

12

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **85106255.4**

51 Int. Cl.<sup>4</sup>: **F 01 D 11/08**

22 Anmeldetag: **22.05.85**

30 Priorität: **05.07.84 DE 3424661**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**08.01.86 Patentblatt 86/2**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT SE**

71 Anmelder: **MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION  
MÜNCHEN GMBH**  
**Dachauer Strasse 665 Postfach 50 06 40**  
**D-8000 München 50(DE)**

72 Erfinder: **Hoffmüller, Wilhelm**  
**Rudhartstrasse 11**  
**D-8000 München 50(DE)**

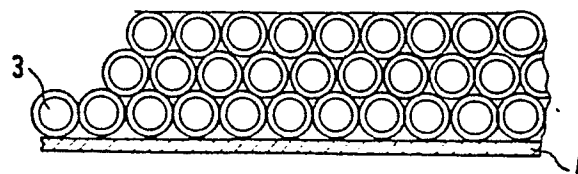
72 Erfinder: **Eichner, Josef**  
**Eichenstrasse 10c**  
**D-8069 Scheyern(DE)**

54 **Einlaufbelag einer Strömungsmaschine.**

57 Gehäuseeinlaufbelag einer Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine mit gekühlter Gehäusewand und Mitteln zur Verringerung und zum Kleinhalten des Radialspaltes zum Rotor und zur besseren Abdichtung zwischen feststehenden und drehenden Teilen.

Ein fester, dichter, oberflächlich glatter Belag moderater Härte wird aus Teilchen mit nichtmetallischem Kern und metallischer Hülle in Schichttechnik hergestellt, insbesondere gesintert und/oder gepreßt oder aber verdichtet und während oder danach (z.B. als Band) auf einer Wand aufgebracht.

**FIG. 4**



1

MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION  
MÜNCHEN GMBH

5

10      Einlaufbelag einer Strömungsmaschine

15      In Strömungsmaschinen ist Wirkungsgrad und Betriebsverhalten in hohem Maße davon abhängig, ob es gelingt, den Radialspalt zwischen Rotorscheufeln und Gehäuse so gering wie möglich zu halten. Will man den Radialspalt minimieren, so ist es z.B. möglich, durch Abrieb an einem Gehäusebelag (Einlaufbelag) beim Anstreifen diesen Spalt einzustellen. Die Schaufeln der Strömungsmaschine sollen dagegen möglichst wenig abgerieben werden, weil sonst insbesondere bei ovalen Gehäusen die Spalte ungünstig groß bleiben und die Schaufeln bei Überholung aufwendig repariert oder weg-  
20      geworfen werden müssen, weil sie zu kurz sind.

25      Solche Einlaufbeläge am Gehäuse ergeben, insbesondere, wenn sie weich sind, wenig Schaufelspitzenverschleiß, sind jedoch erfahrungsgemäß erosionsempfindlich und temperaturempfindlich. Aufgabe der Erfindung ist es, einen/relativ weichen Belag zu entwickeln der die Minimierung  
30      des Radialspaltes zwischen Rotorscheufeln und Gehäuse einer Strömungsmaschine, wie Verdichter, gestattet und trotzdem eine geringe Temperatur- und Erosionsempfindlichkeit aufweist.

35

ESP-775

- 1 Die Erfindung löst diese Aufgabe insbesondere durch die  
im Hauptanspruch enthaltenen Merkmale. Ferner sind  
Lösungsmöglichkeiten in den weiteren Ansprüchen ange-  
geben. Zur Erfindung gehören ausdrücklich auch alle  
5 Kombinationen und Unterkombinationen der beschriebenen,  
dargestellten und beanspruchten Merkmale.

