

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. September 2010 (30.09.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/109272 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**H02K 15/12** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/IB2009/051264

(22) Internationales Anmeldedatum:  
26. März 2009 (26.03.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **VACUUMSCHMELZE GMBH & CO. KG** [DE/SG]; c/o Vacuumsmmelze Singapore Pte Ltd, 300 Beach Road # 31-03, The Concourse House, Singapore 199555 (SG).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GERSTER, Joachim** [DE/DE]; Burgstr. 19, 63755 Alzenau (DE). **PIEPER, Witold** [DE/DE]; Am Hallenbad 1 a, 63571 Gelnhausen (DE). **STAUBACH, Harald** [DE/DE]; Schanzenkopfstr. 26, 63755 Alzenau (DE). **FAKELMANN, Dominik** [DE/DE]; Hanauer Str. 43, 63505 Langenselbold (DE).

(74) Anwälte: **SCHWEIGER, Martin** et al.; Schweiger & Partners (Singapore) LLP, 251B Victoria Street, Singapore 188035 (SG).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

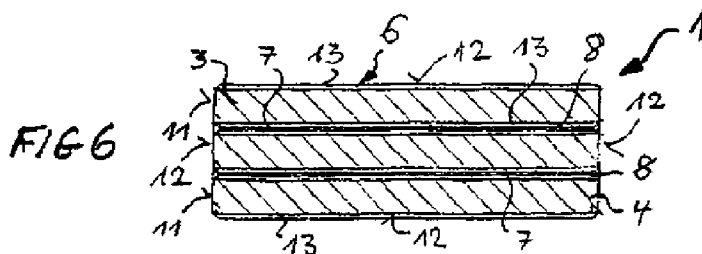
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: LAMINATED CORE HAVING A SOFT MAGNETIC MATERIAL AND METHOD FOR JOINING CORE SHEETS IN A BONDED MANNER TO FORM A SOFT-MAGNETIC LAMINATED CORE

(54) Bezeichnung : BLECHPAKET MIT WEICHMAGNETISCHEM WERKSTOFF UND VERFAHREN ZUM STOFFSCHLÜSSIGEN FÜGEN VON PAKETLAMELLEN ZU EINEM WEICHMAGNETISCHEN BLECHPAKET



(57) Abstract: The invention relates to a laminated core (1) having a soft magnetic material (3) and to a method for joining core sheets (4) in a bonded manner to form a soft-magnetic laminated core (1). The laminated core (1) comprises core sheets (4) made of soft-magnetic plates (5), which form a core sheet stack (6). The core sheet stack (6) comprises intermediate layers (7) between the core sheets (4). The intermediate layers (7) comprise a cured adhesive (8) introduced into intermediate spaces between the core sheets (4) in the state of low viscosity. For this purpose, the core sheets (4) comprise a finally annealed crystalline CoFe alloy, an adhesive-wettable top side (9), and an adhesive-wettable bottom side (10). The core sheets (4) form a dimensionally accurate laminated core (1) with the intermediate layers (7). The laminated core (1) has a substantially adhesive-free contour (12) made of outline surfaces (11) of the core sheets (4). The adhesive (8) is solvent-free in the state of low viscosity.

(57) Zusammenfassung: Blechpaket

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



---

mit weichmagnetischem Werkstoff und Verfahren zum Stoff schlüssigen Fügen von Paketlamellen zu einem weichmagnetischen Blechpaket Die Erfindung betrifft ein Blechpaket (1) mit weichmagnetischem Werkstoff (3) und ein Verfahren zum Stoff schlüssigen Fügen von Paketlamellen (4) zu einem weichmagnetischen Blechpaket (1). Das Blechpaket (1) weist Paketlamellen (4) aus weichmagnetischen Blechen (5) auf, die einen Paketlamellenstapel (6) bilden. Der Paketlamellenstapel (6) weist zwischen den Paketlamellen (4) Zwischenschichten (7) auf. Die Zwischenschichten (7) weisen einen ausgehärteten, im Zustand niedriger Viskosität in Zwischenräume zwischen den Paketlamellen (4) eingebrachten Klebstoff (8) auf. Dazu weisen die Paketlamellen (4) eine schlussgeglühte kristalline CoFe-Legierung, eine klebstoffbenetzbare Oberseite (9) und eine klebstoffbenetzbare Unterseite (10) auf. Die Paketlamellen (4) bilden mit den Zwischenschichten (7) ein maßgenaues Blechpaket (1). Das Blechpaket (1) weist dabei eine im wesentlichen klebstofffreie Kontur (12) aus Umrissflächen (11) der Paketlamellen (4) auf. Der Klebstoff (8) ist im Zustand niedriger Viskosität lösemittelfrei.

