

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

**PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN
FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE**

(10) FI 961897 A7

**(12) JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE
PUBLIC**

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application **961897**

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -
International patent classification
**D04H 3/08
D04H 3/16
D02G 1/18
C03B 37/075**

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **28.10.1994**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **03.05.1996**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **03.05.1996**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(86) Kansainvälinen hakemus - **28.10.1994 PCT/US1994/012340**
Internationell ansökan - International
application

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

05.11.1993 US 148098

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 •Owens Corning, Fiberglas Tower, Toledo OH 43659, USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 •Haupt, Ronald A., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

2 •Potter, Russell M., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

3 •Green, Tod D., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

4 •Aschenbeck, David P., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

5 •Berdan, Il, Clarke, USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Kaksilasikuituja ja niistä valmistettuja eristetuotteita

Dualglasfibrer och isoleringsprodukter framställda därav

Kaksilasikuituja ja niistä valmistettuja eristetuotteita

Tekninen alue

5 Tämä keksintö koskee mineraalikuituvillamateriaale-
ja ja tarkemmin määriteltynä lasikuitueristetuotteita.
Keksintö koskee myös lasikuitueristetuotteiden valmistus-
ta.

Tausta

10 Lämpimitaltaan pienet lasikuidut ovat käyttökelpoi-
sia monissa erilaisissa sovelluksissa ääni- ja lämpöeris-
temateriaalit mukaan luettuina. Kun nämä läpimitaltaan
pienet lasikuidut kootaan asianmukaisesti ristikko- tai
verkkorakenteeksi, jota kutsutaan yleisesti villapaaliksi,
voidaan lasikuiduista, joilta yksittäin puuttuu lujuus tai
15 jäykkyys, muodostaa sangen luja tuote. Valmistettava lasi-
kuitueriste on kevyttä, hyvin kokoonpuristuvaa ja kimmoi-
saa. Käytettäessä tämän patenttijulkaisun yhteydessä ter-
mejä "lasikuidut" ja "lasikoostumukset" on tarkoitus, että
"lasi" kattaa mitkä tahansa lasimaiset mineraalimateriaa-
20 lit, kuten kiven, kuonan ja basaltin, samoin kuin perin-
teiset lasit. Tekniikan tasoa vastaavissa yleisissä mene-
telmissä lasikuitueristetuotteiden valmistamiseksi tuote-
taan lasikuituja keskipakomenetelmällä. Yksi sula lasi-
koostumus pakotetaan lingon tai kehruulaitteen ulkoseinäs-
25 sä olevien aukkojen läpi, jolloin syntyy pääasiallisesti
suoria lasikuituja. Kuidut vedetään alaspäin puhaltimen
avulla. Sideainetta, jota tarvitaan kuitujen sitomiseen
villatuotteksi, suihkutetaan kuiduille vedettäessä niitä
alaspäin. Sitten kuidut kerätään ja niistä muodostetaan
30 villapaali.

Muodostettaessa lasikuitueristetuotteita olisi
ihanteellisessa eristeessä kuitujen välinen etäisyys yhte-
näinen. Eriste on pohjimmiltaan ristikkorakenne ilman sul-
kemiseksi kuitujen väliin ja siten ilman liikkumisen estä-
35 miseksi. Ristikkorakenne hidastaa myös lämmönsiirtoa si-

rottamalla säteilyä. Yhtenäisempi kuitujen välinen etäisyys maksimoisi sironnan ja antaisi siten suuremman eristyskyvyn.

Lasikuitueritysmateriaalien tuotannossa käy välttämättömäksi käyttää suhteellisen lyhyitä kuituja. Pitkillä kuiduilla on taipumus kietoutua yhteen ja muodostaa köysiä tai rihmoja. Nämä köydet saavat aikaan poikkeamisen ihanteellisesta yhtenäisestä ristikosta ja heikentävät lasivillan eristyskykyä. Suorat lyhyet kuidut muodostavat kuitenkin vain sattumanvaraisen ristikon, ja jotkut kuiduista ovat kimppuuntuneina yhteen. On selvää, että olemassa olevissa lasivillaeritysmateriaaleissa esiintyy merkittäviä epäyhtenäisyyksiä kuitujen jakautumisessa tuotteeseen. Ihanteellista yhtenäistä ristikkorakennetta ei siten voida saavuttaa.

Käytettäessä suorita kuituja on lisäksi välttämätöntä lisätä kuituihin orgaanista sideainetta. Sideainetta tarvitaan pitämään tuote koossa sitomalla se kuitujen risteämiskohdista. Sen lisäksi, että itse sideaine on kallista, täytyy nähdä paljon vaivaa tuotantoprosessin poisteen käsittelymiseksi useimpien orgaanisten yhdisteiden haitallisen ympäristövaikutuksen vuoksi. Lisäksi sideaine täytyy kovettaa käyttämällä uunia, jolloin kuluu lisää energiaa ja syntyy ympäristöllisiä lisäpuhdistuskustannuksia.

Yksi toinen olemassa oleviin eristet tuotteisiin liittyvä ongelma on, että jotkut lasikuidut ärsyttävät ihmisihoa kosketuksessa, erityisesti jos kuidut ovat liian suuria läpimitaltaan. Jos lasikuidut ovat hauraita, kuitujen katkeilu voi aiheuttaa myös sen, että eristet tuotteet ovat pölyäviä.

Eristetuotteiden kuljetuksen ja pakkauksen yhteydessä on suuri kokoonpuristuvuus edullista. On toivottavaa puristaa villa kokoon kuljetusta varten ja saada se sitten palautumaan nopeasti ja luotettavasti haluttuun kokoon. Nykyiset eristet tuotteet ovat rajoittuneita sen suhteen,

missä määrin niitä on mahdollista puristaa kokoon ja saavuttaa silti riittävä palautuminen. Kun tuotetta puristetaan, sideaine pysyy lujana, samalla kun itse kuidut taipuvat. Kun kuituun kohdistuva jännitys kasvaa liiallisen puristuksen vuoksi, kuitu katkeaa.

Lasikuituja, jotka eivät ole suoria, on yritetty tuottaa aiemmin. Mekaanisessa kiharrusmenetelmässä lasikuidut vedetään tekstiiliholkista. Ollessaan vielä korkeassa lämpötilassa kuidut vedetään mekaanisin keinoin vastakkaisista hammaspyöristä koostuvan sarjan tai kiharruslaitteen läpi niiden ohentamiseksi ja kihartamiseksi. Lopputuloksena on kimppu kiharrettuja lasikuituja.

Mekaanisen kiharruksen pääepäkohtana on, etteivät kuidut anna mahdollisuutta tyydyttävän lasivillan tuotantoon. Kunkin tällä tavalla valmistetun kuidun muoto on yhtenäinen, mikä tekee tyhjäksi kiharruksen tarkoituksen, koska jakautuma ei ole yhtenäinen valmistetussa lasivillassa. Koska menetelmä ei ole keskipakomenetelmä, sen tuotantonopeus on lisäksi epätyydyttävä ja tuotetut kuidut ovat liian karkeita villaeristemateriaaleihin.

Stalego esittää US-patenttijulkaisussa 2 998 620 kaksikomponenttisista lasikoostumuksista valmistettuja aallotettuja lasikuituja. Stalegon mukaan aallotettuja katkokuituja valmistetaan johtamalla kahta lasikoostumusta, joiden lämpölaajenevuus on erilainen, kehruulaitteen aukkojen läpi. Lasit suulakepuristetaan kahdesta rinnakkaisesta yhteensulautuneesta lasista koostuvana virtana, niin että kuidut aallottuvat luonnostaan jäähtyessään erilaisen lämpölaajenevuuden vuoksi. Stalego esittää kuitenkin näiden aallotettujen kuitujen käyttöä lankojen, kuten kankaaseen kudottavien tai poltettuun keramiikkaan ja saaviin lujitteeksi sisällytettävien lankojen, valmistukseen. Stalego ei esitä aallotettujen kuitujen käyttöä eriste tuotteissa.

Tiede esittää US-patenttijulkaisussa 3 073 005 keskipakovoimaan perustumatonta menetelmää kaksikomponenttisten aallotettujen lasikuitujen valmistamiseksi. Kuidut valmistetaan syöttämällä erilaisia lasikoostumuksia auk-
 5 koon rinnakkaiskosketuksessa keskenään, niin että nämä kaksi lasia tulevat ohennetuiksi yhdeksi kuiduksi. Tiede esittää näiden lasien käyttöä kankaiden valmistuksessa samoin kuin pehmuste- ja kelluntamateriaaleissa. Tiede ei esitä aallotetuista lasikuiduista valmistettuja eriste-
 10 tuotteita.

Slayter et al. esittää US-patenttijulkaisussa 2 927 621 myös aallotettujen kuitujen valmistusta. Slayterin mukaan yhdestä lasikoostumuksesta valmistettuja lasikuituja johdetaan profiililtaan vastakkaisten seinämien
 15 välitse, kun kuidut on pehmennetty kuumilla kaasuilla. Kuidut omaksuvat sitten seinämien profiilin muodon. Pak- sut, pitkät kuidut ovat kuitenkin soveltumattomia eristemateriaaleihin. Valmistettuja kuituja käytetään sen sijaan suodatusvälineissä, ja niille on levitetty lisäksi sideai-
 20 netta.

Siten on olemassa parannetun villaeristemateriaalin tarve, jolla on tilan yhtenäisesti täyttävä luonne, niin että villaeristemateriaalin palautuminen on parempi ja lämmönjohtavuus pienempi ja sitä voidaan käyttää ilman si-
 25 deainetta. Olisi myös edullista ratkaista olemassa olevien lasikuitueristetuotteiden ärsytys- ja pölyämisongelmat.

Keksinnön kuvaus

Tämä tarve täytetään tällä keksinnöllä, jonka mukaisesti eristetuotteita valmistetaan muodoltaan epäsäännöllisistä mineraalikuiduista. Käyttämällä kuituja, jotka
 30 ovat epäsäännöllisiä eivätkä suorina, kiharrettuja tai edes aallotettuja, voidaan saavuttaa yhtenäisempi ristikkorakenne. Tätä kutsutaan yhtenäiseksi tilan täyttämiseksi. Lisääntynyt yhtenäisyys mahdollistaa suuremman palautumis-
 35 suhteen. Vielä tärkeämpää on, että yhtenäinen tilan täyt-

täminen johtaa merkittävästi alhaisempaan lämmönjohtavuuteen. Epäsäännöllisen muotoisten kuitujen voimakkaampi yhteenkietoutuminen voisi mahdollistaa myös villapaalin riittävän yhtenäisyyden ilman orgaanisen sideaineen käyttöä. Riittävällä yhtenäisyydellä tarkoitetaan, että villalevyn kuidut pysyvät yhteenkietoutuneina eivätkä erotu, kun 2,4 m:n (8 ft) villalevy ripustetaan oman painonsa alaiseksi joko pituutensa tai leveytensä suunnassa. Näitä kutsutaan konesuunnaksi ja vastaavasti poikkisuunnaksi.

Haluttaessa voidaan kuitenkin lisätä sideainetta lisälujuuden antamiseksi villaeristemateriaalille. Keksinnön mukaisten kuitujen epäsäännöllinen muoto tekee tuotteesta myös vähemmän alttiin aiheuttamaan ärsytystä ja voi tehdä tuotteesta vähemmän pölyävän.

Keksinnön edullisen suoritusmuodon mukaisesti tarjotaan käyttöön epäsäännöllisen muotoinen lasikuitu ja eristetuote, joka käsittää epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja. Epäsäännöllisen muotoisista lasikuiduista valmistetulla eristetuotteella on tilan oleellisen yhtenäisesti täyttävä luonne. Lisäksi epäsäännöllisen muotoiset lasikuidut ovat edullisesti sideaineettomia. Termi "sideaineeton" on tarkoitettu merkitsemään sitä, että sideaineiden osuus on korkeintaan 1 paino-% tuotteesta. Lisäksi termiä "sideaine" ei ole tarkoitettu sisältämään pölyn vähentämiseksi tai voitelutarkoituksiin lisättyjä materiaaleja. Kukin epäsäännöllisen muotoinen lasikuitu käsittää kahta keskenään erilaista lasikoostumusta, joilla on erilainen lämpölaajenemiskerroin. Lämpölaajenemiskerroinero näiden kahden lasikoostumuksen välillä on edullisesti suurempi kuin noin 2,0 ppm/°C (miljoonasosaa), edullisemmin suurempi kuin noin 4,0 ppm/°C ja edullisimmin suurempi kuin noin 5,0 ppm/°C.

Tämän keksinnön yhden lisäpuolen mukaisesti tarjotaan käyttöön epäsäännöllisen muotoisista lasikuiduista valmistettu eristetuote, jolla eristetuotteella on tilan

oleellisen yhtenäisesti täyttävä luonne ja jonka tuotteen tiheys palautuneena on suunnilleen alueella $4,8 - 9,6 \text{ kg/m}^3$ ($0,3 - 0,6 \text{ lb/ft}^3$), kun se on puristettu tiheyteen noin $96 - 288 \text{ kg/m}^3$ ($6 - 18 \text{ lb/ft}^3$).