Die wesentlichsten Vorteile die mit der erfindungsgemäßen  
Lösung erreicht worden sind:

- 10 Geringerer Schaufelspitzenverschleiß am Rotor, bei gleich-  
zeitig erheblich verringerter Erosions- und Temperatur-  
empfindlichkeit. Je nach Anwendungsfall kann eine geeignete  
Werkstoffkombination von Hülle und Kern der Teilchen des  
15 Verbundwerkstoffs gewählt werden, z.B. bei Einsatztempe-  
raturen bis etwa 550°C und darüber, bis etwa 1000°C, ein  
Graphitkern und eine Nickelhülle, bei darüberliegenden  
Temperaturen kann eine Keramik oder ein Glas, eine Metall-  
keramik oder ein metallisches Glas oder eine Glaskeramik  
20 oder dergleichen verwendet werden mit einer metallischen  
Hülle legiert, insbesondere höherschmelzend, wie z.B.  
mit Chrom oder Al, Si im Packverfahren zum Oxidations-  
schutz von Ni bis 1000°C, Pulver bei 1100°C in Wasserstoff-  
atmosphäre einige Stunden behandelt.
- 25 Insbesondere die Gruppen mit dem keramischen oder glas-  
haltigen Kern der Teilchen des Verbundwerkstoffs er-  
gibt eine bessere Isolation des Belags zum Gehäuse.  
Die Einsatztemperatur ist bei der Anwendung nicht vom  
30 Kernwerkstoff her beschränkt, sondern lediglich vom um-  
hüllenden Werkstoff. Dieser läßt sich, da er metallisch  
ist, leicht verbinden und verdichten. Der Materialverbrauch  
während der Herstellung des Schichtverbundwerkstoffes  
und/oder seiner Aufbringung ist wesentlich geringer  
35 gegenüber dem herkömmlichen Spritzverfahren. Die Kern-  
und Hülleausbildung der Teilchen bringt vor allem den  
Vorteil daß der metallische Anteil am Verbundwerkstoff
- ESP-775

-3-

1 insgesamt niedriger gehalten werden kann als bei be-  
kannten Einlaufbelägen, was insbesondere den schädlichen  
Einfluß abgeriebenen Materials in der Turbine (z.B.  
Verkleben von Kühlluftbohrungen, weniger Erosion nach-  
5 folgender Turbinenstufen und weniger Umweltbelastung)  
vermindert.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den beigefügten  
Zeichnungen rein schematisch dargestellt und anhand der-  
10 selben erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 ein Teilchen des Verbundwerkstoffs
- 15 Fig. 2 ein anderes Teilchen
- Fig. 3 ein Schliffbild eines schichtartigen Verbund-  
werkstoffes
- Fig. 4 einen Verbundwerkstoff mit einseitiger  
20 folienartiger Oberfläche/Träger
- Fig. 5 einen Verbundwerkstoff als Band  
Folien-/Träger
- Fig. 6 einen Verbundwerkstoff mit teilchengefülltem  
25 (Waben-)Träger in Draufsicht.

In allen Figuren sind gleiche Stoffe bzw. Teile mit  
gleichen Bezugszeichen versehen. Der Kern ist jeweils  
nichtmetallisch, die Hülle metallisch. Dabei wird unter  
metallisch ein metallhaltiger Werkstoff verstanden,  
30 sei es eine Verbindung, ein Gemisch oder dergleichen. Die  
metallischen Bestandteile der Hülle gestatten eine gute  
Verbindung der Pulverteilchen nach dem Sintern. Im ein-  
fachsten Fall kann das Sintern zugleich dem Aufbringen

1 des Belags auf die Innenseite der Gehäusewand dienen, in  
dem das Pulver zwischen zwei Ringe eingebracht wird, wovon  
eine die besagte Innenwand des Gehäuses ist. Das Sintern  
erfolgt in üblicher Weise in einem an sich bekannten Ofen.

5

In Fig. 1 ist ein kugelförmiges Teilchen mit einem kerami-  
schen Kern 1, wie BN-,  $ZrO_2$ -,  $Al_2O_3$ - oder Graphitkern und  
einer metallischen Hülle 2, z.B. aus Nickel, Aluminium  
oder Ni-Al, Ni-Cr, Ni-Mo, Ni-Co, Ni-Ti, Ni-Cu -legierun-  
10 gen. Die Hülle wird durch Beschichten des Kerns auf gal-  
vanischem Wege (elektrolytisch) oder nach dem bekannten  
CVD-Verfahren (chemische Gasphasenabscheidung) erzeugt.  
Auch andere physikalische Verfahren, wie PVD (= physikali-  
sche Dampfabscheidung) sind anwendbar.