## Description

### **Title of Invention: BLECHPAKET MIT WEICHMAGNETISCHEM WERKSTOFF UND VERFAHREN ZUM STOFFSCHLÜSSIGEN FÜGEN VON PAKETLAMELLEN ZU EINEM WEICHMAGNETISCHEN BLECHPAKET**

- [1] Die Erfindung betrifft ein Blechpaket mit weichmagnetischem Werkstoff und ein Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Paketlamellen zu einem weichmagnetischen Blechpaket. Das Blechpaket weist Paketlamellen auf, die einen Paketlamellenstapel bilden. Der Paketlamellenstapel weist zwischen den Paketlamellen Zwischenschichten auf. Diese Zwischenschichten ermöglichen ein stoffschlüssiges Fügen der aufeinander gestapelten Paketlamellen zu einem Blechpaket mit weichmagnetischem Werkstoff.
- [2] Aus der Druckschrift DE 27 20 531 ist ein Verfahren zum Verkleben von beschichteten Teilen, insbesondere Blechpaketen von Elektromotoren mittels eines Epoxidharzklebers bekannt, wobei die beschichteten Teile in die gewünschte Lage gebracht werden und sodann mit dem Harz durch Kapillarwirkung getränkt werden, wobei der Epoxidharzkleber vor dem Tränken mit einem ein Lösungsmittel enthaltenden Träger vermischt wird, der die Viskosität auf eine für die Kapillarwirkung erforderliche Höhe absenkt. In der Druckschrift DE 27 20 531 wird somit die Chemie des Kapillarklebers beschrieben und die Aufgabe gelöst, einen zähflüssigen honigartigen Kleber so zu verändern, dass er niederviskos wird und als Kapillarkleber verwendet werden kann, indem ein Lösemittel oder eine Suspensionsflüssigkeit zum Kleber gemischt wird.
- [3] Durch diese Eigenschaften hat der Kleber beim Trocknen und Aushärten einen enormen Schrumpf und es kommt zu Verspannungen und zu negativen Folgen in Bezug auf die Magnetqualität der weichmagnetischen Blechlamellen. Durch eine damit verbundene erhebliche verfahrensbedingte Drucknachführung der Blechpakete ist von einer weiteren Schädigung der Magnetqualität auszugehen. Dies wirkt sich besonders negativ bei einem magnetisch hochsättigenden Blechpaket aus CoFe aus, welches immer auch eine hohe Magnetostriktion aufweisen, und führt deshalb zu Einbußen in den weichmagnetischen Eigenschaften des Blechpaketes.
- [4] Andere herkömmlichen Verfahren sind aus der Druckschrift DE 24 46 693 B2 zum Herstellen von elektromagnetischen Bauteilen, insbesondere von Drosseln bekannt. Bei diesen wird zum Bilden eines Stapels aus Kleblamellen ein Tränkharz eingesetzt, das zu nachfolgend beschriebenen Problemen führt. Ferner ist aus der Druckschrift DE 1 613 312 ein Verfahren zum Verkleben von Magnetblechen bekannt, bei dem auf die

Bleche ein Lack aufgetragen wird, was ebenfalls zu den nachfolgend aufgeführten Problemen führt.