5 Tämän keksinnön yhden muun puolen mukaisesti tarjotaan käyttöön villaeristemateriaali, joka käsittää epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja, joilla on tilan oleellisen yhtenäisesti täyttävä luonne ja jossa kukin epäsäännöllisen muotoinen lasikuitu koostuu ainakin ensimmäisestä lasikoostumuksesta ja toisesta lasikoostumuksesta. Ensimmäisen lasikoostumuksen osuus on yleensä suunnilleen alueella $15 - 85 \%$ kunkin kuidun koko lasisisällöstä. Toinen lasikoostumus muodostaa loppuosan kunkin kuidun lasisisällöstä. Pieni osa kuiduista voi olla yhtä koostumusta.

15 Piirustusten lyhyt kuvaus

Kuvio 1 on sivukaaviokuva kuumasitomisprosessista, jolla voidaan valmistaa tämän keksinnön mukainen eriste.

Kuvio 2 on perspektiivikaaviokuva suoramuodostusprosessista, jolla voidaan valmistaa tämän keksinnön mukainen eriste.

Kuvio 3 on perspektiivikaaviokuva tämän keksinnön mukaisen eristet tuotteen yhdestä suoritusmuodosta.

Kuvio 4 on pystyleikkauskuva kuidunmuodostuslaitteesta, jolla voidaan valmistaa tämän keksinnön mukaisia kuituja.

Kuvio 5 esittää ylhäältäpäin katsottuna osaa kuvion mukaisesta kehuulaitteesta piirrettynä linjaa 5-5 pitkin.

Kuvio 6 on linjaa 6-6 pitkin piirretty sivukaaviokuva kuvion 5 mukaisesta kehuulaitteesta.

30 Kuvio 7 on poikkileikkauskaaviokuva keksinnön mukaisesta epäsäännöllisestä lasikuidusta, jossa lasisuhde A/B on 50:50.

Kuvio 8 kaaviokuva epäsäännöllisestä lasikuidusta, jossa lasisuhde A/B on pienempi kuin 50:50.

Kuvio 9 on perspektiivikaaviokuva tekniikan tasoa vastaavasta kierteisestä lasikuidusta.

5 Kuvio 10 on perspektiivikaaviokuva tämän keksinnön mukaisesta epäsäännöllisen muotoisesta, luonnollisessa, jännitteettömässä tilassa olevasta lasikuidusta.

Kuvio 11 on perspektiivikaaviokuva kuvion 10 mukaisesta, venytetyssä tilassa olevasta kuidusta.

10 Kuvio 12 on taiteen keinoin tehostettu perspektiivikaaviokuva kuvion 10 mukaisesta, epäsäännöllisen muotoisesta lasikuidusta.

Kuvio 13 on graafinen esitys sekä kierteisen kuidun (112) että epäsäännöllisen muotoisen kuidun (122) y-akselille piirretystä kiertymisen määrästä R kuidun pituuden ollessa merkittävä x-akselille.

15 **Keksinnön toteuttamistavat**

Tämän keksinnön mukaisista epäsäännöllisen muotoisista lasikuiduista valmistettuja eristetuotteita voidaan tuottaa kuviossa 1 esitetyn kaltaisella keskipakokuidunmuodostus- ja paalin kuumasitomisprosessilla.

20 Viitaten kuvioon 1, on nähtävissä, että kahta keskenään erilaista sulaa lasikoostumusta syötetään uuneista 10 esiahjojen 12 kautta kuidunmuodostuslaitteisiin 14. Kuidunmuodostuslaitteilla valmistetut epäsäännöllisen muotoisista lasikuiduista koostuvat harsot 18 kerätään kuljettimelle 16 villapaaliksi 20 kuljettimen alle sijoitetun alipaineen avulla. Kun kuituja puhalletaan alaspäin ilmalla tai kaasuilla kuljettimelle kuidunmuodostuslaitteissa olevien puhaltimien avulla 22, ne ohentuvat ja omaksuvat epäsäännöllisen muotonsa.

30 Villapaali johdetaan sitten kuumasitomislämpötilassa 371 - 593 °C (700 - 1 100 °F) olevan uunin 24 läpi. Kuumasitomislämpötila voidaan saavuttaa joko hidastamalla jäähtymisprosessia kuidunmuodostuksen jälkeen, niin että osa kuidunmuodostusprosessista peräisin olevasta lämmöstä
35 säilyy, tai kuumentamalla kuidut uudelleen kuumasitomisuu-

nissa. Kulkiessaan uunin läpi villapaali muotoillaan yläkuljettimella 26 ja alakuljettimella 28 ja sivuohjaimilla, joita ei esitetä. Ollessaan uunissa lasikuidut voidaan saattaa kuumien kaasuvirtausten alaisiksi yhtenäisen kuumennuksen helpottamiseksi. Korkeintaan noin 10 min kestävän jakson kuluttua villapaali poistuu sitten uunista eristetuotteena 30.

Kun lasikuidut pakotetaan kuljettimilla 26 ja 28 eristetuotteen muotoon, kuidut jännittyvät kokoonpuristetun jousen tavoin. Kun jännittyneet kuidut saatetaan lämpösitomislämpötilan alaisiksi, lasirakenne relaxoituu, mahdollisesti viruntamekanismilla, mikä johtaa jännityksen olennaiseen vapautumiseen. Kun rajoitteet poistetaan, villapaali ei laajene vaan säilyttää halutun muodon. Koska kuidut taipuvat jäähtyessään, ne kietoutuvat enemmän yhteen ja edistävät eristetuotteen rakenteellista yhtenäisyyttä.

On ymmärrettävä, että lämpösitominen on tämän keksinnön yksi mahdollinen puoli. Muihin eristetuotteen valmistusmenetelmiin kuuluvat nitominen, neulaus, kietominen veden avulla ja kotelointi.

Viitaten kuvioon 2 kuvataan uutta suoramuodostusmenetelmää, jolla voidaan valmistaa tämän keksinnön mukaisia eristetuotteita. Epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja tuotetaan kuidunmuodostuslaitteessa 40. Lasikuituharsot 42 puhalletaan alaspäin kuidunmuodostuslaitteessa olevien puhaltimien avulla ja kerätään korkeintaan lämpötilassa 593 °C (1 100 °F) vastakkaisille alaspäin mentäessä toisiaan lähestyville kokoomakuljettimille 44. Kerätyt kuidut johdetaan kuumasitomisuunin, kuten paalinmuodostus- ja kuumasitomiskuljettimien 46, kautta, jossa kuidut muotoillaan eristetuotteeksi suunnilleen alueella 371 - 593 °C (700 - 1 100 °F) olevassa lämpötilassa. Kuumasitomisuuni tai kuumasitomiskuljettimet määrittelevät edullisesti ennalta määrätyn poikkileikkauksen muodon. Lämpöä kuitujen

kuumasitomiseksi uunissa voidaan syöttää millä tahansa sopivalla keinolla, kuten kuumailmakanavilla 47, jotka on kytketty kuumien kaasujen lähteeseen, jota ei esitetä, ja soveltuvat kuumennettujen kaasujen johtamiseen poikittain villapaalin 48 läpi.

Keksinnön yhden erityispuolen mukaisesti kokoomakuljettimet ovat rei'itettyjä tai huokoisia, ja kuituharson mukana virtaavat kaasut poistetaan kokoomakuljettimien läpi kaasujen erottamiseksi kuiduista. Nämä kaasut sisältävät huomattavasti lämpöä, ja olennainen osa poistetuista kaasuista johdetaan edullisesti kokoomakuljettimilta kanavien 49 kautta kokoomakuljettimien yläreunalle lämmön säilyttämiseksi. Ihannetapauksessa tämä poistokaasujen kieräytys pitäisi kokoomakuljettimesta poistuvat lasikuidut suunnilleen alueella 204 - 482 °C (400 - 900 °F) olevassa lämpötilassa. Uunista tulevat kuumat jätekaasut voitaisiin myös ohjata kokoomakuljettimien yläreunalle.

Eristetuote johdetaan kuumasitomiskuljettimien muodostus- ja kuumasitomisvyöhykkeiltä kotelointiyksikköön 50, jossa eristetuote voidaan koteloida käyttämällä mitä tahansa tyyppiä olevaa kalvoa, kuten kalvoa 52. Liikkuva tuote voidaan lisäksi leikata erillisiksi yksiköiksi, kuten eristelevyiksi, ennen pakkaamista. Tuote voidaan pakata millä tahansa sopivalla keinolla, kuten rullauslaitteella 54.

Viitaten kuvioon 3, tämän keksinnön mukainen eristetuote voi olla epäsäännöllisen muotoisista lasikuiduista koostuvan villalevyn 56 muodossa. Levy voidaan peittää ulkoverhouksella 58, jonka monia tyyppisiä tunnetaan ennestään.

Kuten kuviossa 4 esitetään, kehruulaite 60 koostuu kehruulaitteen pohjasta 62 ja kehruulaitteen sivuseinämästä 64. Kehruulaitetta pyöritetään akselilla 66, kuten on tunnettua tekniikan tason mukaisesti. Kehruulaitteen pyöriminen työntää keskipakovoimalla sulan lasin kehruulait-

teen sivuseinämän läpi primaarikuiduiksi 68. Primaarikuidut pidetään pehmeässä, ohennuskelpoisessa tilassa rengasmaisen polttimen 70 lämmöllä. Keksinnön yhdessä suoritusmuodossa sisäinen poltin, jota ei esitetä, antaa lämpöä

5 kehruulaitteen sisälle. Rengasmainen puhallin 72, jossa käytetään sekundaari-ilmaa 74, sijoitetaan vetämään primaarikuituja ja ohentamaan niitä edelleen sekundaarikuiduiksi 76, jotka soveltuvat käytettäväksi villaeristemateriaaleista. Sekundaarikuidut eli kahdesta lasista koostuvat epäsäännöllisen muotoiset lasikuidut kerätään sitten

10 villapaalin muodostamiseksi.

Kehruulaitteen sisään syötetään kaksi erillistä sulaa lasivirtaa, joista ensimmäinen virta 78 sisältää lasia A ja toinen virta 80 lasia B. Virran 78 lasi putoaa

15 suoraan kehruulaitteen pohjalle ja virtaa ulospäin keskipakovoiman vaikutuksesta kohden kehruulaitteen sivuseinää, niin että muodostuu kerros lasia A. Sulan lasivirran 80 lasi B sijoitetaan lähemmäksi kehruulaitteen sivuseinää kuin virta 78, ja vaakasuora laippa 82 pysäyttää virran 80

20 lasin, ennen kuin se pääsee savuttamaan kehruulaitteen pohjan. Niinpä keräytymä eli kerros lasia B muodostuu vaakasuoran laipan yläpuolelle.

Kuten esitetään kuviossa 5, kehruulaitteeseen sovitaan pystysuora sisäseinä 84, joka on yleisesti ottaen

25 rengasmainen ja sijoitetaan säteen suunnassa sisäänpäin kehruulaitteen sivuseinämästä. Joukko pystysuoria väliseiniä 86, jotka sijoitetaan kehruulaitteen sivuseinämän ja pystysuoran sisäseinämän väliin, jakaa kyseisen tilan joukoksi osastoja 88. Vuorottelevat osastot sisältävät joko

30 lasia A tai lasia B.

Kehruulaitteen sivuseinämä varustetaan aukoilla 90, jotka sijoitetaan pystysuoran väliseinän säteen suunnassa ulomman pään viereen. Aukkojen leveys on suurempi kuin

35 pystysuoran väliseinän leveys, ja ne mahdollistavat siten sekä lasista A että lasista B koostuvan virran tulon au-

kosta yhtenä kahdesta lasista koostuvana primaarikuituna. Kuten on nähtävissä kuviosta 6, kukin osasto 88 on yhtä korkea kuin kehruulaitteen sivuseinämä 64, ja aukkoja on osastot erottavan pystysuoran sivuseinän koko korkeudelta.

5 Muita kehruulaiterakenteita voidaan käyttää kahden lasivirran syöttämiseen kehruulaitteen aukkoihin.

Tämän keksinnön mukaiset epäsäännöllisen muotoiset kuidut ovat kaksilasikuituja, ts. kukin kuitu koostuu kahdesta erilaisesta lasikoostumuksesta, lasista A ja lasista B. Jos tämän keksinnön mukaisesta ihanteellisesta epäsäännöllisen muotoisesta lasikuidusta tehtäisiin poikkileikkaus, toinen puoli kuidusta olisi lasia A ja toinen puoli lasia B. Villaeristemateriaalissa olevissa erilaisissa epäsäännöllisen muotoisissa lasikuiduissa (tai jopa yksittäisessä kuidussa pituusuunnassa katsottuna) voivat lasin A ja lasin B määrien suhteet todellisuudessa olla laajalla alueella. Lasin A prosentuaalinen osuus voi vaihdella suunnilleen alueella 15 - 85 % kunkin epäsäännöllisen muotoisen lasikuidun kokonaislasimäärästä loppuosan kokonaislasimäärästä ollessa lasia B. Yleisesti ottaen epäsäännöllisen muotoisista kuiduista valmistetut eristetuotteet koostuvat kuiduista, joissa esiintyy lasin A ja lasin B prosentuaalisten osuuksien kaikkia erilaisia yhdistelmiä mukaan luettuna pieni osa kuituja, jotka ovat yksikomponenttisia.

15
20
25

Yhdessä menetelmässä lasin A ja lasin B välisen suhteen mittaamiseksi tutkitaan lukuisten kuitujen poikkileikkaus. Jos suhde A/B on 50:50, kahden lasin, lasin A 94 ja lasin B 96, välinen rajapinta kulkee kuidun poikkileikkauksen keskipisteen 98 kautta, kuten esitetään kuviossa 7. Kahden lasin välinen rajapinta ei yleensä kulje kuidun poikkileikkauksen keskipisteen kautta. Kuten esitetään kuviossa 8, lasin A 104 ja lasin B 106, välinen rajapinta ei kulje kuidun poikkileikkauksen keskipisteen 108 kautta.

