

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902082236A1

Publication Date

20140310

Applicant

AVIO S.P.A.

Title

PROCEDIMENTO DI FINITURA PER REALIZZARE CAVE PER PALETTE IN
UN DISCO ROTORE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:
"PROCEDIMENTO DI FINITURA PER REALIZZARE CAVE PER PALETTE
IN UN DISCO ROTORE"

di 1) AVIO S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: STRADA DEL DROSSO 145

TORINO (TO)

2) FIDIA S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: CORSO LOMBARDIA 11

SAN MAURO TORINESE (TO)

Inventori: CHERUBINI Marco, FURXHI Guido

La presente invenzione è relativa ad un procedimento di finitura per realizzare cave per palette in un disco rotore.

Com'è noto, i dischi rotanti presenti nelle turbine a gas, ad esempio per propulsione aeronautica, per propulsione navale o per la produzione di energia elettrica hanno una pluralità di cave realizzate lungo la propria periferia per potervi montare rispettive palette. In particolare, le palette comprendono rispettive radici che hanno un profilo complementare a quello delle cave per poter essere inserite ed essere mantenute vincolate

nelle cave stesse.

Le cave sono orientate in direzione parallela o inclinata rispetto all'asse di rotazione del disco rotore e hanno, in genere, un profilo a lobi multipli (sostanzialmente "ad albero" o "a pino", tanto che in inglese vengono anche denominate "fir tree slots"). Più specificatamente, ciascuna cava è definita da una superficie di fondo, detta 'bassofondo', e da due superfici laterali, dette 'fianchi', le quali sono sagomate in modo da formare i suddetti lobi e sono raccordate tramite il bassofondo.

Per realizzare tali cave, è noto di eseguire un procedimento di brocciatura, ossia un procedimento ad asportazione di truciolo effettuata impiegando una serie di utensili da taglio con geometrie definite, tali da sgrossare e finire le superfici delle cave.

La lavorazione mediante brocciatura ha una serie di inconvenienti:

- al termine della brocciatura i bordi delle cave possono avere una bavatura, che deve essere rimossa tramite operazioni successive (ad esempio tramite raccordatura con piccole frese rotative oppure mediante spazzolatura);
- i fianchi delle cave sono rettilinei, senza alcuna possibilità di generare smussi o raccordi;

- la brocciatura ha un elevato rischio di lasciare tensioni residue "a trazione" nel materiale del disco rotore;
- la brocciatura ha un elevato rischio di generare il cosiddetto 'white layer' sulle superfici lavorate, con conseguenti alterazioni del grano cristallino e dell'integrità micro-strutturale delle superfici stesse;
- gli utensili per la brocciatura hanno un elevato costo e tempi elevati per l'approvvigionamento;
- le macchine per la brocciatura hanno tempi elevati per il settaggio e costi elevatissimi per l'eventuale approvvigionamento di un nuovo esemplare.

Per ovviare ad alcuni di questi inconvenienti, come alternativa alla brocciatura, è noto di utilizzare mole super-abrasive. In particolare, la domanda di brevetto US2011/0008172A1 corrisponde al preambolo della rivendicazione 1 ed insegna a sgrossare le cave con una prima mola e ad eseguire la fase di finitura tramite una seconda mola per lavorare i fianchi ed una terza mola per lavorare il bassofondo. In particolare, la seconda mola esegue due passate, per lavorare prima un fianco e poi l'altro.

È sentita l'esigenza di perfezionare il procedimento appena descritto, in particolare per aumentare la durata

delle mole, ridurre i tempi della finitura, e rendere più flessibile la lavorazione.

Scopo della presente invenzione è di fornire un procedimento di finitura per realizzare cave per palette in un disco rotore, il quale consenta di assolvere in maniera semplice ed economica all'esigenza sopra esposta.

L'invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano un esempio di attuazione non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una prospettiva, con parti asportate per chiarezza, di un disco rotore realizzato secondo una preferita forma di attuazione del procedimento di finitura della presente invenzione;
- le figure 2 e 3 sono viste frontali di una cava del disco rotore della figura 1 e mostrano diverse fasi del procedimento di finitura della presente invenzione; e
- la figura 4 mostra, in prospettiva, la fase di figura 3.

