

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000023435
Data Deposito	10/09/2021
Data Pubblicazione	10/03/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	K	15	03

Titolo

ROTORE A MAGNETI PERMANENTI PER UNA MACCHINA ELETTRICA ROTANTE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"ROTORE A MAGNETI PERMANENTI PER UNA MACCHINA ELETTRICA
ROTANTE"

di HPE S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA RAIMONDO DALLA COSTA 620

41122 MODENA (MO)

Inventori: ROSSI Nicola, MATTEAZZI Nicola

*** **

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad un rotore a magneti permanenti per una macchina elettrica rotante.

ARTE ANTERIORE

Una macchina elettrica rotante comprende un albero montato girevole attorno ad un asse di rotazione, un rotore che presenta una forma anulare cilindrica ed è rigidamente fissato all'albero, ed uno statore che presenta una forma anulare cilindrica ed è disposto senza contatto (ovvero con un traferro di pochi millimetri) attorno al rotore (ovvero alloggia al suo interno il rotore).

Per applicazioni di autotrazione vengono preferibilmente utilizzati rotorì a magneti permanenti, in cui, per la creazione del campo magnetico di eccitazione, l'avvolgimento rotorico viene sostituito da un insieme di

magneti permanenti.

Un rotore a magneti permanenti comprende un nucleo magnetico, il quale è composto da una serie di lamierini orientati radialmente (ovvero perpendicolarmente all'asse di rotazione) ed impaccati tra loro (ovvero serrati a pacco) e presenta una serie di cave orientate assialmente in cui sono alloggiati i magneti permanenti. I magneti permanenti possono essere disposti sulla superficie esterna del nucleo magnetico (questa soluzione costruttiva viene denominata "*SPM - Surface Permanent Magnets*" ed è ad esempio descritta nella domanda di brevetto DE102013219058A1) oppure, in alternativa, i magneti permanenti possono essere inseriti all'interno del nucleo magnetico (questa soluzione costruttiva viene denominata "*Internal Permanent Magnets - IPM*" ed è ad esempio descritta nella domanda di brevetto EP1737105A2).

La soluzione costruttiva IPM presenta una maggiore efficienza energetica (un motore elettrico IPM può arrivare a consumare fino al 30% in meno di energia rispetto ad un analogo motore elettrico SPM) ed una maggiore resistenza intrinseca alle sollecitazioni generate dalla forza centrifuga; invece, la soluzione costruttiva SPM presenta un migliore rapporto tra prestazioni e peso (in quanto a parità di prestazioni richiede un nucleo magnetico complessivamente più piccolo e quindi più leggero ed in quanto permette di

massimizzare il flusso magnetico generato dai magneti permanenti e che si concatena con gli avvolgimenti di statore).

DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è di fornire un rotore a magneti permanenti per una macchina elettrica rotante, il quale rotore a magneti permanenti presenti una elevata efficienza energetica e, nel contempo, anche un ottimo rapporto tra prestazioni e peso.

Secondo la presente invenzione viene fornito un rotore a magneti permanenti per una macchina elettrica rotante, secondo quanto rivendicato nelle rivendicazioni allegate.

Le rivendicazioni descrivono forme di realizzazione della presente invenzione formando parte integrante della presente descrizione.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano alcuni esempi di attuazione non limitativi, in cui:

- la figura 1 è una vista prospettica e con l'asportazione di parti per chiarezza di un rotore a magneti permanenti per una macchina elettrica rotante realizzato in accordo con la presente invenzione;
- la figura 2 è una vista prospettica e con

l'asportazione di ulteriori parti per chiarezza del rotore a magneti permanenti della figura 1;

- la figura 3 è una vista in sezione trasversale del rotore a magneti permanenti della figura 1;
- le figure 4 e 5 sono rispettivamente una vista in scala ingrandita ed una vista esplosa di un particolare della figura 3; e
- le figure 6, 7 e 8 sono altrettante alternative forme di attuazione del particolare delle figure 4 e 5.

FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con il numero di riferimento 1 è indicato nel suo complesso un rotore a magneti permanenti per una macchina elettrica per autotrazione di tipo reversibile (cioè che può funzionare sia come motore elettrico assorbendo energia elettrica e generando una coppia meccanica motrice, sia come generatore elettrico assorbendo energia meccanica e generando energia elettrica).

Il rotore 1 è montato su un albero (non illustrato) per ruotare attorno ad un asse 2 di rotazione centrale e comprende una pluralità di magneti 3 permanenti.

Secondo quanto meglio illustrato nella figura 2, il rotore 1 comprende un nucleo 4 magnetico, il quale è montato sull'albero (ovvero è stabilmente fissato all'albero) ed è composto da una serie di lamierini 5 orientati radialmente (ovvero perpendicolarmente all'asse 3 di rotazione) ed

impaccati tra loro (ovvero serrati a pacco); in effetti il materiale isolante interposto tra un lamierino 5 e l'altro è spesso colla e quindi il serraggio a pacco assiale per garantire la stabilità strutturale del blocco laminato viene realizzato mediante la colla non mediante un organo meccanico dedicato. I lamierini 5 che compongono il nucleo 4 magnetico sono realizzati in un materiale ferromagnetico, cioè un materiale che posto in un campo magnetico si comporta in modo analogo al ferro magnetizzandosi in modo particolarmente intenso.

Secondo quanto meglio illustrato nelle figure 4 e 5, il nucleo 4 magnetico presenta una serie di sedi 6 periferiche, ciascuna delle quali è aperta verso l'esterno del nucleo 4 magnetico stesso ed alloggia un corrispondente magnete 3 permanente. In particolare, ciascuna sede 6 è disposta in corrispondenza della periferia esterna del nucleo 4 magnetico, riproduce in negativo la forma del corrispondente magnete 3 permanente, ed ha una forma a "U"; ovvero ciascuna sede 6 presenta una parete di base da cui si elevano due pareti laterali ed è aperta verso l'esterno in modo tale che il magnete 3 permanente possa venire infilato o sfilato dalla sede 6 anche con un movimento radiale oltre che con un movimento assiale.