30

Valokuvia kuitujen poikkileikkauksista saadaan si-
joittamalla kuitukimppu epoksiin siten, että kuidut ovat
mahdollisimman yhdensuuntaisia. Epoksikappale leikataan
sitten poikki käyttämällä timanttisahanterää, ja yksi
5 uusista pinnoista kiillotetaan käyttämällä erilaisia hion-
tavälineitä. Näytteen kiillotettu pinta päällystetään sit-
ten ohuella hiilikerroksella, niin että saadaan johtoky-
kyinen näyte pyyhkäisyelektronimikroskopia (SEM) -analyy-
siä varten. Näyte tutkitaan sitten SEM:llä käyttämällä ta-
10 kaisin sironneiden elektronien detektoria, joka näyttää
keskimääräisen atomilukumäärän vaihtelut vaihteluna har-
maa-asteikolla. Tämä analyysi paljastaa kahden lasin läs-
näolon kuidun poikkileikkauksella olevan tummemman ja vaa-
leamman alueen kautta ja osoittaa kyseisten kahden lasin
15 välisen rajapinnan.

"Poikkeamasuhde" on $r:n$ suhde $R:ään$ (prosentteina
ilmaistuna), jolloin R on kuidun poikkileikkauksen säde ja
 r on lyhin etäisyys kuidun keskipisteestä kahden lasin ra-
japintaan. Kun kuidun poikkileikkaus ei ole pyöreä, säteet
20 mitataan kohtisuorasti rajapintaan nähden. Kun rajapinta
on kaareva, approksimoidaan suoraviivainen rajapinta.

Poikkeamasuhde on sen mitta, miten kaukana lasisuh-
de A/B on suhteesta 50:50. Mitä suurempi poikkeama arvos-
ta 50:50 on, sitä suurempi r on laskettuna prosentteina
25 $R:stä$. On havaittu, että keksinnön mukaisten epäsäännöllii-
sen muotoisten lasikuitujen keskimääräinen poikkeamasuhde
on tyypillisesti suurempi kuin noin 5 %, yleensä suurempi
kuin noin 15 % ja monissa tapauksessa suurempi kuin noin
30 %.

30 Kaksilasikuiduilla on kaareva luonne kahden lasin
lämpölaajenemiskertoimien erilaisuuden vuoksi. Kun kaksi-
lasikuitu jäähtyy, toinen lasikoostumus kutistuu nopeammin
kuin toinen lasikoostumus. Tuloksena on kuituun kohdistuva
jännitys. Tämän jännityksen vapauttamiseksi kuidun täytyy
35 taipua. Ellei mukaan tuoda kuidun kiertymistä, tuloksena

on litteä kierukka, jonka kaarevuussäde on yleisesti ottaen vakio; kierukka on yhdessä tasossa kuten kellonjoussessa. Kaksilasikuitujen kiertymistä voidaan mitata tarkastelemalla kahden lasikomponentin välistä rajapintaa kuidun eri kohdissa. Jotta päästään pois tasosta, täytyy 5 mukaan tuoda jonkin verran kiertymistä. Kuitujen vakio-kiertyminen antaa tulokseksi kierteen, jonka nousukulma on vakio. Kierteen muodostavassa kuidussa kiertymissuunta on vakio - joko myötä- tai vastapäivään. Kierteellä on myös 10 yleisesti ottaen vakio kaarevuussäde. Kuvio 9 on kolmiulotteinen kaaviomainen projektiokuva tekniikan tasoa vastaavasta kierteisestä kuidusta 112. Visualisoinnin avuksi on lisätty kuidun varjo 114, joka muodostuu tasaiselle pinnalle valon tullessa yläpuolelta.

15 Keksinnön mukainen epäsäännöllisen muotoinen kuitu eroaa kierteisestä kuidusta siinä suhteessa, että kuidun kiertyminen ei ole tasaista vaan vaihtelee epäsäännöllisesti sekä suunnan (myötä- ja vastapäivään) että suuruuden suhteen. Kuidun kiertymismäärä tarkoittaa sitä, miten nopeasti kuitu kiertyy yksikköä kohden kuidun pituutta. Kaarevuus on yleisesti ottaen vakio, koska sen sanelee lämpölaajenemiskertoimien ero ja suhde A/B. Kuvio 10 on kolmiulotteinen projektiokuva keksinnön mukaisesta epäsäännöllisestä kuidusta 122. Visualisoinnin avuksi on lisätty 20 kuidun varjo 124, joka muodostuu tasaiselle pinnalle valon tullessa yläpuolelta. Kun kuitu 122 saatetaan vetojännityksen alaiseksi, jännitetty kuitu 122A ja varjo 124A valaisevat sitä, että kuidun epäsäännöllisyys säilyy kuviossa 11 esitetyllä tavalla.

30 Kuvion 12 esittämä epäsäännöllinen kuitu 122B on kuvion 10 mukainen kuitu 122, jota on paranneltu taiteellisin keinoin liioittelemalla paksuutta ja lisäämällä jakoviivoja perspektiivin tuomiseksi paremmin näkyviin.

35 Jatkuvasti muuttuvan ohennusympäristön ansiosta kukin epäsäännöllisen muotoinen kuitu kiertyy ainutlaatui-

- sella tavalla. Mitkään kaksi kuitua eivät ole täsmälleen samanlaisia. Kuidun lopullinen muoto on sellainen, jossa vallitsee kaksilasiluonteen vuoksi peruskaarevuus, jota muuntaa kiertyminen, kaareutumistason epäsäännöllinen kääntyminen, jonka aiheuttaa jatkuvasti muuttuva, stokastinen ohennusympäristö. Kuidulla on peruskaarevuus, joka kiertyy kolmiulotteisesti. Se ei yleensä ole kierteinen. Kuidun epäsäännöllinen luonne mahdollistaa epäsäännöllisen muotoisten lasikuitujen olemisen irti toisistaan ja tilan yhtenäisesti täyttävän luonteen saavuttamisen. Lisäksi epäsäännöllisen muotoisista lasikuiduista valmistettu villaeristemateriaali on vähemmän ihoa ärsyttävä (kutittava) kuin pääasiallisesti suorista kuiduista valmistetut villaeristemateriaalit eikä ehkä ole yhtä pölyävä.
- Epäsäännöllisen muotoisten kuitujen luonnetta analysoitiin käyttämällä suuntavektorianalyysiä. Muodostettiin ryhmä koordinaatteja, jotka kuvaavat epäsäännöllisen muotoisen kuidun kulkutietä kolmiulotteisessa tilassa, käyttämällä kahdessa eri kulmassa, joiden ero oli 90° , otettuja valokuvia. Koordinaatit redusoidtiin siten, että saatiin yhtä suuret datapisteiden väliset kolmiulotteiset etäisyydet kuidun pituuden eri kohdissa, jolloin saatiin redusoiduja koordinaattidatapisteitä (ACD, adjusted coordinate data points). Kutakin ACD:tä kohden laskettiin seuraavat kolme vektoria:

$\bar{V}_i$ = kuidun suuntavektori (yhdestä ACD:stä toiseen suuntautuva yksikkövektori)

$\bar{F}_i$ = $\bar{V}_i$:n ensimmäinen derivaatta -vektori ACD:iden välisen etäisyyden suhteen

$\bar{S}_i$ = $\bar{V}_i$:n toinen derivaatta -vektori ACD:iden välisen etäisyyden suhteen

Kiertymismäärä R_i on kullekin määrätylle ACD:lle seuraava:

$$R_i = S_i \cdot U_i \text{ (vektoripistetulo), jossa}$$

5

$$\bar{U}_i = \frac{V_i \times V_{i-1}}{V_i \times V_{i-1}} \text{ (vektoriiristitulo)}$$

10 $\bar{U}_i$ on V_i :n ja V_{i-1} :n sisältävään tasoon nähden kohtisuora yksikkövektori.

Kiertymismäärä R (y-akseli) voidaan piirtää kuidun pituussuunnassa mitatun etäisyyden (x-akseli) funktiona, kuten esitetään kuviossa 13. Käyrät esittävät kuvion 10 esittämän epäsäännöllisen kuidun (kuitu A) ja kuvion 9 esittämän kierteisen kuidun (kuitu B) kiertymismääriä. Kuviossa 13 esitettyjä tuloksia on tasoitettu käyttämällä 5-pisteistä painotettua liukuvaa keskiarvoa derivointiprosessin korostaman kohinan vähentämiseksi. Kuten graafisesta esityksestä on nähtävissä, keksinnön mukaisen jännittämättömän epäsäännöllisen muotoisen kuidun (kuitu A) kiertyminen muuttuu epäsäännöllisesti määrältään ja merkiltään kuidun pituussuunnassa. Vaihtumispisteitä (ts. kohtia, joissa kiertymisen merkki muuttuu) esiintyy suunnilleen taajuudella 1/cm kuidussa A, jonka läpimitta on 5 μm . Kierteisessä kuidussa (kuitu B) vaihtumiskohtien määrä on sen sijaan nolla saman pituuden aikana. Odotetaan, että vaihtumispisteiden lukumäärä senttimetriä kohden on keksinnön mukaisissa epäsäännöllisissä kuiduissa kuidun läpimitan ollessa 5 μm vähintään 0,3 ja todennäköisimmin suunnilleen alueella 0,5 - 5,0. Toinen tapa määrittää kvantitatiivisesti kuitujen epäsäännöllisyyttä on laskea keskimääräinen kiertymismäärä ja kiertymismäärien standardipoikkeama kuitujen pituussuunnassa. Viitaten kuvioon 13, 35 kiertymismäärän R keskiarvo on kierteisellä kuidulla (kuitu B) selvästi nollan yläpuolella (tai selvästi nollan

alapuolella vastakkaisuuntaisen kiertymisen ollessa kyseessä). Kiertymismäärän R standardipoikkeama on kierteellä pienempi kuin kiertymismäärän R keskiarvo. Kuviossa 13 kiertymisen standardipoikkeaman suhde sen keskiarvoon on
 5 0,25 kierteisen kuidun (kuitu B) ollessa kyseessä.

Keksinnön mukaisen epäsäännöllisen muotoisen kuidun (kuitu A) ollessa kyseessä kiertymismäärän R keskiarvo on sen sijaan hyvin pieni, yleensä lähellä nollaa. Kiertymismäärän standardipoikkeama on vähintään vertailukelpoinen
 10 kiertymismäärän R keskiarvon kanssa, ellei merkittävästi suurempi kuin kiertymismäärän R keskiarvo. Tämä suhde on edullisesti suurempi kuin noin 0,75. Se on edullisemmin yli 1,0 ja edullisimmin yli 5,0. Kuidun A kiertymisen standardipoikkeaman suhde sen keskiarvoon on 8,3.

Kuitujen epäsäännöllinen muoto antaa villaeristemateriaalille tilan yhtenäisemmin täyttävän luonteen. Tekniikan tasoa vastaavat pääasiallisesti suorat kuidut järjestyvät sattumanvaraisesti villapaaliin. Ne eivät täytä yhtenäisesti tilaa. Tilan yhtenäisellä täytöllä tarkoitetaan sitä, että kuidut pyrkivät leviämään ja täyttämään
 20 koko niiden käytettävissä olevan tilan yhtenäisesti. Tilan yhtenäisemmin täyttävä luonne mahdollistaa lasikuitujen tehokkaamman käytön lämmön virtauksen vastustamiseen.

Röntgentietokonetomografia (CAT-pyyhkäisy) -testaus
 25 on osoittanut, että tämän keksinnön yhteydessä käytettävät epäsäännöllisen muotoiset kuidut antavat luonnollisen erilläänpysymistaipumuksensa ansiosta tulokseksi tilan yhtenäisemmin täyttävän luonteen kuin tekniikan tasoa vastaavat tavanomaiset lasikuidut. Villapaalien tiheyden CAT-pyyhkäisytestauksessa tekniikan tasoa vastaavista tavanomaisista lasikuiduista koostuvassa villapaalissa standardipoikkeama on karkeasti ottaen kaksinkertainen epäsäännöllisen muotoisista kuiduista koostuvan paalin vastaavaan arvoon nähden. Niinpä tiheys vaihtelee merkittävästi vähemmän epäsäännöllisen muotoisista kuiduista valmistetus-
 30
 35

sa paalissa, mikä osoittaa tilan oleellisen yhtenäisesti täyttävän luonteen.

Villaeristemateriaalin tilan yhtenäisesti täyttävä luonne voidaan lisäksi osoittaa mittaamalla lämmönjohtavuus. Rakennuseristetuotteiden kvantitatiivinen määrittely perustuu niiden kykyyn hidastaa lämpövirtausta. Lämpövirtausvastus eli R-arvo on yleisin mitta eristetuotteen kyvylle hidastaa lämpövirtausta rakenteesta. R-arvo määritellään seuraavalla yhtälöllä: $R\text{-arvo} = t/k$, jossa R-arvo on lämpövirtausvastus, jonka yksikkö on $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ($\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}/\text{Btu}$), t on paksuus palautuneena, jonka yksikkö on mm (in) ja k on lämmönjohtavuus, jonka yksikkö on $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ [$\text{Btu} \cdot \text{in}/(\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F})$].

