



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102015000077863
Data Deposito	27/11/2015
Data Pubblicazione	27/05/2017

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	29	C	47	84

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	29	C	47	60

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	29	C	47	08

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	29	B	7	82

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	05	B	6	10

Titolo

ESTRUSORE RISCALDATO PER MATERIE PLASTICHE

DESCRIZIONE

annessa a domanda di brevetto per invenzione industriale avente per titolo:

ESTRUSORE RISCALDATO PER MATERIE PLASTICHE

A nome : Fernando Bressan, Giancarlo Pegoraro
5 residenti a : Grantorto (PD)
Inventori designati : Fernando Bressan, Giancarlo Pegoraro
Mandatario : Ing. Simone Ponchiroli c/o Ruffini Ponchiroli e
Associati S.r.l.

* * *

10 DESCRIZIONE

La presente invenzione ha per oggetto un estrusore riscaldato per materie plastiche.

Come è noto, gli estrusori per materie plastiche sono dei dispositivi che comprendono un cilindro di contenimento cavo, al cui interno è disposta una
15 vite di estrusione (coclea) che è messa in rotazione da un motore 18 elettrico. Il cilindro di contenimento è aperto ad entrambe le estremità: una prima estremità costituisce la bocca di uscita per il materiale estruso, mentre attraverso l'altra estremità è inserita la vite di estrusione collegata al motore 18. La sezione di ingresso del materiale da estrudere è
20 generalmente ricavata nella parete laterale del cilindro di contenimento.

Il materiale da estrudere viene generalmente alimentato all'estrusore in forma solida, in granuli, e nel corso del processo viene rammollito, mescolato, omogeneizzato ed infine estruso.

Per garantire il corretto funzionamento dell'estrusore è inoltre noto che lo
25 stesso comprenda dei mezzi di riscaldamento che vengono utilizzati sia, in misura maggiore, in fase di avvio dell'estrusore per portarlo alla temperatura di lavoro, sia, in misura minore, durante l'estrusione continua (in misura minore in quanto durante l'estrusione buona parte dell'energia termica necessaria è generata per attrito tra il materiale e l'estrusore ed è
30 quindi fornita direttamente dal motore 18 elettrico che aziona la vite di

estrusione).

In accordo con le soluzioni realizzative comunemente adottate, i mezzi di riscaldamento sono costituiti da resistenze elettriche applicate al cilindro di contenimento.

- 5 Sebbene le soluzioni realizzative oggi note permettano di realizzare il processo di estrusione, esse non sono certo esenti da inconvenienti.

In particolare, gli inconvenienti principali sono costituiti da un rendimento energetico relativamente basso, da tempi di riscaldamento iniziale (prima di poter avviare l'estrusione) relativamente alti e da conseguenti elevati

- 10 consumi energetici in fase di avvio. Indicativamente, infatti, un estrusore lungo circa 2 m e con un diametro del cilindro di contenimento di circa 15 cm può richiedere un tempo di avvio di circa un'ora.

In questo contesto il compito tecnico alla base della presente invenzione è realizzare un estrusore riscaldato per materie plastiche che ponga rimedio

- 15 agli inconvenienti citati.

È in particolare compito tecnico della presente invenzione realizzare un estrusore riscaldato per materie plastiche che abbia un'efficienza elevata e che presenti dei tempi di avviamento significativamente inferiori rispetto a quelli noti.

- 20 Il compito tecnico e gli scopi indicati sono sostanzialmente raggiunti da un estrusore riscaldato per materie plastiche in accordo con quanto descritto nelle unite rivendicazioni.

Ulteriori caratteristiche ed i vantaggi della presente invenzione appariranno maggiormente evidenti dalla descrizione dettagliata di alcune forme di esecuzione preferite, ma non esclusive, di un estrusore riscaldato per

- 25 materie plastiche illustrate negli uniti disegni, in cui:
- la figura 1 mostra in vista assonometrica un estrusore realizzato in accordo con la presente invenzione;
- la figura 2 mostra l'estrusore di figura 1 sezionato secondo la traccia II-II;
30 - la figura 3 mostra l'estrusore sezionato di figura 2 in vista assonometrica

secondo un punto di vista disposto da parte opposta rispetto a quello di figura 1;

- la figura 4 mostra ingrandito il particolare IV di figura 3;
- la figura 5 mostra ingrandito il particolare V di figura 3;
- 5 - la figura 6 mostra ingrandito il particolare VI di figura 3;
- la figura 7 mostra ingrandito il particolare VII di figura 2;
- la figura 8 mostra in vista assonometrica, con lo stesso punto di vista di figura 3, una vite di estrusione dell'estrusore di figura 1;
- la figura 9 mostra la vite di figura 8 parzialmente sezionata secondo il
- 10 piano di sezione II-II indicato in figura 1;
- la figura 10 mostra ingrandito il particolare X di figura 9;
- la figura 11 mostra in vista assonometrica, con lo stesso punto di vista di figura 1, un induttore interno dell'estrusore di figura 1;
- la figura 12 mostra ingrandito il particolare XII di figura 11;
- 15 - la figura 13 mostra ingrandito un ulteriore particolare dell'induttore interno di figura 11 secondo un punto di vista disposto da parte opposta rispetto a quello di figura 11;
- la figura 14 mostra una diversa forma realizzativa di induttore interno;
- la figura 15 mostra una ulteriore forma realizzativa di induttore interno;
- 20 - la figura 16 mostra una schematizzazione di un induttore interno quale quello di figura 11 montato in una vite di estrusione, utilizzata per la realizzazione di simulazioni bidimensionali agli elementi finiti;
- la figura 17 è un grafico che rappresenta l'andamento dell'efficienza in funzione della frequenza utilizzata, parametrato in base alla distanza tra i
- 25 due conduttori dell'induttore, ottenuto mediante le simulazioni basate sulla geometria indicata in figura 16;
- la figura 18 è un grafico che rappresenta anch'esso l'andamento dell'efficienza in funzione della frequenza utilizzata, parametrato in base alla distanza tra i due conduttori dell'induttore, sulla base di un sottoinsieme dei
- 30 dati utilizzati in figura 17;

- la figura 19 è un grafico che rappresenta l'andamento dell'efficienza in funzione del raggio dei conduttori che costituiscono l'induttore, ottenuto mediante le simulazioni basate sulla geometria indicata in figura 16;
- la figura 20 è un grafico che rappresenta l'andamento dell'efficienza in
5 funzione del raggio del foro interno dei conduttori che costituiscono l'induttore, ottenuto mediante le simulazioni basate sulla geometria indicata in figura 16;
- la figura 21 mostra una schematizzazione di una forma realizzativa simile a quella di figura 16 tranne che per la forma dell'induttore interno, utilizzata
10 per la realizzazione di ulteriori simulazioni bidimensionali agli elementi finiti;
- la figura 22 è un grafico che rappresenta l'andamento dell'efficienza in funzione della frequenza utilizzata, parametrato in base al raggio di curvatura della parte semicircolare della sezione trasversale dei due conduttori dell'induttore, ottenuto mediante le simulazioni basate sulla
15 geometria indicata in figura 21;
- la figura 22 è un grafico che rappresenta l'andamento dell'efficienza in funzione del raggio di curvatura della parte semicircolare della sezione trasversale dei due conduttori dell'induttore, parametrato in base alla frequenza utilizzata, ottenuto mediante le simulazioni basate sulla
20 geometria indicata in figura 21;
- la figura 24 è un grafico che rappresenta l'andamento delle temperature massima e minima nella vite di estrusione ottenute con una simulazione agli elementi finiti sulla base della geometria di figura 21;
- la figura 25 mostra in funzione del tempo sia l'andamento della potenza
25 utilizzata sia della temperatura superficiale (minima) simulata e misurata per le stesse condizioni operative della figura 24; e
- la figura 26 rappresenta schematicamente la vite di estrusione con i mezzi di riscaldamento ad essa accoppiati.

Con riferimento alle figure citate è stato globalmente indicato con il numero
30 di riferimento 1 un estrusore riscaldato per materie plastiche realizzato

secondo la presente invenzione.

Analogamente agli estrusori per materie plastiche noti, anche quello oggetto della presente invenzione comprende innanzitutto un cilindro di contenimento 2 internamente cavo ed una vite di estrusione 3 (coclea) montata nel cilindro di contenimento 2 ed ad esso coassiale. Il tutto è poi montato su, e supportato da una struttura di supporto 4 anch'essa di per sé nota.

Il cilindro di contenimento 2 presenta un asse principale 5 di sviluppo lungo il quale si sviluppa un foro assiale 6 a sezione circolare, vantaggiosamente costante, che nella forma realizzativa illustrata interessa l'intera lunghezza del cilindro di contenimento 2 e si estende da una apertura prossimale 7 ad una apertura distale 8. Attraverso l'apertura prossimale 7 è girevolmente inserita la vite di estrusione 3, mentre all'apertura distale 8 è accoppiato (ma potrebbe anche essere ricavato di pezzo) un ugello di erogazione 9 del materiale estruso che presenta una sezione interna gradualmente decrescente rispetto a quella del cilindro di contenimento 2.

In generale, poi, il cilindro di contenimento 2 presenta almeno una bocca di ingresso 10 per l'inserimento di materiale da estrudere (preferibilmente ricavata attraverso la parete laterale in prossimità dell'estremità prossimale) ed una bocca di uscita 11 per l'erogazione del materiale estruso ricavata in corrispondenza dell'estremità distale (alla quale è accoppiato l'ugello di erogazione 9 nelle unite figure).

Nella vite di estrusione 3 (che può essere costituita da uno o più pezzi – due nelle unite figure) si possono identificare un nocciolo interno 12 cilindrico attorno al quale si sviluppa ad elica una filettatura 13 a vite con diametro esterno sostanzialmente corrispondente a quello del foro assiale 6 del cilindro di contenimento 2 (salvo un piccolo gioco, generalmente dell'ordine di mezzo millimetro, tale da permettere in uso la rotazione della vite di estrusione 3 rispetto al cilindro di contenimento 2 senza sfregamenti tra i due). Vantaggiosamente, il nocciolo interno 12 cilindrico e la filettatura

13 a vite sono costituiti da un unico pezzo di materiale. Tra la vite di estrusione 3 ed il cilindro di contenimento 2 è ricavato uno spazio vuoto 14 in cui in uso avanza il materiale da estrarre.

5 Come ben visibile in figura 2 ed 8, sia il diametro del nocciolo interno 12 cilindrico, sia il passo della filettatura 13, variano lungo lo sviluppo della vite di estrusione 3 in modo tale da diminuire il volume per unità di lunghezza (rispetto all'asse principale 5) dello spazio vuoto 14 disponibile per l'avanzamento del materiale da estrarre.

10 La specifica conformazione di nocciolo interno 12 cilindrico e filettatura 13 potranno essere qualsiasi a seconda delle esigenze; trattandosi peraltro di aspetti tecnici di per sé noti essi non verranno ulteriormente descritti.

La vite di estrusione 3 presenta poi una estremità di movimentazione 15 che comprende, una prima porzione 16 cilindrica inserita attraverso l'apertura prossimale 7 ed una seconda porzione 17 dentellata posta
15 all'esterno del cilindro di contenimento 2 alla quale è meccanicamente accoppiato, in uso, un motore 18 atto a far ruotare la vite di estrusione 3 attorno all'asse principale 5, rispetto al cilindro di contenimento 2 (figura 26). A seconda delle esigenze l'accoppiamento tra motore 18 e vite (schematicamente rappresentato con una ruota dentata 19 in figura 26)
20 potrà essere realizzato in qualsiasi modo adatto allo scopo, ad esempio tramite ingranaggi, cinghie di trasmissione e potrà comprendere eventuali riduttori di velocità.