Secondo quanto illustrato nella figura 2, il rotore 1 comprende una serie di corpi 7 di rivestimento, ciascuno dei

quali è separato ed indipendente dal nucleo 4 magnetico, è appoggiato ad un corrispondente magnete 3 permanente dal lato opposto del nucleo 4 magnetico, ed è composto da una pluralità di lamierini 8 serrati a pacco e realizzati in un materiale ferromagnetico; in effetti il materiale isolante interposto tra un lamierino 8 e l'altro è spesso colla e quindi il serraggio a pacco assiale per garantire la stabilità strutturale del blocco laminato viene realizzato mediante la colla non mediante un organo meccanico dedicato.

I lamierini 5 che compongono il nucleo 4 magnetico possono essere del tutto identici (per spessore, materiale ferromagnetico, e materiale isolante) ai lamierini 8 che compongono i corpi 7 di rivestimento; in alternativa, i lamierini 5 che compongono il nucleo 4 magnetico possono differenziarsi in qualche modo (per spessore, materiale ferromagnetico, o materiale isolante) dai lamierini 8 che compongono i corpi 7 di rivestimento.

Secondo quanto illustrato nelle figure 4 e 5, ciascun corpo 7 di rivestimento è disposto ad una distanza non nulla dal nucleo 4 magnetico in modo tale che tra ciascun corpo 7 di rivestimento ed il nucleo 4 magnetico sia sempre presente un traferro 9 in aria. Ovvero ciascun corpo 7 di rivestimento è conformato e disposto per non toccare mai direttamente il nucleo 4 magnetico e quindi definire con il nucleo 4 magnetico stesso un traferro 9 in aria. In altre parole, alle due

estremità circonferenziali opposte di ciascun corpo 7 di rivestimento sono presenti due traferri 9 in aria che separano il corpo 7 di rivestimento dal nucleo 4 magnetico.

Inoltre, ciascun corpo 7 di rivestimento presenta una sede 10 che riproduce in negativo la forma del corrispondente magnete 3 permanente ed alloggia il corrispondente magnete 3 permanente stesso; ovvero ciascuna sede 10 presenta una parete di base da cui si elevano due pareti laterali ed è aperta verso l'interno in modo tale che il magnete 3 permanente possa venire infilato o sfilato dalla sede 10 anche con un movimento radiale oltre che con un movimento assiale. La funzione della sede 10 è essenzialmente di centrare il corpo 7 di rivestimento rispetto al corrispondente magnete 3 permanente.

Quindi ciascun magnete 3 permanente presenta una porzione radialmente interna (ovvero più vicina all'asse 2 di rotazione) che è inserita in una sede 6 periferica del nucleo 4 magnetico e presenta una porzione radialmente esterna (ovvero più lontana dall'asse 2 di rotazione) che è inserita in una sede 10 del corpo 7 di rivestimento. In altre parole, ciascun magnete 3 permanente realizza un accoppiamento di forma (che permette un contenimento circonferenziale) sia con il nucleo 4 magnetico essendo inserito nella sede 6, sia con il corpo 7 di rivestimento essendo inserito nella sede 10.

Il rotore 1 comprende un elemento 11 di contenimento che

circonda e racchiude i corpi 7 di rivestimento; ovvero l'elemento 11 di contenimento presenta una forma cilindrica internamente cava e contiene al proprio interno il nucleo 4 magnetico, i magneti 3 permanenti, ed i corpi 7 di rivestimento. L'elemento 11 di contenimento è costituito di un materiale amagnetico, ovvero di materiale scarsamente magnetizzabile (quindi presentante una permeabilità magnetica relativa pochissimo differente dall'unità). Secondo una preferita forma di attuazione, il nucleo 4 magnetico presenta una serie di punte 12, ciascuna delle quali è disposta tra due sedi 6 periferiche adiacenti e termina con una superficie esterna che è affacciata al l'elemento 11 di contenimento. Secondo una possibile forma di attuazione, ciascuna punta 12 del nucleo 4 magnetico è a contatto con l'elemento 11 di contenimento (ovvero l'elemento 11 di contenimento si appoggia contro la punta 12); secondo una alternativa forma di attuazione, ciascuna punta 12 del nucleo 4 magnetico è ad una certa distanza non nulla dall'elemento 11 di contenimento in modo tale da non toccare l'elemento 11 di contenimento stesso.

Secondo una possibile forma di attuazione, l'elemento 11 di contenimento è costituito di un nastro o filamento resinato avvolto a spirale attorno ai corpi 7 di rivestimento; secondo una alternativa forma di attuazione, l'elemento 11 di contenimento è costituito da un elemento tubolare in materiale composito oppure in materiale

metallico (possibilmente) leggero e non ferromagnetico (ad esempio in alluminio oppure acciaio Inox).

Ciascun corpo 7 di rivestimento presenta una superficie esterna che è opposta al corrispondente magnete 3 permanente (ovvero è disposta radialmente verso l'esterno ed è più lontana dall'asse 2 di rotazione) e presenta una forma cilindrica; l'elemento 11 di contenimento si appoggia alla superficie esterna di ciascun corpo 7 di rivestimento e quindi l'elemento 11 di contenimento ed i corpi 7 di rivestimenti sono conformati per presentare la stessa forma (ovvero per accoppiarsi senza gioco apprezzabile).