- [5] Bei diesen herkömmlichen Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Paketlamellen wird ein Klebstoff mittels Einpinseln, Aufsprühen oder Eintauchen der einzelnen Lamellen in die Klebstoffmasse aufgetragen. Der Klebstoff besteht bei diesen Verfahren aus lösungsmittelbasierten verdünnten Klebstoffsystemen. Nach dem Abtrocknen des Lösemittels werden die trocknen, mit Klebstoff beschichteten Lamellen zu Paketen gefügt und anschließend wird der Klebstoff ausgehärtet. Bei diesen bekannten Verfahren besteht das Problem, dass nur relativ dicke und ungleichmäßige Klebstoffschichten aufgebracht werden können. Bei Kapillarverfahren werden bekannte lösemittelhaltige Klebersysteme eingesetzt, die die oben bereits beschriebenen Nachteile in punkto Magnetschädigung aufweisen.
- [6] Die Figuren 7 bis 11 zeigen beispielsweise die Herstellung von weichmagnetischen Blechpaketen gemäß dem Stand der Technik. Figur 7 zeigt dazu einen schematischen Querschnitt eines weichmagnetischen Bleches 5 aus einem weichmagnetischen Werkstoff 3, das eine Oberseite 9 und eine Unterseite 10 aufweist. Auf die Oberseite 9 und die Unterseite 10 wird, wie Figur 8 zeigt, eine Beschichtung 13 aufgebracht, welche die zu stapelnden Paketlamellen voneinander elektrisch isolieren soll. Dazu kann beispielsweise eine Schlussglühung des weichmagnetischen Bleches 5 unter Schutzgas, sowie anschließend eine Oxidationsglühung an Luft oder in einer Wasserdampfatmosphäre durchgeführt werden, um zum einen die weichmagnetischen Eigenschaften des Materials einzustellen und zum anderen eine elektrisch isolierende Beschichtung zu erreichen. Bei einer derartigen Schlussglühung ist aufgrund von Rekristallisierungsprozessen von gewalzten weichmagnetischen Blechen eine Volumenzunahme zu beobachten, die sich vor allem in einer Längen- und Breitenänderung des Blechschnitts bemerkbar macht.
- [7] In Figur 9 sind diese beschichteten weichmagnetischen Bleche 5 der Figuren 7 und 8 bereits zu Paketlamellen 4 in einem Formgebungsschritt auseinandergetrennt, wobei die Umrissflächen 11 nun den weichmagnetischen Werkstoff 3 freilegen. Ein zweiter Glühprozess kann nun durchgeführt werden, bei dem jedoch keine weitere Volumenzunahme bzw. kein weiteres Längen- und Breitenwachstum der Paketlamellen 4 mehr zu beobachten ist.
- [8] Wie Figur 10 zeigt, wird danach ein Klebstoff 8 auf eine der beiden Seiten der Paketlamellen oder auf beide Seiten 9 und 10 aufgebracht und anschließend werden mehrere Paketlamellen 4 mit dem Klebstoff 8, wie es Figur 11 zeigt, in Pfeilrichtung A aufeinander gepresst. Da eine Vielzahl von Paketlamellen 4 mit dazwischen angeordneten, relativ unregelmäßigen Klebstoffschichten 8 aufeinander gepresst werden, kommt es, wie Figur 11 zeigt, zu Verwölbungen 16 in unterschiedlichen Bereichen der

Paketlamellen 4, so dass Spannungen in das weichmagnetische Material induziert werden, welche die weichmagnetischen Eigenschaften nun wieder verschlechtern.

- [9] Darüber hinaus muss der seitlich beim Zusammenpressen der Paketlamellen 4 austretende Klebstoff 8 durch aufwändige Nachbearbeitungsschritte von den Stirn- und Umrissflächen des Blechpaketes 2 entfernt werden. Ein Nachteil derartiger Blechpakete 2 aus dem Stand der Technik besteht einerseits in der unzureichenden Parallelität der zusammengeklebten Paketlamellen und in der erforderlichen Nachbearbeitung des Blechpakets 2. Außerdem wirken sich die relativ dicken und undefinierten Klebstofffugen, die zwischen den Paketlamellen angeordnet bleiben, derart aus, dass der Füllfaktor relativ gering ist und die positiven weichmagnetischen Eigenschaften von kristallinen CoFe-Legierungen nicht ausreichend zur Geltung kommen.
- [10] Bei dem notwendigen Verspannen der zu fügenden Paketlamellen und beim Erweichen des Klebstoffs sowie beim Aushärten tritt nachteilig relativ undefiniert Klebstoff am Paketumfang bzw. an der Paketumrissfläche aus. Dieses führt dazu, dass sich nur Blechpakete mit in der Regel ungenügender Planparallelität herstellen lassen, die im Anschluss sowohl in der Dicke, als auch durch den Kleberaustritt an den Umrissflächen durch mechanische Bearbeitung auf Zeichnungsmaß gebracht werden müssen. Diese Nacharbeitsschritte können zu elektrischen Kurzschlussbrücken zwischen den einzelnen Paketlamellen führen, welche zu Wirbelstromverlusten im Paket führen. Diese Wirbelstromverluste verschlechtern die magnetischen Eigenschaften dieser Pakete.
- [11] Ein weiterer Nachteil derartig stoffschlüssig gefügter Blechpakete ist, dass die Klebstoffschicht im Verhältnis zur Dicke der Paketlamellen zu dick ist, so dass die Packungsdichte des Pakets klein ist. Dieses führt zu reduzierter weichmagnetischer Masse im Verhältnis zu dem Paketvolumen und somit können die Vorteile eines weichmagnetischen Materials, vorzugsweise aus einer CoFe-Legierung, nicht voll genutzt werden. Außerdem weist ein derartiges Blechpaket unterschiedliche Klebeschichtdicken innerhalb der jeweiligen Zwischenschichten auf, sodass die Paketlamellen eine verminderte Parallelität von dem obersten bis zu dem untersten Blech des Blechpaketes aus Paketlamellen aufweisen. Die erforderlichen mechanischen Nachbearbeitungen des Magnetmaterials des fertigen Blechpakets führen zu magnetischen Verlusten, die nach Möglichkeit zu vermeiden sind.
- [12] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Blechpaket mit weichmagnetischem Werkstoff mit deutlich verminderten Verspannungen und möglichst hoher magnetischer Sättigung zu schaffen und ein Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Paketlamellen zu einem weichmagnetischen Blechpaket mit einem möglichst hohen Füllfaktor des weichmagnetischen Materials anzugeben. Dabei sollen die oben aufgeführten Probleme im Stand der Technik überwunden werden und neben dem hohen Füllfaktor mit hohem mag-

