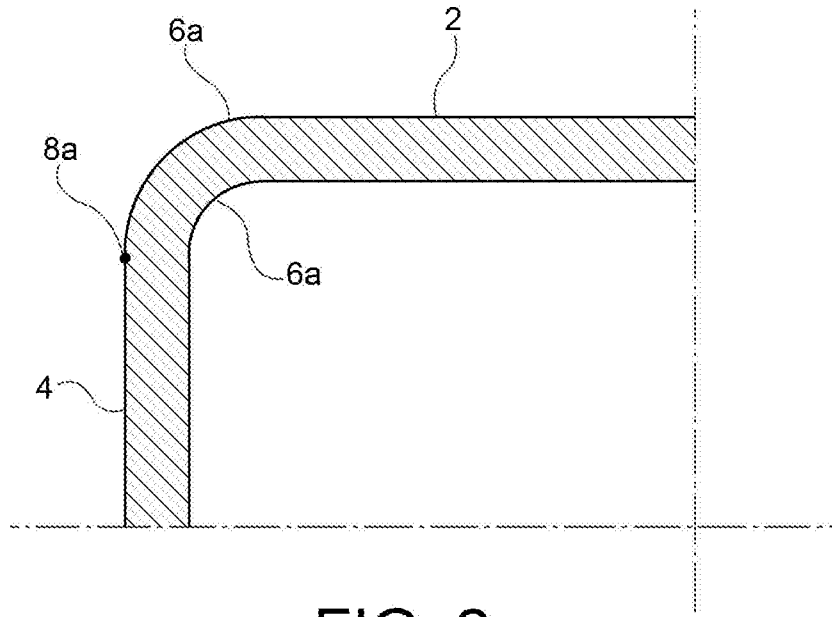


FIG. 1k



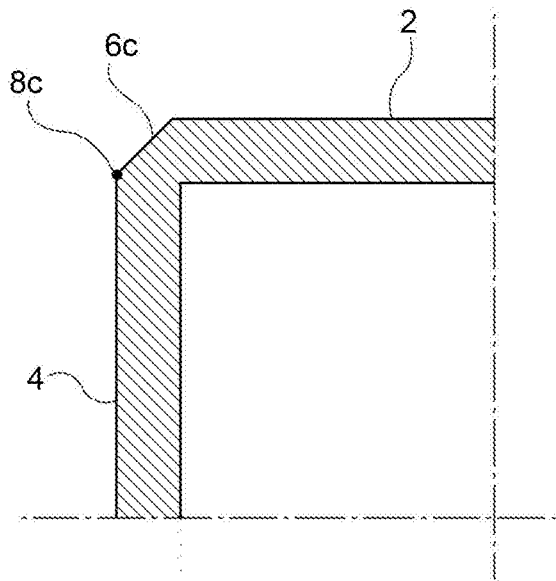


FIG. 2c

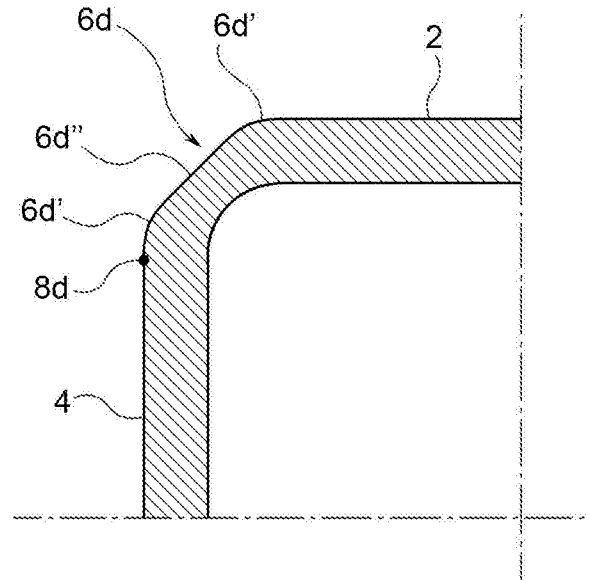


FIG. 2d

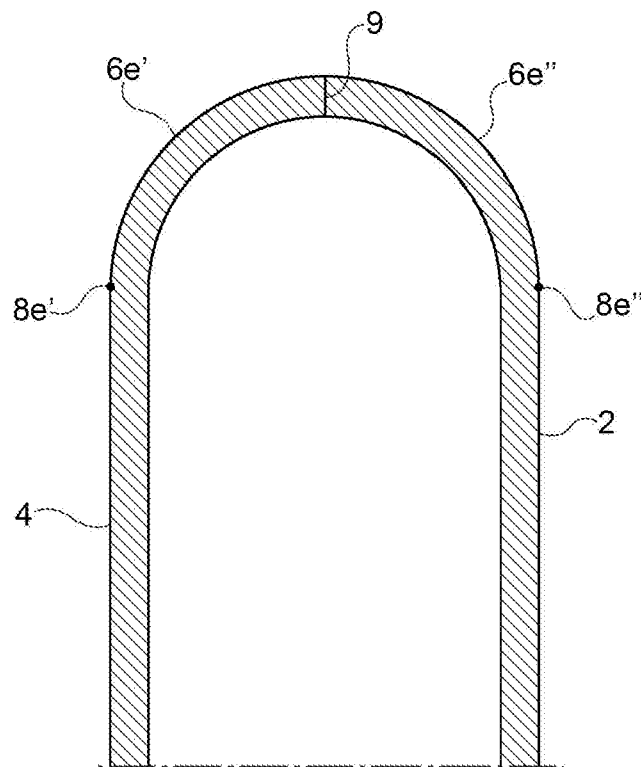


