



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 017 762 B4** 2010.07.08

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 017 762.2**

(22) Anmeldetag: **12.04.2006**

(43) Offenlegungstag: **18.10.2007**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **08.07.2010**

(51) Int Cl.⁸: **H01F 3/04** (2006.01)
H01F 1/28 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

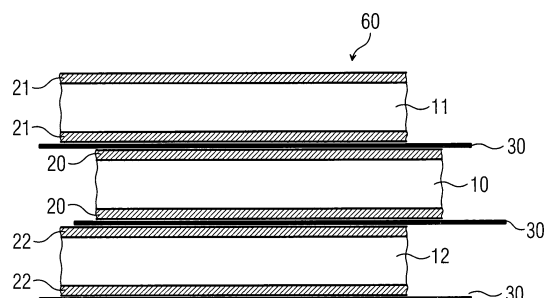
Christian, Jochen, Dr., 90574 Roßtal, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	30 33 378	A1
DE	7 61 728	A
US	2003/00 19 096	A1
US	2002/01 58 744	A1
US	64 16 879	B1
DE	43 37 605	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Laminieren eines Elektrobandes für Transformatorenkerne**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung von ferromagnetischen Kernblechen (60) für elektrische Maschinen und ein erstes Elektroband (10) und zumindest ein zweites Elektroband (11) aus einem ferromagnetischen Material mittels einer Verbindungsschicht (30) miteinander verbunden sind, wobei die Elektrobänder (10, 11) zumindest teilweise von einer Isolationsschicht (20, 21) umhüllt und die Isolationsschicht (20) des ersten Elektrobandes (10) mit der Isolationsschicht (21) des zweiten Elektrobandes (11) mittels einer Verbindungsschicht (30) miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsschicht (30) eine metallurgisch hergestellte Schicht zwischen den Isolationsschichten (20, 21, 22) ist, die durch zeitweises Kristallisationsglühen erzeugt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von ferromagnetischen Kernblechen für elektrische Maschinen.

[0002] Der Betrieb einer elektromagnetischen Maschine, wie z. B. ein Leistungstransformator oder eine Drossel, erfordert eine genau abgestimmte Konzeption der elektrischen Maschine hinsichtlich der Bauform und der verwendeten Materialien. Die Kerne von Leistungs- und Verteilungstransformatoren bestehen daher häufig aus kornorientierten, ferromagnetischen Siliziumstahl. Dies ist deshalb notwendig, da der im Kern sich ausbreitende zeitabhängige magnetische Fluss auch elektrische Verluste erzeugt. Zum einen werden Ummagnetisierungsverluste durch die zyklische Umkehrung der Magnetisierungsrichtung im Kern generiert. Ebenfalls werden in dem Kern Wirbelströme induziert, die senkrecht zum sich ausbreitenden magnetischen Fluss orientiert sind. Zur Verminderung der Wirbelstromverluste werden daher Transformatorkerne nicht massiv, sondern aus geschichteten Einzelblechen eines kornorientierten ferromagnetischen Siliziumstahls hergestellt.

[0003] Zur Vermeidung von Ummagnetisierungsverlusten werden die Kernbleche in der Art und Weise behandelt, dass eine verbesserte Kornorientierung und eine Oberflächenbehandlung der Elektrobleche zu einer glasartigen Isolationsschicht, wie z. B. Fosterit, ausgebildet wird. Kornorientiertes Elektroband entsteht aus kaltgewalztem Warmband. Kaltwalzen mit zwischenzeitlichem Entkohlungs-, Kristallisations- und Entspannungsglügen erzeugt eine regelmäßige metallurgische Kristallstruktur mit ausgeprägter Vorzugsrichtung der Magnetisierbarkeit.