Secondo una possibile forma di attuazione, l'elemento 11 di contenimento applica una compressione radiale rilevante ai corpi 7 di rivestimenti (quindi ai magneti 3 permanenti ed al nucleo 4 magnetico) per pre-caricare il rotore 1 con una forza di pre-carico che è diretta radialmente verso l'asse 2 di rotazione e quindi contrasta gli effetti della forza centrifuga che è esattamente opposta alla forza di pre-carico. In altre parole, l'elemento 11 di contenimento pre-comprime gli altri componenti del rotore 1 per permettere al rotore 1 di resistere meglio alla forza centrifuga.

Secondo una preferita forma di attuazione illustrata nella figura 5, tra ciascun magnete 3 permanente ed il nucleo 4 magnetico è interposta una sostanza 13 adesiva (ovvero una colla); analogamente, tra ciascun magnete 3 permanente ed il

corrispondente corpo 7 di rivestimento è interposta una sostanza 14 adesiva (ovvero una colla). Generalmente la sostanza 13 adesiva è del tutto identica alla sostanza 14 adesiva anche se vi possono essere varianti in cui le due sostanze 13 e 14 adesive sono tra loro diverse.

Nella variante illustrata nella figura 6, le pareti laterali delle sedi 6 e 10 sono inclinate (e di conseguenza anche il corrispondente magnete 3 permanente presenta in sezione trasversale una forma trapezoidale) in modo tale la sede 6 fornisce anche un certo contenimento radiale: ovviamente in questa forma di attuazione il magnete 3 permanente può venire accoppiato alla sede 6 solo mediante un inserimento assiale.

Nella forma di attuazione illustrata nelle figure 1-6, ciascun magnete 3 permanente è costituito da un unico corpo magnetico monolitico (ovvero unico ed indivisibile). Nella alternativa forma di attuazione illustrata nelle figure 7 e 8, ciascun magnete 3 permanente è costituito da tre diversi corpi 15 e 16 magnetici che sono disposti uno di fianco all'altro e presentano dimensioni e polarizzazioni magnetiche orientate diversamente; in particolare, è previsto un corpo 15 magnetico principale che presenta una dimensione maggiore ed è disposto al centro e due corpi 16 magnetici secondari che presentano una dimensione minore e sono disposti ai lati del corpo 15 magnetico principale (secondo una diversa forma di attuazione, il corpo 15 magnetico principale è più piccolo e non più grande dei due

corpi 16 magnetici secondari). Come detto in precedenza, le polarizzazioni magnetiche dei due corpi 16 magnetici secondari hanno un diverso orientamento rispetto alla polarizzazione magnetica del corpo 15 magnetico principale per ottenere (almeno parzialmente) un effetto Halbach.

La costruzione del rotore 1 a magneti permanenti sopra descritto prevede di predisporre una serie di magneti 3 permanenti, di predisporre il nucleo 4 magnetico, e quindi di inserire ciascun magnete 3 permanente in una corrispondente sede 6 periferica in modo tale che il magnete 3 permanente sia disposto radialmente più all'esterno del nucleo 4 magnetico. Prima di inserire ciascun magnete 3 permanente in una corrispondente sede 6 periferica del nucleo 4 magnetico, viene applicata la sostanza 13 adesiva (che può venire depositata sul magnete 3 permanente oppure sulla sede 6).

Inoltre, la costruzione del rotore 1 a magneti permanenti sopra descritto prevede di predisporre una serie di corpi 7 di rivestimento, e quindi di appoggiare (accoppiare) ciascun corpo 7 di rivestimento su un corrispondente magnete 3 permanente dal lato opposto del nucleo 4 magnetico in modo tale che il corpo 7 di rivestimento sia disposto radialmente più all'esterno del magnete 3 permanente. Prima di appoggiare ciascun corpo 7 di rivestimento su un corrispondente magnete 3 permanente, viene applicata la sostanza 14 adesiva (che può venire depositata sul magnete 3 permanente oppure sul corpo 7 di rivestimento).

Secondo una preferita forma di attuazione, prima i corpi 7 di rivestimento vengono appoggiati (accoppiati) ai magneti 3 permanenti e solo successivamente i magneti 3 permanenti già accoppiati ai corpi 7 di rivestimento vengono inseriti nelle corrispondenti sedi 6 periferiche del nucleo 4 magnetico.

Le forme di attuazione qui descritte si possono combinare tra loro senza uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione.

Il rotore 1 a magneti permanenti sopra descritto presenta numerosi vantaggi.

In primo luogo, il rotore 1 a magneti permanenti sopra descritto presenta un ottimo rapporto tra prestazioni e peso grazie alla disposizione sostanzialmente superficiale dei magneti 3 permanenti che permettono di massimizzare il flusso magnetico generato dai magneti 3 permanenti e che si concatena con gli avvolgimenti di statore.

Inoltre, il rotore 1 a magneti permanenti sopra descritto presenta anche una elevata efficienza energetica grazie alla presenza dei corpi 7 di rivestimento che sono laminati: le fluttuazioni ad alta frequenza del campo magnetico che si verificano in corrispondenza del traferro tra statore e rotore 1 interessano in massima parte i corpi 7 di rivestimento (che sono laminati e quindi presentano basse perdite di potenza per correnti parassite) ed interessano solo marginalmente i magneti 3 permanenti (che generalmente

non sono laminati o sono comunque laminati in modo più grossolano e quindi, se non adeguatamente "*schermati*" dai corpi 7 di rivestimento, presenterebbero elevate perdite di potenza per correnti parassite). In altre parole, i corpi 7 di rivestimento "*schermano*" i sottostanti magneti 3 permanenti in quanto le fluttuazioni ad alta frequenza del campo magnetico che si verificano in corrispondenza del traferro tra statore e rotore 1 rimangono sostanzialmente confinate nei corpi 7 di rivestimento e non arrivano nei sottostanti magneti 3 permanenti.