15

Bevorzugt wird Nickel als Hüllwerkstoff verwendet, weil  
die Einsatztemperatur ohne schädigende Oxidation sehr hoch  
liegt (im Bereich um etwa  $500^{\circ}C \pm 50^{\circ}C$ ). Ein Graphit-  
kern wird bevorzugt, weil Graphit ein idealer Schmierstoff  
20 für Lager ist und sich bei Dichtungen bestens bewährt hat.  
Die Teilchen nach Fig. 1 können z.B. kugelförmig sein und  
einen Durchmesser zwischen etwa 50 und  $150\ \mu m$  aufweisen.  
Die Härte des, durch im Sinterverfahren aneinandergela-  
gerten Teilchen, hergestellten Belags, ist hauptsächlich  
25 von Größe und/oder Menge des Graphits des Kerns sowie  
dem verwendeten Hüllwerkstoff und dessen Menge bzw. Dicke  
abhängig. Wird eine hohe Temperaturbeständigkeit des Ein-  
laufbelags gefordert, so kann das Nickel höher legiert  
werden. Liegen die Einsatztemperaturen gering, kann Nickel  
30 auf elektrolytischem Wege, mit Aluminium oder mit Kupfer  
legiert, als Hüllwerkstoff aufgebracht werden. Mit Vor-  
teil ist bei Fig. 1 der Volumenteil des Kerns 1 im  
Teilchen etwa 75 %. Die Dicke der Hülle 2 beträgt  
etwa 1 -  $5\ \mu m$  auf dem Kern,

35

ESP-775

1 jedoch nur etwa 1/3 des Gewichtsanteils. Die Teilchen werden  
in vorteilhafter Weise aneinander gesintert bei geringem  
Druck, von etwa  $10^{-1}$  M Pa und einer Temperatur, im Vakuum-Ofen,  
von etwa über  $1000^{\circ}\text{C}$  bis etwa  $1500^{\circ}\text{C}$  und einer Zeit von  
5 einigen Stunden. Von Vorteil ist es, wenn man das zu  
sinternde Pulver in Formen füllt die, die äußeren Ab-  
messungen des in die Gehäuseringe einzulegenden Belags  
besitzen. Selbstverständlich sind die Formen, z.B. als  
radial innenliegende Ringe nach dem Sintern wieder ent-  
10 fernbar. Als außenliegender Ring dient dann die Gehäuse-  
innenwand, welche vorzugsweise gekühlt wird, wie an sich  
bekannt.

Es empfiehlt sich den metallischen Hüllwerkstoff auch  
15 danach auszuwählen, daß er sich von einer Verdichter- oder  
Turbinenschaufel eines Triebwerks leicht abschälen läßt.  
Hierbei muß noch berücksichtigt werden, daß die meisten  
bekannten Schaufelwerkstoffe bei hoher Temperatur ihre  
Härte verlieren. D.h., sie werden beim Anstreifen an den  
20 Einlaufbelag sehr heiß und gleichzeitig sinkt ihr Ver-  
schleißwiderstand. Dies spricht dafür, wenn es die Einsatz-  
temperatur (Betriebstemperatur) zuläßt, Aluminium oder  
Kupfer-Nickel als Hüllwerkstoff zu verwenden. Durch Walzen  
oder Rollen kann der Schichtverbundwerkstoff aus Teilchen  
25 noch verdichtet werden zu einem dichten glatten Belag,  
welcher sehr erosions- und korrosionsfest ist, auch bei  
den genannten Einsatztemperaturen. Etwa vorhandene Rest-  
porosität, insbesondere an der Oberfläche eines Schicht-  
verbundwerkstoffes für den Belag, kann auch durch Infil-  
30 trieren von Metallen, Gläsern, Email beseitigt werden.