Con riferimento alla figura 1, con 1 è indicato, nel suo complesso, un disco rotore (parzialmente illustrato), per un compressore o per una turbina, ad esempio per propulsione aeronautica, navale o per la produzione di energia elettrica.

Il disco rotore 1 ha un asse di rotazione 2 ed è

delimitato radialmente da una superficie laterale 4, su cui è realizzata una pluralità di cave 5. Le cave 5 sono angolarmente distanziate attorno all'asse di rotazione 2 e hanno sostanzialmente un profilo a lobi multipli o "ad albero". Come visibile in figura 3, ciascuna cava 5 è definita da una superficie di fondo 9, detta "bassofondo", e da due superfici laterali 10, dette "fianchi", affacciate tra loro e raccordate al bassofondo 9.

In altre parole, i fianchi 10 di ciascuna cava 5 sono simmetrici rispetto ad un piano di simmetria 11, sono convergenti verso il bassofondo 9 e sono sagomati in modo da presentare una pluralità di lobi o sporgenze.

Preferibilmente, il piano di simmetria 11 di ciascuna cava 5 è radiale rispetto all'asse di rotazione 2. In alternativa, il piano di simmetria 11 di ciascuna cava 5 è inclinato rispetto all'asse di rotazione 2.

In uso, le cave 5 sono impegnate da rispettive radici di palette, aventi una forma esterna complementare al profilo dei fianchi 10. In particolare, le palette vengono montate inserendo le rispettive radici nelle cave 5 lungo i rispettivi piani di simmetria 11 e sono quindi trattenute radialmente nelle cave 5 per effetto della particolare forma lobata dei fianchi 10.

Ciascuna delle cave 5 viene realizzata tramite una o

più operazioni di sgrossatura (non descritte in dettaglio), eseguite ad esempio tramite broccia, mole o frese, e tramite un successivo procedimento di finitura. Come visibile in figura 2, la sgrossatura permette di ottenere cave 5a definite da due fianchi 10a ed un bassofondo 9a, i quali hanno un sovrametallo da asportare tramite il procedimento di finitura. Quest'ultimo viene eseguito utilizzando unicamente due mole, in particolare mole super-abrasive, indicate dai numeri di riferimento 12 (fig. 2) e 13 (fig. 3). Ad esempio, il materiale abrasivo delle mole 12,13 è definito da nitruro di boro cubico (CBN), depositato su un supporto opportunamente sagomato. A titolo di esempio, la velocità periferica o velocità di taglio delle mole 12,13 è compresa tra 20 ed 80 m/s; considerando le dimensioni effettive delle mole 12,13, tale velocità periferica si traduce nell'impiego di elettro-mandrini capaci di lavorare a velocità comprese tra 40.000 e 100.000 rpm. Durante le passate delle mole 12,13, è opportuno impiegare olio intero come lubro-refrigerante, per evitare un eccessivo sviluppo di calore e per mantenere l'abrasivo pulito dai residui della molatura.

Sempre con riferimento alla figura 2, la mola 12 deve lavorare il bassofondo 9a, per cui ha una superficie laterale 14 con un profilo complementare a quello del

bassofondo 9 da ottenere. Vantaggiosamente, la mola 12 è una mola a disco avente un asse di rotazione 15 perpendicolare al piano di simmetria 11. Preferibilmente, la mola 12 viene utilizzata prima della mola 13, per cui deve avere una altezza, parallelamente all'asse di rotazione 15, minore della distanza minima tra i fianchi 10a.

Secondo quanto visibile nelle figure 3 e 4, la mola 13 deve lavorare i fianchi 10a ed è definita da una mola a dito avente un asse di rotazione 16, il quale, preferibilmente, è parallelo ad un asse radiale 17 giacente sul piano di simmetria 11.