[0004] Eine Oberflächenbehandlung mit Magnesiumoxid führt während des Kristallisationsglühens zur Ausbildung einer isolierenden, glasartigen Deckschicht (Fosterit). Das nachfolgende Aufbringen einer Phosphorlösung mit anschließender Trocknung bildet eine abschließende Isolierschichtlage aus (Phosphat). Die Isolierbeschichtung wird meist auf beiden Oberflächen des kornorientierten Elektrobandes aufgebracht.

[0005] Eine Reduktion der Ummagnetisierungsverluste wird systematisch durch eine verbesserte Kornorientierung und Domänenverfeinerung per Laser, Ätzen oder mechanische Behandlung gewährleistet. Die Minderung der Wirbelstromverluste wird wesentlich durch die magnetisch effektive Dicke des Kernblechs beeinflusst. Je dünner das Kernblech ist, desto geringer sind die Wirbelstromverluste. Zur Vermeidung der Wirbelstromverluste wird kein massiver Transformatorkern verwendet, sondern der Kern aus entsprechend dünnen Elektroblechen schichtweise aufgebaut.

[0006] Herkömmlicherweise ist der Fertigungsprozess so gestaltet, dass ein kernorientiertes Elektroband als ein zum Teil mehrfach kalt gewalztes Warmband gefertigt und mit zwischenzeitlichem Entkohlungs-, Kristallisations- und Entspannungsglügen eine metallurgisch veränderte Kristallstruktur mit einer ausgeprägten Vorzugsrichtung der Magnetisierung erzeugt wird. Die Oberflächenbehandlung erzeugt die oben beschriebene isolierende glasartige Deckschicht (Fosterit und Phosphat).

[0007] Das so gefertigte und behandelte Elektroband wird als einlagige Rolle in einer Längsteilanlage in Teilrollen geschnitten. Anschließend erfolgt eine Querteilung beziehungsweise das Stanzen der endgültigen Kernbleche für den Transformatorkern. Der Stanzprozess erfolgt entweder innerhalb der Prozesslinie der Längsteilung des Elektrobandes oder im Rahmen eines separaten Stanzprozesses. Die so gestanzten Kernbleche werden anschließend in einer Kernlegevorrichtung manuell oder automatisch zu einem Transformatorkern geschichtet.

[0008] So beschreibt die US 2002/0158744 A1 eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung von großen Transformatoren mit geschichteten Kernblechen.

[0009] Des Weiteren offenbart die US 6,416,879 B1 eine entsprechende eisenhaltige Materialzusammensetzung als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Kernblechen um somit die Ummagnetisierungsverluste und die Wirbelstromverluste in einem mit diesem Material geschichteten Kern zu minimieren.

[0010] Gleiches gilt für die DE 43 37 605 A1, die ein Verfahren zur Erzeugung von kornorientierten Elektrobandern und daraus hergestellte Magnetkerne offenbart.

[0011] So beschreibt die US 2003/0019096 ein geschichtetes magnetisches Material in Form von Eisencobalt durch die Einlage von Aluminium zwischen den Eisencobaltschichten unter Temperatur- und Druckeinwirkung eine Isolations- und Verbindungsschicht. Des Weiteren offenbart die DE 30 33 378 A1 ein Elektroblechlaminat, wobei die einzelnen Bleche mittels eines Haftmittels, insbesondere eines Klebers, miteinander verbunden werden.

[0012] Nachteilig bei allen Verfahren und verwendeten Kernblechstrukturen im Stand der Technik sind, dass die Breite der so hergestellten Kernbleche eine minimale Dicke von 0,23 mm nicht unterschreiten darf, da sonst im Kernfertigungsprozess das Material mechanisch zu stark beansprucht werden würde. Dies würde zu einer Verminderung der elektromagnetischen Eigenschaften der so mechanisch beanspruchten Kernbleche führen.

[0013] Aufgrund dieser fertigungstechnischen Beschränkungen ist es daher bisher nicht möglich, die mit dieser Breite der Kernbleche verbundenen Wirbelstromverluste in entsprechend mit diesen Kernblechen geschichteten Transformatorkernen weiter zu reduzieren.