netischem Fluss durch den Paketlängsschnitt auch engste mechanische Toleranzen und möglichst hohe Planparallelitäten des Blechpaketes erreicht werden. Daneben sollen die Ummagnetisierungsverluste des Pakets minimiert werden.

- [13] Eine möglichst steile B-H-Kurve bei niedrigen Ummagnetisierungsverlusten soll dieses Blechpaket kennzeichnen. Darüber hinaus soll beim stoffschlüssigen Fügen des Blechpaketes bereits eine hohe maßliche Genauigkeit sowie eine hohe Scherfestigkeit erreicht werden. Eine deutlich verminderte notwendige mechanische Nachbearbeitung nach dem stoffschlüssigen Fügen des Blechpaketes soll dieses Blechpaket kennzeichnen.
- [14] Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand der unabhängigen Ansprüche erreicht. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.
- [15] Erfindungsgemäß wird ein Blechpaket mit weichmagnetischem Werkstoff und ein Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Paketlamellen zu einem weichmagnetischen Blechpaket geschaffen. Das Blechpaket weist Paketlamellen aus weichmagnetischen Blechen auf, die einen Paketlamellenstapel bilden. Der Paketlamellenstapel weist zwischen den Paketlamellen Zwischenschichten auf. Die Zwischenschichten weisen einen ausgehärteten, im Zustand niedriger Viskosität in Zwischenräumen zwischen den Paketlamellen eingebrachten Klebstoff auf.
- [16] Dazu weisen die Paketlamellen im geklebten Paket eine schlussgeglühte kristalline CoFe-Legierung, eine klebstoffbenetzbare Oberseite und eine klebstoffbenetzbare Unterseite auf. Zudem können die Paketlamellen eine geringer klebstoffbenetzbare Umrissfläche aufweisen. Die Paketlamellen bilden mit den Zwischenschichten ein maßgenaues Blechpaket. Das Blechpaket weist dabei eine im wesentlichen klebstofffreie Kontur aus Umrissflächen der Paketlamellen auf. Der Klebstoff ist im Zustand niedriger Viskosität lösemittelfrei.
- [17] Ein Vorteil dieses Blechpaketes ist die hohe Maßgenauigkeit, die im Stand der Technik lediglich durch eine hohe Druckbeaufschlagung des Blechpakets beim Aushärten und Kleben, sowie durch anschließendes Schleifen der Blechpakete erreicht wird. Die hohe Druckbeaufschlagung und ein Schleifen von Blechpaketen gemäß dem Stand der Technik ist deshalb nachteilig, weil in die hochmagnetischen Paketlamellen Spannungen induziert werden, welche die Magnetwerte des weichmagnetischen Materials negativ beeinflussen und beispielsweise den  $\mu$ -Wert absenken. Außerdem kann das Schleifen zur Erzielung der Maßhaltigkeit zu elektrischen Kurzschlussbrücken zwischen den Paketlamellen führen, zumal ein Verschmieren des weichmagnetischen Werkstoffs der Paketlamellen beim Nachbearbeiten auftreten kann, was wiederum die Wirbelstromverluste des Blechpakets erhöht.
- [18] Mit dem erfindungsgemäßen Blechpaket werden deutlich geringere magnetische