Lämmönjohtavuus eli k-arvo on materiaalin lämmönjohtokyvyn mitta. Mitä pienempi materiaalin k-arvo on, sitä parempi kyseinen materiaali on siten eristeenä. Mitä yhtenäisempi materiaalin ristikkorakenne on, sitä parempi on myös kyseisen materiaalin eristyskyky. Niinpä lämmönjohtavuus voi olla eristemateriaalin tilan yhtenäisesti täyttävän luonteen mitta.

Tämän keksinnön mukaiset eristetuotteet johtavat k-arvojen olennaiseen pienenemiseen tekniikan tasoa vastaaviin arvoihin nähden tuotteen tiheyden ja kuitujen läpimitan ollessa sama. Kun kyseessä on villaeristemateriaali, jonka tiheys on määrätty, $4,8 - 9,6 \text{ kg/m}^3$ ($0,3 - 0,6 \text{ lb/ft}^3$), ja kuitujen läpimitta määrätty, tämän keksinnön mukaisten villapaalien k-arvot ovat 10 - 17 k-pistettä pienempiä kuin tekniikan tasoa vastaavien parhaiden tuotteiden. Tiheyden ollessa tällainen yksi k-piste eli k-arvon tuhannesosa vastaa noin $\frac{1}{2}$ % lasivillan tiheydestä, joka tarvitaan vastaavan termisen suorituskyvyn saavuttamiseksi. Niinpä tämän keksinnön mukainen villaeristemateriaali vaatii noin 5 - 8,5 % vähemmän lasia kuin tekniikan tasoa vastaava materiaali samojen k-arvojen heijastamiseksi ja vastaavan R-arvon aikaansaamiseksi. Vertailukelpoi-

sia massasäästöjä havaitaan tiheydeltään keskinkertaisissa ja suurissa eristemateriaaleissa. Keksinnön mukaisten eristetuotteiden parantuneet k-arvot ovat edullisesti pienempiä kuin noin $0,0432 \text{ W/(m}\cdot^{\circ}\text{C)}$ [$0,300 \text{ Btu}\cdot\text{in}/(\text{h}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F})$] tiheyden ollessa $8,0 \text{ kg/m}^3$ ($0,5 \text{ lb/ft}^3$) ja kuidun tehollisen läpimitan ollessa $5 \mu\text{m}$. Parannetut k-arvot ovat edullisimmin pienempiä kuin noin $0,0425 \text{ W/(m}\cdot^{\circ}\text{C)}$ [$0,295 \text{ Btu}\cdot\text{in}/(\text{h}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F})$] tiheyden ollessa $8,0 \text{ kg/m}^3$ ($0,5 \text{ lb/ft}^3$) ja kuidun tehollisen läpimitan ollessa $5 \mu\text{m}$.

Eristetuotteet pakataan voimakkaasti kokoonpuristaen suuremman eristemäärän kuljettamiseksi määrättyssä tilassa, kuten kuorma-autossa. Eristetuote puretaan pakauksesta asennuspaikassa, ja tuote laajenee eli palautuu. Paksuutta, johon eristetuote palautuu, kutsutaan palautumispaksuudeksi. Eristemateriaalia tarvitaan jokin määrätty paksuus jonkin määritellyn R-arvon aikaansaamiseksi.

Eristetuotteen palautumiskyky riippuu sekä kokoonpuristamattoman tuotteen tiheydestä että tiheydestä, johon tuote puristetaan. Villaeristemateriaalit voidaan luokitella yleisesti kolmeen laajaan ryhmään; pieni-, keski- ja suuritiheyksiset. Pienitiheyksiset eristetuotteet ovat sellaisia, joiden tiheys on alueella $4,8 - 9,6 \text{ kg/m}^3$ ($0,3 - 0,6 \text{ lb/ft}^3$). Keskitiheyksiset eristemateriaalit ovat sellaisia, joiden tiheys on alueella $9,6 - 14,4 \text{ kg/m}^3$ ($0,6 - 0,9 \text{ lb/ft}^3$). Suuritiheyksiset villaeristemateriaalit ovat sellaisia, joiden tiheys on yli 16 kg/m^3 ($1,0 \text{ lb/ft}^3$).

Kokoonpuristustiheys on tiheys, johon villalevy voidaan puristaa kuljetusta varten säilyttäen silti tyydyttävä palautuminen. Jos tuote puristetaan liian suureen tiheyteen, voi oleellinen osa lasikuiduista katketa. Seurauksena on, ettei tuote palaudu tyydyttävään paksuuteen. Tekniikan tasoa vastaavilla, suorista kuiduista valmistetuilla pienitiheyksisillä eristetuotteilla suurin mahdollinen kokoonpuristustiheys on käytännössä noin $48 - 96 \text{ kg/m}^3$ ($3 - 6 \text{ lb/ft}^3$) tuotteen tiheydestä riippuen.

Tämän keksinnön mukaisilla pienitiheyksisillä villaeristemateriaaleilla saadaan tulokseksi dramaattisesti parantuneet palautumisominaisuudet. Tämä palautumiskyvyn paraneminen johtuu epäsäännöllisen muotoisten kuitujen ainutlaatuisesta muodosta ja ominaisuuksista. Tämän keksinnön mukaisten epäsäännöllisen muotoisten lasikuitujen sideaineettoman luonteen vuoksi kuitujen voitaisiin odottaa liukuvan puristuksen alaisena, kuten tekniikan tasoa vastaavat sideaineettomat suorat kuidut tekevät. Epäsäännöllisen muotoiset kuidut eivät kuitenkaan pääse liukumaan kovin kauas, koska epäsäännöllinen muoto tarttuu naapurikuituihin ja merkittävä liikkuminen estyy siten. Lisäksi ei ole olemassa sideainetta, joka aiheuttaisi jännitystä kuituihin lähellä risteyskohtia. Tämän keksinnön mukaiset epäsäännöllisen muotoiset kuidut sen sijaan kiertyvät ja taipuvat jännityksen lievittämiseksi. Niinpä kuitujen asemat säilyvät ennallaan ja palautumiseen käytettävissä oleva mahdollinen energia varastoituu kuituun. Tämä varastoitunut energia vapautuu, kun puristus poistetaan ja kuidut palaavat palautuneeseen asemaansa.

Termi palautumissuhde määritellään tämän keksinnön yhteydessä palautumistiheyden suhteeksi kokoonpuristustiheyteen, kun eristetuote on puristettu kokoonpuristustiheyteen, poistettu pakkauksesta ja sen on annettu palautua palautumistiheyteen standardin ASTM C167-90 mukaisesti. Esimerkiksi eristetuoteella, joka on puristettu tiheyteen 96 kg/m^3 (6 lb/ft^3) ja joka palautuu tiheyteen 8 kg/m^3 ($0,5 \text{ lb/ft}^3$), palautumissuhde on 12:1. Tämän keksinnön mukaisia pienitiheyksisiä villalevyjä voidaan puristaa suunnilleen alueella $96 - 288 \text{ kg/m}^3$ ($6 - 18 \text{ lb/ft}^3$) olevaan kokoonpuristustiheyteen, ja ne palautuvat suunnilleen alueella $4,8 - 9,6 \text{ kg/m}^3$ ($0,3 - 0,6 \text{ lb/ft}^3$) olevaan palautumistiheyteen. Tämä merkitsee alueella 12:1 - noin 50:1 olevaa palautumissuhdetta. Keksinnön mukaiset eristetuotteet puristetaan edullisesti suunnilleen alueella 144 -

288 kg/m³ (9 - 18 lb/ft³) olevaan kokoonpuristustiheyteen, ja ne palautuvat suunnilleen alueella 4,8 - 9,6 kg/m³ (0,3 - 0,6 lb/ft³) olevaan palautumistiheyteen. Pienitiheyksiset eristet tuotteet puristetaan edullisimmin suunnilleen alueella 144 - 240 kg/m³ (9 - 14 lb/ft³) olevaan kokoonpuristustiheyteen, ja ne palautuvat suunnilleen alueella 4,8 - 8 kg/m³ (0,3 - 0,5 lb/ft³) olevaan palautumistiheyteen.

Vaikutus, joka on tällä dramaattisella nousulla puristuksen määrässä, joka voidaan suunnata tämän keksinnön mukaisesti pienitiheyksisiin eristet tuotteisiin säilyttäen silti tyydyttävä palautumistiheys, on merkittävä. Tavanomaisten R19-eristet tuotteiden ollessa kyseessä kokoonpuristustiheys voidaan nostaa suunnilleen arvosta 65 kg/m³ (4 lb/ft³) suunnilleen arvoon 192 kg/m³ (12 lb/ft³) käyttämällä tämän keksinnön mukaisia epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja. Tämä merkitsee, että tilavuudeltaan samanlaisessa kuljeutssäiliössä, kuten kuorma-autossa tai junavaunussa, voidaan kuljettaa noin kolminkertainen eristemateriaalimäärä. Potentiaaliset kuljetuskustannussäästöt ovat valtavia. Lisäksi voimakkaammin kokoonpuristetut eristet tuotteet tarjoavat varastointi- ja käsittelytetuja tuotteen varastoinnin, jälleenmyynnin ja asennuksen yhteydessä.

Tämän keksinnön mukaisten ainutlaatuisten epäsäännöllisen muotoisten lasikuitujen aikaansaamiseksi tarvitaan erityisiä koostumuksia, jotka täyttävät joukon ehtoja. Ensimmäinen ehto koskee lämpölaajenemiskerrointa. Ei ole olemassa suoria rajoituksia, jotka koskevat joko lasin A tai lasin B lämpölaajenemiskertoimen arvoa. Lasin A ja lasin B yksittäisistä laseista tavanomaisella sauvamenetelmällä mitatut lämpölaajenemiskertoimet eroavat kuitenkin toisistaan edullisesti vähintään 2,0 ppm/°C.

Toinen ehto epäsäännöllisen muotoisten lasikuitujen tyydyttävälle kaupalliselle tuotannolle on viskositeetti-

lämpötila, joka on lämpötila, jossa lasin viskositeetti on 1 000 poisia mitattuna tavanomaisella pyörivä sylinteri-
-menetelmällä. Sitä kutsutaan yleisesti log3-viskositeet-
tilämpötilaksi. log3-viskositeetilämpötila on edullisesti
5 suunnilleen alueella 1 010 - 1 121 °C (1 850 - 2 050 °F),
edullisemmin alueella 1 037 - 1 093 °C (1 900 - 2 000 °F)
ja edullisimmin noin 1 065 °C (1 950 °F).

Yksi lasiin liittyvä lisäehto on likviduslämpötila.
Lasin likviduslämpötila on korkein lämpötila, jossa kiteet
10 ovat pysyviä sulassa lasissa. Kun aikaa on riittävästi,
likviduslämpötilaa alemmassa lämpötilassa oleva lasi kitey-
tyy. Uunissa tapahtuva kiteytyminen voi johtaa kiinteiden
hiukkasten muodostumiseen, jotka jouduttuaan kuidunmuodos-
tussyksikköön jäävät kehruulaitteen aukkoihin ja tukkivat
15 ne. Tämän keksinnön yhteydessä kaksilasikoostumuksen lasin
A ja lasin B log3-viskositeetilämpötilan ja likvidusläm-
pötilan välinen ero on kummallakin lasilla edullisest ivä-
hintään 28 °C (50 °F) ja edullisemmin noin 111 °C (200 °F)
pienempi kuin log3-viskositeetilämpötila. Ellei tätä eh-
20 toa täytetä, voi tapahtua kiteytymistä kehruulaitteen
alemmassa (ts. kylmemmässä) osassa, mikä tukkii kehruu-
laitteen aukot.

Yksi tämän keksinnön mukaiseen lasikoostumukseen
kohdistuva lisäehto on lasin kestävyys. Kestävyys liittyy
25 lasivillapaalin kahteen ominaisuuteen. Ensimmäinen on la-
sivillapaalin kyky palautua, kun se avataan asennusta var-
ten. Toinen on lasivillapaalin pitkäikäinen fysikaalinen
yhtenäisyys. Jos lasin kemiallinen kestävyys on liian pie-
ni, lasivillapaali ei asennettaessa pystyisi palautumaan
30 ajateltuun paksuuteensa. Kun villapaali ei onnistu palau-
tumaan täysin tai hajoaa liian nopeasti, tuloksena on
villapaalin kyvyttömyys riittävään eristämiseen.