[0014] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher ein Verfahren bereitzustellen, was die Fertigung von Kernblechen geringerer Dicke bereitzustellen, die auch bei einer mechanischen Beanspruchung wie z. B. beim Kernlegeprozess, nicht ihre elektromagnetischen Eigenschaften vermindern.

[0015] Die Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch die Merkmale des Patentanspruchs 1. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass ein erstes Elektrobänd und zumindest ein zweites Elektrobänd aus einem ferromagnetischen Material mit jeweils mindestens einer Isolationsschicht zumindest teilweise umhüllt ist und die Isolationsschicht des ersten Elektrobandes der Isolationsschicht des zweiten Elektrobandes mittels einer Verbindungsschicht miteinander verbunden sind. Durch die Verwendung einer Verbindungsschicht zwischen den einzelnen Elektrobändern ergibt sich der Vorteil, dass die so hergestellten Kernbleche einen schichtweisen Aufbau besitzen und damit die Wirbelstromverluste in einem mit den erfindungsgemäßen Kernblechen geschichteten Kern deutlich verringert werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen nur aus einem Elektrobänd aufgebauten Kernblech sind die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Kernbleche aus einer Schicht von Elektrobändern aufgebaut. Die Verbindungsschicht stellt dabei sicher, dass das geschichtete Gefüge der Elektrobänder eines Kernbleches auch der mechanischen Beanspruchung des Kernbleches, wie z. B. beim Fertigungsprozess oder bei der Spannungsbelastung und damit auch mechanischen Belastung des Kerns, standhält.

[0016] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist die Isolationsschicht eine metallurgisch hergestellte Deckschicht, insbesondere aus Fosterit oder Fayalit. Es wird als Vorteil angesehen, dass die Verbindungsschicht zwischen den Isolationsschichten eine Klebeschicht ist. Die Verwendung einer Fixiersubstanz zwischen den einzelnen Elektrobändern gewährleistet zum einen eine permanente Verbindung zwischen den Isolationsschichten und damit den einzelnen Elektrobändern. Die Wirbelstromverluste können deutlich reduziert werden.

[0017] Gleichzeitig gewährleistet dieser geschichtete Aufbau der Kernbleche, dass die Kernbleche eine hohe mechanische Stabilität besitzen und im Fertigungsprozess ohne Einschränkungen einsetzbar sind.

[0018] Die Verbindungsschicht muss dauerhaft be-

ständig gegen Mineralöl, Midel und Silikon, temperaturbeständig im Bereich -75°C bis $+200^{\circ}\text{C}$ und stark haftend an Elektrobänd sein. Lamine aus fixierten Elektroblechen müssen biegsam und im allgemein üblichen Längs- und Querteilprozess bearbeitbar sein. Die Härte der Fixierschicht darf zu keinen erhöhten Verschleißerscheinungen an den Kernblechschneidewerkzeugen führen.

[0019] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Verbindungsschicht eine metallurgisch hergestellte Schicht zwischen den Isolationsschichten ist, die insbesondere durch zeitweises Kristallisationsglühen erzeugt wird. Eine Isolationsschicht auf einem Elektrobänd für Kernbleche wird herkömmlicherweise durch eine metallurgische Bearbeitung der Oberfläche des Elektrobandes, z. B. durch Beizen oder Ätzen der Oberfläche, erzeugt. Da auch Wärmebehandlungen der Elektrobänder zur Ausbildung einer Isolationsschicht auf der Oberfläche notwendig sind, können die bisherigen Fertigungsmethoden auch für die Herstellung einer Verbindungsschicht zwischen den einzelnen Isolationsschichten genutzt werden.