In accordo con un primo aspetto innovativo della presente invenzione, la vite di estrusione 3 presenta poi una cavità interna 20 allungata lungo l'asse
25 principale 5, dotata di una bocca di inserimento 21 in corrispondenza dell'estremità di movimentazione 15 della vite di estrusione 3. La cavità interna 20 è vantaggiosamente cieca all'altra estremità, si estende per pressoché l'intera lunghezza della vite di estrusione 3 e presenta una sezione cilindrica costante almeno per la maggior parte del proprio sviluppo.
30 L'estrusore 1 comprende poi dei mezzi di riscaldamento atti a fornire

energia termica allo scopo di mantenere rammollito il materiale plastico da estrudere.

In accordo con l'aspetto innovativo del presente trovato, almeno il nocciolo interno 12 cilindrico, ma preferibilmente l'intera vite di estrusione 3, è
5 costituito da materiale ferromagnetico, ed i mezzi di riscaldamento comprendono un induttore interno 22 disposto nella cavità interna 20 della vite di estrusione 3 per riscaldare ad induzione la vite di estrusione 3 stessa. L'induttore interno 22 vantaggiosamente si estende per pressoché tutta la lunghezza della cavità interna 20 e comprende un primo conduttore
10 tubolare 23 avente una prima estremità di raccordo 24 ed una seconda estremità di raccordo 25 disposte in corrispondenza della bocca di inserimento 21 (vantaggiosamente poco al di fuori della stessa).

I mezzi di riscaldamento comprendono poi almeno un primo generatore 26 di energia elettrica, elettricamente collegato all'induttore interno 22 per
15 alimentarlo con una corrente alternata avente una prima frequenza che può essere sia fissa sia variabile. La prima frequenza, in particolare, può essere variata in funzione della temperatura raggiunta dalla vite di estrusione 3 (misurata o stimata/calcolata). Vantaggiosamente il primo generatore 26 elettrico è collegato all'induttore interno 22 in corrispondenza della prima
20 estremità di raccordo 24 e della seconda estremità di raccordo 25. La prima frequenza è poi vantaggiosamente scelta in modo tale da massimizzare l'efficienza del riscaldamento. Ciò può essere ad esempio ottenuto scegliendo una frequenza che, alle temperature di lavoro (generalmente ben inferiori alla temperatura di Curie dei materiali ferromagnetici presenti)
25 determini uno spessore di penetrazione nel nocciolo interno 12 cilindrico pari o di poco inferiore allo spessore della parete tubolare che costituisce il nocciolo stesso.

Ulteriormente, i mezzi di riscaldamento comprendono un alimentatore 27 di un fluido di raffreddamento (vantaggiosamente acqua), quale un chiller, in
30 collegamento di fluido con le estremità di raccordo 24, 25 del primo

conduttore tubolare 23 ed atto, in uso, ad instaurare nel primo conduttore tubolare 23 una circolazione di fluido di raffreddamento.

In accordo con la presente invenzione, il primo conduttore tubolare 23 può assumere varie configurazioni. Preferibilmente, comunque, esso è
5 conformato in modo tale da presentare un primo tratto 28 (andata) che si sviluppa lungo l'asse principale 5 in continuo allontanamento dalla prima estremità di raccordo 24 sino ad una propria prima estremità distale 29, ed un secondo tratto 30 (ritorno) che si sviluppa lungo l'asse principale 5 in continuo allontanamento da una propria seconda estremità distale 31 posta
10 in corrispondenza della prima estremità distale 29, sino alla seconda estremità di raccordo 25. Si noti che con la definizione "continuo allontanamento" si intende indicare che lo sviluppo del tratto interessato presenta sempre una componente non negativa rispetto al verso di sviluppo indicato (in altre parole lo sviluppo è sempre progressivamente in avanti
15 lungo il verso indicato, senza mai alcun ritorno all'indietro). Preferibilmente, inoltre, l'induttore interno 22 definisce un'unica spira.

In accordo con una prima forma realizzativa illustrata nelle figure da 11 a 13, ad esempio, l'induttore interno 22 ha forma ad U con il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30 sostanzialmente rettilinei e paralleli all'asse
20 principale 5. Le estremità di raccordo 24, 25 sono costituite da primi blocchetti di materiale elettricamente conduttivo, mentre le estremità distali 29, 31 sono tra loro raccordate (sia elettricamente sia idraulicamente) tramite un secondo blocchetto 32 di materiale elettricamente conduttivo internamente cavo. Il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30 hanno inoltre
25 distanza reciproca sostanzialmente costante.

In accordo con una seconda forma realizzativa illustrata in figura 14, il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30 hanno entrambi sviluppo ad elica attorno all'asse principale 5 e distanza reciproca sostanzialmente costante.

In accordo con una terza forma realizzativa illustrata in figura 15, infine, uno
30 tra il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30 ha uno sviluppo parallelo

all'asse principale 5 (nonché centrato sull'asse principale 5), l'altro uno sviluppo ad elica attorno all'asse principale 5. La distanza reciproca tra il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30 è sostanzialmente costante in corrispondenza di ogni sezione trasversale (perpendicolare all'asse principale 5).

In tutte le forme realizzative illustrate nelle unite figure, quindi, la distanza reciproca tra il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30 è sostanzialmente costante per tutta la loro lunghezza. In altre forme realizzative, tuttavia, al fine di variare l'accoppiamento elettromagnetico tra l'induttore interno 22 e la vite di estrusione 3 in funzione della posizione longitudinale rispetto all'asse principale 5 (per determinare un diverso trasferimento di energia alla vite di estrusione 3 stessa in funzione delle condizioni - temperatura e grado di rammollimento - in cui si trova, a regime, il materiale da estrudere in quella specifica zona dell'estrusore 1), può essere vantaggiosamente previsto che tale distanza e quella tra primo tratto 28 e secondo tratto 30 e parete interna della cavità interna 20, possa essere variabile lungo il loro sviluppo.

Sebbene in tutte le forme realizzative appena descritte, ed illustrate nelle figure da 11 a 15, il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30 siano rappresentati con sezione trasversale circolare, è anche previsto che essi possano avere sezione trasversale di altre forme (ad esempio rettangolare con spigoli vivi o raccordati, a forma di D come in figura 21, ecc...).

Nelle forme realizzative preferite, poi, la cavità interna 20 della vite di estrusione 3 è cilindrica, e la distanza tra l'induttore interno 22 e la vite di estrusione 3 è sempre non inferiore a 1 mm (sia per ragioni elettriche sia per ragioni termiche, è sempre infatti vantaggiosamente previsto che l'induttore interno 22 non sia a contatto con la vite di estrusione 3). A tale scopo può essere previsto che l'induttore interno 22 sia inglobato in un corpo solido 36 di materiale amagnetico (ad esempio ottenuto per solidificazione di una resina) che presenti una dimensione di poco inferiore

a quella della cavità interna 20 della vite di estrusione 3.

Vantaggiosamente, inoltre, il rapporto tra la distanza minima tra il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30 (vale a dire la distanza minima tra le loro superfici esterne come indicato ad esempio in figura 16) ed il diametro della cavità interna 20 è maggiore di 0.4, mentre il rapporto tra la dimensione massima, misurata in senso radiale rispetto all'asse principale 5, della sezione trasversale dei due tratti 28, 30 (preferibilmente uguale per entrambi) ed il diametro della cavità interna 20 è inferiore a 0.4.

Per quanto riguarda la frequenza di alimentazione dell'induttore, generalmente (ovviamente comunque la cosa dovrà essere valutata di caso in caso) si possono ottenere discreti risultati in termini di efficienza del processo di riscaldamento, con valori pari o superiori a 2 kHz, risultati buoni con frequenze pari o superiori a 10 kHz e risultati ancora migliori con frequenze pari o superiori a 20 kHz.

Sebbene in alcune applicazioni il riscaldamento ad induzione della sola vite di estrusione 3 possa essere sufficiente per un buon funzionamento dell'intero estrusore 1, nella maggior parte delle applicazioni in accordo con la presente invenzione è anche previsto che i mezzi di riscaldamento siano in grado di riscaldare anche il cilindro di contenimento 2. Vantaggiosamente, inoltre, in tutti i casi può essere previsto che il cilindro di contenimento 2 sia esternamente rivestito con uno strato 33 di materiale termicamente isolante.

Sebbene il riscaldamento del cilindro di contenimento 2 possa essere effettuato in qualsiasi modo adatto allo scopo, nella forma realizzativa preferita è previsto che il cilindro di contenimento 2 sia anch'esso realizzato in materiale ferromagnetico e che i mezzi di riscaldamento comprendano inoltre almeno un induttore esterno 34 montato esternamente al cilindro di contenimento 2 ed almeno un secondo generatore di energia elettrica elettricamente collegato all'induttore esterno 34 per alimentarlo con una corrente alternata avente una seconda frequenza che può essere

anch'essa sia fissa sia variabile (anche la seconda frequenza, in particolare, può essere variata in funzione della temperatura raggiunta dal cilindro di contenimento 2). Preferibilmente, comunque, il primo generatore 26 ed secondo generatore sono costituiti da un unico generatore. In quel caso, la
5 prima frequenza e la seconda frequenza possono coincidere o meno.

Vantaggiosamente, poi, l'induttore esterno 34 comprende un secondo conduttore tubolare 35 collegato all'alimentatore 27 del fluido di raffreddamento per instaurare anche nel secondo conduttore tubolare 35 una circolazione di fluido di raffreddamento.

10 Sebbene l'induttore esterno 34 possa assumere qualsiasi configurazione a seconda delle esigenze, nella forma realizzativa preferita il secondo conduttore tubolare 35 è avvolto ad elica attorno al cilindro di contenimento 2, preferibilmente all'esterno dello strato 33 di isolamento termico.

Per quanto riguarda il funzionamento dell'estrusore 1 esso è del tutto
15 analogo a quello degli estrusori noti per quanto riguarda gli aspetti meccanici.

Per quanto riguarda invece gli aspetti legati al riscaldamento, il funzionamento discende immediatamente dalla descrizione strutturale sopra riportata nel caso in cui sia presente solo l'induttore interno 22 non
20 quello esterno.

Al contrario, nel caso della forma realizzativa preferita in cui sono presenti sia l'induttore interno 22 sia l'induttore esterno 34, si deve distinguere tra la fase di avviamento, vale a dire la fase in cui l'estrusore 1 a vite di estrusione 3 ferma viene portato alla temperatura di lavoro, e il
25 funzionamento a regime in presenza di materiale che viene alimentato ed estruso in continuo.

Durante l'avviamento, tutta l'energia termica necessaria deve essere fornita dai mezzi di riscaldamento che quindi, vengono generalmente attivati a piena potenza sino al raggiungimento della temperatura prefissata.

30 Durante il funzionamento a regime, invece, la maggior parte dell'energia

termica necessaria si genera a causa dell'attrito tra il materiale da estrudere e le parti dell'estrusore 1 con cui viene a contatto; in quel caso i mezzi di riscaldamento devono fornire esclusivamente l'energia termica necessaria a compensare l'energia dissipata sia a causa del materiale caldo che viene
5 via via estruso, sia a causa di eventuali dispersioni verso l'ambiente circostante (sempre presenti per quanto limitate grazie alla presenza dello strato 33 di materiale termicamente isolante).