Infine, il rotore 1 a magneti permanenti sopra descritto è di semplice ed economica realizzazione, in quanto i lamierini 8 che costituiscono i corpi 7 di rivestimento possono venire velocemente e facilmente ricavati dalla stessa lamiera da cui si ricavano i lamierini 5 che costituiscono il nucleo 4 magnetico.

ELENCO DEI NUMERI DI RIFERIMENTO DELLE FIGURE

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1 | rotore a magneti permanenti |
| 2 | asse di rotazione |
| 3 | magnet permanenti |
| 4 | nucleo magnetico |
| 5 | lamierini |
| 6 | sedi periferiche |
| 7 | corpi di rivestimento |
| 8 | lamierini |

- 9 traferro in aria
- 10 sedi
- 11 elemento di contenimento
- 12 ponte
- 13 sostanza adesiva
- 14 sostanza adesiva
- 15 corpo magnetico principale
- 16 corpi magnetici secondari

R I V E N D I C A Z I O N I

1) Rotore (1) per una macchina elettrica rotante e comprendente:

una serie di magneti (3) permanenti; ed

un nucleo (4) magnetico che è composto da una pluralità di lamierini (5) realizzati in un materiale ferromagnetico, e presenta una serie di prime sedi (6) periferiche, ciascuna delle quali è aperta verso l'esterno del nucleo (4) magnetico stesso ed alloggia un corrispondente magnete (3) permanente;

il rotore (1) è **caratterizzato dal fatto di** comprendere una serie di corpi (7) di rivestimento, ciascuno dei quali è separato ed indipendente dal nucleo (4) magnetico, è appoggiato ad un corrispondente magnete (3) permanente dal lato opposto del nucleo (4) magnetico ed è composto da una pluralità di lamierini (8) realizzati in un materiale ferromagnetico.

2) Rotore (1) secondo la rivendicazione 1, in cui ciascun corpo (7) di rivestimento è disposto ad una distanza non nulla dal nucleo (4) magnetico in modo tale che tra ciascun corpo (7) di rivestimento ed il nucleo (4) magnetico sia sempre presente un traferro (9) in aria.

3) Rotore (1) secondo la rivendicazione 1 o 2 e comprendente un elemento (11) di contenimento che presenta una forma cilindrica internamente cava, circonda e racchiude i corpi (7) di rivestimento ed è preferibilmente costituito di un materiale amagnetico.

4) Rotore (1) secondo la rivendicazione 3, in cui il nucleo (4) magnetico presenta una serie di punte (12), ciascuna delle quali è disposta tra due prime sedi (6) periferiche adiacenti e termina con una superficie esterna che è rivolta verso l'elemento (11) di contenimento.

5) Rotore (1) secondo una delle rivendicazioni da 1 a 4, in cui ciascun corpo (7) di rivestimento presenta una seconda sede (10) che riproduce in negativo la forma del corrispondente magnete (3) permanente ed alloggia il corrispondente magnete (3) permanente stesso.

6) Rotore (1) secondo una delle rivendicazioni da 1 a 5, in cui ciascun corpo (7) di rivestimento presenta una superficie esterna che è opposta al corrispondente magnete (3) permanente e presenta una forma cilindrica.

7) Rotore (1) secondo una delle rivendicazioni da 1 a 6, in cui:

tra ciascun magnete (3) permanente ed il nucleo (4) magnetico è interposta una prima sostanza (13) adesiva; e

tra ciascun magnete (3) permanente ed il corrispondente corpo (7) di rivestimento è interposta una seconda sostanza (14) adesiva.

8) Rotore (1) secondo una delle rivendicazioni da 1 a 7, in cui ciascun magnete (3) permanente è costituito da almeno due diversi corpi magnetici (15, 16) che sono disposti uno di fianco all'altro e presentano polarizzazioni magnetiche

orientate diversamente.

9) Metodo di costruzione di un rotore (1) per una macchina elettrica rotante; il metodo di costruzione comprende le fasi di:

predisporre una serie di magneti (3) permanenti;

predisporre un nucleo (4) magnetico che è composto da una pluralità di lamierini (5) realizzati in un materiale ferromagnetico, e presenta una serie di sedi (6) periferiche, ciascuna delle quali è aperta verso l'esterno del nucleo (4) magnetico stesso; ed

inserire ciascun magnete (3) permanente in una corrispondente sede (6) periferica in modo tale che il magnete (3) permanente sia disposto radialmente più all'esterno del nucleo (4) magnetico;

il metodo di costruzione è **caratterizzato dal fatto di** comprendere le fasi di:

predisporre una serie di corpi (7) di rivestimento, ciascuno dei quali è separato ed indipendente dal nucleo (4) magnetico ed è composto da una pluralità di lamierini (8) realizzati in un materiale ferromagnetico; ed

appoggiare ciascun corpo (7) di rivestimento su un corrispondente magnete (3) permanente dal lato opposto del nucleo (4) magnetico in modo tale che il corpo (7) di rivestimento sia disposto radialmente più all'esterno del magnete (3) permanente.

10) Rotore (1) secondo la rivendicazione 9, in cui prima i corpi (7) di rivestimento vengono accoppiati ai magneti (3) permanenti e solo successivamente i magneti (3) permanenti già accoppiati ai corpi (7) di rivestimento vengono inseriti nelle corrispondenti sedi (6) periferiche del nucleo (4) magnetico.