FIG. 2e

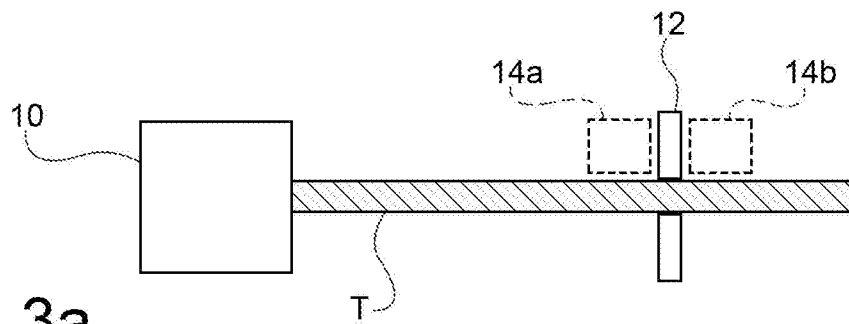


FIG. 3a

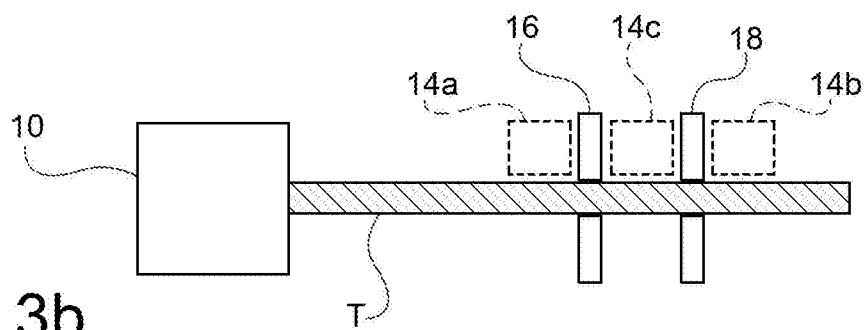


FIG. 3b

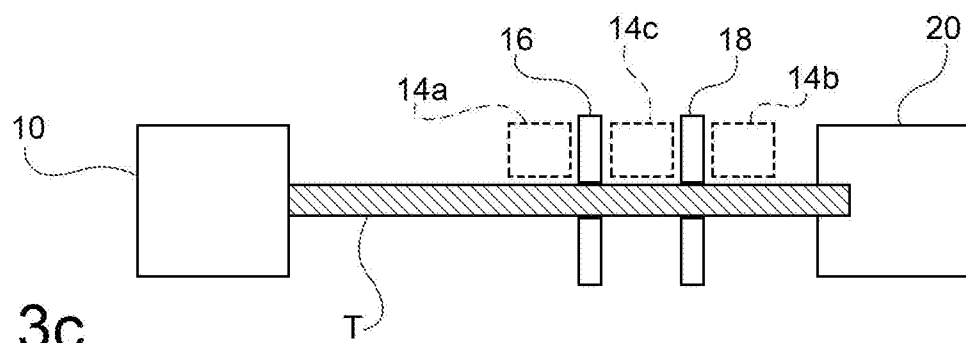


FIG. 3c