In tutte le fasi, poi, i mezzi di riscaldamento possono essere programmati per alimentare con energia elettrica o solo un induttore 22, 34 alla volta, o
10 entrambi gli induttori 22, 34 in parallelo. La prima soluzione è preferibile qualora si voglia mantenere relativamente bassa la potenza nominale richiesta dall'estrusore 1; l'unico generatore infatti, almeno durante alcune fasi di funzionamento, in particolare quelle a massimo assorbimento di potenza, può alimentare l'induttore interno 22 e l'induttore esterno 34 in
15 modo alternativo.

Come detto, le figure da 16 a 25 mostrano i risultati ottenuti sia con alcune simulazioni agli elementi finiti sia con test reali, che possono aiutare a meglio comprendere il comportamento dell'estrusore 1 oggetto della presente invenzione.

20 In tutte le simulazioni effettuate dati di input sono stati i seguenti:

- temperatura iniziale di tutte le parti 25°C
- temperatura acqua di raffreddamento nei conduttori tubolari 20°C
- coefficienti di scambio termico con l'ambiente esterno di tipo a convezione naturale ($10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$);
- 25 - materiale che costituisce cilindro di contenimento 2 e vite di estrusione 3: acciaio con le seguenti proprietà elettromagnetiche: permeabilità magnetica relativa 1000; conduttività elettrica $1,25 \times 10^6 \text{ S/m}$; densità 7700 kg/m^3 ; conducibilità termica $15 \text{ W}/(\text{mK})$; calore specifico $440 \text{ J}/(\text{kgK})$;
- 30 - materiale plastico da estrudere: densità 910 kg/m^3 ; conducibilità termica

0,2 W/(mK); calore specifico 1700 J/(kgK);

- materiale che costituisce i conduttori tubolari 23, 35: rame: conduttività elettrica 6×10^7 S/m; densità 8700 kg/m³; conducibilità termica 400 W/(mK); calore specifico 385 J/(kgK).

5 In particolare tutte le figure da 16 a 25 prendono in considerazione il solo riscaldamento della vite di estrusione 3.

Una prima configurazione simulata è rappresentata in figura 16: la vite di estrusione 3 (considerata costituita da corpo pieno avente spessore pari alla somma dello spessore del nocciolo interno 12 e della filettatura 13) è

10 rappresentata dalla corona circolare esterna ed ha un diametro nominale esterno di 80 mm, mentre la cavità interna 20 ha un diametro di 30 mm. Come si può facilmente intuire la figura 16 non rappresenta quindi una sezione trasversale reale della vite di estrusione 3, ma il caso idealmente peggiore, quello in cui il materiale (che costituisce la vite) da scaldare è
15 massimo.

Il primo induttore utilizzato è quello di figura 11, costituito da due tratti 28, 30 del primo conduttore tubolare 23 posti a distanza d. In tutti i test tranne quello cui si riferisce la figura 20 ciascun tratto 28, 30 è stato assunto avere una parete con spessore di 1 mm.

20 In questo caso quelle svolte sono state simulazioni 2D con fisica elettromagnetica e termica accoppiate, con vite di estrusione 3 ferma immersa nel materiale plastico.

La figura 17 e la figura 18 mostrano l'andamento dell'efficienza (espressa in %) in funzione della frequenza (espressa in Hz) al variare della distanza d

25 (espressa in cm) tra i tratti 28, 30 del primo conduttore tubolare 23 (i quali hanno un diametro di 5 mm). Sia in questo grafico sia in tutti gli altri che seguono l'efficienza è stata calcolata come rapporto tra la potenza dissipata nella vite di estrusione 3 e potenza complessiva dissipata nella vite di estrusione 3 e nel primo conduttore tubolare 23. Come si può vedere,
30 efficienze soddisfacenti si possono avere con frequenze non inferiori a 40

kHz e primo tratto 28 e secondo tratto 30 ravvicinati alla superficie interna della vite di estrusione 3.

La figura 19 mostra invece il variare dell'efficienza (espressa in %) al variare del raggio dei due tratti 28, 30 (espresso in metri), nel caso di
5 riscaldamento a 30 kHz con una distanza tra i due tratti 28, 30 del primo conduttore tubolare 23 e la parete della cavità interna 20 assunta costante e pari a 3 mm. Come si può vedere l'efficienza presenta un picco per raggi compresi tra 2.5 e 3 mm. L'efficienza aumenterebbe poi ulteriormente qualora si andasse a diminuire il valore della distanza tra i due tratti 28, 30
10 del primo conduttore tubolare 23 e la parete della cavità interna 20.

La figura 20 mostra invece l'influenza dello spessore della parete del primo conduttore tubolare 23 rappresentando la variazione di efficienza (espressa in %) al variare del raggio interno di ciascun tratto 28, 30 (espresso in millimetri) a fronte di un raggio esterno di 3 mm (sempre a 30 kHz).
15 Sebbene le variazioni siano minime, la maggiore efficienza si ha per lo spessore minore della parete dei conduttori (0.5 mm).

La figura 21 mostra una geometria alternativa rispetto a figura 16 per quanto riguarda il primo tratto 28 ed il secondo tratto 30, che in questo caso hanno sezione trasversale a D/semicircolare (presentano comunque
20 sempre una parete di spessore costante pari ad 1 mm). Le dimensioni di cavità interna 20 e vite di estrusione 3 sono le stesse. Anche in tutte le simulazioni basate su questa geometria, la distanza tra i due tratti 28, 30 del primo conduttore tubolare 23 e la parete della cavità interna 20 è stata assunta costante e pari a 3 mm.

La figura 22 mostra, per la configurazione di figura 21, l'andamento dell'efficienza (espressa in %) in funzione della frequenza (espressa in Hz - nello stesso intervallo di figura 18) in funzione del raggio (espresso in millimetri) della parte semicircolare della sezione a D dei due tratti 28, 30.
La figura 23 mostra gli stessi dati rappresentati come andamento
30 dell'efficienza (espressa in %) in funzione del raggio (espresso in millimetri),

parametrato in base alla frequenza (espressa in kHz). Come si può vedere, da un lato l'efficienza aumenta all'aumentare della frequenza, dall'altro lato per tutte le frequenze si ha un picco di efficienza per un raggio compreso tra 5 e 6 mm.

- 5 La figura 24 mostra invece l'andamento della temperatura massima e minima (esprese in °C) della vite di estrusione 3 in funzione del tempo (espresso in secondi), nella configurazione di figura 21, ottenuta con raggio della parte semicircolare della sezione a D del primo conduttore tubolare 23 pari a 6 mm, frequenza fissa pari a 50 kHz ed intensità di corrente costante
10 che circola pari a 1000 A.

La figura 25, infine, mostra i risultati di un confronto tra i risultati ottenuti mediante una simulazione 2D ed un test reale condotto su un prototipo di estrusore 1 avente le caratteristiche già indicate per quanto riguarda la figura 16.

- 15 Mentre come nei casi precedenti le simulazioni sono state eseguite sulla base della geometria in cui la vite di estrusione è simulata da un corpo pieno che non presenta alcuna filettatura (geometria per la quale la massa da scaldare è maggiore di quella reale, mentre è minore la superficie esterna), per quanto riguarda l'estrusore reale esso aveva la forma illustrata
20 nelle figure da 1 a 13. Per quanto riguarda le dimensioni le principali erano le seguenti: lunghezza del cilindro di contenimento 2 (escluso ugello di erogazione 9): 1854 mm; lunghezza totale della vite di estrusione 3: 2152 mm; lunghezza dell'induttore: 2128 mm; spessore del cilindro di contenimento 2: 42.5 mm; diametro interno cilindro di contenimento 2: 70
25 mm; diametro massimo della vite di estrusione 3 in corrispondenza della cresta della filettatura: 69.5 mm; diametro cavità interna 20: 28 mm; diametro primo tratto 28 e secondo tratto 30: 6 mm; distanza tra parete cavità interna 20 e primo tratto 28/secondo tratto 30: 2 mm. Per i tempi previsti nel test, la presenza o meno dello strato 33 termicamente isolante è
30 risultata irrilevante dato che alla fine del periodo considerato non si

manifestavano variazioni significative della temperatura superficiale del cilindro di contenimento 2.

In particolare, in figura 25 in basso è riportato a tratto continuo l'andamento in funzione del tempo (in secondi) della potenza fornita (come % della
5 potenza massima prevista pari a 24 kW con una corrente di 550 A a 40 kHz), nonché l'andamento della temperatura superficiale (in °C) della vite di estrusione 3 misurata (a tratteggio) e simulata (a tratto continuo), a fronte di una temperatura target da raggiungere di 220°C.

Come si può vedere il test è stato condotto applicando una potenza
10 costante del 99% per tutto il transitorio termico e la stessa potenza ad impulsi a regime (sempre comunque con vite ferma).

I risultati ottenuti dimostrano come sia possibile arrivare a portare la vite di estrusione 3 alla temperatura di regime in meno di cinque minuti. Tempi di poco superiori sono poi ottenibili anche per il riscaldamento del cilindro di
15 contenimento 2 cosicché il riscaldamento iniziale dell'estrusore 1 può essere completato in circa soli dieci minuti (a fronte di circa un'ora richiesta invece dai sistemi tradizionali) con un'efficienza elevata.

Appare quindi immediatamente chiaro come la presente invenzione consegua importanti vantaggi.

20 Non solo infatti, i tempi di avviamento sono significativamente inferiori rispetto a quelli noti, ma in generale anche l'efficienza complessiva risulta superiore a quella dei sistemi noti.

Va infine rilevato che la presente invenzione risulta di relativamente facile realizzazione e che anche il costo connesso alla sua attuazione non risulta
25 molto elevato.

L'invenzione così concepita è suscettibile di numerose modifiche e varianti, tutte rientranti nell'ambito del concetto inventivo che la caratterizza.

Tutti i dettagli sono rimpiazzabili da altri tecnicamente equivalenti ed i materiali impiegati, nonché le forme e le dimensioni dei vari componenti,
30 potranno essere qualsiasi a seconda delle esigenze.

IL MANDATARIO

Ing. Simone Ponchioli
(Albo Prot. n. 1070BM)

RIVENDICAZIONI

1. Estrusore riscaldato per materie plastiche comprendente:

un cilindro di contenimento (2) avente un asse principale (5), internamente cavo e presentante almeno una bocca di ingresso (10) per l'inserimento di materiale da estrudere ed, in corrispondenza di una propria estremità, una bocca di uscita (11) per l'erogazione del materiale estruso;

una vite di estrusione (3) montata internamente al cilindro di contenimento (2) e ad esso coassiale, la vite di estrusione (3) presentando una cavità interna (20) allungata lungo l'asse principale (5) dotata di una bocca di inserimento (21) in corrispondenza di una estremità della vite di estrusione (3) disposta da parte opposta rispetto alla bocca di uscita (11) del cilindro di contenimento (2);

un motore (18) per far ruotare la vite di estrusione (3) attorno all'asse principale (5) rispetto al cilindro di contenimento (2); e

mezzi di riscaldamento;

caratterizzato dal fatto che i mezzi di riscaldamento comprendono:

un induttore interno (22) disposto nella cavità interna (20) della vite di estrusione (3) e comprendente un primo conduttore tubolare (23) avente una prima estremità di raccordo (24) ed una seconda estremità di raccordo (25);

almeno un primo generatore (26) di energia elettrica elettricamente collegato all'induttore interno (22) per alimentarlo ad una prima frequenza fissa o variabile;

un alimentatore (27) di un fluido di raffreddamento collegato alle estremità di raccordo (24), (25) del primo conduttore tubolare (23) per instaurare in esso una circolazione di fluido di raffreddamento.