La mola 13 ha una superficie laterale 18 definita da una direttrice circolare e da una generatrice avente profilo complementare a quello dei fianchi 10 da ottenere.

La mola 13 termina con una punta arrotondata 19, la quale preferibilmente ha un recesso assiale (non illustrato) per non andare a contatto con il bassofondo 9 ottenuto precedentemente tramite la mola 12 e, quindi, evitare velocità periferiche di molatura troppo basse, che provocherebbero bruciature ed eccessiva usura del materiale abrasivo della mola 13.

Secondo una preferita forma di attuazione, applicabile in particolare se il sovrametallo su ciascun

fianco 10a è minore di 0,5 mm, tale sovrametallo viene asportato da entrambi i fianchi 10a con una unica passata della mola 13, la quale viene spostata lungo un percorso P trocoidale o cicloidale (fig. 4) comprendente la combinazione di:

- una componente di traslazione lungo una direzione di avanzamento A (fig. 4) giacente sul piano di simmetria 11, e
- una componente di rivoluzione lungo una traiettoria ad anello B (fig. 3) giacente su un piano ortogonale al piano di simmetria 11.

La superficie laterale 18 ha diametro minore della distanza nominale richiesta tra i fianchi 10 della cava 5, e anche rispetto alla distanza tra i fianchi 10a, in modo da poter eseguire la lavorazione di molatura andando in presa con uno solo dei due fianchi 10a alla volta.

L'ampiezza della traiettoria ad anello B è stabilita in modo da andare in presa alternativamente con entrambi i fianchi 10a. In altre parole, il materiale abrasivo della mola 13 entra in contatto con ciascuno dei due fianchi 10a in modo discontinuo, alternando il contatto con l'uno e poi con l'altro fianco 10a. Grazie a questa discontinuità del contatto di molatura, le temperature di lavorazione sono più basse e quindi la durata degli utensili sono più elevate rispetto alle soluzioni note.

La traiettoria ad anello B può essere definita da un cerchio oppure, preferibilmente, da un ellisse. In questo secondo caso, l'ellisse è definito da un primo asse giacente sulla direzione di avanzamento A ed un secondo asse ortogonale al piano di simmetria 11. La lunghezza di questo secondo asse viene impostata in modo fine (con correzioni anche di carattere micrometrico) per ottenere la distanza nominale richiesta tra i fianchi 10.

Secondo un aspetto preferito della presente invenzione, è possibile regolare la lunghezza del secondo asse anche durante la passata, in modo da realizzare cave di larghezza variabile. Ad esempio, in questo modo è possibile realizzare fianchi 10 aventi raccordi di invito alle estremità frontale e posteriore; e/o è possibile compensare eventuali variazioni di rigidità del materiale del disco rotore 1 tra una zona e l'altra andando lungo la direzione di avanzamento A, così da ottenere un perfetto parallelismo tra i fianchi 10.

Nel caso di traiettoria ad anello B di tipo ellittico, anche se viene variata la lunghezza del secondo asse tramite il software di controllo della lavorazione, è possibile lasciare comunque inalterata la lunghezza del primo asse e la velocità della componente di traslazione lungo la direzione di avanzamento A. Rendendo indipendenti le regolazioni della lunghezza del

primo e del secondo asse è possibile eseguire lavorazioni con velocità complessiva costante lungo la direzione di avanzamento A, ma variare l'ampiezza della cava 5 durante la passata.

Secondo una variante, è possibile eseguire due o più passate successive, sempre con la medesima mola 13 e sempre seguendo traiettorie trocoidali, ma incrementando l'ampiezza della traiettoria ad anello B in direzione ortogonale al piano di simmetria 11, ovvero variando l'eccentricità dell'ellisse, tra una passata e quella successiva. In questo modo, il sovrametallo dei fianchi 10a viene asportato un po' alla volta, fino ad ottenere la distanza nominale richiesta tra i fianchi 10.

Da quanto sopra esposto sono evidenti i vantaggi del procedimento rivendicato e descritto con riferimento ai disegni allegati.