In Fig. 2 ist dargestellt, eine Hohlkugel welche so-  
wohl, wie in Fig. 1, mit Graphit gefüllt sein kann, jedoch  
auch aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -,  $\text{ZrO}_2$ -oder dergleichen als Oxidkeramik,  
35 einem Glas- oder glashaltigen oder  $\text{SiO}_2$ -haltigen Kern 1

1 bestehen kann. Auch sogenannte Glaskeramiken oder metal-  
lische Gläser sind gut geeignet. Verbundwerkstoffe aus  
Teilchen mit kleinen Keramik-Kugeln oder Körnern ergeben  
eine bessere Wärmeisolation des Belags zum Gehäuse.

5

Die Größe und Menge des Kernwerkstoffes ist gleich oder  
ähnlich wie in Fig. 1 und die Werkstoffe, welche für die  
Hülle 2 verwendet werden, sind gleich den in Fig. 1. ge-  
nannten. Die Beschichtung des Kerns mit den Hüllwerkstof-  
10 fen erfolgt in mehreren Schichten 2a, 2b, ebenfalls auf  
galvanischem Wege oder mittels PVD- oder CVD-Verfahren. Die  
Dicke der Schichten liegt in der gleichen Größenordnung.  
Die Verfahrensbedingungen für das Sintern sollten gleich  
oder ähnlich wie in Fig. 1 sein. Eine Nachverdichtung oder  
15 Glätten der Oberfläche durch Infiltrieren kann ebenso wie  
dort beschrieben erfolgen.

Ein Schliffbild durch einen gesinterten Dichtungsbelag  
aus Verbundwerkstoff zeigt Fig. 3. Durch die innige Ver-  
20 bindung der Teilchen, wie Kugeln oder Körner, untereinan-  
der ist eine, etwa durch aggressives Gas einer Gasturbine  
verursachte Erosion nicht möglich. Fig. 3 zeigt, daß die  
reine Kugelform im wesentlichen nur beim Ausgangsmaterial  
(Pulver) vorliegt. Nach dem Sintern kann eine beliebige  
25 Kornform vorliegen. Die Fig. 3 zeigt außerdem deutlich  
das Aneinanderlagern, d.h. die gute Verbindung der  
Teilchen untereinander, nach dem Sintern mit Hilfe der  
Hüllwerkstoffe, die relativ frei wählbar sind, in Kom-  
bination mit jeweils gewünschten Kernwerkstoffen um die,  
30 für den jeweiligen Anwendungsfall, möglichst optimale  
Eigenschaft des Einlaufbelags zu erzielen.

Ein Belag kann, wie Fig. 4 zeigt, durch Aneinanderlagern  
von Teilchen 3 des Verbundwerkstoffs schichtartig gebildet  
35 werden, wobei die Gefügestruktur durch die Sinterbedingungen

1 in gewünschter Weise beeinflusst werden kann. Z.B. ist  
in Fig. 4 dargestellt, eine einzige Schicht aus be-  
schichteten Kugeln auf einer Folie 4 als Träger, insbe-  
sondere eine 0,2 mm dicke Hastalloy-Metallfolie, aufge-  
5 sintert und diese bildet so ein gut kleb- bzw. lötbare  
Band. Die Gesamtdicke des Belags lag bei etwa 1 mm und  
darüber. Sie ist praktisch unbegrenzt.

Im Beispiel der Fig. 5 ist ein Mehrschicht-Verbundwerk-  
10 stoff dargestellt, dessen äußerste Schicht aus sehr fein-  
teiligem ( $< 50 \mu\text{m } \phi$ ) Pulvers besteht und als Deck- oder  
Sperrschicht zum Gehäuse hin dient. Dann legt man eine  
Schicht Pulver darunter, aus Hohlkugeln 3a, insbesondere mit  
keramik- oder glashaltigem oder Metallkeramik oder  
15 metallischem Glas-Kern und darunter eine Schicht aus  
Nickel beschichteten Graphitkugeln ( $\sim 200 \mu\text{m } \phi$ ) 3b. Die ein-  
zelnen Schichten können nacheinander oder gemeinsam  
wie vorbeschrieben, gesintert werden. Gewünschtenfalls  
kann eine Nachverdichtung oder ein Infiltrieren mit Erzeu-  
20 gung einer dichten und/oder glatten Oberfläche folgen.