Fig. 1

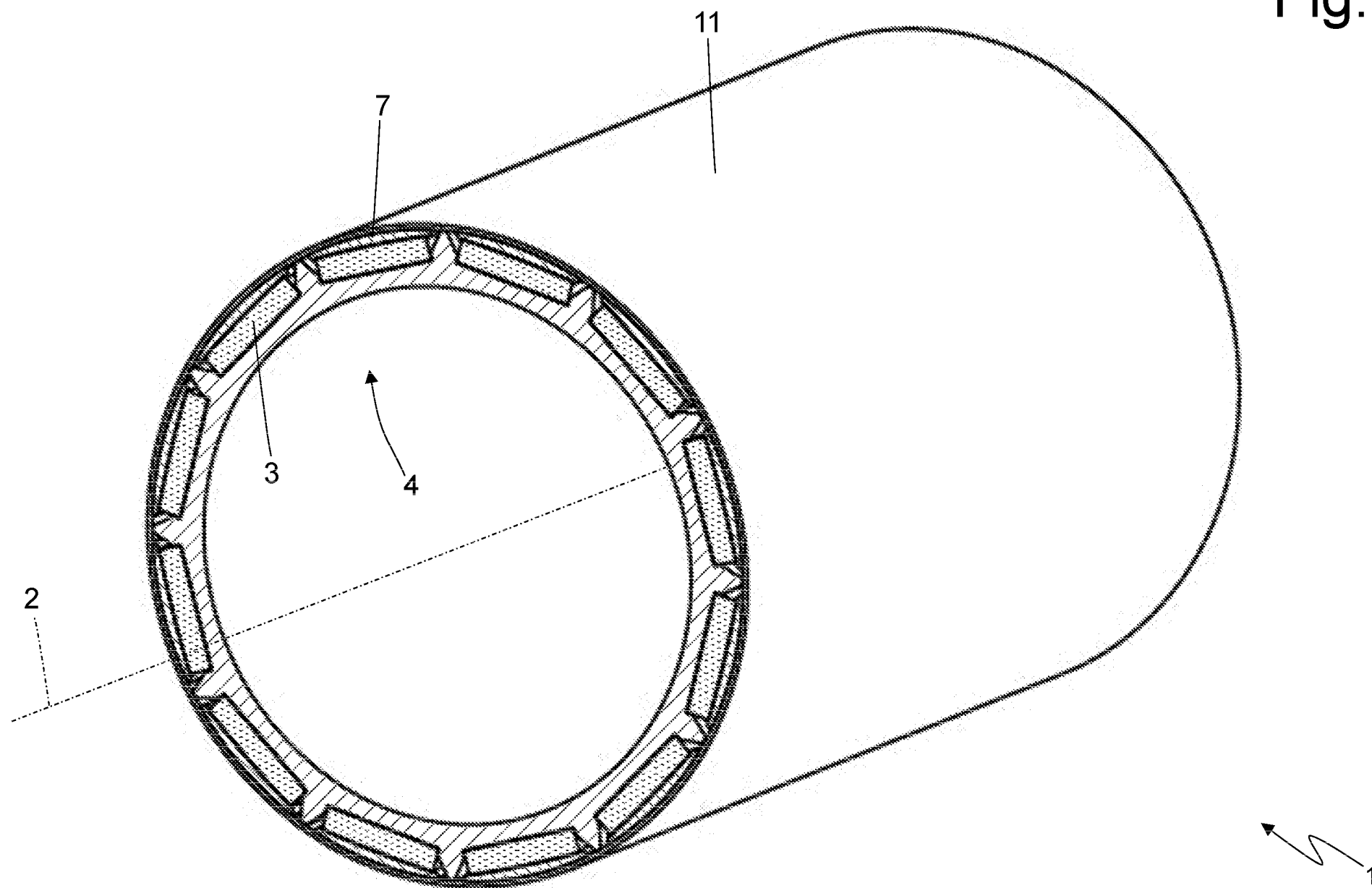


Fig. 3