In particolare, rispetto alle soluzioni note, il percorso P trocoidale permette, in genere, di ridurre i tempi di finitura, in quanto viene asportato sovrametallo da entrambi i fianchi 10a durante la medesima passata, e consente di mantenere lo stesso posizionamento della mola 12 sulla macchina utensile per tutte le passate di finitura dei fianchi 10. Inoltre, il percorso P trocoidale permette di ridurre le temperature nella zona di lavorazione, in quanto il contatto tra utensile e

pezzo è di tipo discontinuo. La riduzione di temperatura, da un lato, comporta un incremento della durata delle mole; dall'altro lato, comporta minori rischi di danneggiamento del materiale del disco rotore 1 in corrispondenza delle zone di lavorazione ed una migliore qualità di finitura.

Sempre grazie al percorso P trocoidale, è possibile impiegare una medesima mola 13 di un determinato diametro per lavorare cave di larghezza diversa, purché aventi fianchi 10 con lo stesso profilo, per cui il procedimento risulta relativamente flessibile.

Come esposto sopra, inoltre, è possibile applicare correzioni alla larghezza delle cave 5 tra una passata e quella successiva e/o direttamente durante la medesima passata, eventualmente anche tramite un controllo in tempo reale in retroazione. In particolare, variando l'ampiezza del percorso trocoidale durante la lavorazione, è possibile realizzare smussi o inviti nelle zone di entrata/uscita della cava 5.

La finitura del bassofondo 9 libera dal sovrametallo il bassofondo 9 stesso, qualunque sia l'entità di tale sovrametallo, per cui l'estremità assiale della punta arrotondata 19 non trova sostanzialmente ostacoli all'avanzamento lungo la direzione A durante l'operazione successiva di molatura dei fianchi 10a.

L'utilizzo di una mola a disco per la finitura del bassofondo 9 consente anch'esso di incrementare la durata dell'utensile, in quanto permette, rispetto alle soluzioni note, di aumentare la velocità di taglio e quindi evitare bruciature del materiale abrasivo.

Da quanto precede appare evidente come al procedimento descritto possano essere apportate modifiche o varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo come definito dalle rivendicazioni allegate.

In particolare, la forma delle mole 12,13 potrebbe essere diversa da quanto illustrato nelle figure allegate a titolo di esempio.

RIVENDICAZIONI

1.- Procedimento di finitura per realizzare cave per palette in un disco rotore, ciascuna cava essendo definita da una superficie di fondo e da due superfici laterali, le quali sono raccordate a detta superficie di fondo e sono simmetriche rispetto ad un piano di simmetria; il procedimento comprendendo, per ciascuna detta cava:

- una finitura laterale, in cui detti fianchi vengono molati tramite una mola a dito, e
- una finitura di fondo, in cui detta superficie di fondo viene molata tramite una ulteriore mola;

caratterizzato dal fatto che la finitura laterale di ciascuna detta cava comprende almeno una passata di detta mola a dito lungo un percorso trocoidale, il quale comprende la combinazione di:

- una componente di traslazione lungo una direzione di avanzamento (A) giacente su detto piano di simmetria (11), e
- una componente di rivoluzione lungo una traiettoria ad anello (B) giacente su un piano ortogonale a detto piano di simmetria (11);

e dal fatto che l'ampiezza di detta traiettoria ad anello (B) è impostata in modo da portare detta mola a dito (13) in presa con i detti fianchi (10a) alternativamente e asportare sovrmetallico da entrambi detti fianchi durante la

medesima detta passata.

2.- Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la detta mola a dito (13) ha un asse di rotazione parallelo a detto piano di simmetria (11).

3.- Procedimento secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto che detta traiettoria ad anello (B) è definita da un'ellisse avente un primo asse giacente su detta direzione di avanzamento (A) e un secondo asse ortogonale al detto piano di simmetria (11).

4.- Procedimento secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto di variare la lunghezza del detto secondo asse durante detta passata.

5.- Procedimento secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che la lunghezza di detto primo asse e la velocità della detta componente di traslazione sono costanti durante detta passata.