Wie Fig. 5 zeigt ergibt dieser Schicht-Verbundwerkstoff  
ein Band mit einem Folien-Träger 4 insbesondere für  
höhere Temperaturen von etwa  $\geq 550^\circ\text{C}$  in einer Dicke der  
25 Einzelschichten je nach Anwendungsfall wählbar, bevor-  
zugt im o.a. Bereich. Je nach Zusammensetzung schwankt die  
Härte in Rockwell des gesinterten Belags von etwa + 10  
bis - 40 HSR 15 Y und darunter, gegenüber + 20 bis + 60 HSR  
15 Y bei einem bekannten flammgespritzten Belag.

30 Fig. 6 zeigt eine Ausführung eines Belags bei dem an-  
stelle einer üblichen Folie ein honigwabenartiger Träger 6  
verwendet wird, dessen Waben, mit Vorteil, mit beschichteten  
Pulverteilchen 5 gefüllt sind.

35 ESP-775

- 1 Die Erfindung ist nicht auf die Verwendung der vorbeschrie-  
benen Werkstoffe für die Teilchen des Verbundwerkstoffes  
beschränkt, noch auf eine bestimmte Teilchenform oder ein  
Verfahren ihrer Herstellung, ebenso ist die Aufbringart  
5 des Belags je nach Anwendungsfall, d.h. je nach Strömungs-  
maschine wählbar, statt Kleben, Löten, Schweißen kann  
auch ein Diffusions- oder Plattiervverfahren, ein Anpreß-,  
Aufschrumpfverfahren, Angießen oder ähnliches erfolgen.
- 10 Die Kernwerkstoffe können aus einer großen Auswahl nahezu  
beliebig gewählt werden, da sie immer von einer dichten  
Metallschicht umschlossen sind. Die Hüllwerkstoffe lassen  
sich ebenfalls in weiten Grenzen wählen. Durch ihren  
metallischen Anteil lassen sich die Teilchen einerseits  
15 leicht verbinden, mit dichter und glatter Oberfläche  
(z.B. durch Sintern oder Sintern und Pressen), anderer-  
seits läßt sich ihr mengen- und volumenmäßiger Anteil be-  
grenzen und dadurch etwaige schädliche oder nicht ge-  
wünschte Nebenwirkungen.
- 20 Die Erfindung ist mit Vorteil anwendbar für Einlaufbeläge  
und/oder Dichtungen sowohl für Verdichter als auch Tur-  
binen von Strömungsmaschinen, wie Gasturbinen, gleich ob  
es sich um Axial- oder Radialströmungsmaschinen handelt.
- 25 Zum Erzeugen einer dichten und/oder glatten Oberfläche  
sind auch bekannte Verfahren geeignet, wie Energiestrah-  
l (EB, Laser, Ionen) -härten, -umschmelzen, -legieren,  
-glasieren etc., Implantieren, Diffundieren, Veredeln.
- 30
- 35