Yksi käyttökelpoinen mitta eristyssovelluksiin tar-
koitetun lasikuidun kemialliselle kestävyydelle saadaan
35 mittaamalla 1 g:sta kuituja, joiden läpimitta on 10 µm,

massahäviö pidettäessä niitä 2 tuntia 0,1 l:ssa tislattua vettä lämpötilassa 96 °C (205 °F). Siten mitattu kestävyys riippuu voimakkaasti lasikuitujen koostumuksesta ja vähemmässä määrin kuidun lämpöhistoriasta. Villapaalin riittävän toimintakyvyn takaamiseksi kustakin kaksilasikoostumuksesta valmistetun kuidun massahäviön tulisi olla tässä testissä pienempi kuin noin 4 % ja edullisesti pienempi kuin noin 2,5 %. Sen lisäksi, että lasikuidun kemiallinen kestävyys riippuu voimakkaasti lasin koostumuksesta, se riippuu vähäisemmässä määrin kuidun lämpöhistoriasta. Niinpä esimerkiksi laisikuidun kuumentaminen muutamia minuutteja lämpötilassa 538 °C (1 000 °F) parantaa jossakin määrin sen kemiallista kestävyyttä. Tarkoitus on, että tässä esitetyt kemiallista kestävyyttä koskevat rajat viittaavat mittauksiin, jotka on tehty lasikuiduista, joille ei ole tehty muuta lämpökäsittelyä kuin niiden alkuperäisessä ohennuksessa käytetty. Koska lasivillaeriste sisältää tyypillisesti jonkin verran kuituja, jotka ovat kyllin ohuita ollakseen sisäänhengittävässä, jos ne katkeavat lyhyiksi paloiksi, on mahdollista, että jonkin verran kuituja voi joutua ilmaan ja tulla sisäänhengitettyiksi. Elimistössä ne joutuvat fysiologisten nesteiden vaikutuksen alaisiksi. Siinä määrin kuin kuitujen liukenemisnopeudella elimistössä on merkitystä sisäänhengitettyjen kuitujen biologiselle aktiivisuudelle, voi olla edullista tuottaa lasikuituja, joilla on suhteellisen suuri liukeneemisnopeus mainitunlaisiin nesteisiin. Lasikuitujen liukeneemisnopeus ilmaistaan liukenemisnopeusvakiona, joka mitataan kuiduille simuloidussa keuhkonesteessä lämpötilassa 37 °C (98 °F). Se riippuu voimakkaasti lasikuidun koostumuksesta ja vähemmässä määrin sen lämpöhistoriasta. Kaikissa eristekuiduissa on edullista käyttää lasikoostumuksia, joiden liukenemisnopeusvakio on vähintään 100 ng/(cm²h). Siksi kunkin kaksilasikoostumuksen kuitujen liukeneemisnopeusvakio on edullisesti vähintään 100 ng/(cm²h).

5 Samoin kuin kemiallisen kestävyysden ollessa kyseessä, kuidun myöhempi lämpökäsittely pienentää sen liukenemisnopeutta. Tarkoitus on, että raja $100 \text{ ng}/(\text{cm}^2\text{h})$ viittaa kuituihin, joista on muodostettu lopullisen tuotteen muodossa oleva villaeristepaali.

Tämän keksinnön mukaiset kaksilasikoostumukset, jotka käsittävät yhtä runsaasti boraattia ja vähän soodaa sisältävää kalkki-alumiinisilikaattikoostumusta lasina A ja yhtä runsaasti soodaa ja vähän boraattia sisältävää kalkki-alumiinisilikaattikoostumusta lasina B, täyttävät kaikki onnistuneen epäsäännöllisen muotoisen kuidun asettamat ehdot. Runsaasti boraattia ja vähän soodaa sisältävällä kalkki-alumiinisilikaattikoostumuksella tarkoitetaan, että lasikoostumuksen boraattipitoisuus on suunnilleen alueella 14 - 24 paino-% komponenttien kokonaismäärästä. Runsaasti soodaa ja vähän boraattia sisältävällä kalkki-alumiinisilikaattikoostumuksella tarkoitetaan, että lasikoostumuksen soodapitoisuus on suunnilleen alueella 14 - 25 paino-% komponenttien kokonaismäärästä.

20 Ensimmäinen lasikoostumus käsittää edullisesti painoprosentteina ilmaistuna noin 50 - 61 % piidioksidia eli SiO_2 :a, noin 0 - 7 % alumiinioksidia eli Al_2O_3 :a, noin 9 - 13 % kalkkia eli CaO :a, noin 0 - 5 % magnesiumoksidia eli MgO :a, noin 14 - 24 % boraattia eli B_2O_3 :a, noin 0 - 10 % soodaa eli Na_2O :a ja noin 0 - 2 % kaliumoksidia eli K_2O :a.

30 Toinen lasikoostumus on edullisesti koostumus, joka käsittää painoprosentteina ilmaistuna noin 52 - 60 % piidioksidia eli SiO_2 :a, noin 0 - 8 % alumiinioksidia eli Al_2O_3 :a, noin 6 - 10 % kalkkia eli CaO :a, noin 0 - 7 % magnesiumoksidia eli MgO :a, noin 0 - 6 % boraattia eli B_2O_3 :a, noin 14 - 25 % soodaa eli Na_2O :a ja noin 0 - 2 % kaliumoksidia eli K_2O :a. Selvää on, että kussakin koostumuksessa on tyypillisesti vähemmän kuin noin 1 % kokonaismäärästä erilaisia muita aineosia, kuten esimerkiksi Fe_2O_3 :a, TiO_2 :a ja SrO :a, joita ei ole tarkoituksellisesti lisätty lasiin

vaan tulevat erän formuloinnissa käytetyistä raaka-aineista.

Tämän keksinnön mukainen kaksilasikoostumus käsittää edullisemmin ensimmäistä lasikoostumusta, joka sisältää noin 52 - 57 % piidioksidia, 4 - 6 % alumiinioksidia, 10 - 11 % kalkkia, 1 - 3 % magnesiumoksidia, 19 - 22 % boraattia, 4 - 6 % soodaa ja 0 - 2 % kaliumoksidia, ja toista lasikoostumusta, joka sisältää noin 57 - 65 % piidioksidia, 2 - 6 % alumiinioksidia, 8 - 9 % kalkkia, 4 - 6 % magnesiumoksidia, 0 - 6 % boraattia, 15 - 21 % soodaa ja 0 - 2 % kaliumoksidia.

Esimerkki 1

Tämän keksinnön mukaisia epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja valmistettiin panoksittain toimivalla, tuotantokyvyltään pienellä laboratoriokehruulaitteella noudattamalla tämän keksinnön mukaista menetelmää. Valmistettiin sitten 50 g:sta kuituja neliömäisiä testivillalevyjä; näytteen mitat olivat 203 mm x 203 mm (8 x 8 in). Näiden testineliöiden palautuminen mitattiin vertaamalla paksuutta palautuneena paksuuteen kokoonpuristettuna. Näytteitä pidettiin 1 viikko puristettuina tiheyteen 192 kg/m³ (12 lb/ft³).

Tekniikan tasoa vastaavan tavanomaisen sideainetta sisältävän eristetuohteen palautumissuhde oli 18:1. Tekniikan tasoa vastaavan tavanomaisen sideaineettoman villajeristemateriaalin palautumissuhde oli 14,4:1. Tämän keksinnön mukaisen sideaineettoman epäsäännöllisen muotoisen villajeristemateriaalin palautumissuhde oli alueella 32:1 - 34:1 kolmella testatulla näytteellä.

Esimerkki 2

Mitattiin villajeristemateriaalin lämmönjohtavuus tiheyden ollessa 8,0 kg/m³ (0,5 lb/ft³) ja läpimitan ollessa 5 µm käyttämällä ASTM-testiä C518. Testattaessa 20 näytettä tavanomaisen sideaineellisen villalevyn keskimääräinen k-arvo oli 0,308. Kun testattiin 20 näytettä tämän

keksinnön mukaista epäsäännöllisen muotoista villaeristemateriaalia, keskimääräinen k-arvo oli 0,291, jolloin ero on 17 k-pistettä. Koska 1 k-piste edustaa karkeasti ottaen $\frac{1}{2}$ % lasia, tämän keksinnön mukainen villaeristemateriaali
5 vaatii 8,5 % vähemmän lasia kuin tekniikan tasoa vastaava materiaali saman R-arvon saavuttamiseksi.

Patenttivaatimukset

1. Lasikuitueristetuote, t u n n e t t u siitä, että se käsittää epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja, joilla on tilan oleellisen yhtenäisesti täyttävä luonne.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että epäsäännöllisen muotoiset lasikuidut ovat riittävästi yhteenkietoutuneita, niin että eristetuote pysyy yhtenäisenä riippuessaan oman painonsa alaisena.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että epäsäännöllisen muotoiset lasikuidut käsittävät kahta keskenään erilaista lasikoostumusta, joilla on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet, joiden ero on suurempi kuin noin $2,0 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$.

4. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 3 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että sen k-arvo on pienempi kuin noin $0,0432 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ [$0,300 \text{ Btu}\cdot\text{in}/(\text{h}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F})$] tiheyden ollessa $8,0 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($0,5 \text{ lb}/\text{ft}^3$) ja kuidun tehollisen läpimitan ollessa $5 \text{ }\mu\text{m}$.

5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että sen k-arvo on pienempi kuin noin $0,0425 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ [$0,295 \text{ Btu}\cdot\text{in}/(\text{h}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F})$] tiheyden ollessa $8,0 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($0,5 \text{ lb}/\text{ft}^3$) ja kuidun tehollisen läpimitan ollessa $5 \text{ }\mu\text{m}$.

6. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 5 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että epäsäännöllisen muotoiset lasikuidut ovat sideaineettomia.

7. Lasikuitueristetuote, t u n n e t t u siitä, että se käsittää epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja, joilla on peruskaarevuus kaksilasiluonteen ansiosta ja joissa tapahtuu kaareutumistason kiertymistä, epäsäännöllistä kääntymistä stokastisen vaimennusympäristön vuoksi.

8. Lasikuitueristetuote, joka käsittää epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja, t u n n e t t u siitä, että

epäsäännöllisen muotoisten kuitujen kiertyminen muuttuu yhdestä suunnasta vastakkaiseen suuntaan keskimäärin vähintään 0,3 kertaa kuidun pituussenttimetriä kohden.

5 9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että kiertymissuunnan muutosten keskimääräinen esiintymistiheys on noin 0,5 - 5,0 senttimetriä kohden.

10 10. Patenttivaatimuksen 8 tai 9 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että sen k-arvo on pienempi kuin noin $0,0432 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ [$0,300 \text{ Btu}\cdot\text{in/(h}\cdot\text{ft}\cdot\text{°F)}$] tiheyden ollessa $8,0 \text{ kg/m}^3$ ($0,5 \text{ lb/ft}^3$) ja kuidun tehollisen läpimitan ollessa $5 \mu\text{m}$.

15 11. Lasikuitueristetuote, t u n n e t t u siitä, että se käsittää epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja, joita on kierretty kuidunmuodostusprosessin aikana, jolloin kiertymismäärän standardipoikkeaman suhde keskimääräiseen kiertymismäärään on suurempi kuin noin 0,75, edullisesti suurempi kuin 1,0, ja edullisemmin suurempi kuin 5.

20 12. Jonkin patenttivaatimuksen 8 - 11 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että epäsäännöllisen muotoiset lasikuidut ovat sideaineettomia.

25 13. Jonkin patenttivaatimuksen 8 - 12 mukainen eristetuote, t u n n e t t u siitä, että epäsäännöllisen muotoiset lasikuidut käsittävät kahta keskenään erilaista lasikoostumusta, joilla on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet, joiden ero on suurempi kuin noin $2,0 \text{ ppm/°C}$.

30 14. Lasikuitueristetuote, t u n n e t t u siitä, että se käsittää epäsäännöllisen muotoisia lasikuituja, joille on tunnusmerkillistä kierteisyys, jonka ovat aiheuttaneet sattumanvaraiset muutokset kiertymisessä kuidun alueella pituussuunnassa katsottuna.

15. Epäsäännöllisen muotoinen lasikuitu.

35 16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen epäsäännöllisen muotoinen lasikuitu, t u n n e t t u siitä, että se on sideaineeton.

17. Patenttivaatimuksen 15 tai 16 mukainen epä säännöllisen muotoinen lasikuitu, t u n n e t t u siitä, että se käsittää kahta keskenään erilaista lasikoostumusta, joilla on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet, joiden ero
5 on suurempi kuin noin 2,0 ppm/°C.

18. Jonkin patenttivaatimuksen 15 - 17 mukainen epä säännöllisen muotoinen lasikuitu, t u n n e t t u siitä, että kyseisten kahden lasikoostumuksen lämpölaajenemiskertoimien ero on suurempi kuin noin 4,0 ppm/°C, edullisesti suurempi kuin noin 5,0 ppm/°C.
10

19. Epä säännöllisen muotoinen lasikuitu, t u n n e t t u siitä, että sillä on peruskaarevuus kaksilasiluonteeseen ansiosta ja siinä tapahtuu kaareutumistason kiertymistä, epä säännöllistä kääntymistä stokastisen vaimennusympäristön vuoksi.
15

20. Epä säännöllisen muotoinen lasikuitu, t u n n e t t u siitä, että kiertyminen muuttuu yhdestä suunnasta vastakkaiseen suuntaan keskimäärin vähintään 0,3 kertaa kuidun pituussenttimetriä kohden.
20

21. Patenttivaatimuksen 20 mukainen epä säännöllisen muotoinen lasikuitu, t u n n e t t u siitä, että kiertymisuunnan muutosten keskimääräinen esiintymistiheys on noin 0,5 - 5,0 senttimetriä kohden.