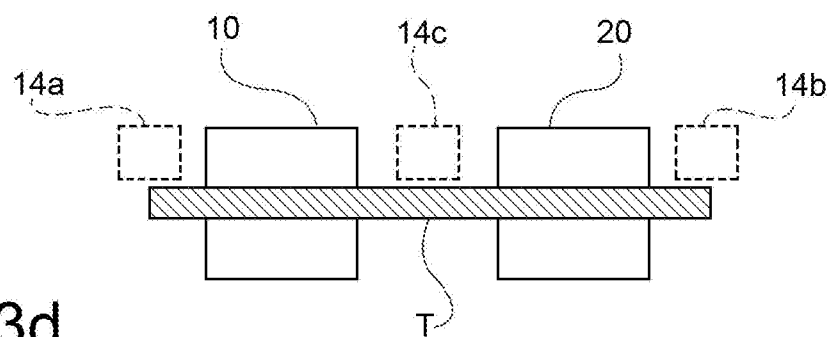


FIG. 3d

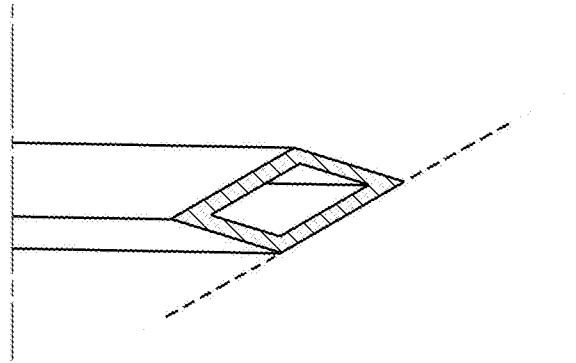


FIG. 4a

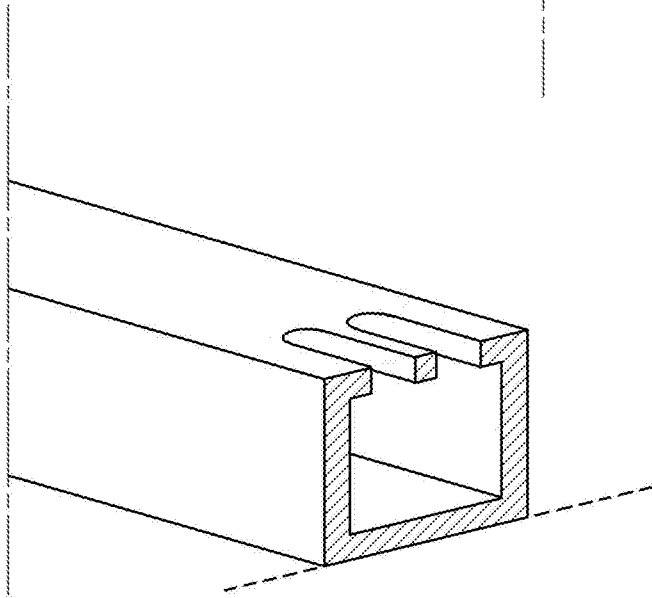


FIG. 4b

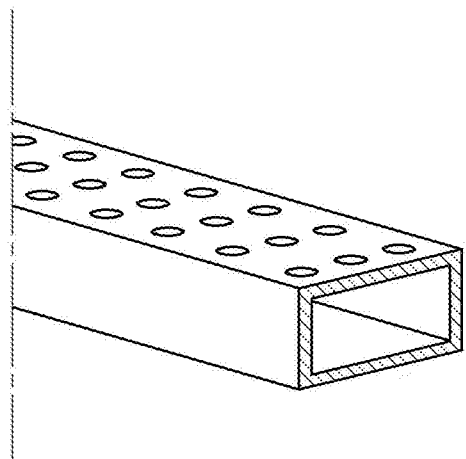