1 MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION  
MÜNCHEN GMBH

5

P a t e n t a n s p r ü c h e

- 10 1. Einlaufbelag einer Strömungsmaschine, insbesondere  
einer Gasturbine, zwecks Verringerung und zum Klein-  
halten des Radialspaltes zum Rotor und zur besseren  
Abdichtung des Gehäuses gegenüber den mit dem Rotor  
sich drehenden Schaufeln, wobei die Gehäusewand  
15 wenigstens einen Ring aus Sintermaterial aufweist  
der die Schaufelspitzen umgibt, dadurch gekennzeich-  
net, daß ein Schichtverbundwerkstoff aus einer oder  
mehreren Schichten von Teilchen, von denen jedes aus  
einem nichtmetallischen Kern und einer metallischen  
20 Hülle besteht, die aneinander gelagert sind durch  
Abscheiden auf chemischem oder physikalischem Wege  
aus der Gasphase und durch Sintern auf einem Träger  
oder direkt auf einem Gehäuseteil aufgebracht einen  
Dichtungsbelag moderater Härte mit dichter, geschlos-  
sener Oberfläche bilden.
- 25 2. Belag nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß  
die Hülle auf den einzelnen Teilchen elektrolytisch  
oder chemisch (stromlos) aufgebracht ist.
- 30 3. Belag nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,  
daß die Teilchen des Belags pulverförmig sind.
4. Belag nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß  
die Teilchen aus Kugeln gebildet sind.

35

ESP-775

- 1 5. Belag nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß  
die Teilchen aus Hohlkugeln gebildet sind.
- 5 6. Belag nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß  
die Hohlkugeln mit Gleitmittel gefüllt sind.
7. Belag nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch  
gekennzeichnet, daß der Kern der Teilchen aus Graphit  
besteht oder dieses enthält.
- 10 8. Belag nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch  
gekennzeichnet, daß der Kern der Teilchen aus einer  
Metallverbindung wie Oxiden, Nitriden, Siliziden,  
Carbiden besteht oder solche enthält, insbesondere  
15 Glas, Keramik oder Kombinationen der genannten Werk-  
stoffe einschließlich Siliziumverbindungen.
9. Belag nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch  
gekennzeichnet, daß die Hülle der Teilchen aus Nickel  
20 oder einer Nickellegierung mit Chrom, Aluminium oder  
Kupfer besteht.
10. Belag nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß  
die Hülle der Teilchen aus einer Nickellegierung ge-  
25 bildet ist, <sup>hergestellt</sup> durch Eindiffundieren der Zusätze zur  
Nickelbasis von außen.
11. Belag nach einem oder mehreren der vorhergehenden An-  
sprüche dadurch gekennzeichnet, daß der gesinterte  
30 Belag nachverdichtet ist, z.B. durch Walzen.
12. Belag nach einem oder mehreren der vorhergehenden An-  
sprüche dadurch gekennzeichnet, daß der Belag ver-  
dichtet ist durch Infiltrieren von außen mit Metallen,  
35 Gläsern, Email.

- 1 13. Belag nach einem oder mehreren der vorhergehenden  
Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß der Schichtver-  
bundwerkstoff wenigstens einseitig eine trägerband-  
5 artige zusammenhängende vorzugsweise glatte Fläche  
aufweist.
14. Belag nach einem oder mehreren der vorhergehenden  
Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß der Belag aus  
einem sandwichartig gebildeten Schichtverbundkörper  
10 mit zwei vorzugsweise glatten trägerbandartigen bzw.  
folienartigen Flächen besteht, von denen eine wieder  
entfernbar ist.
15. Belag nach einem oder mehreren der vorhergehenden  
Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß das Band  
15 aus Verbundwerkstoff aufklebbar, auflötbar, auf-  
schweißbar ist oder durch Anpressen, Anschmelzen,  
Angießen, Aufschrumpfen oder Aufplattieren auf der  
Innenseite der Gehäusewand, welche kühlbar, aufge-  
bracht ist.
- 20
- 25
- 30
- 35 ESP-775