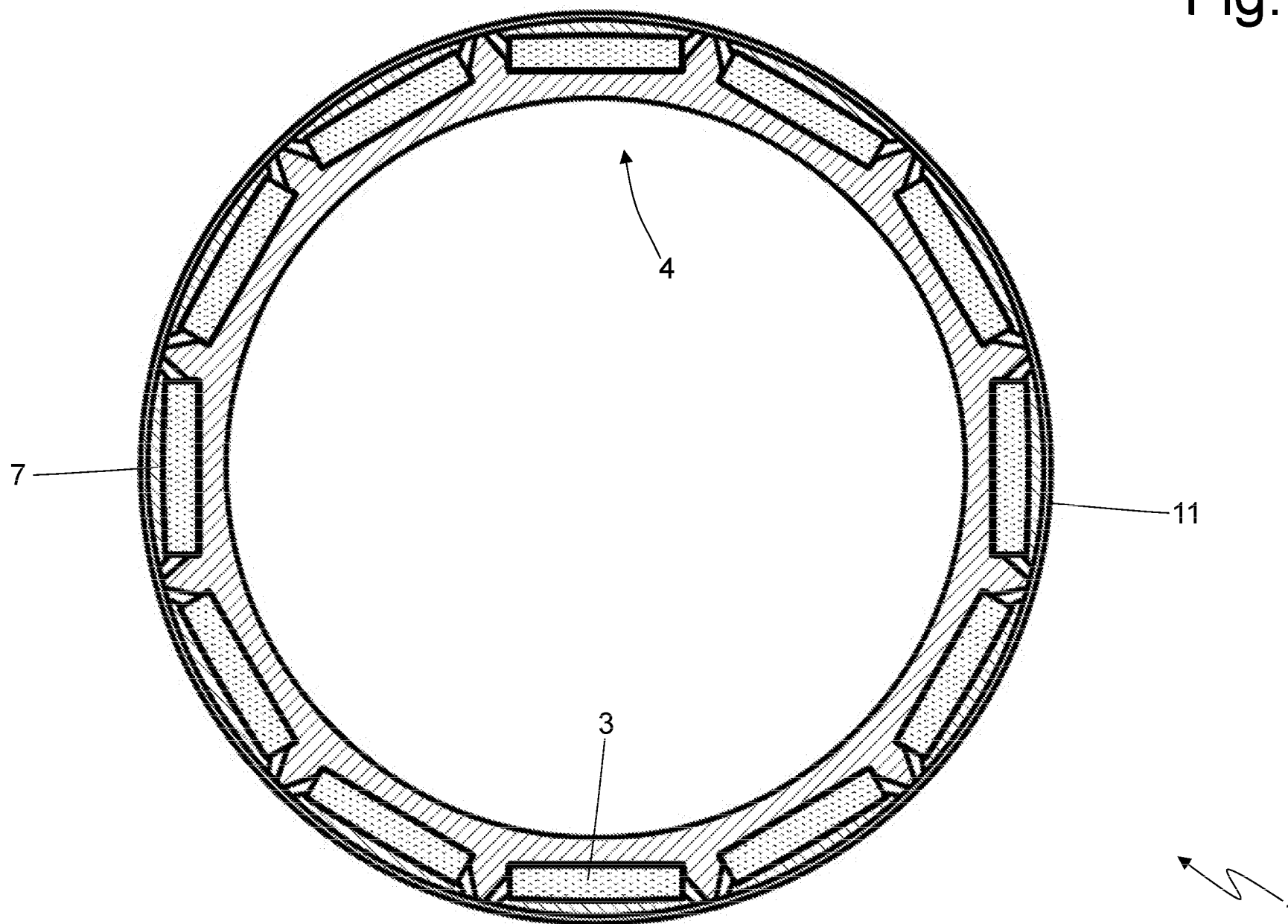


Fig. 4

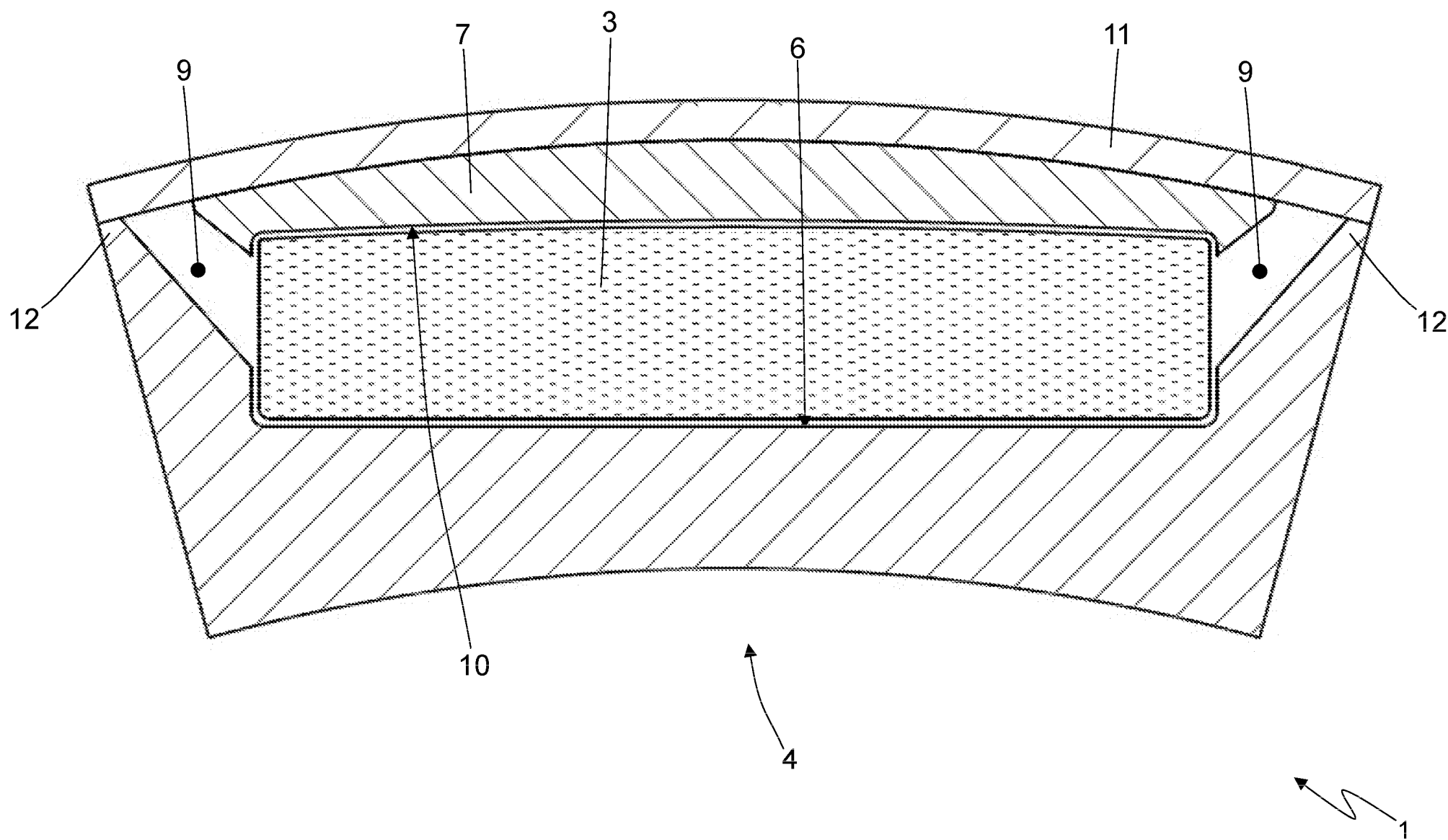