2. Estrusore secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che il primo conduttore tubolare (23) presenta un primo tratto (28) che si sviluppa lungo l'asse principale (5) in continuo allontanamento dalla prima estremità di raccordo (24) sino ad una prima estremità distale (29), ed un secondo

tratto (30) che si sviluppa lungo l'asse principale (5) in continuo allontanamento da una seconda estremità distale (31) posta in corrispondenza della prima estremità distale (29), sino alla seconda estremità di raccordo (25).

- 5 **3.** Estrusore secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto che il primo tratto (28) ed il secondo tratto (30) hanno entrambi sviluppo parallelo all'asse principale (5).
- 4.** Estrusore secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto che il primo tratto (28) ed il secondo tratto (30) hanno entrambi sviluppo ad elica
10 attorno all'asse principale (5).
- 5.** Estrusore secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto che uno tra il primo tratto (28) ed il secondo tratto (30) ha uno sviluppo parallelo all'asse principale (5), l'altro sviluppo uno sviluppo ad elica attorno all'asse principale (5).
- 15 **6.** Estrusore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 2 a 5 caratterizzato dal fatto che il primo tratto (28) ed il secondo tratto (30) hanno distanza reciproca sostanzialmente costante o variabile lungo l'asse principale (5).
- 7.** Estrusore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 3 a 6
20 caratterizzato dal fatto che la cavità interna (20) è cilindrica, e dal fatto che la distanza tra l'induttore interno (22) e la vite è pari almeno a 1 mm, il rapporto tra la distanza minima tra il primo tratto (28) ed il secondo tratto (30), ed il diametro della cavità interna (20) è superiore a 0.4, ed il rapporto tra la dimensione massima della sezione trasversale dei due tratti (28), (30)
25 ed il diametro della cavità interna (20) è inferiore a 0.4.
- 8.** Estrusore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che l'induttore interno (22) è alimentato ad una frequenza superiore o uguale a 2 kHz, preferibilmente superiore a 10 kHz ed ancora più preferibilmente superiore a 20 KHz.
- 30 **9.** Estrusore secondo la rivendicazione 2, 7 o 8 caratterizzato dal fatto che

l'induttore interno (22) definisce un'unica spira.

10. Estrusore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre almeno uno strato (33) realizzato in materiale termicamente isolante che racchiude il cilindro di
5 contenimento (2), e dal fatto che i mezzi di riscaldamento comprendono inoltre almeno un induttore esterno (34) montato esternamente al cilindro di contenimento (2) ed almeno un secondo generatore di energia elettrica elettricamente collegato all'induttore esterno (34) per alimentarlo ad una seconda frequenza fissa o variabile.

10 11. Estrusore secondo la rivendicazione 10 caratterizzato dal fatto che l'induttore esterno (34) comprende un secondo conduttore tubolare (35) collegato all'alimentatore (27) di un fluido di raffreddamento, per instaurare anche nel secondo conduttore tubolare (35) una circolazione di fluido di raffreddamento.

15 12. Estrusore secondo la rivendicazione 11 caratterizzato dal fatto che il secondo conduttore tubolare (35) è avvolto ad elica attorno al cilindro di contenimento (2).

13. Estrusore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 10 a 12 caratterizzato dal fatto che il primo generatore (26) ed secondo generatore
20 sono costituiti da un unico generatore.

14. Estrusore secondo la rivendicazione 13 caratterizzato dal fatto che l'unico generatore almeno durante alcune fasi di funzionamento, alimenta alternativamente l'induttore interno (22) e l'induttore esterno (34).

IL MANDATARIO

25

Ing. Simone Ponchioli
(Albo Prot. n. 1070BM)