Schädigungen aufgrund der Lösungsmittelfreiheit des Kapillarklebstoffs bereits bei der Fertigung von den erfindungsgemäßen Blechpaketen erreicht. Das nachfolgende erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich des Weiteren dadurch aus, dass sich maximale magnetische Leistungen durch maximal technisch mögliche magnetische Füllfaktoren d.h. Blechpakete mit geringsten Klebespalten erzielen lassen. Dazu wird ein erfindungsgemäßes Fertigungsverfahren eingesetzt, welches in einzelnen Fertigungsschritten die Schädigung des Magnetwerkstoffes durch mechanische Verspannungen und elektrische Kurzschlüsse technisch weitestgehend vermeidet und maximal zu erzielende magnetische Füllfaktoren ermöglicht.

- [19]     Gegenüber dem oben aufgeführten Stand der Technik ist folgender Unterschied anzumerken, der zu einer geringeren magnetischen Schädigung führt, nämlich das erfindungsgemäße Klebersystem, das ein völlig lösemittelfreies und nahezu schrumpffreies Epoxidharzklebersystem aufweist. Mit der Lösemittelfreiheit ergeben sich im Einzelnen folgende Vorteile:
- [20]     1. Das eingesetzte Klebesystem bzw. die Kleberkomponenten des Blechpakets sind lösemittelfrei und es muss auch für die Verarbeitung und die Anwendung kein Lösemittel zugegeben werden.
- [21]     2. Die Lösemittelfreiheit des eingesetzten Klebers verhindert den Schrumpf im Volumen beim Aushärten der bei lösemittelhaltigen Systemen durch verdampfendes Lösemittel entsteht. Hierdurch wird die mechanische Verspannung durch den Kleber der einzelnen Paketlamellen des erfindungsgemäßen Blechpakets beim Aushärten verhindert.
- [22]     3. Die Lösemittelfreiheit des eingesetzten Klebers vermeidet die Bildung von Blasen im Kleber zwischen den Paketlamellen, die zu Haftungsreduzierung und zum Austritt von erheblichen Mengen an Kleber bzw. Kleberschaum an den Spalten führt.
- [23]     4. Die Lösemittelfreiheit des eingesetzten Klebers verhindert den Druckaufbau im Paket, da kein Dampfdruck beim Aushärten entsteht. Auch hierdurch wird die mechanische Belastung die zu Schädigungen des Magnetmaterials führt vermieden und die magnetischen Eigenschaften des erfindungsgemäßen weichmagnetischen Blechpakets verbessert.
- [24]     5. Das eingesetzte Klebesystem zeichnet sich durch den äußerst geringen Schrumpf beim Härten der Kleberkomponenten im Vergleich zu anderen Systemen aus. Durch die Lösemittelfreiheit des eingesetzten Klebers sind nur geringe Arbeits- und Umweltschutzanforderungen an die Verarbeitung zu stellen.
- [25]     6. Durch den Einsatz und die Auswahl spezieller Kleber-Komponenten ist die Viskosität und Oberflächenspannung im Klebesystem so eingestellt, dass sich optimale Kapillarkräfte in den Spalten der Blechlamellen ausbilden können. Das Einbringen des Klebers in die Blechpakete erfolgt mittels Kapillarverfahren oder durch andere

geeignete dem Stand der Technik entsprechenden Verfahren zur Oberflächenbeschichtung, beispielsweise durch Einpinseln, Aufsprühen, Tauchen oder ähnlichen Verfahren. Beim Kapillarverfahren werden die Blechpakete vorzugsweise in den Kleber partiell getaucht oder der Kleberübertrag erfolgt mittels eines Zwischenträgers.