[0020] Vorteilhafterweise weist die Isolationsschicht und/oder die Verbindungsschicht eine mechanische Struktur auf, die zur mechanischen Stabilität des Kernbleches beiträgt. Durch die Einlage einer Gitterstruktur, wie z. B. im Flugzeugbau, in die Verbindungsschicht kann die mechanische Stabilität der Verbindungsschicht erhöht werden. Dies gilt ebenfalls für die Verwendung von unterschiedlichen Materialien als Fixiersubstanz zur Ausbildung einer Verbindungsschicht. Auch die Isolationsschicht ist durch Zusatz einer weiteren Gitterschicht und/oder durch ortsabhängige Oberflächenbehandlung der Elektrobänder mechanisch verstärkbar.

[0021] Es wird als Vorteil angesehen, dass das erste Elektrobänd mit einer Isolationsschicht umhüllt wird, anschließend auf der Ober- und Unterseite des Elektrobandes auf den Isolationsschichten eine Verbindungsschicht aufgetragen und auf der Ober- und Unterseite der Isolationsschichten des Elektrobandes jeweils ein zweites Elektrobänd mit umhüllender Isolationsschicht auf das erste Elektrobänd mittels Pressrollen angedrückt wird. Vorteilhafterweise variiert das Elektrobänd und/oder die Isolationsschicht und/oder die Verbindungsschicht im Kernblech, so dass auch bauliche und/oder elektromechanische Gegebenheiten bei dem Schichtaufbau der Kernbleche berücksichtigt werden können.

[0022] Die Laminierung kann in bestehende Fertigungsprozesse integriert werden. Entweder als Laminierung von zwei oder mehreren einlagigen Vollrollen zur einer laminierten Vollrolle, wobei die laminierte Vollrolle als Ausgangsmaterial für den Längsteilprozess dient. Alternativ kann die Laminierung von

zwei oder mehreren einlagigen, auf Breite geschnittenen Teilbreitenrollen zu einer laminierten Teilbreitenrolle erfolgen, wobei die laminierte Teilbreitenrolle Ausgangsmaterial für den nachfolgenden Querteilprozess (Stanzprozess) ist. Ebenfalls ist denkbar, dass die Laminierung von zwei oder mehreren gestanzten Einzelblättern zu einem laminierten Kernblatt erfolgt.

[0023] Das erfindungsgemäße Verfahren bietet den Vorteil, dass eine geringere Blechdicke als herkömmlicherweise verwendet (Blechdicken $< 0,23$ mm) verwendbar ist. Hierdurch lässt sich eine systematische Verringerung der Wirbelströme im Kern bei gleich bleibenden Konstruktions- und Fertigungsaufwand erreichen. Das erfindungsgemäße Verfahren benötigt darüber hinaus keine Änderung der bisherigen Kernblechfertigungsprozesse und der bestehenden Kernlegeverfahren.

[0024] Die Aufgabe wird ebenfalls durch die Merkmale des Anspruchs 8 gelöst. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Kernblech aus einzelnen Elektrobändern aufgebaut ist, wobei die Elektrobänder jeweils eine Isolationsschicht aufweisen und die Isolationsschichten durch eine Verbindungsschicht miteinander verbunden sind. In einer vorteilhaften Ausgestaltung des ferromagnetischen Kernblechs ist vorgesehen, dass die Verbindungsschicht eine Klebeschicht ist. Alternativ ist die Verbindungsschicht eine metallurgische Verbindung zwischen den jeweiligen Isolationsschichten der Elektrobänder. Auch Kombinationen von unterschiedlichen Verbindungsarten für verschiedene Verbindungsschichten des Kernblechs sind möglich.

[0025] Weitere vorteilhafte Maßnahmen sind in den übrigen Unteransprüchen beschrieben; die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen und den nachfolgenden Figuren näher beschrieben:

[0026] [Fig. 1](#) schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens für laminierte Elektrobänder;

[0027] [Fig. 2](#) schematische Darstellung des Laminierungsprozesses von bereits gestanzten Kernblechen;

[0028] [Fig. 3](#) schematischer Schichtaufbau von drei metallurgisch behandelten Elektrobändern mit Isolationsschicht, die durch eine Klebeschicht miteinander verbunden sind;

[0029] [Fig. 4](#) schematischer Aufbau eines erfindungsgemäßen Kernbleches mit drei parallel angeordneten Elektrobändern, die mittels einer metallurgischen Verbindung als Verbindungsschicht miteinander verbunden sind.