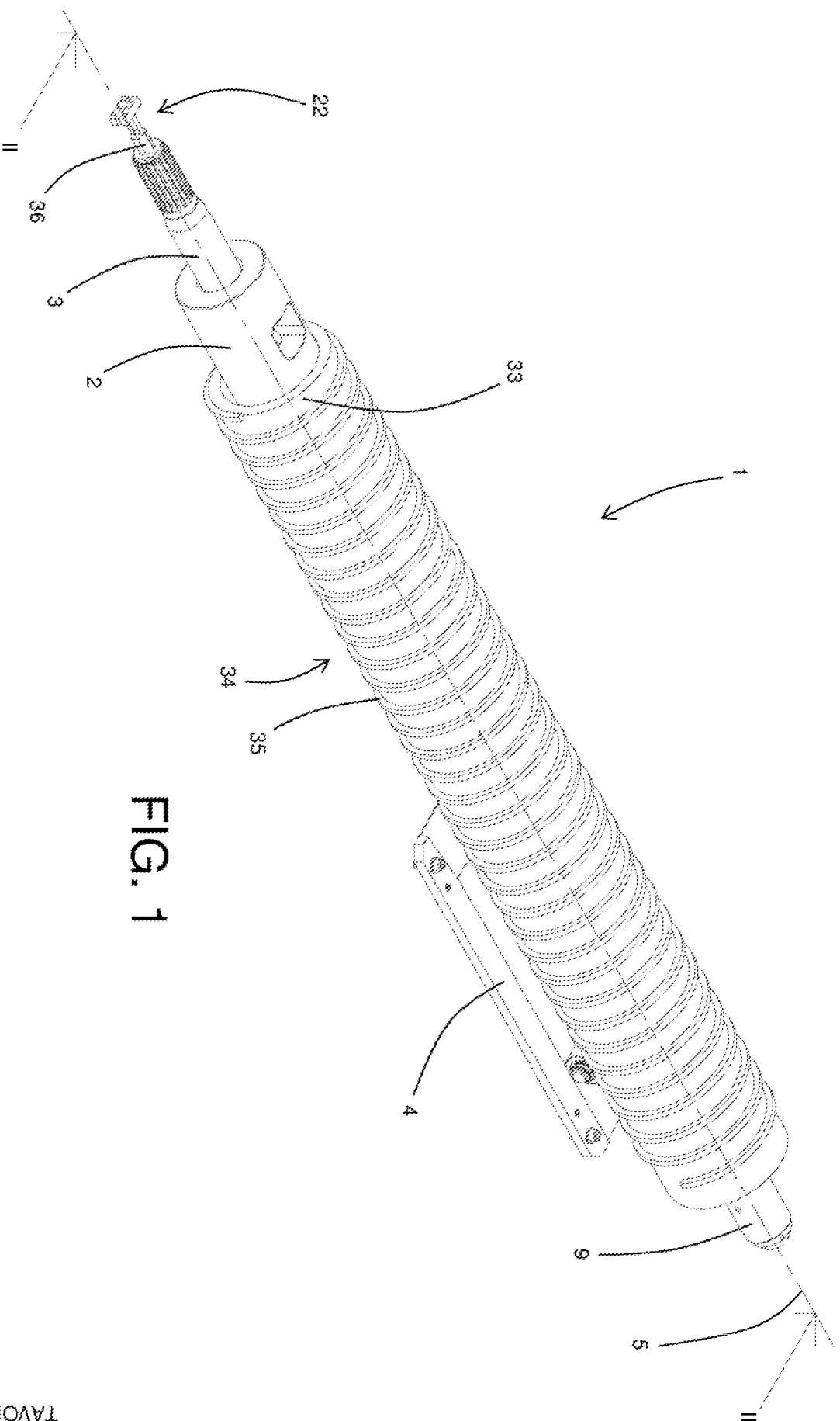


FIG. 1

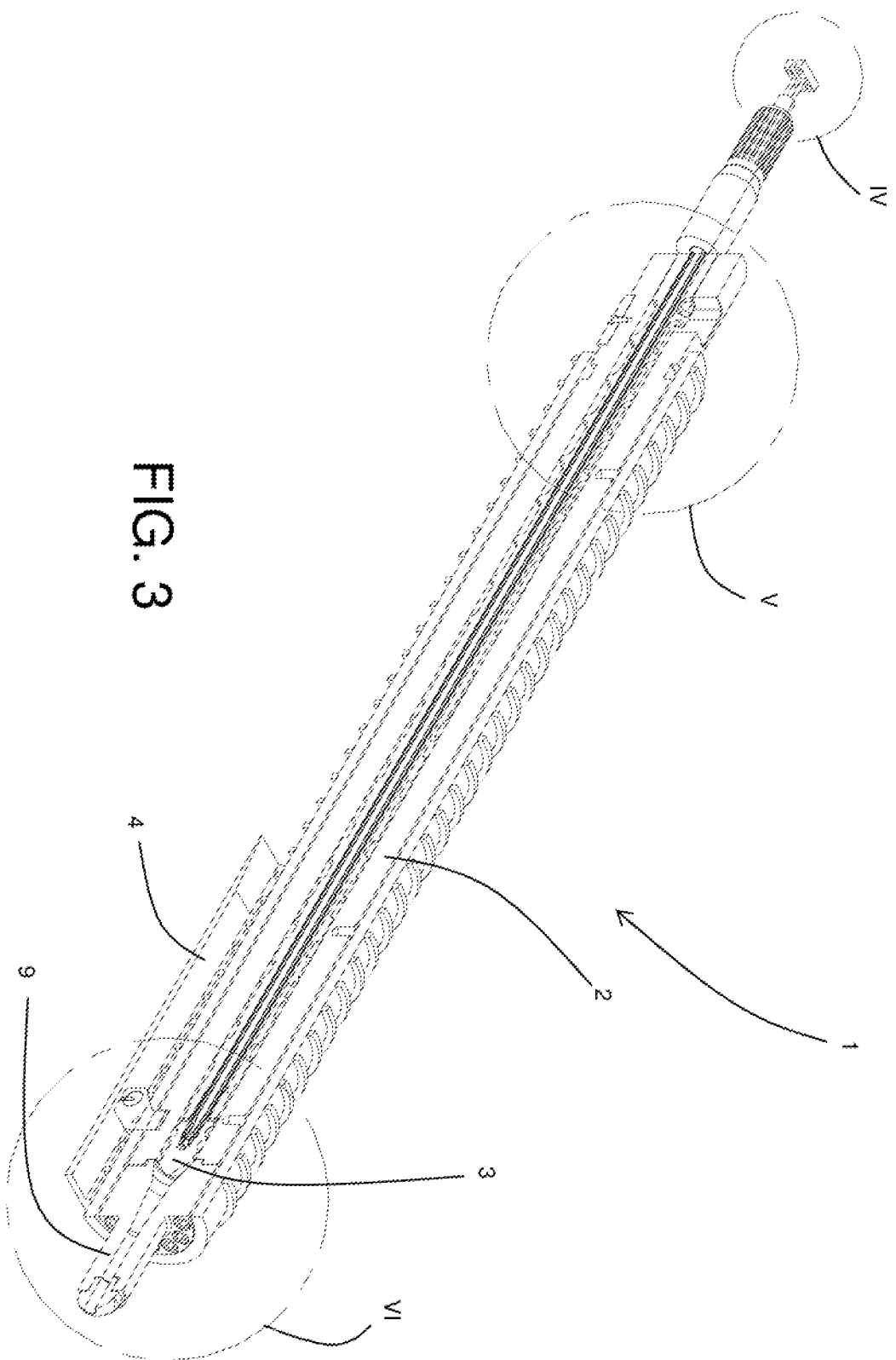


FIG. 3

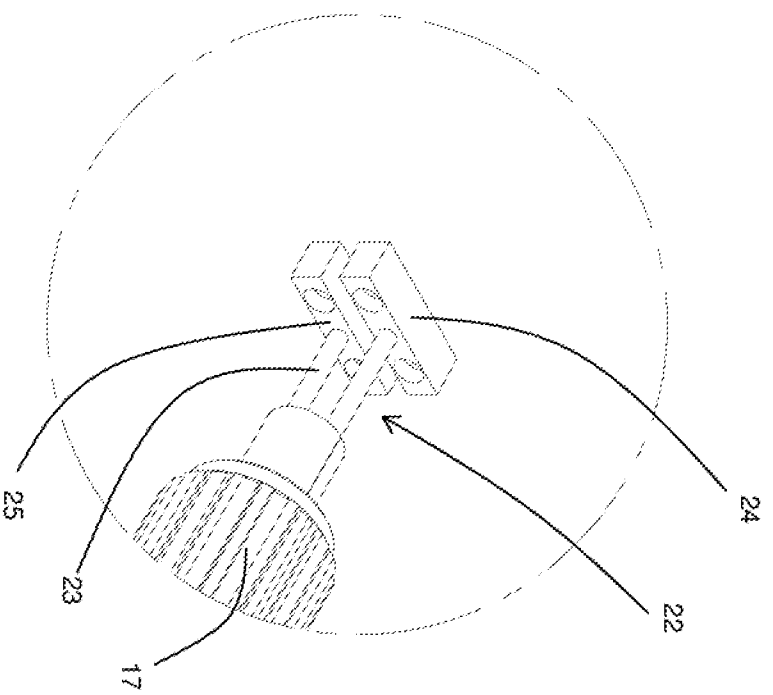


FIG. 4

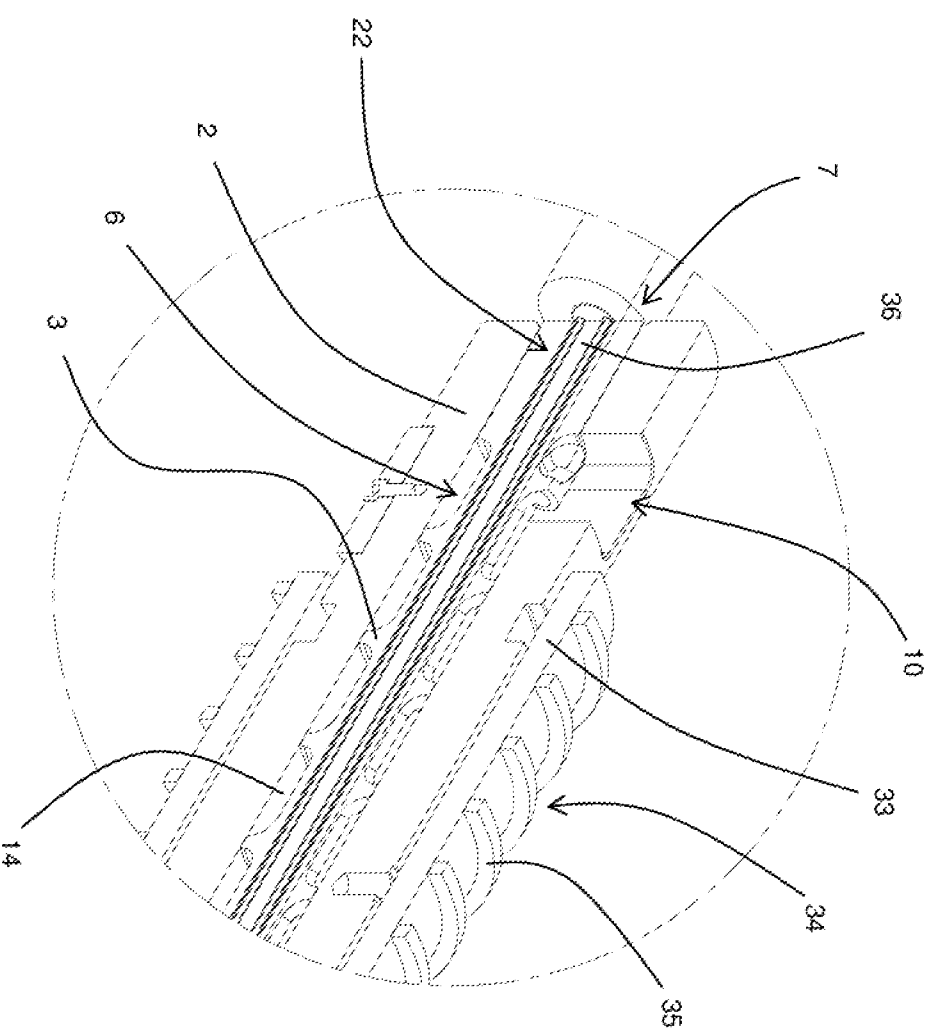


FIG. 5

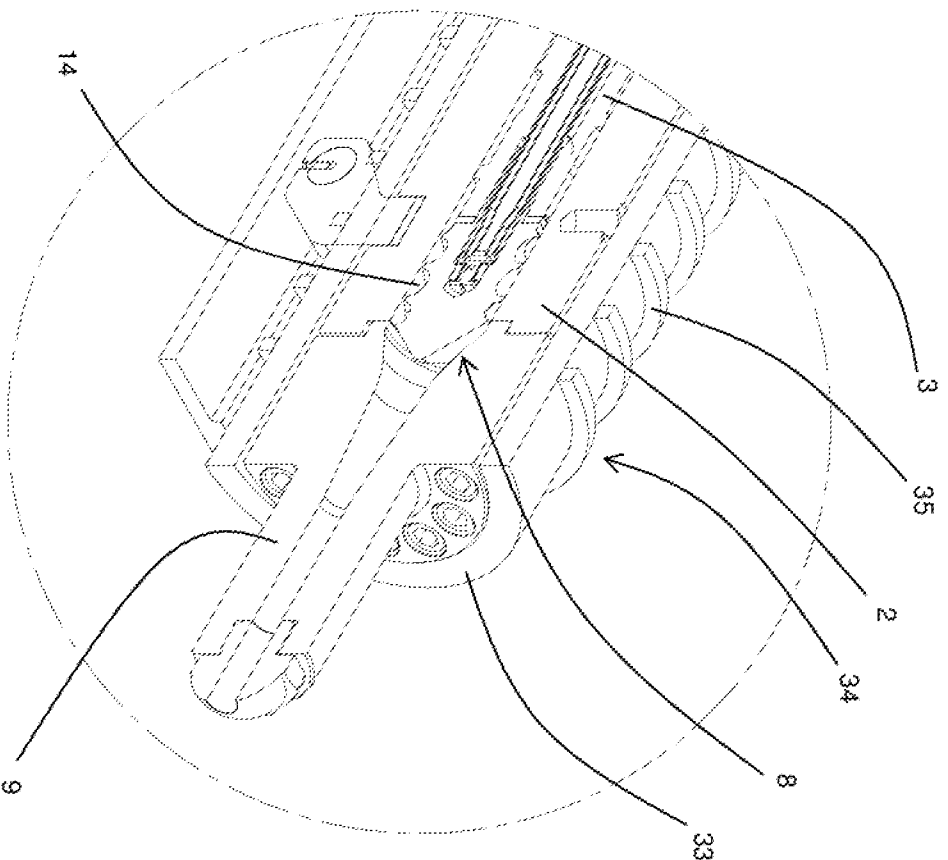


FIG. 6

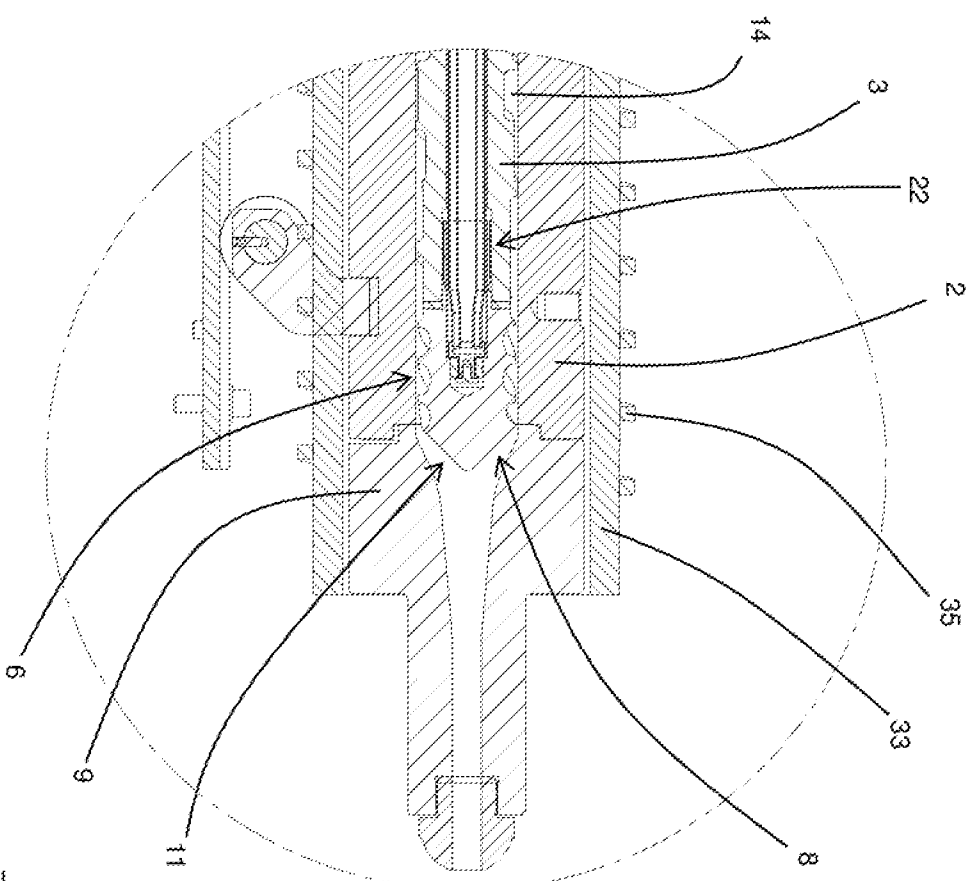