- [26] 7. Das eingesetzte Klebesystem bzw. durch das eingesetzte Verfahren können die Blechpakete im nicht ausgehärteten Zustand des Klebers auf das gewünschte Dickenendmaß eingestellt werden. Hierzu ist in diesem Zustand nur eine geringe Druckbeaufschlagung notwendig, die wiederum zu keiner Magnetschädigung führt. Durch eine Anwärmung der Blechpakete können die benötigten Kräfte zur Dickenmaßeinstellung weiter reduziert werden, so dass sich die Kräfte gleichmäßiger über das Blechpakete verteilen, was wiederum zu sehr gleichmäßigen Klebespalten über das Blechpaket führt.
- [27] 8. Unter geringem Druck kann die Höhe des erfindungsgemäßen Blechpakets auf Maßhaltigkeit eingestellt werden.
- [28] 9. Die mit Kleber versehenen Paketlamellen benötigen beim Aushärten nur eine minimale Druckbeaufschlagung. Es ist keine technisch übliche Drucknachführung wie bei vorzutrocknenden Klebersystemen notwendig, die im Stand der Technik zu Verspannung im Blechpaket und somit zur Schädigung der Magneteigenschaften führt.
- [29] 10. Die Haftfestigkeit bzw. Scherfestigkeit, so wie die Temperaturbeständigkeit des eingesetzten Klebersystems entspricht dem Stand der Technik für Epoxidharz - Klebsysteme für beschichtete Oberflächen.
- [30] 11. Die magnetischen Schädigungen und elektrischen Kurzschlüsse, welche durch eine mechanische Bearbeitung z.B. mittels Erodieren, Schleifen, Fräsen, etc. an der Kontur des geklebten Blechpakets verursacht werden, können durch eine physikalisch / chemische Reinigung beispielweise durch Ultraschallreinigung in Verbindung mit einem Beiz – oder Ätzverfahren beseitigt werden. Dadurch können die durch die elektrischen Kurzschlussbrücken gesteigerten Ummagnetisierungsverluste drastisch reduziert werden.
- [31] 12. Durch dieses Verfahren der Dickeneinstellung der Blechpakete sind Blechstapel mit technisch geringst möglichen Klebespalten herstellbar. Diese geringsten Klebespalte lassen wiederum die Fertigung von Blechpaketen mit technisch maximalen Füllfaktoren von weichmagnetischem Material zu und den daraus resultierenden maximalen Flussdichten im Querschnitt des Blechpakets.
- [32] 13. Das Klebeverfahren zeichnet sich durch einen geringen Einsatz an Produktionsmitteln wie z.B. Kleber und einen ebenfalls geringen Fertigungsaufwand aus. Somit ist das Verfahren kosteneffizient und ressourcenschonend.
- [33] 14. Durch eine geringe Aushärtetemperatur des eingesetzten Klebers von ca. 145 °C

entstehen auch beim Aushärten und Abkühlen keine wesentlichen Verspannungen im Blechpaket. Die Aushärtung erfolgt vorzugsweise z.B. in einem Warmluftumluftofen. Die geringen Spannungen entstehen üblicherweise durch die technisch nicht vermeidbaren unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem Kleber und der Beschichtung der Paketlamellen.

- [34] Sollte bei dem Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Blechpaketes auf ein nachträgliches, maßhaltiges Schleifen, um den Paketumriss auf das Zeichenmaß zu bringen, nicht verzichtet werden können, werden die sich bildenden metallischen Kurzschlussbrücken mit Hilfe eines nachfolgenden chemischen Reinigungsprozesses entfernt, um die Wirbelstromverluste zu optimieren.
- [35] Bei dem erfindungsgemäßen Blechpaket sind die Paketlamellen verwölbungsfrei und planparallel mit Klebstoffzwischen-schichten aufeinander angeordnet. Das kann dadurch erreicht werden, dass die Paketlamellen in einer entsprechenden Klebevorrichtung zwischen zwei planparallelen Festplatten fixiert werden und auf einen Bereich der Kontur der zu einem Paketlamellenstapel aufgeschichteten Paketlamellen ein Kapillarklebstoff aufgebracht wird. Die Ober- und die Unterseite der Paketlamellen weisen elektrisch isolierende und klebstoffbenetzbare Keramikschichten und/ oder Metalloxidschichten auf.
- [36] Vorzugsweise sind auf den Ober- und Unterseiten der Paketlamellen Magnesiumoxidschichten oder Zirkoniumoxidschichten oder Aluminiumoxidschichten aufgebracht. Der Werkstoff der weichmagnetischen Bleche weist zwischen  $45 \text{ Gew.}\% \leq \text{Co} \leq 52 \text{ Gew.}\%$  und etwa  $45 \text{ Gew.}\% \leq \text{Fe} \leq 52 \text{ Gew.}\%$  und ungefähr einen Anteil Vanadium im Bereich von  $0,5 \text{ Gew.}\% \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.}\%$  auf. Dabei sorgt der Gehalt an Vanadium für eine bessere Kaltwalzbarkeit und eine Erhöhung des spezifischen elektrischen Widerstandes.
- [37] Bei einem weiteren Aspekt der Erfindung ist es vorgesehen, eine CoFe-Legierung aus Eisen mit  $35,0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Co} \leq 55,0 \text{ Gew.}\%$ , vorzugsweise  $45,0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Co} \leq 52,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Ni} \leq 0,5 \text{ Gew.}\%$  und  $0,5 \text{ Gew.}\% \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.}\%$  mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen einzusetzen.
- [38] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, eine CoFe-Legierung aus Eisen mit  $35,0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Co} \leq 55,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0,75 \text{ Gew.}\% \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Zr} \leq 1,5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Ni} \leq 5,0 \text{ Gew.}\%$ , mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen einzusetzen.
- [39] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, eine CoFe-Legierung aus Eisen mit  $35,0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Co} \leq 55,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Zr} \leq 1,5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Ni} \leq 5,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{C} \leq 0,5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Cr} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ ,