FIG. 5b

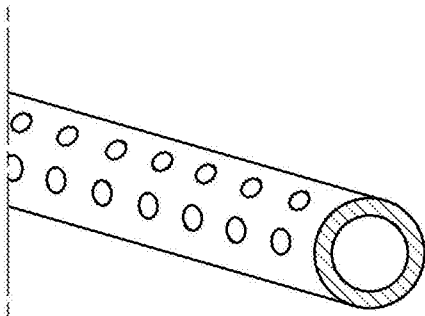


FIG. 5a

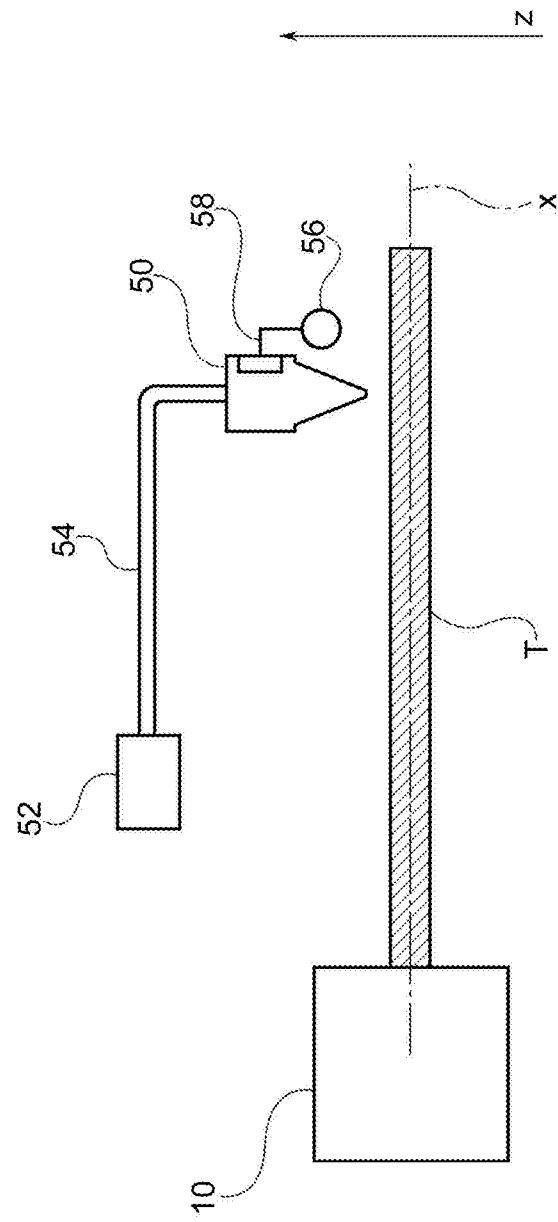


FIG. 6

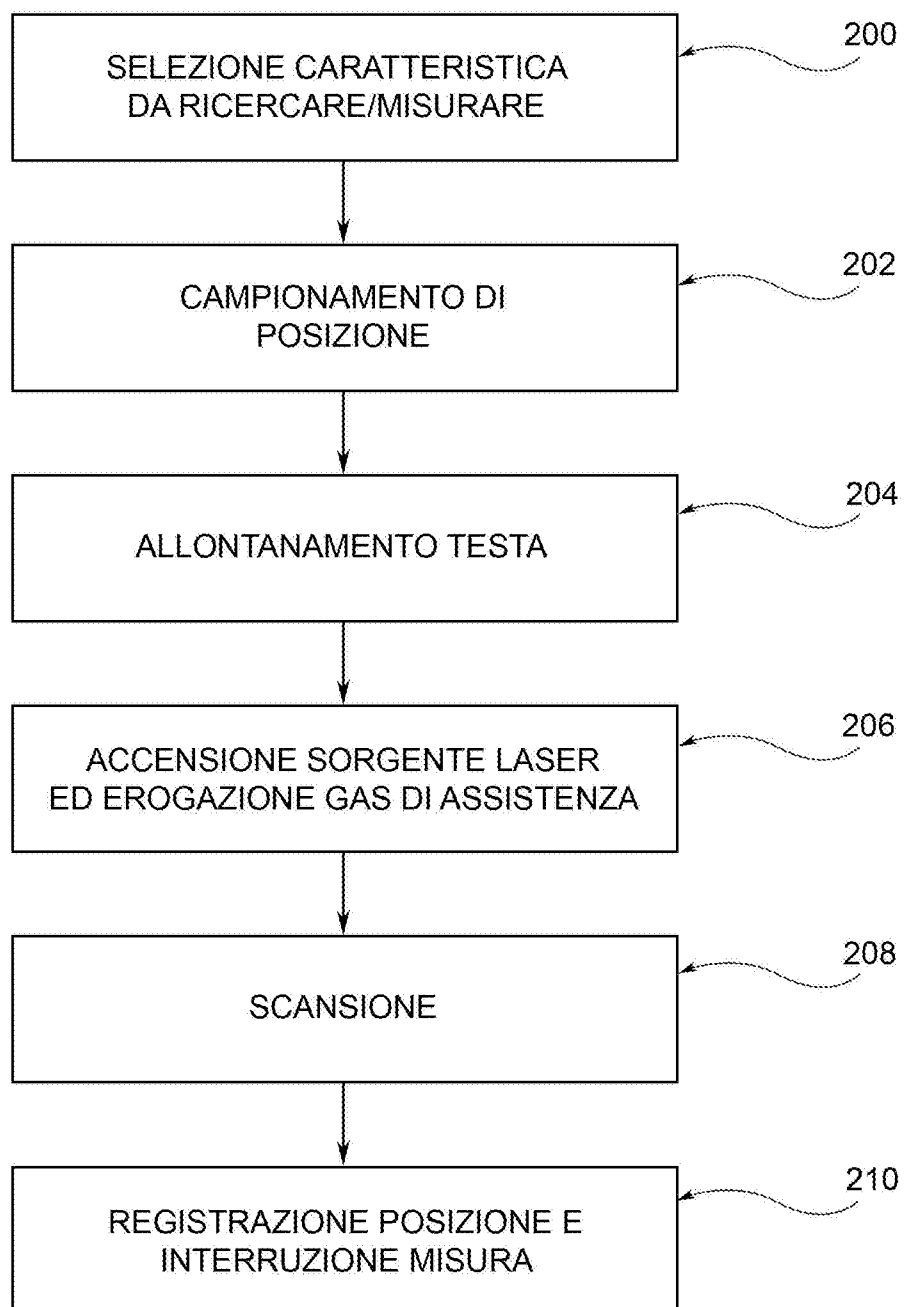


FIG. 7