FIG. 7

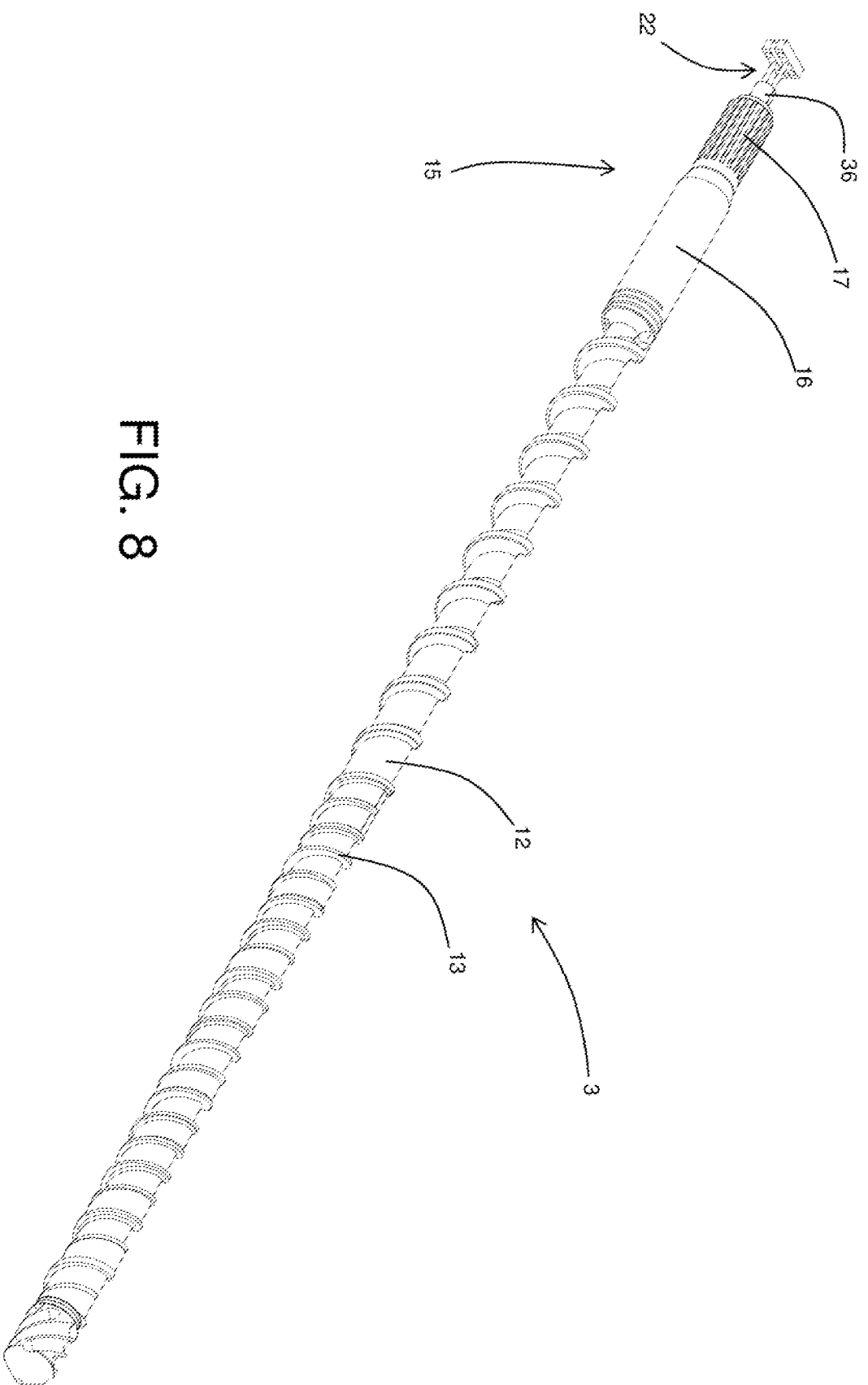


FIG. 8

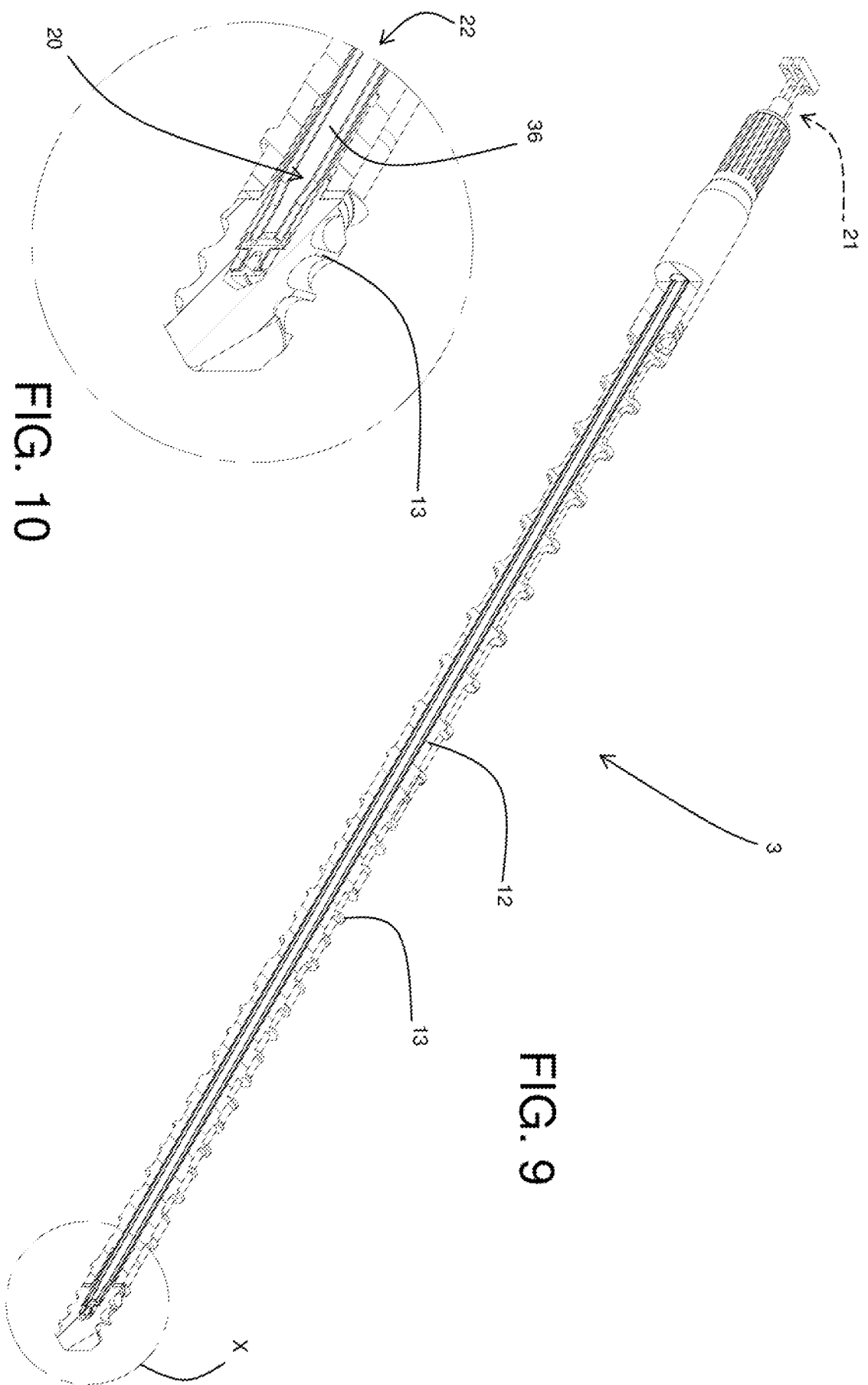


FIG. 9

FIG. 10

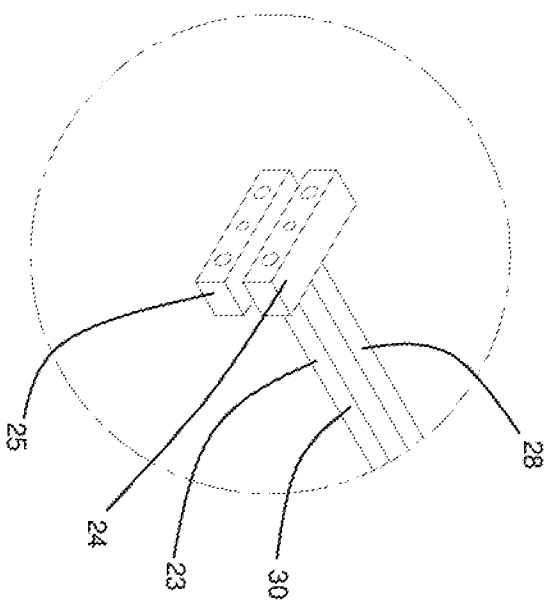


FIG. 12

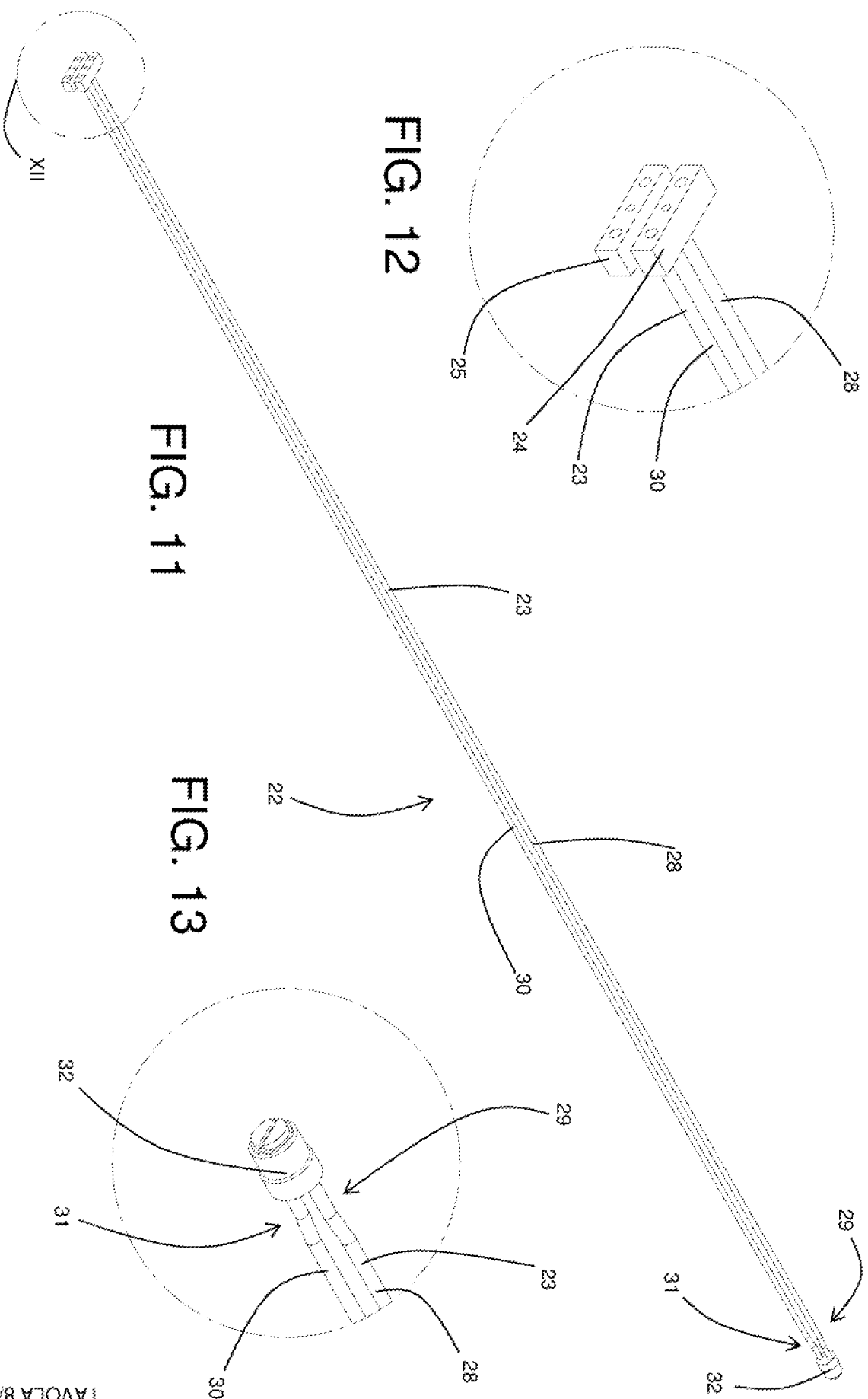


FIG. 11

FIG. 13

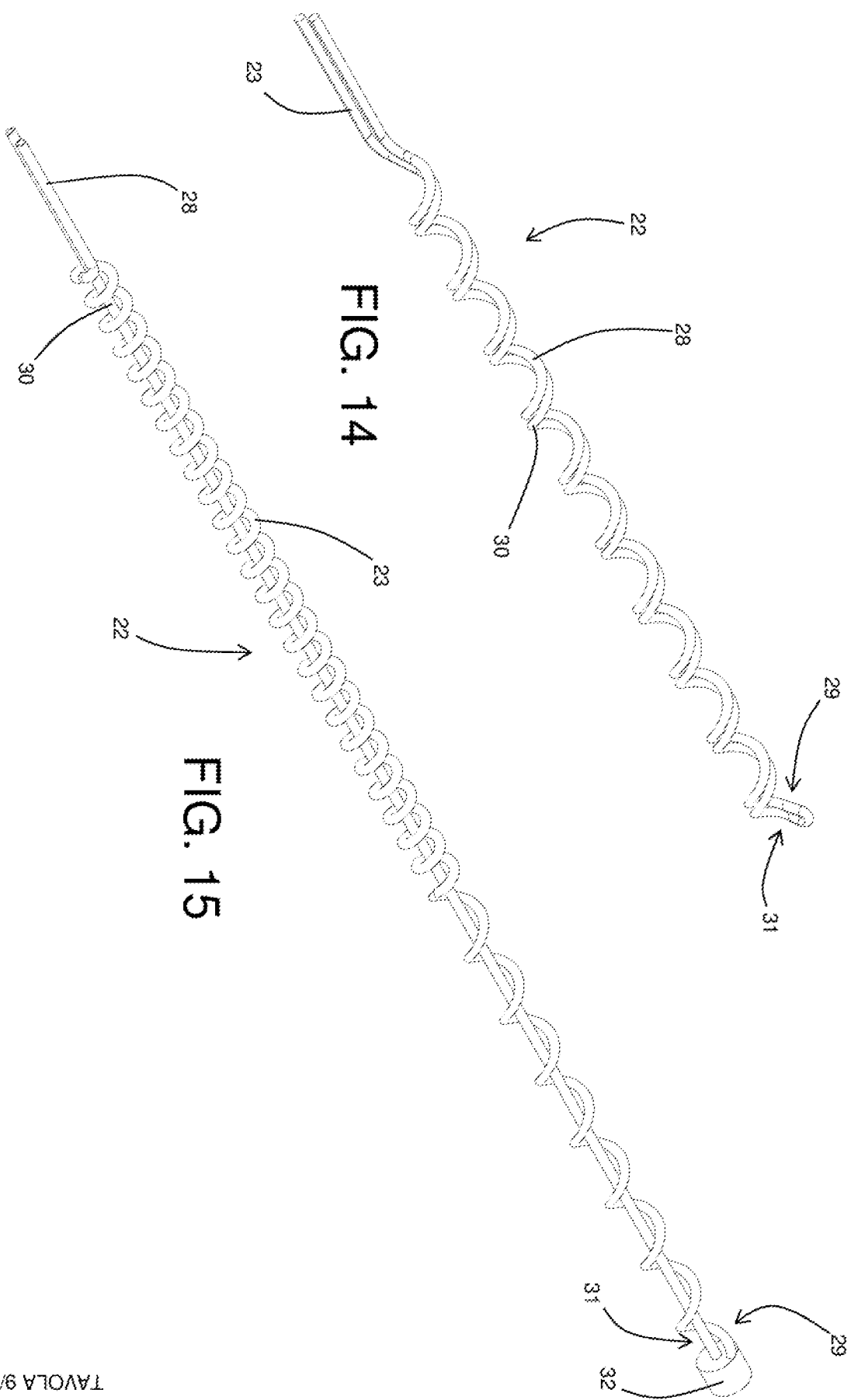