0 Gew.%  $\leq$  Mn  $\leq$  1,0 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  Si  $\leq$  1,0 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  Al  $\leq$  1,0 Gew.% und 0 Gew.%  $\leq$  B  $\leq$  0,01 Gew.% mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen einzusetzen.

[40] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, eine CoFe-Legierung aus Eisen mit 48,0 Gew.%  $\leq$  Co  $\leq$  50,0 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  V  $\leq$  2,5 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  (Ta + 2 x Nb)  $\leq$  1,0 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  Zr  $\leq$  1,5 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  Ni  $\leq$  5,0 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  C  $\leq$  0,5 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  Cr  $\leq$  1,0 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  Mn  $\leq$  1,0 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  Si  $\leq$  1,0 Gew.%, 0 Gew.%  $\leq$  Al  $\leq$  1,0 Gew.% und 0 Gew.%  $\leq$  B  $\leq$  0,01 Gew.% mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen einzusetzen.

[41] Eine weitere Zusammensetzung einer Kobalt-Eisen-Vanadium-Legierung weist zusätzlich zu den oben angegebenen Eisengehalten einen Kobaltgehalt zwischen 48 Gew.-%  $\leq$  Co  $\leq$  50 Gew.-%, einen Vanadiumgehalt zwischen 1,8 Gew.-%  $\leq$  V  $\leq$  2,2 Gew.-%, einen Nickelgehalt von 0 Gew.%  $\leq$  Ni  $\leq$  0,5 Gew.-% und einen Chromgehalt von 0 Gew.%  $\leq$  Cr  $\leq$  0,1 Gew.-% auf. Neben Vanadium ist in dieser Legierung auch Niob vertreten, das zwischen 0,1 Gew.-%  $\leq$  Nb  $\leq$  0,5 Gew.-% aufweist. Der Gehalt an Magnesium und Silizium sollte jeweils 0,1 Gew.-% nicht überschreiten. Auch Stickstoff und Sauerstoff sind in der Legierung vertreten, mit 0 Gew.%  $\leq$  O  $\leq$  0,006 Gew.-% und 0 Gew.%  $\leq$  N  $\leq$  0,004 Gew.-%. Darüber hinaus können erschmelzungsbedingte und/oder zufällige Verunreinigungen vorhanden sein.

[42] Eine andere mögliche Zusammensetzung auf der Basis Eisen weist einen Kobaltgehalt zwischen 15 Gew.-%  $\leq$  Co  $\leq$  35 Gew.-% und einen Gehalt von zwischen 1 Gew.-%  $\leq$  X  $\leq$  6,5 Gew.-%, wobei X mindestens eines der Elemente Cr, Mo, V, Mn, Al ist, auf.

[43] Derartige Legierungen sind unter den Handelsnamen VACOFLUX 50, VACOFLUX 48, VACOFLUX 17, VACODUR 50 oder VACODUR S Plus bekannt, weitere dieser CoFe Legierungen tragen die Namen Rotelloy, Hiperco, Permendur oder AFK.

[44] Derartige weichmagnetische CoFe-Bleche werden vorzugsweise in einer Dicke d in Mikrometern zwischen 50  $\mu\text{m}$   $\leq$  d  $\leq$  500  $\mu\text{m}$ , bevorzugt zwischen 50  $\mu\text{m}$   $\leq$  d  $\leq$  350  $\mu\text{m}$ , bereitgestellt, wobei die Breite der aus diesen weichmagnetischen Blechen gefertigten Paketlamellen typischerweise zwischen 5 mm  $\leq$  b  $\leq$  300 mm ist.