[0030] Die Figur [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Ansicht des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens von laminierten Elektrobändern **10**, **11**, **12**. Ein mittleres Elektrobänd **10**, das entweder schon eine metallurgisch behandelte Oberfläche aufweist oder eine anderweitig aufgetragene Isolationsschicht **20** (nicht dargestellt) aufweist, wird mit einem Fixiermedium **50** besprüht. Diese auf der äußeren Isolation des mittleren Elektrobandes **10** aufgetragene Klebsubstanz bildet eine Verbindungsschicht **30**, auf die ober- und unterseitig bezogen auf das mittlere Elektrobänd **10** weitere Elektrobänder **11**, **12** aufgetragen werden. Zwischen den Isolationsschichten **20**, **21**, **22** der jeweiligen Elektrobänder **10**, **11**, **12** wird die so gebildete Verbindungsschicht **30** durch Anpressrollen **40** verdichtet und stellt somit eine permanente und langlebige Verbindungsschicht **30**, zwischen den einzelnen Elektrobändern **10**, **11**, **12** her. Hierdurch wird zum einen eine mechanische Stabilität der so hergestellten Kernbleche **60** erreicht. Weiterhin reduziert der schichtweise Aufbau der Elektrobänder **10**, **11**, **12** zu einem Kernblech **60** die bisherige fertigungstechnische Grenze von $0,23$ mm für die Kernbleche **60**, so dass die Wirbelstromverluste in diesem Falle weiter reduzierbar sind.

[0031] Die Figur [Fig. 2](#) zeigt die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei der Herstellung von bereits gestanzten Elektrobändern **10**, **11**, **12**, die Ausgangspunkt für die Fertigung der Kernbleche **60** sind. Wie beim Verfahren gemäß Figur [Fig. 1](#) wird auf einer Isolationsschicht **20** (nicht dargestellt) eines gestanzten Elektrobandes **10** beidseitig eine Verbindungssubstanz **50** aufgetragen, die eine Verbindungsschicht ausbildet. Auf diese Verbindungsschicht **30** werden zum gestanzten Elektrobänd **10** korrespondierende weitere Elektrobänder **11**, **12** aber- und unterhalb des Elektrobandes **10** angeordnet und mittels Pressrollen **40** verpresst. Hierdurch erhält das entsprechende Kernblech **60** einen geschichteten Aufbau.

[0032] In den Figuren [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) ist ein schematischer Aufbau eines so hergestellten Kernbleches **60** gezeigt. Bei der Figur [Fig. 3](#) sind die einzelnen Elektrobänder **10**, **11**, **12** des Kernbleches **60** mittels einer Fixiersubstanz **50** miteinander verklebt.

[0033] Da der Kleber eine zusätzliche isolierende Wirkung der Verbindungsschicht **30** bereitstellt, ist es möglich, auf die Isolationsschicht **20** der Elektrobänder zu verzichten werden, da die Isolationseigenschaft ausschließlich durch die Verbindungsschicht **30** und die Isolationsschichten **21** und **22** gewährleistet sind. Alternativ kann die Verbindungsschicht **30** zwischen den Elektrobändern **10**, **11**, **12** der Kernbleche **60** auch durch ein metallurgisches Verfahren wie z. B. einem Verglühen der einzelnen Elektrobänder **10**, **11**, **12** miteinander gewährleistet werden. Hierbei gehen die einzelnen Isolationsschichten **20**, **21**, **22**