FIG. 14

FIG. 15

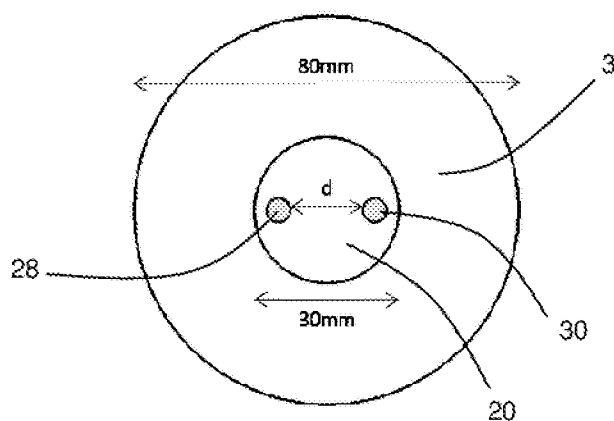


FIG. 16

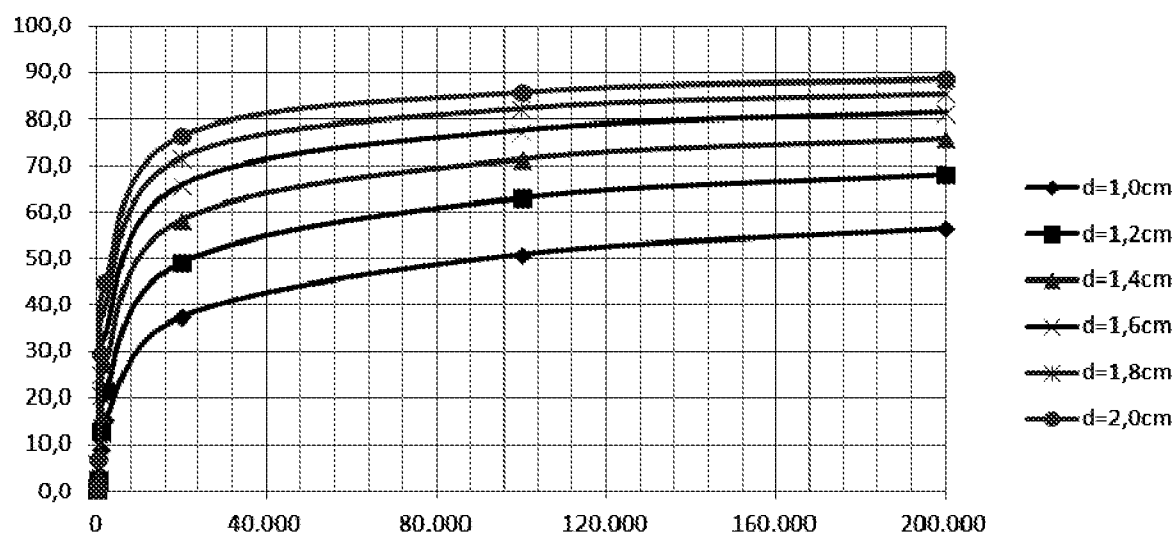


FIG. 17

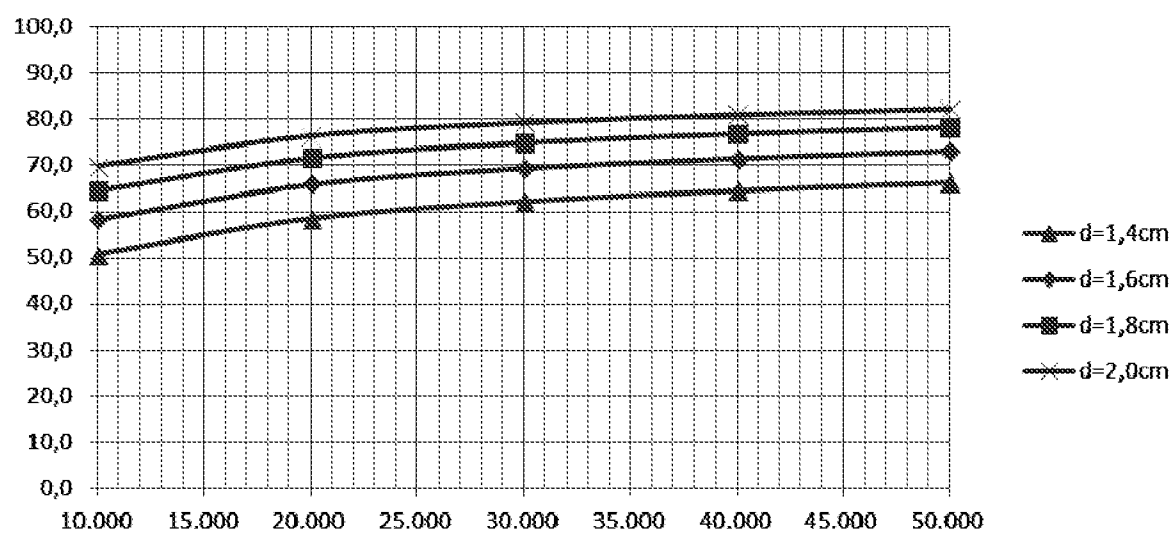


FIG. 18

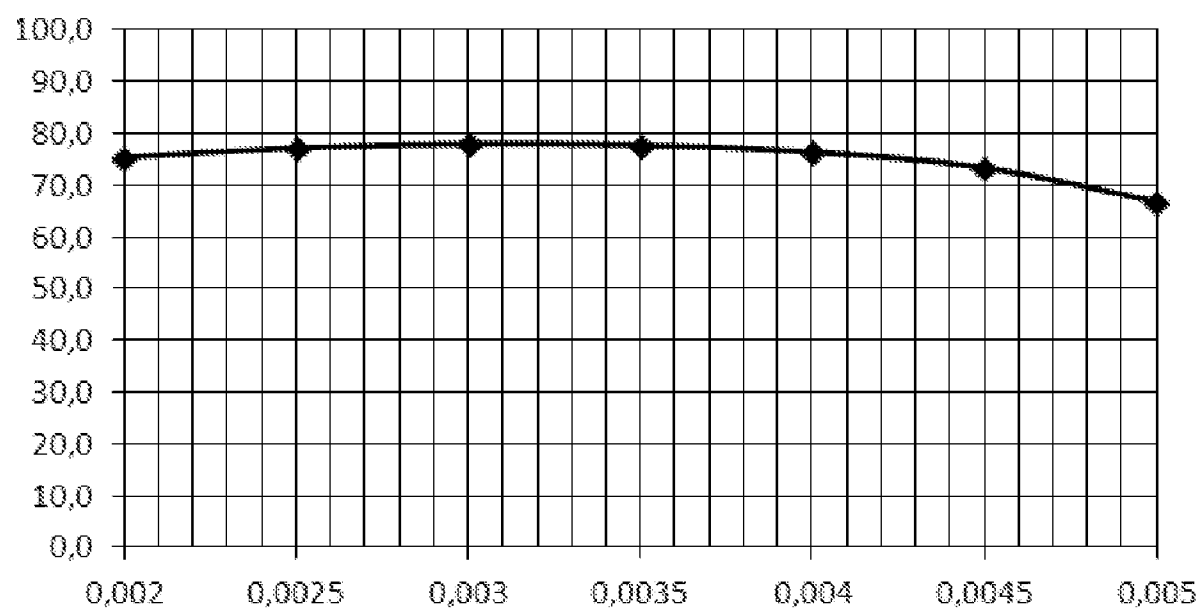


FIG. 19

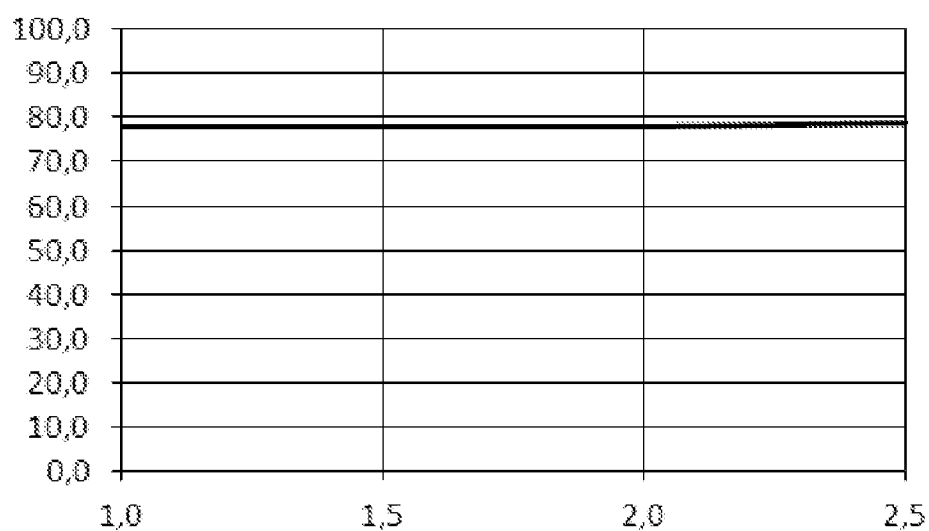