6.- Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che la finitura laterale di ciascuna detta cava comprende una prima ed almeno una seconda passata successive di detta mola a dito (13) lungo percorsi trocoidali; e dal fatto che l'ampiezza di detta traiettoria ad anello (B) viene incrementata tra dette prima e seconda passata.

7.- Procedimento secondo una qualsiasi delle

rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta ulteriore mola è definita da una mola a disco (12) girevole attorno ad un asse di rotazione perpendicolare a detto piano di simmetria (11).

8.- Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che la detta finitura laterale viene eseguita dopo la detta finitura di fondo.

p.i.: 1) AVIO S.P.A.

2) FIDIA S.P.A.

Paolo LOVINO

TITLE: FINISHING PROCESS FOR MAKING BLADE SLOTS IN A ROTOR DISK

CLAIMS

1. Finishing process for making blade slots in a rotor disk, each slot being defined by a bottom surface and by two sides, which are joined to said bottom surface and are symmetrical with respect to a symmetry plane; the process comprising, for each said slot:

- a lateral finishing step, wherein said sides are ground using a finger grinder, and
- a bottom finishing step, wherein said bottom surface is ground using a further grinder;

characterized in that the lateral finishing step of each said slot comprises at least one pass of said finger grinder along a trochoidal path, which comprises the combination of:

- a translation component along a feed direction (A) lying on said symmetry plane (11), and
- a revolution component along a loop trajectory (B) lying on a plane orthogonal to said symmetry plane (11);

and in that the amplitude of said loop trajectory (B) is set in such a manner as to carry said finger grinder (13) into contact with said sides (10a) alternately and remove stock from both said sides during the same said pass.

2. The process according to claim 1, characterized in that said finger grinder (13) has a rotation axis parallel to said symmetry plane (11).

3. The process according to claim 1 or 2, characterized in that said loop trajectory (B) is defined by an ellipse having a first axis lying on said feed direction (A) and a second axis orthogonal to said symmetry plane (11).

4. The process according to claim 3, characterized by varying the length of said second axis during said pass.

5. The process according to claim 4, characterized in that the length of said first axis and the speed of said translation component are constant during said pass.

6. The process according to any one of the preceding claims, characterized in that the lateral finishing step of each said slot comprises a first and at least one successive second pass of said finger grinder (13) along trochoidal paths; and in that the amplitude of said loop trajectory (B) is increased between said first and second pass.

7. The process according to any one of the preceding claims, characterized in that said further grinder is defined by a disk grinder (12) rotating about a rotation axis perpendicular to said symmetry plane (11).

8. The process according to any one of the preceding claims, characterized in that said lateral finishing step is carried out after said bottom finishing step.