eine metallurgische Verbindung miteinander ein.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von ferromagnetischen Kernblechen (60) für elektrische Maschinen und ein erstes Elektrobänd (10) und zumindest ein zweites Elektrobänd (11) aus einem ferromagnetischen Material mittels einer Verbindungsschicht (30) miteinander verbunden sind, wobei die Elektrobänder (10, 11) zumindest teilweise von einer Isolationsschicht (20, 21) umhüllt und die Isolationsschicht (20) des ersten Elektrobandes (10) mit der Isolationsschicht (21) des zweiten Elektrobandes (11) mittels einer Verbindungsschicht (30) miteinander verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbindungsschicht (30) eine metallurgisch hergestellte Schicht zwischen den Isolationsschichten (20, 21, 22) ist, die durch zeitweises Kristallisationsglühen erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolationsschicht (20) eine metallurgisch hergestellte Deckschicht ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die metallurgisch hergestellte Deckschicht aus Fosterit oder Fayalit ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektrobänd (10) eine Kornorientierung aufweist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolationsschicht (20) und/oder die Verbindungsschicht (30) eine mechanische Struktur aufweist und somit zur mechanischen Stabilität des Kernbleches (60) beiträgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Elektrobänd (10) mit einer Isolationsschicht (20) umhüllt wird, anschließend auf der Ober- und Unterseite des Elektrobandes (10) eine Verbindungsschicht (30) aufgetragen und auf der Ober- und Unterseite des Elektrobandes (10) jeweils ein zweites Elektrobänd (11, 12) mit umhüllender Isolationsschicht (21, 22) auf das erste Elektrobänd (10) mittels Pressrollen (40) angebracht wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektrobänd (10) und/oder die Isolationsschicht (20) und/oder die Verbindungsschicht (30) im Kernblech (60) variieren

8. Ferromagnetisches Kernblech (60) für elektrische Maschinen und ein Kernblech (60) aus einzelnen Elektrobändern (10, 11, 12) aufgebaut ist, wobei die Elektrobänder (10, 11, 12) jeweils eine Isolationsschicht (20, 21, 22) aufweisen und die Isolationsschichten (20, 21, 22) durch eine Verbindungsschicht (30) miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsschicht (30) eine metallurgische Verbindung zwischen den jeweiligen Isolationsschichten (20, 21, 22) der Elektrobänder (10, 11, 12) ist.

schichten (20, 21, 22) durch eine Verbindungsschicht (30) miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsschicht (30) eine metallurgische Verbindung zwischen den jeweiligen Isolationsschichten (20, 21, 22) der Elektrobänder (10, 11, 12) ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