Fig. 5

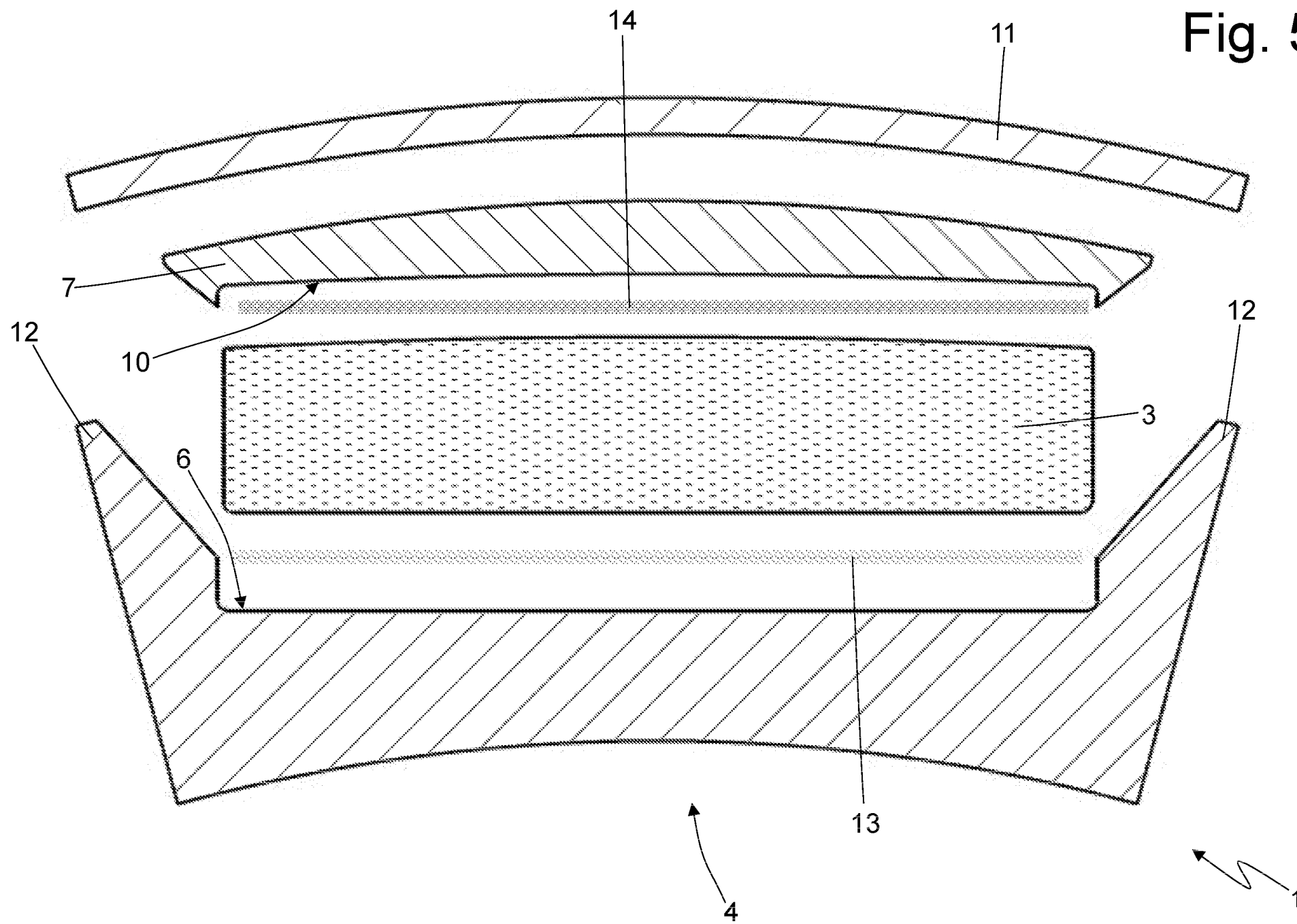


Fig. 6

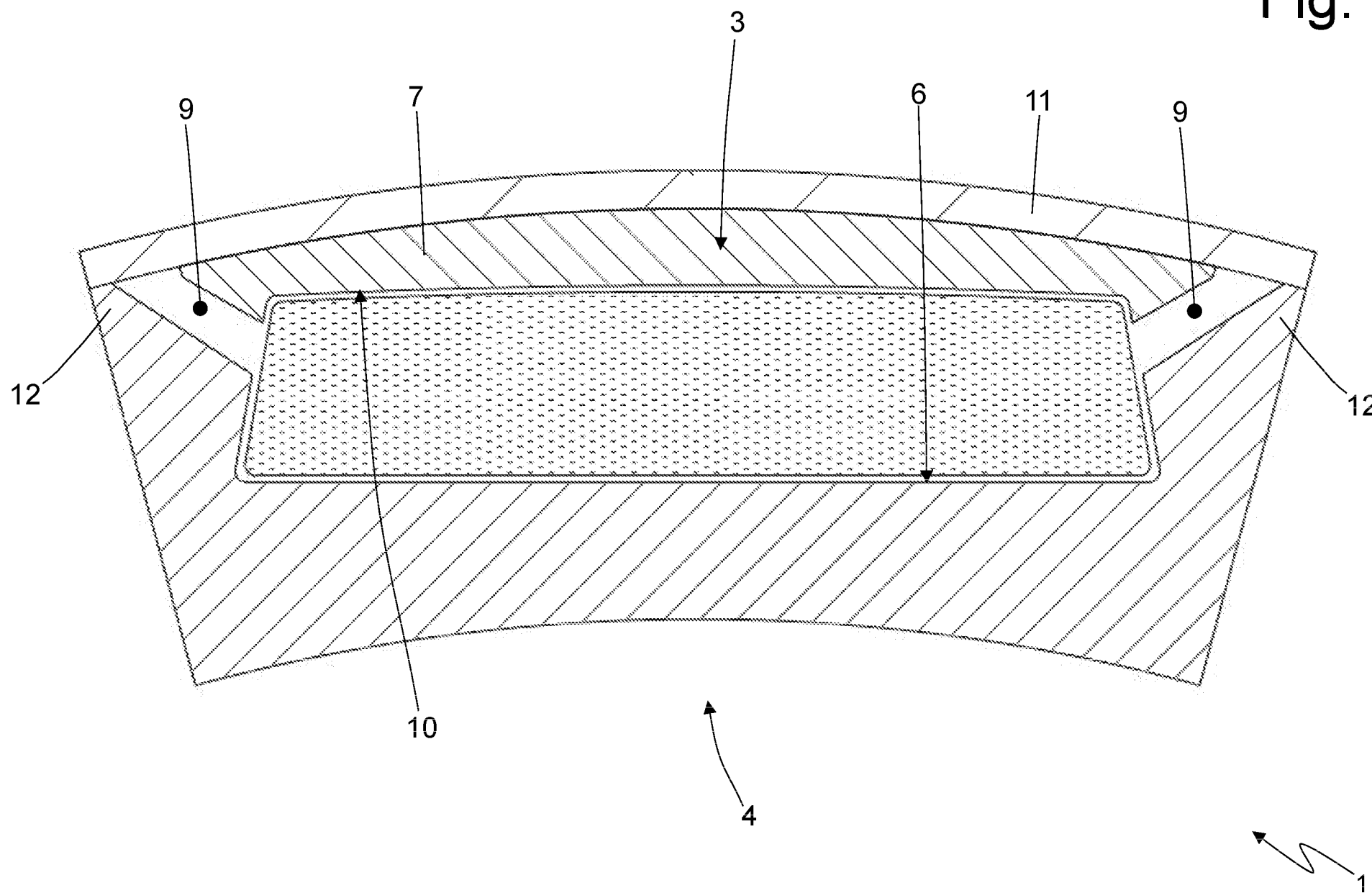