22. Epä säännöllisen muotoinen lasikuitu, t u n n e t t u siitä, että sitä on kierretty kuidunmuodostusprosessin aikana, jolloin kiertymismäärän standardipoikkeaman suhde keskimääräiseen kiertymismäärään on suurempi kuin noin 0,75, edullisesti suurempi kuin noin 1,0, ja edullisemmin suurempi kuin noin 5,0.
25

23. Epä säännöllisen muotoinen lasikuitu, t u n n e t t u siitä, että sille on tunnusmerkillistä kierteyisyys, jonka ovat aiheuttaneet sattumanvaraiset muutokset kiertymisessä kuidun alueella pituussuunnassa katsottuna.
30

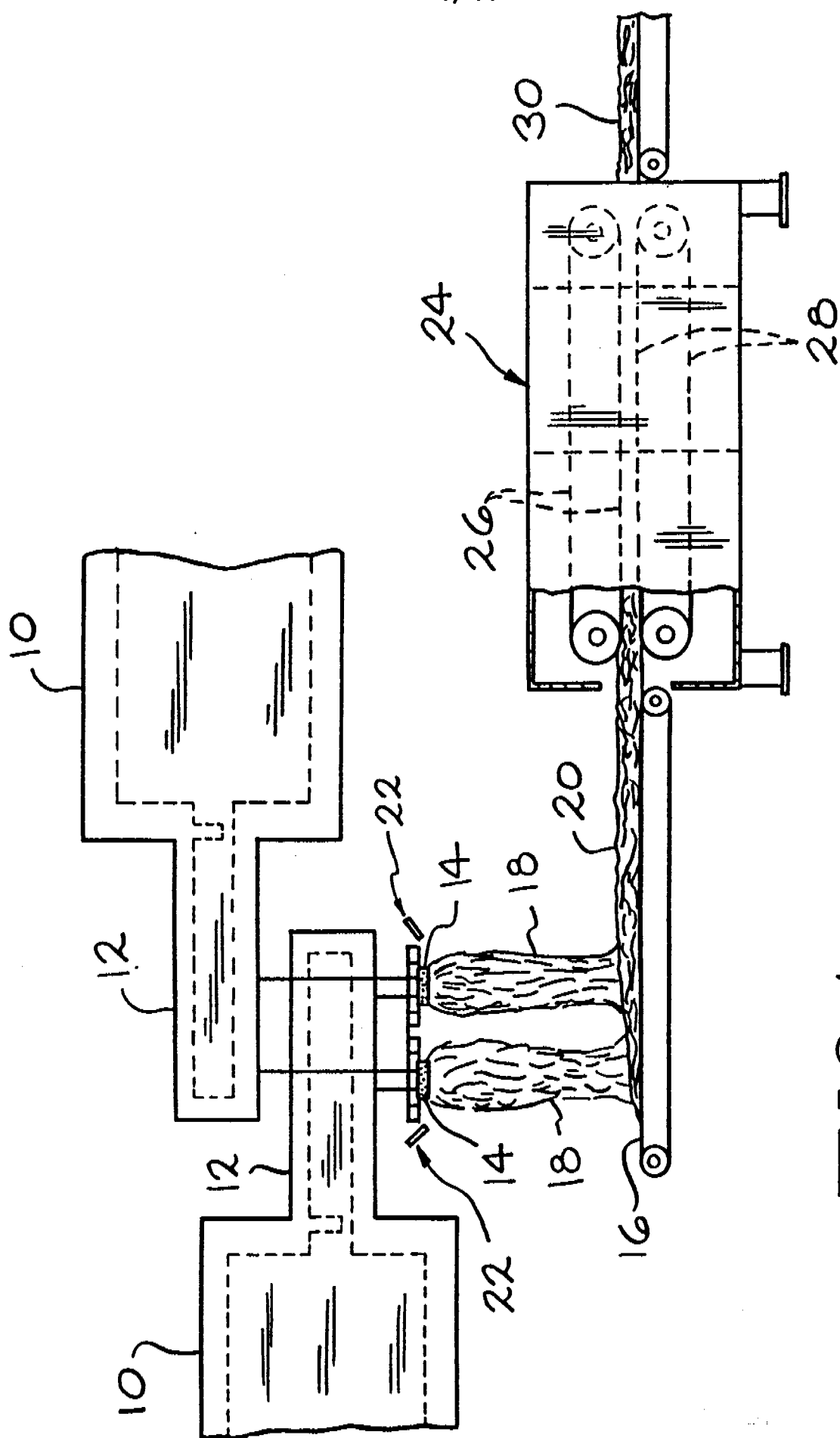
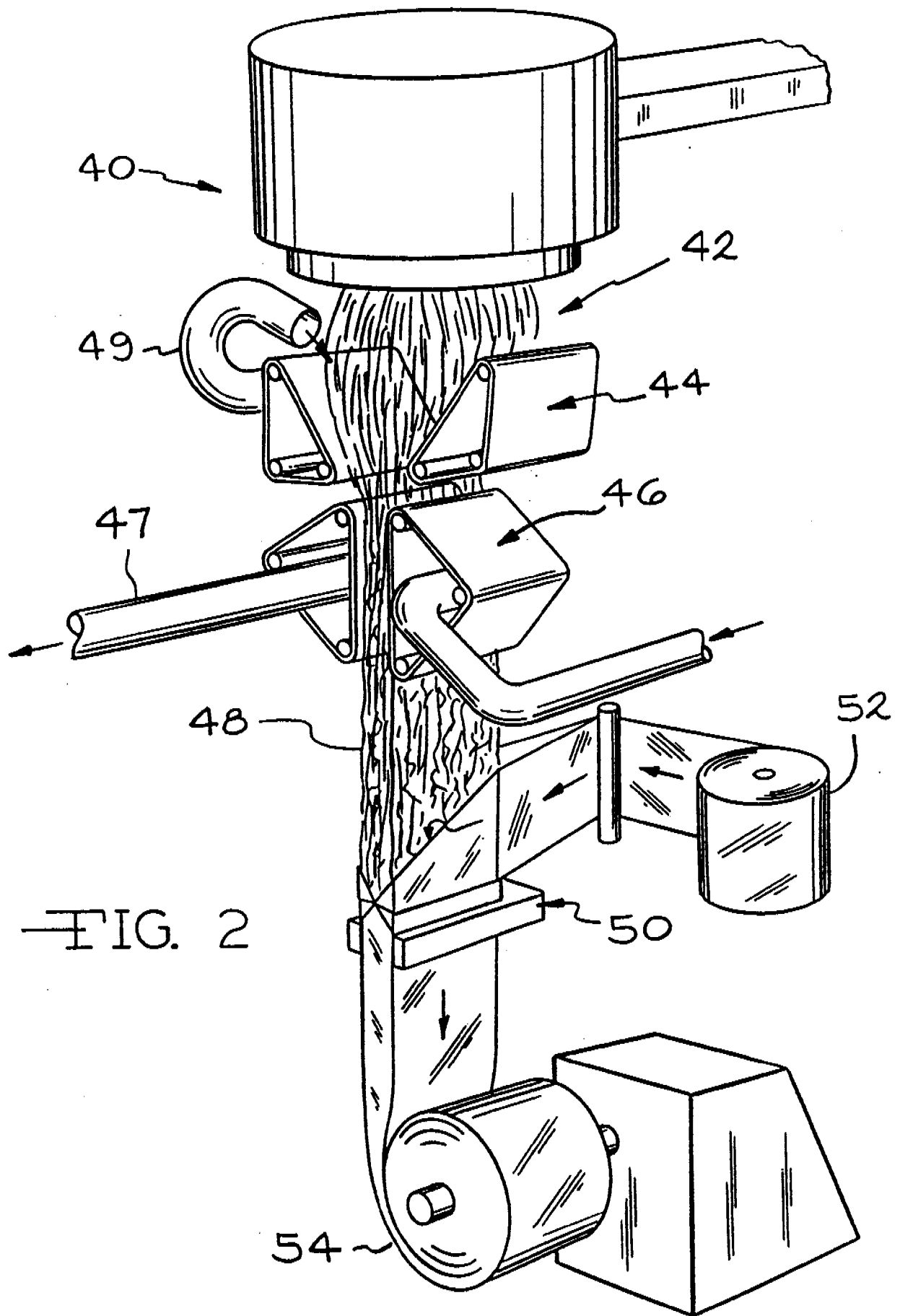


FIG. 1



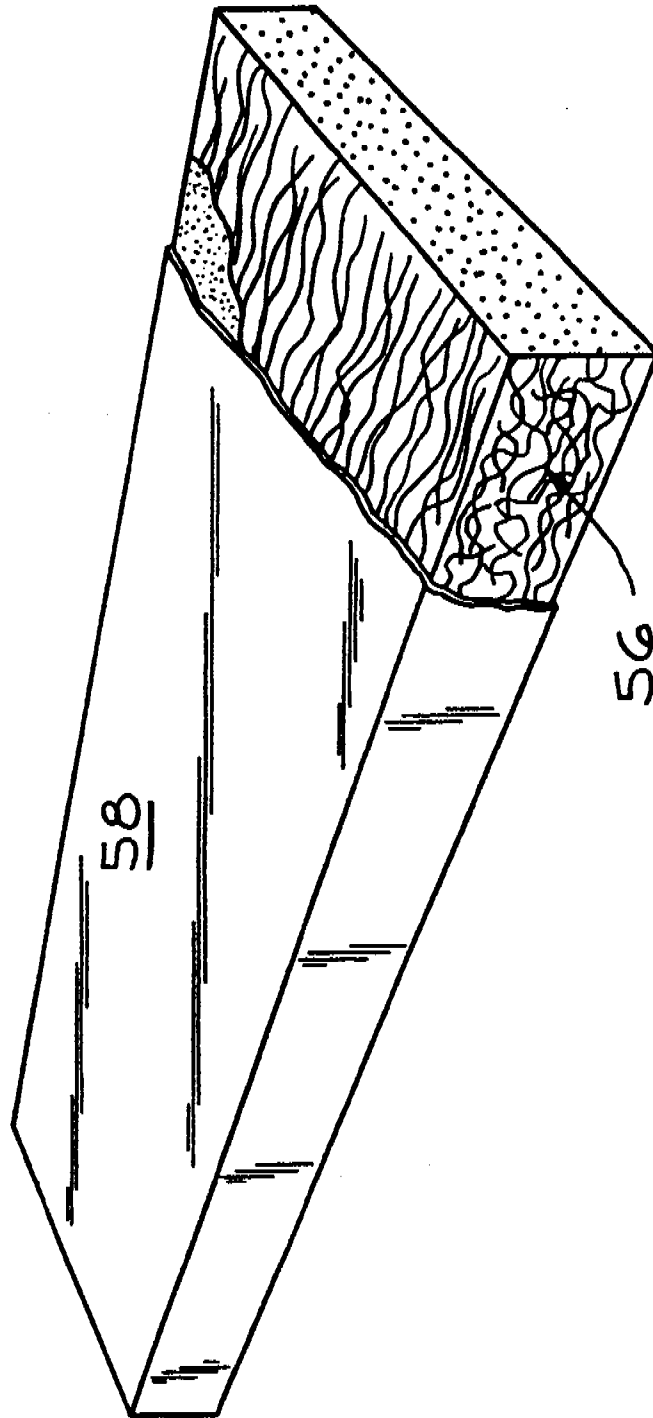
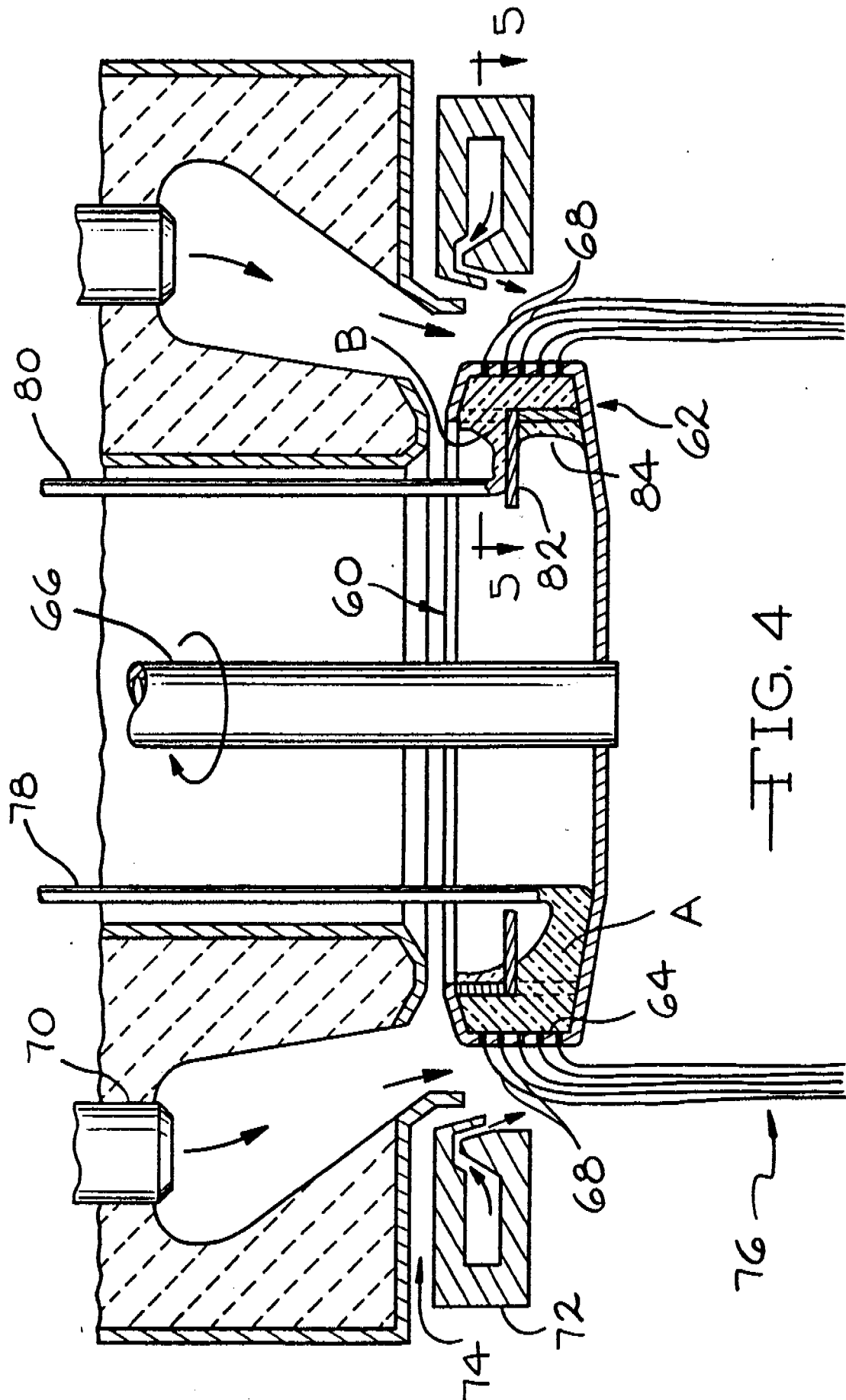