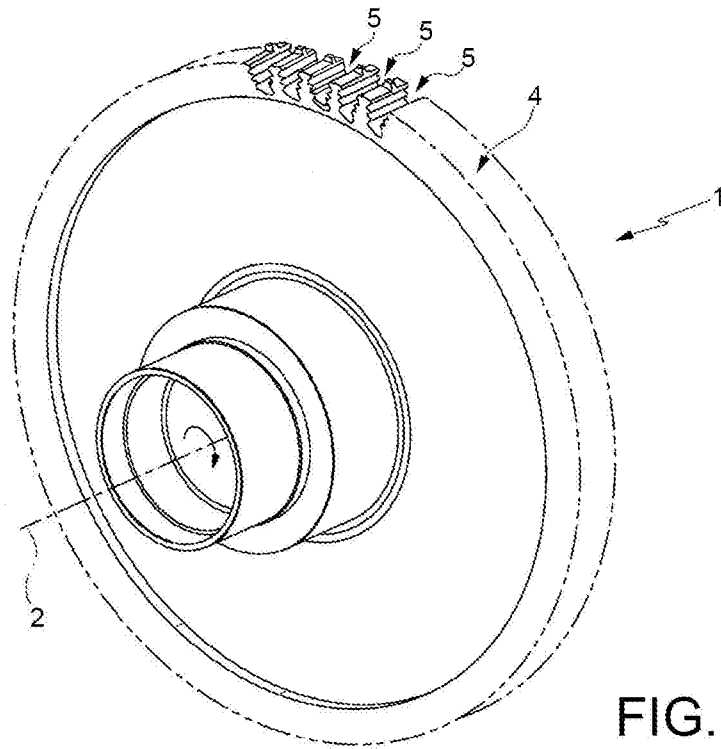


FIG. 1

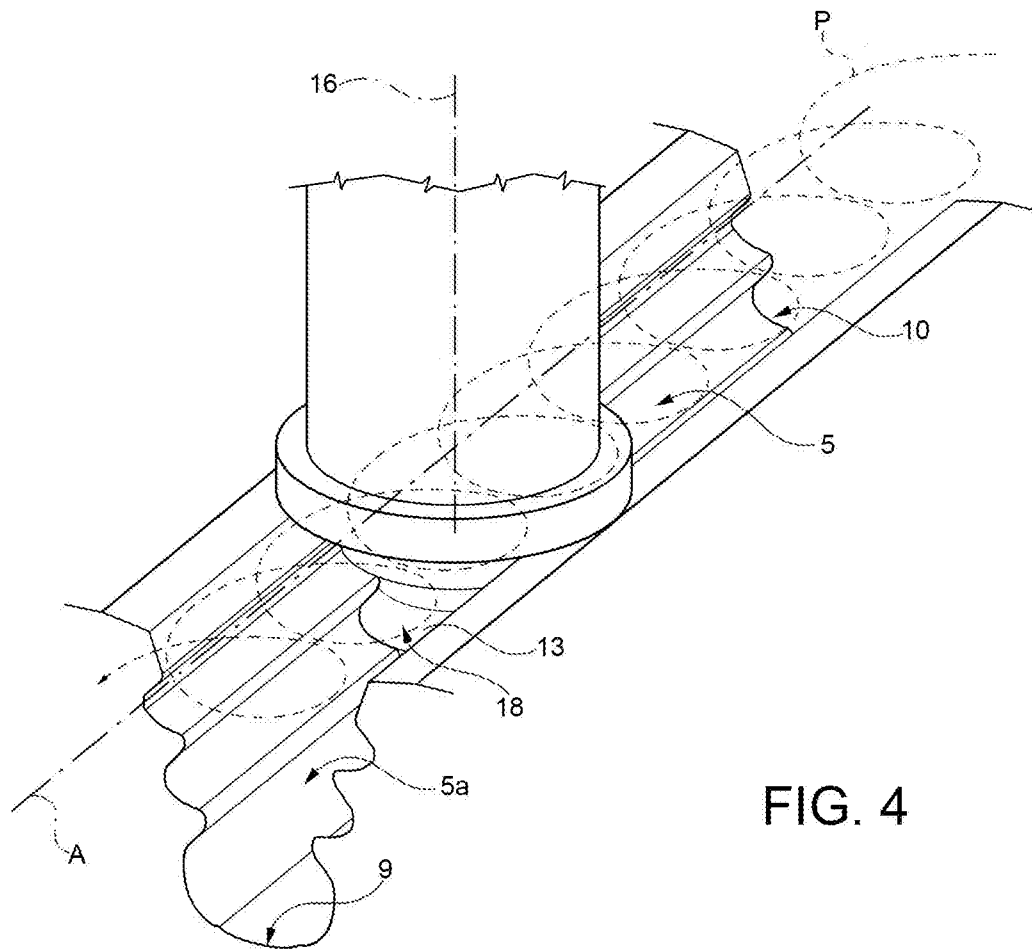


FIG. 4

p.i.: 1) AVIO S.P.A.
2) FIDIA S.P.A.