Fig. 7

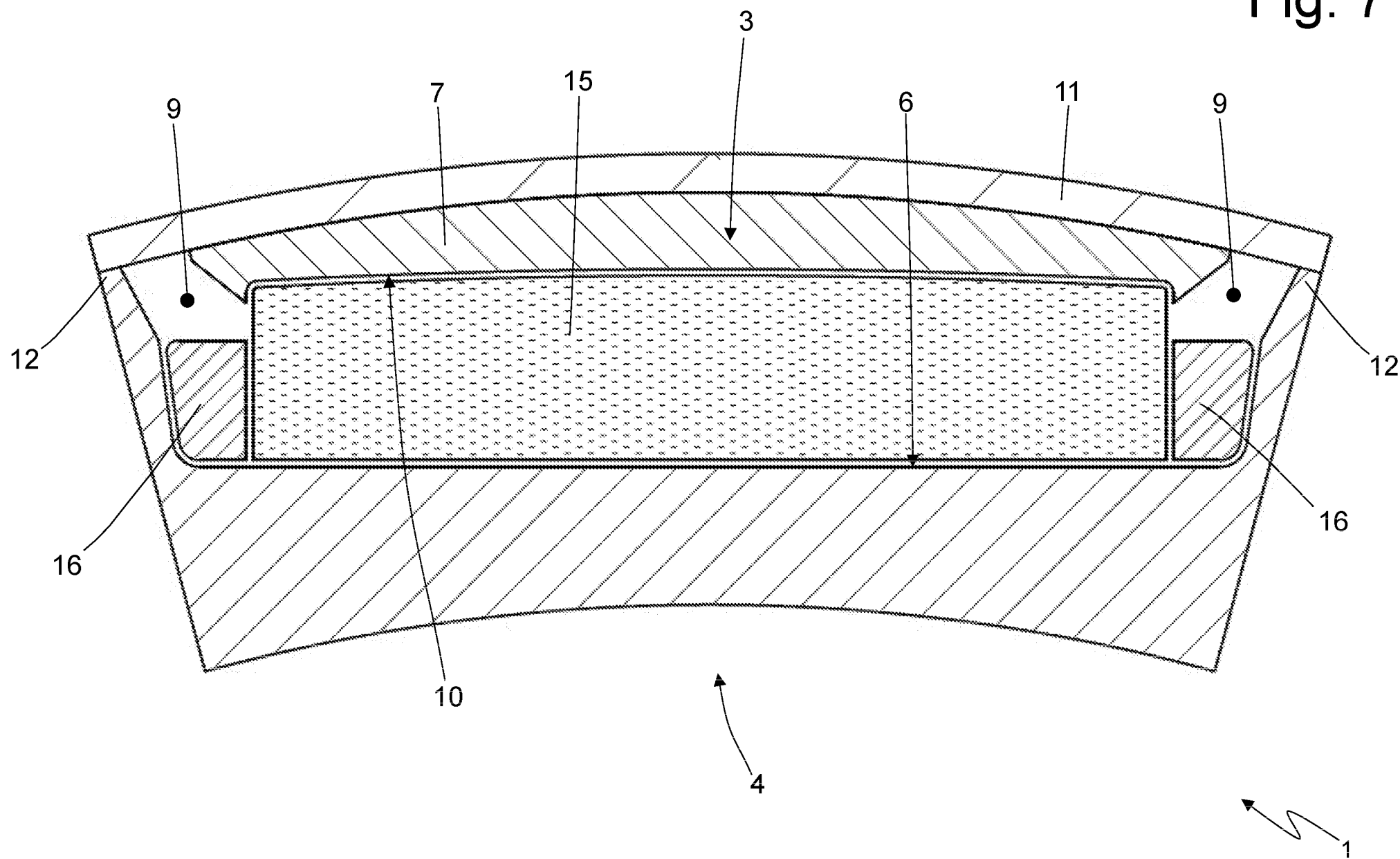


Fig. 8