FIG. 1

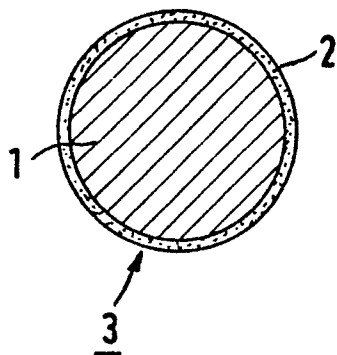


FIG. 2

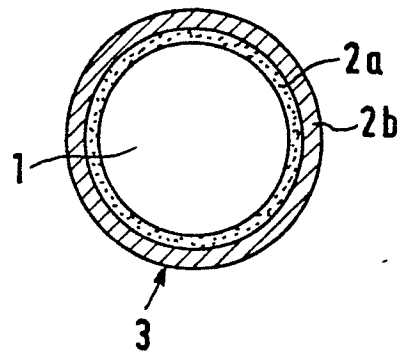


FIG. 4

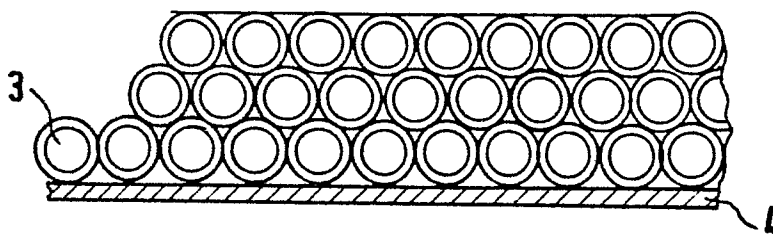


FIG. 5

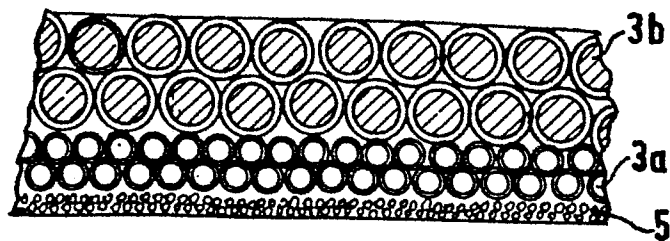
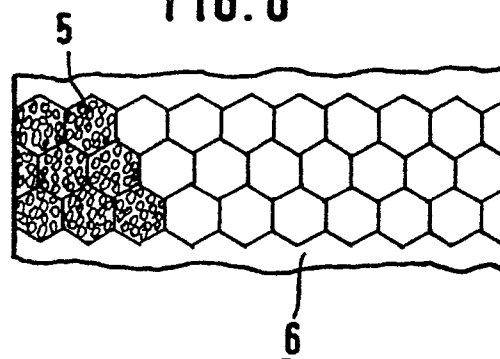
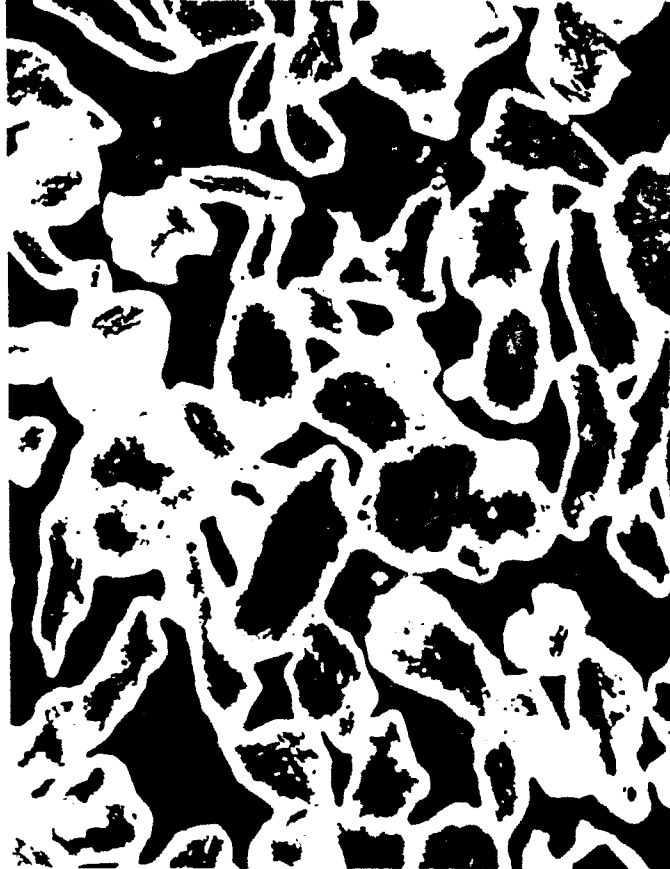


FIG. 6





Figur 3