FIG. 20

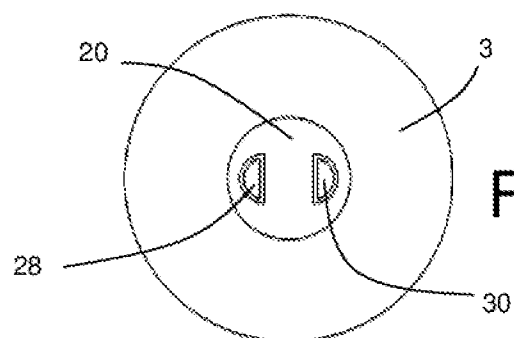


FIG. 21

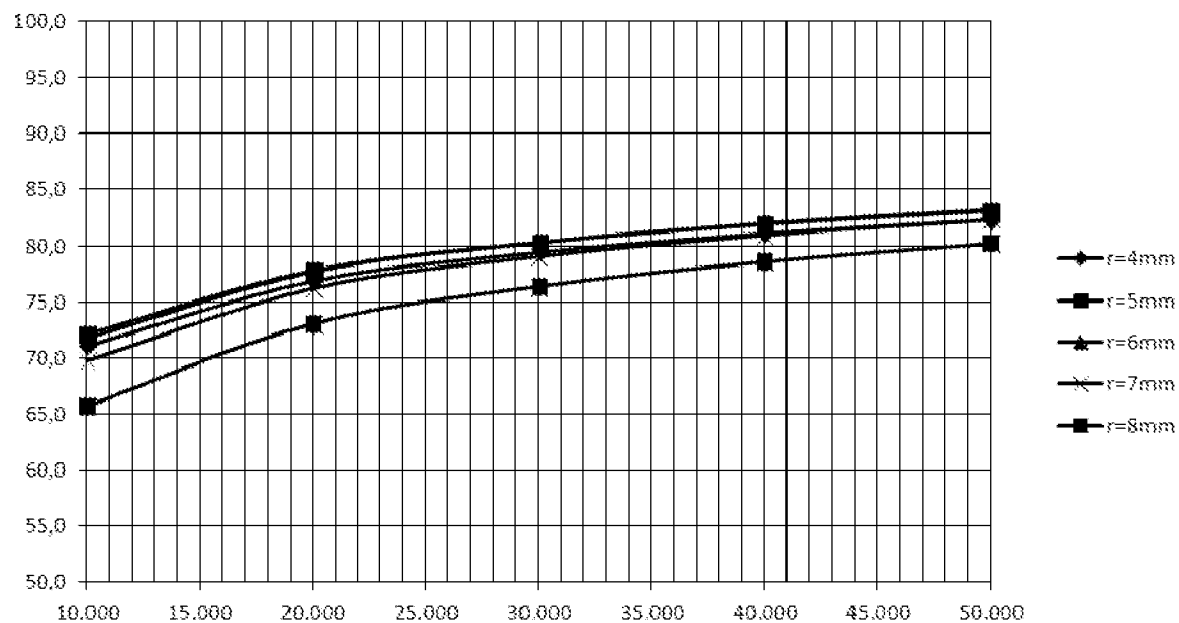


FIG. 22

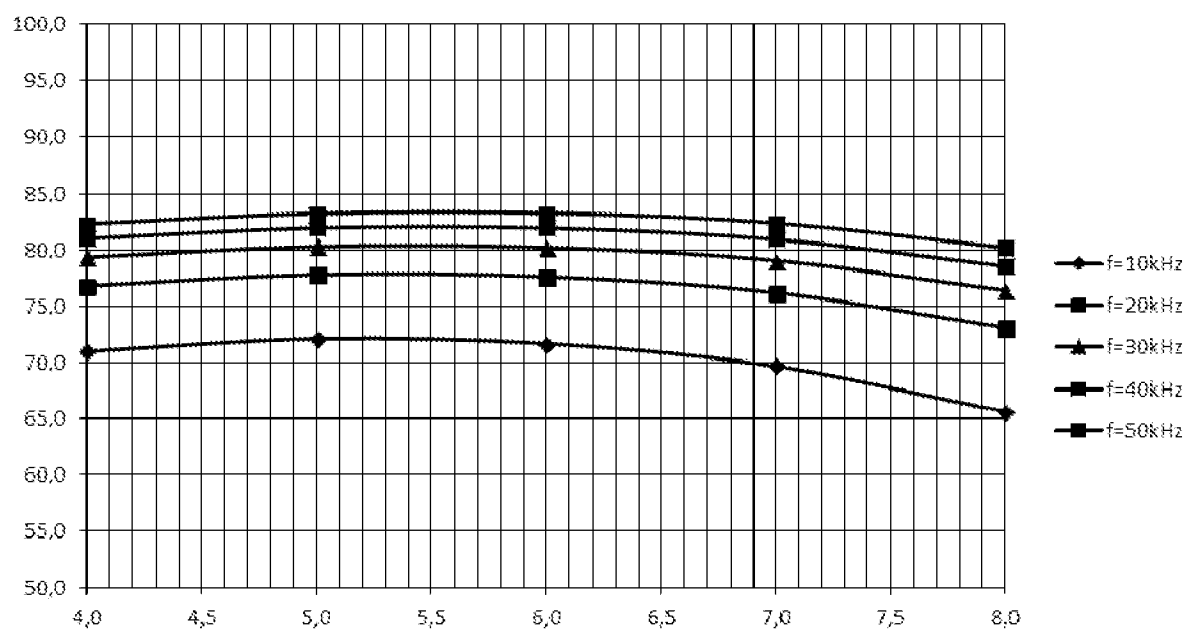


FIG. 23

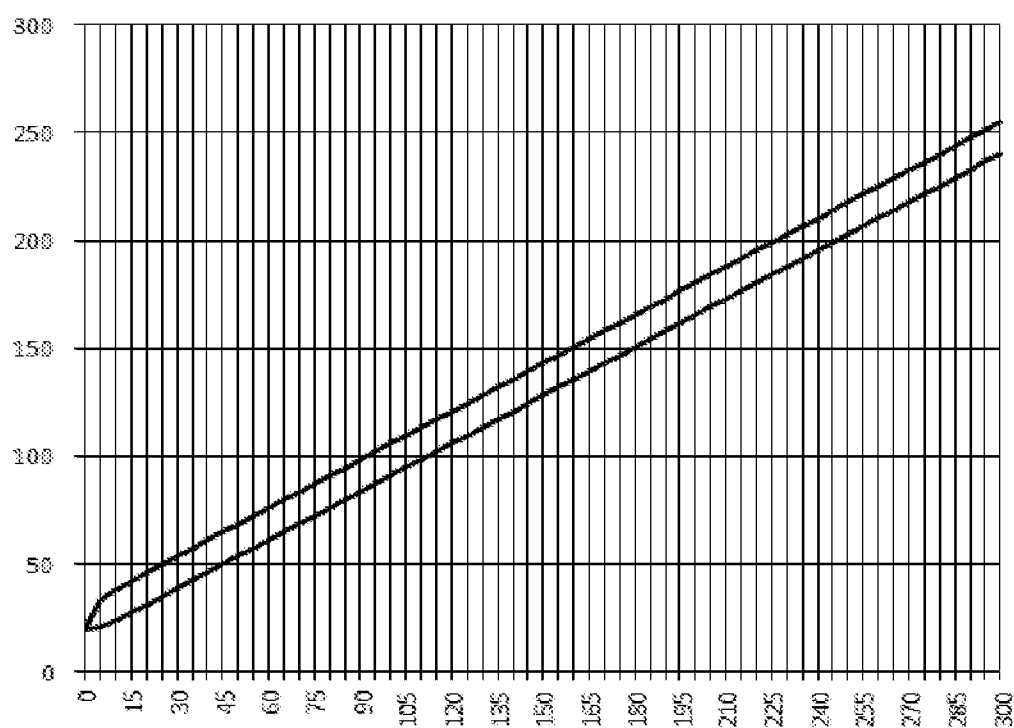


FIG. 24

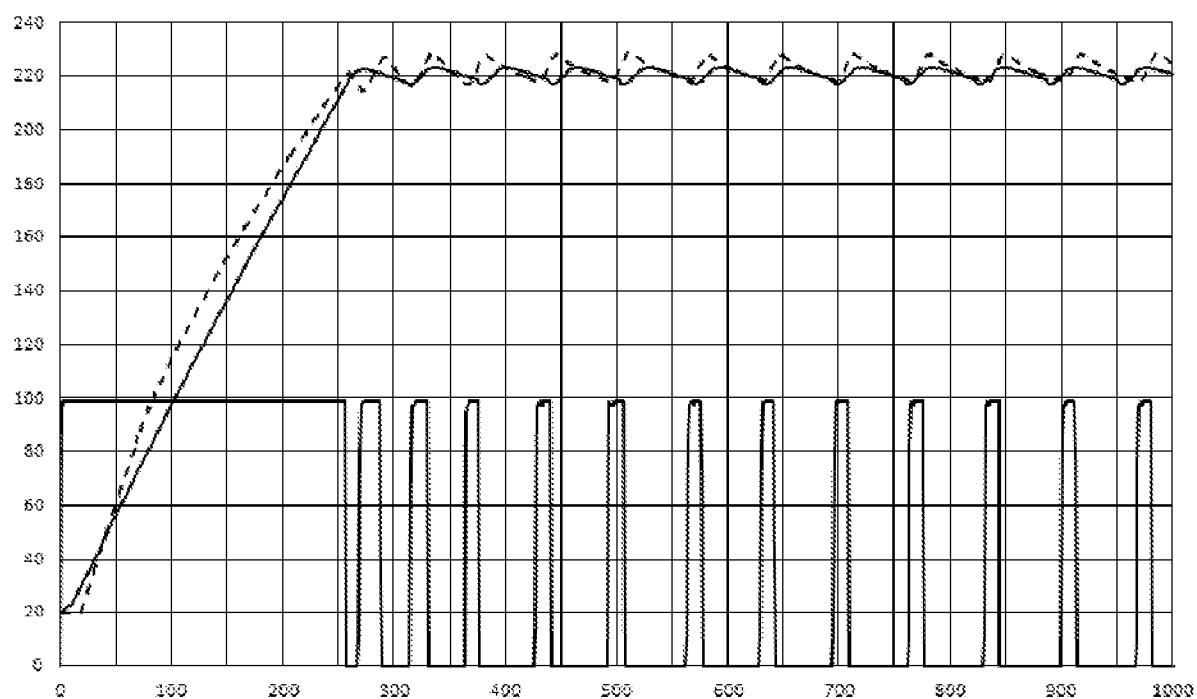


FIG. 25