FIG. 3



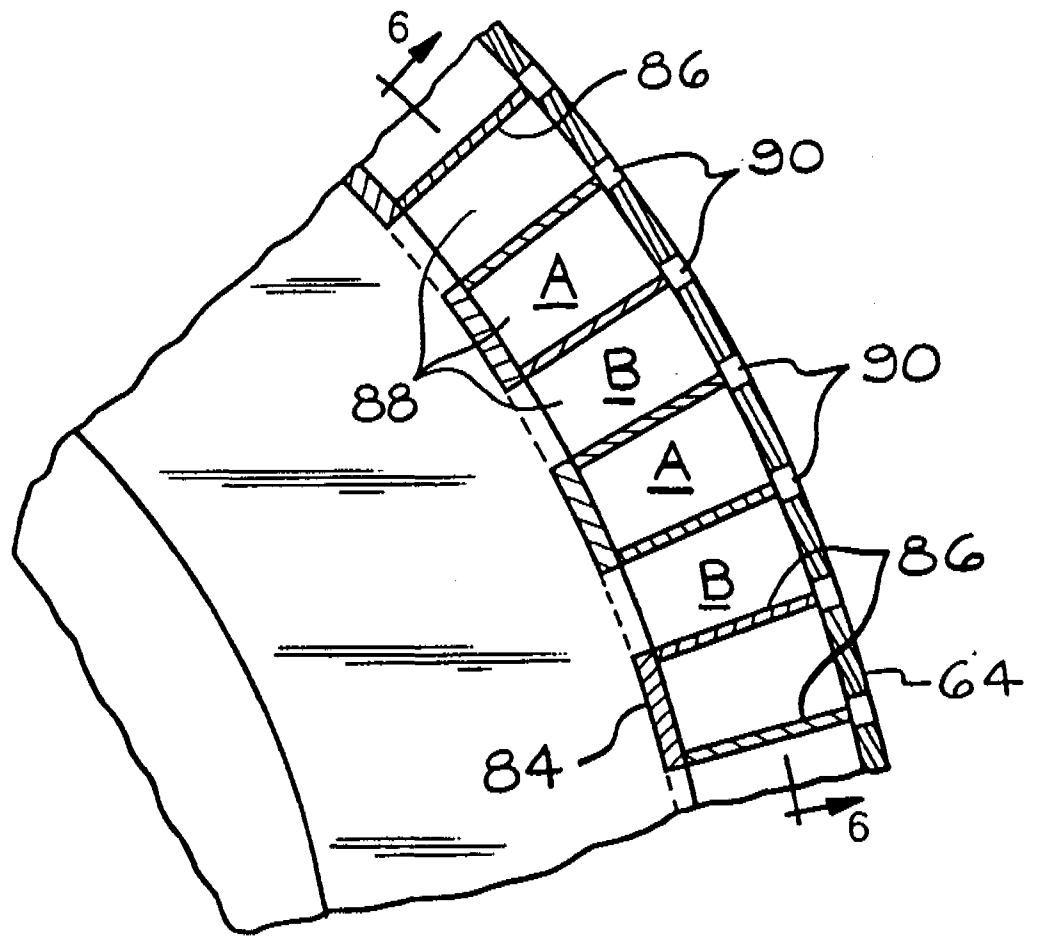


FIG. 5

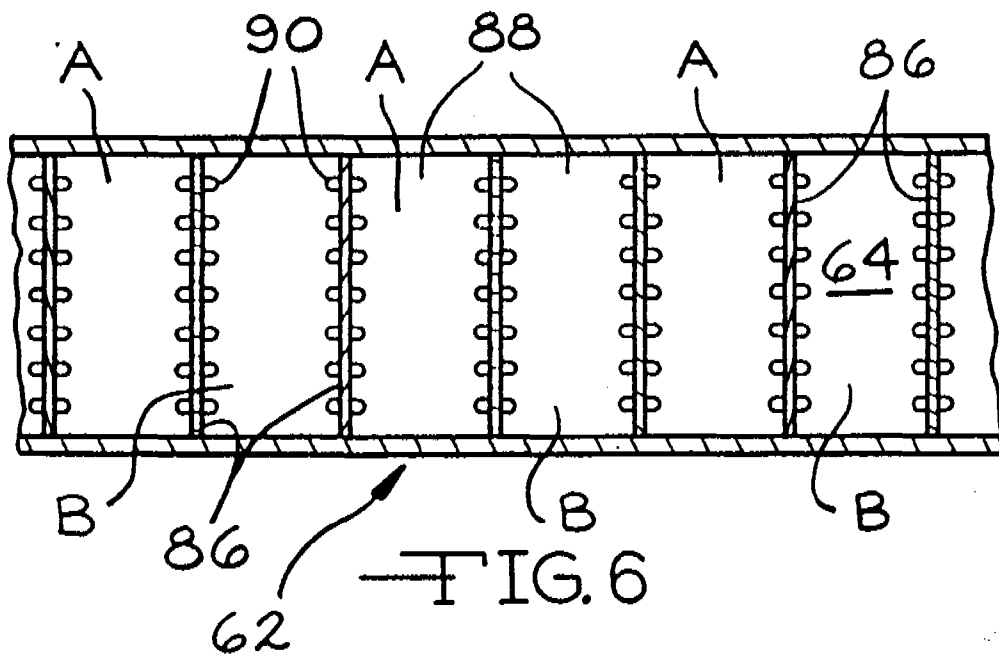


FIG. 6

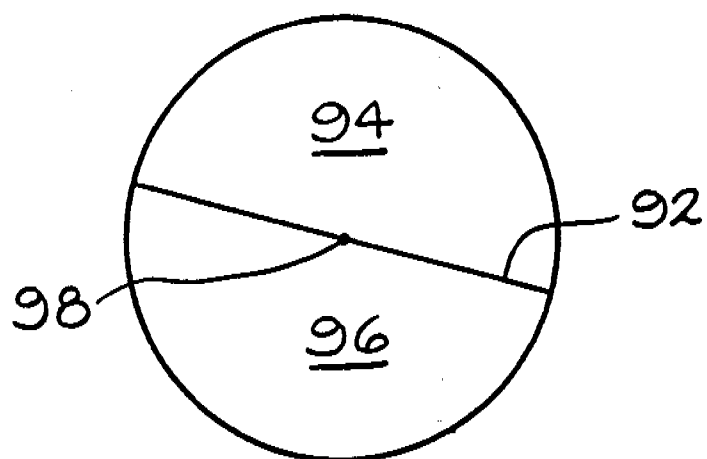


FIG. 7

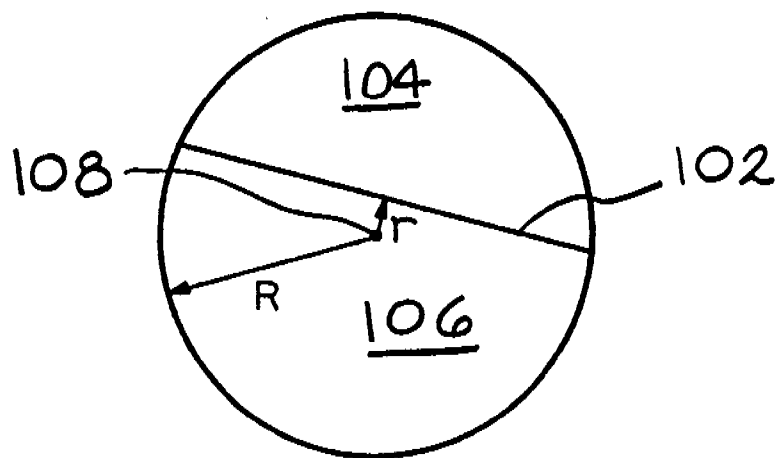


FIG. 8

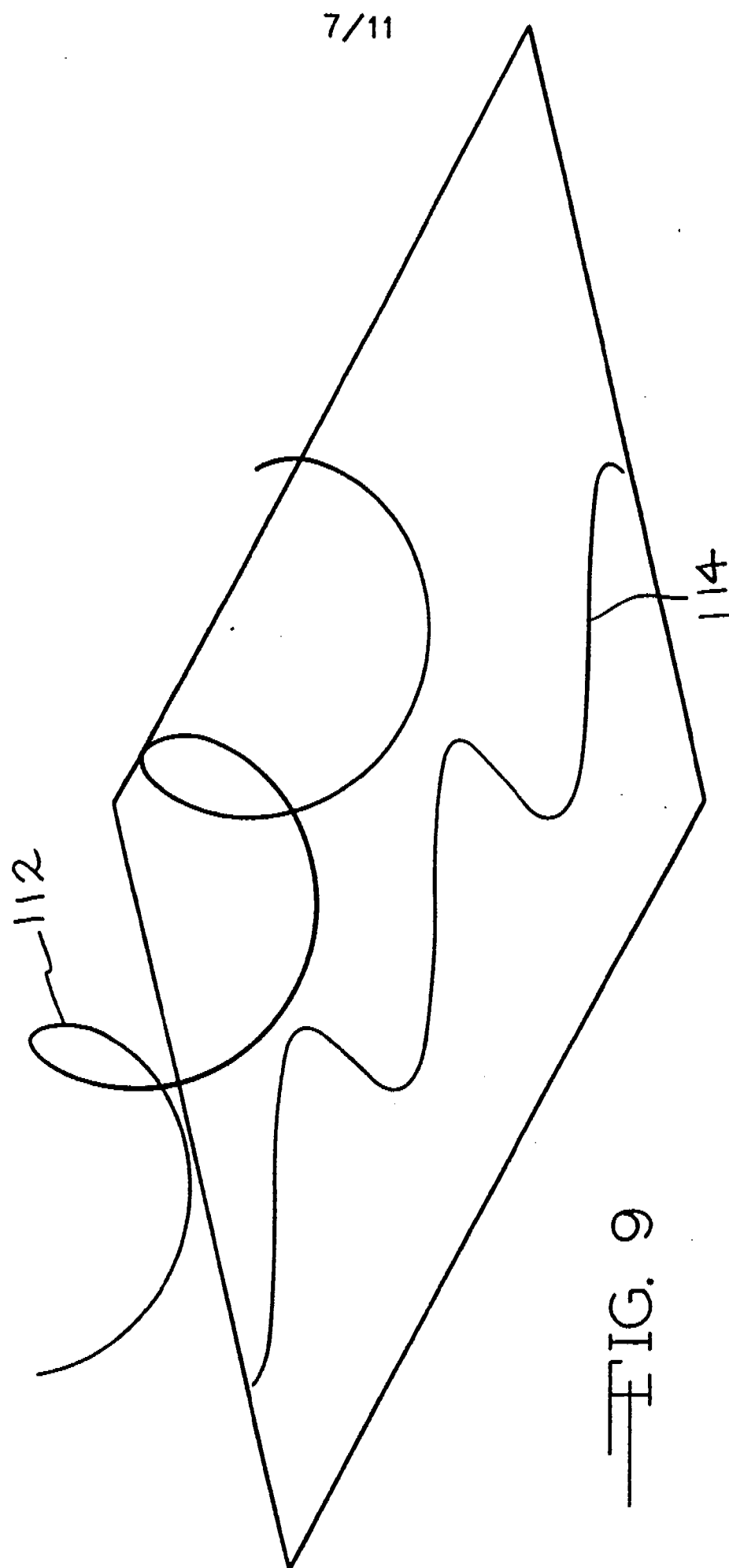