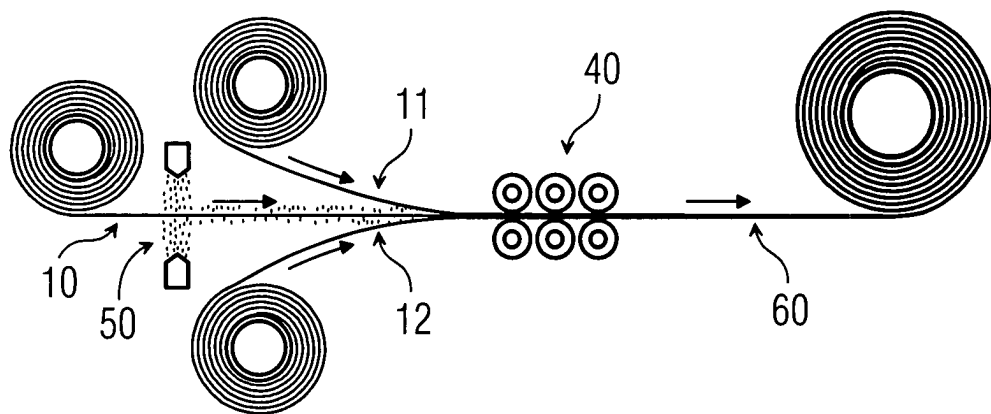


FIG 2

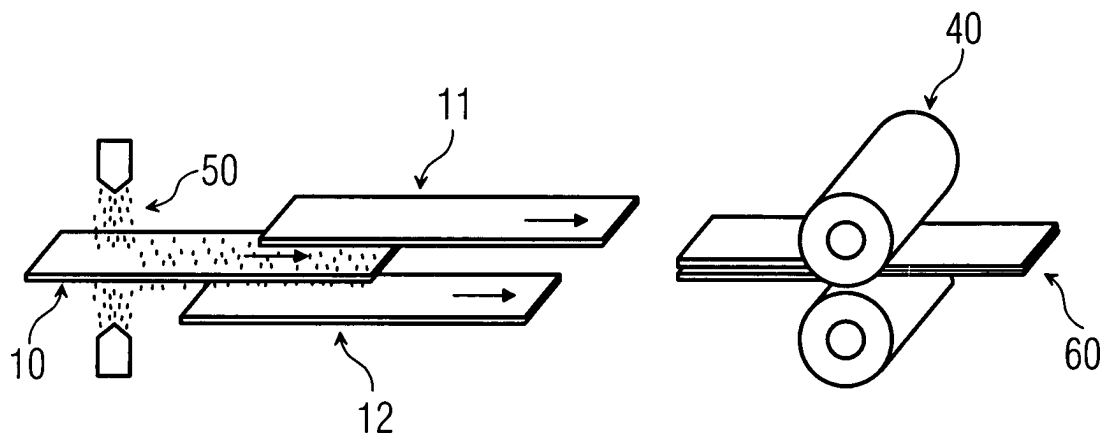


FIG 3

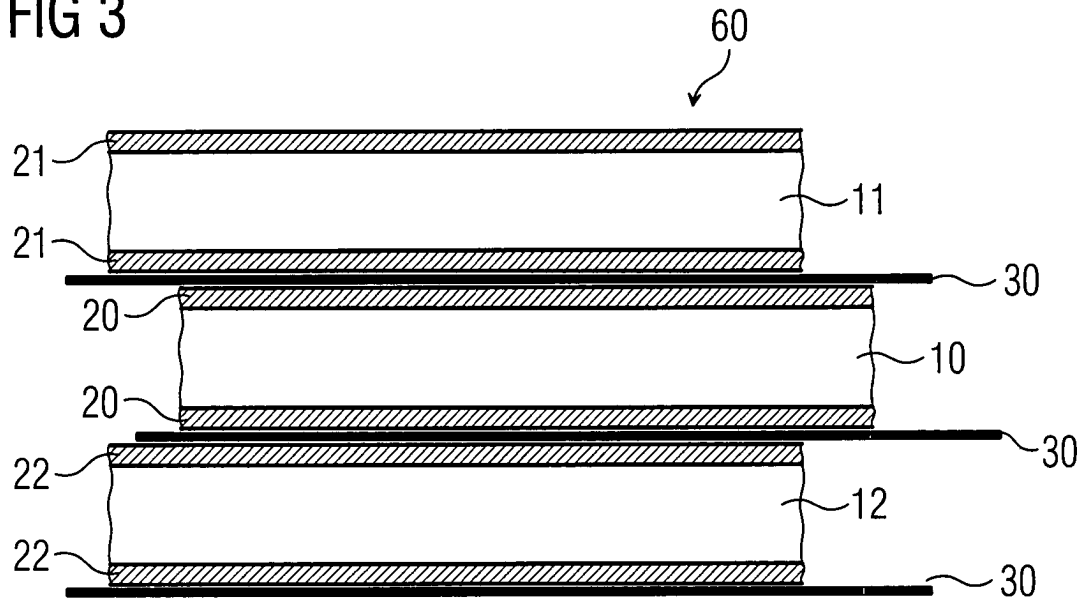


FIG 4