Paolo LOVINO
(Iscrizione Albo nr. 999/B)

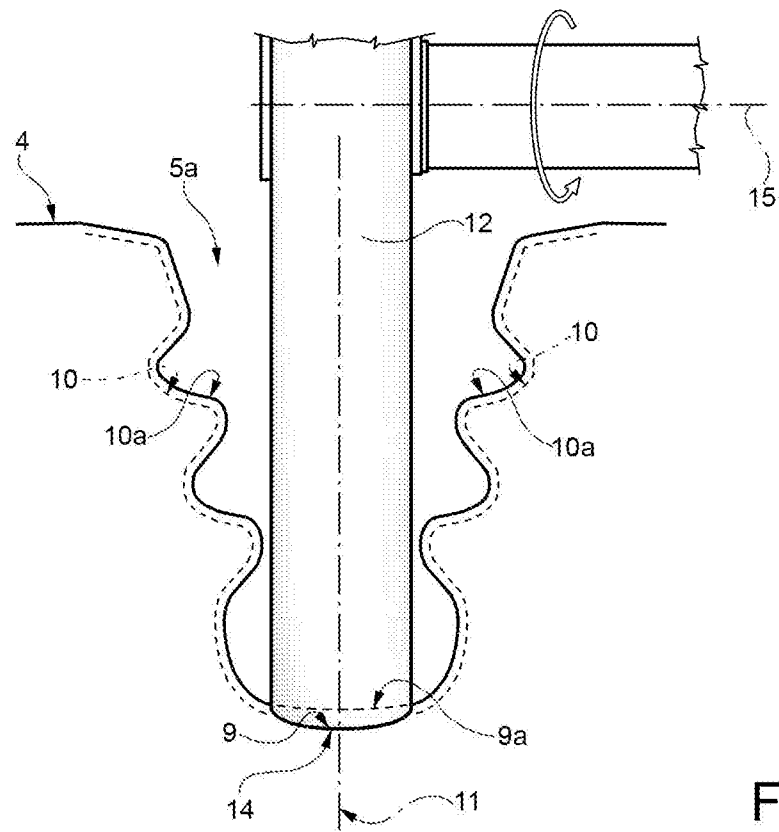


FIG. 2

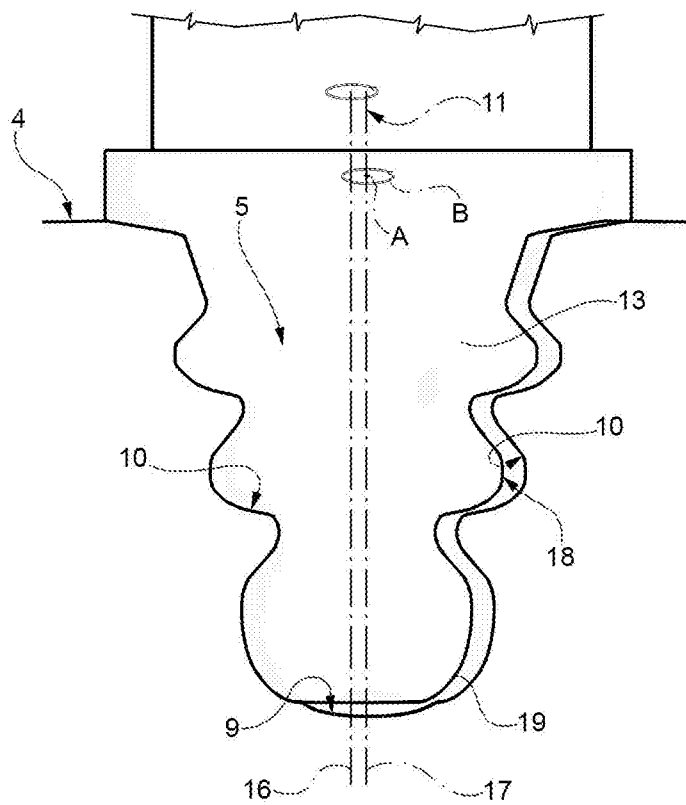


FIG. 3

pi.: 1) AVIO S.P.A.
2) FIDIA S.P.A.

Paolo LOVINO
(Iscrizione Albo nr. 999/B)