FIG. 9

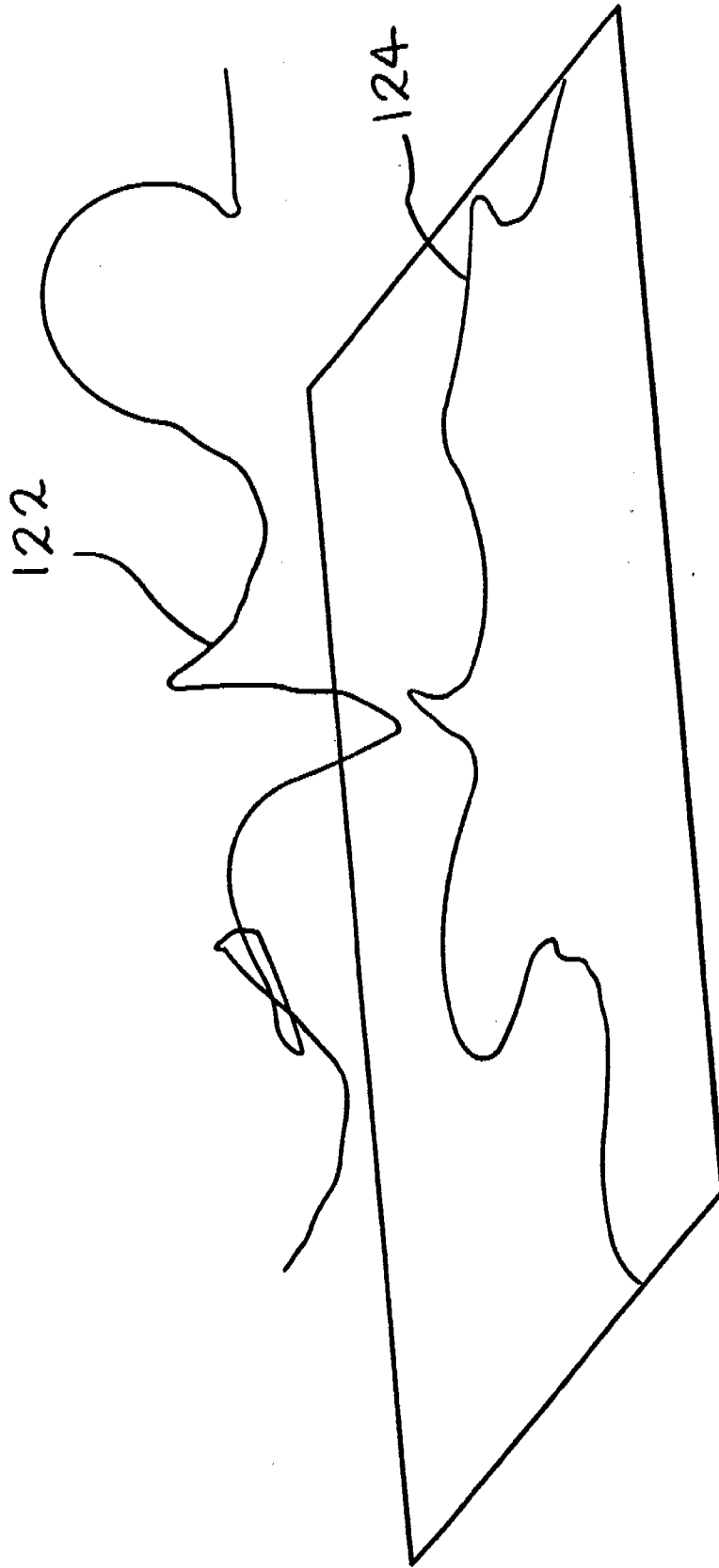


FIG. 10

9/11

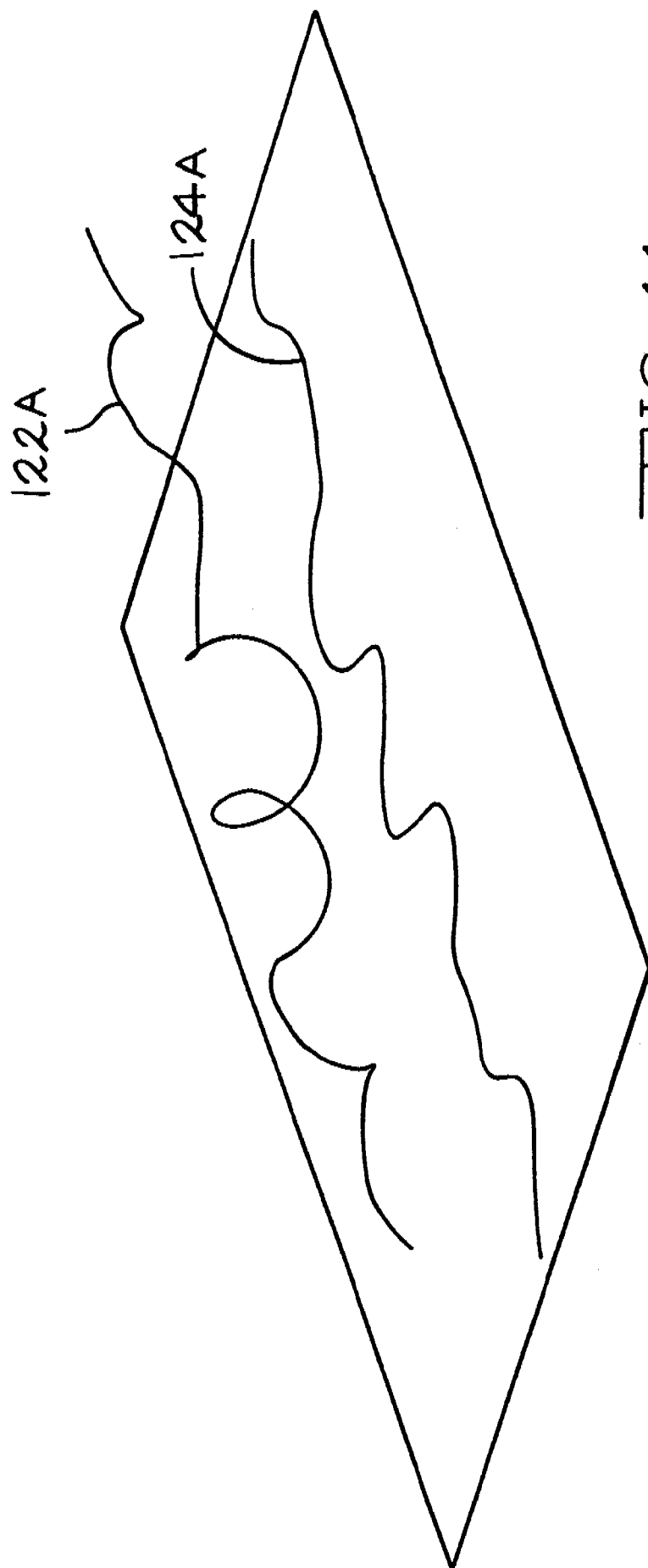


FIG. 11

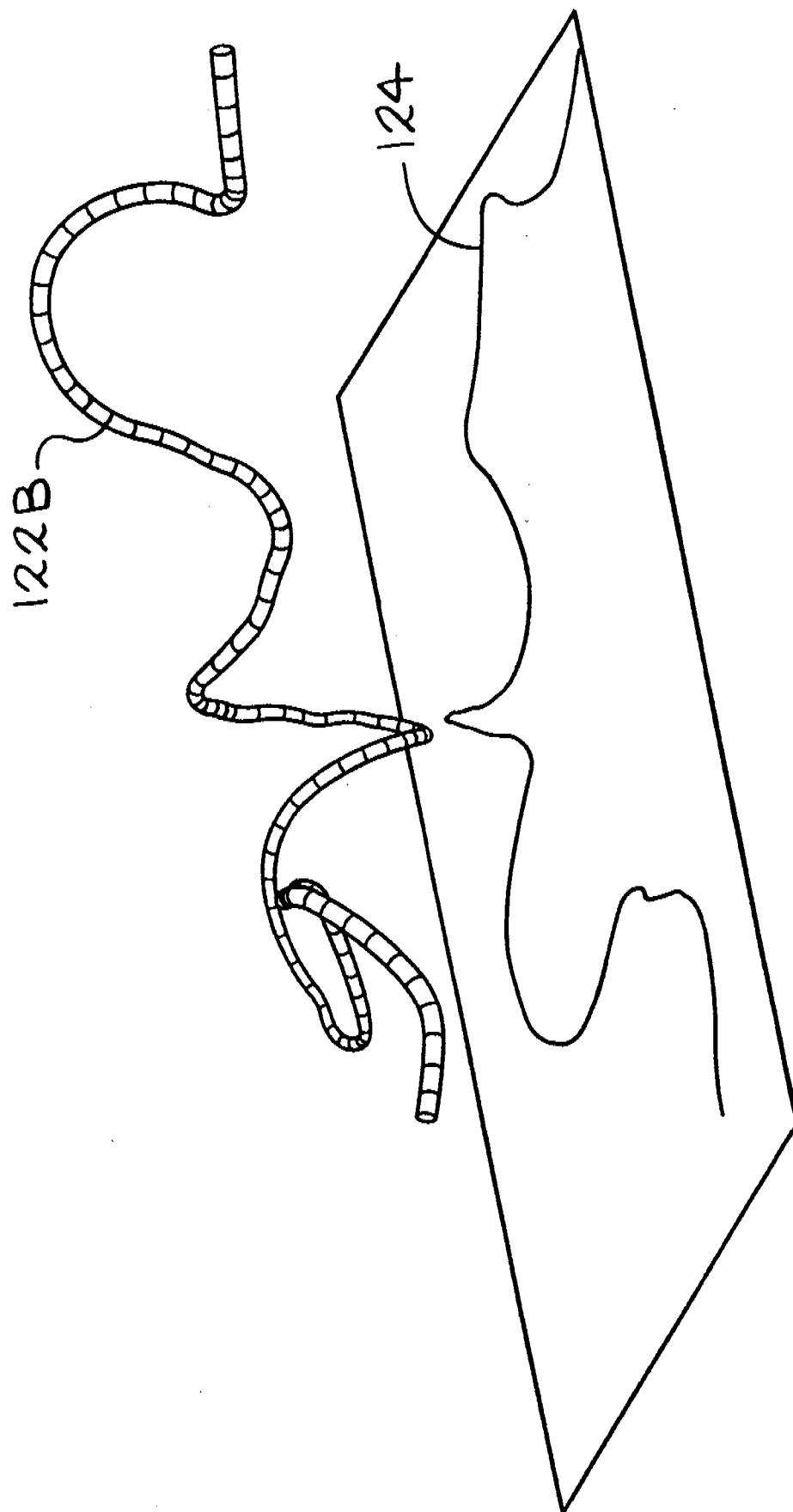


FIG.12

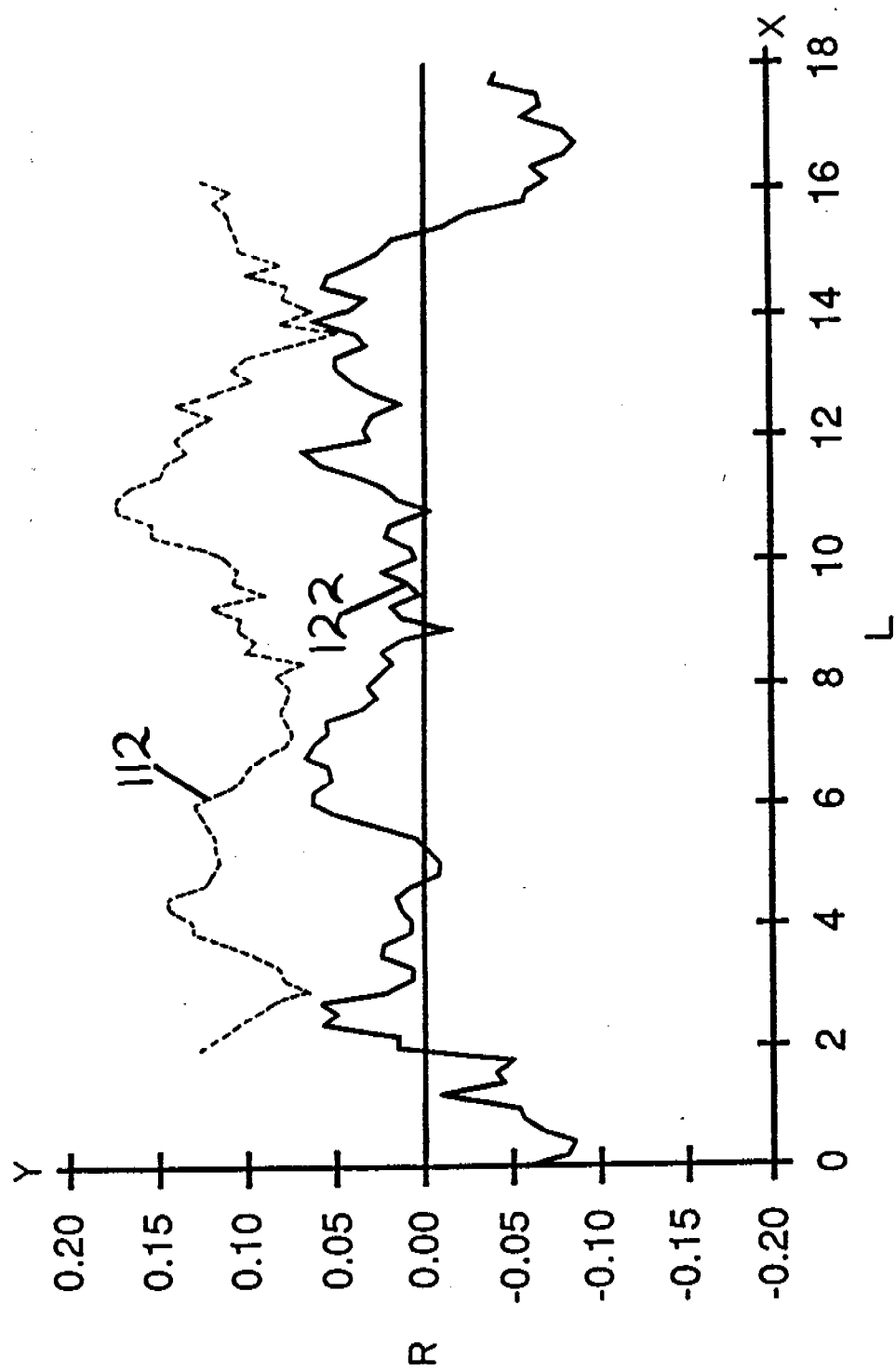


FIG. 13