[45] Die gute Benetzbarkeit der Oberseiten und der Unterseiten der Paketlamellen ermöglicht es, einen lösemittelfreien Kapillarklebstoff einzusetzen, der die Zwischenräume zwischen den aufeinander gepressten Paketlamellen auffüllt. Durch die Lösemittelfreiheit des Kapillarklebstoffs werden die Nachteile im Stand der Technik überwunden, da keine Lösungsmittel aus den Zwischenräumen abzuscheiden sind, was sonst zu Gasblasen und Lunkern in der dünnen kapillaren Klebstoffschicht führen kann. Darüber hinaus fördert die hohe Benetzbarkeit der Beschichtungen auf

den Ober- und Unterseiten der Paketlamellen die gleichmäßige Ausbreitung des lösungsmittelfreien Kapillarklebstoffs auf Epoxidharzbasis in den feinen Zwischenräumen zwischen den aufeinander gestapelten Paketlamellen in einer Klebevorrichtung. Das Einbringen des Klebers in die Blechpakete erfolgt mittels Kapillarverfahren oder durch andere geeignete dem Stand der Technik entsprechenden Verfahren zur Oberflächenbeschichtung.

- [46] Vorzugsweise sind die Zwischenschichten auf der Grundlage eines lösemittelfreien Kapillarklebstoffs gebildet, der eine Komponente A aus einem mittel- bis zähviskosen Epoxidharz vom Biphenol-A oder Biphenol-F-Typ, eine weitere Komponente B aus einer niedermolekularen und niederviskosen Epoxidharzverbindung mit mindestens einer zusätzlichen Komponente C, als flüssige, niederviskose Härungskomponente aufweist.
- [47] Die Komponente A aus einem mittel- bis zähviskosen Epoxidharz vom Biphenol-A oder Biphenol-F-Typ oder Gemischen hiervon, weist eine Viskosität  $\nu_A$  zwischen  $500 \leq \nu_A \leq 30.000$  mPas, ein Epoxidäquivalenzgewicht  $G_A$  zwischen  $0,2 \leq G_A \leq 0,6$  molE-poxid/100g der Komponente A und einen Masseanteil  $m_A$  am Gesamtharz zwischen  $1 \% \leq m_A \leq 25 \%$  auf.
- [48] Die Komponente B des Kapillarklebstoffs weist eine Viskosität  $\nu_B$  mit  $\nu_B \leq 100$  mPas, ein Epoxidäquivalenzgewicht  $G_B$  zwischen  $0,5 \leq G_B \leq 1,2$  molEpoxid/100g der Komponente B und einen Masseanteil  $m_B$  am Gesamtharz zwischen  $20 \% \leq m_B \leq 50 \%$  auf. Diese Komponente B kann vorzugsweise eine Verbindung aus der Gruppe Ethylenglykoldiglycidylether, Propylenglykoldiglycidylether und Butandioldiglycidylether aufweisen.
- [49] Die Komponente C weist als flüssige niederviskose Härungskomponente vom Typ Anhydridhärter mit einer Viskosität  $\nu_C$  mit  $\nu_C < 100$  mPas und einen Massenanteil  $m_C$  am Gesamtharz zwischen  $30 \% \leq m_C \leq 70 \%$  auf. Als eine derartige Komponente C kann ein Methylcyclohexandicarbonsäureanhydrid eingesetzt sein. Zusätzlich zu den Komponenten A, B und C kann auch ein Härtebeschleuniger als Komponente D vom Typ des Amins oder des Imidazols oder der Metallsalzkomplexe mit einem Massenanteil  $m_D$  am Gesamtharz zwischen  $0,01 \% \leq m_D \leq 2 \%$  vorgesehen sein.
- [50] Als Komponente D kann der Kapillarklebstoff eine Verbindung aus der Gruppe Dimethylbenzylamin, Diazabicyclononan und Ethylmethylimidazol aufweisen. Vorzugsweise weist der Kapillarklebstoff mindestens ein Additiv der Gruppe Haftvermittler, Flexibilisator, Farbstoff, Reaktivverdünner und Netzmittel auf. Dabei ist der Klebstoff geeignet, die Paketlamellen miteinander mit hoher Scherfestigkeit zu verbinden. Derartig verklebte Paketlamellen weisen vorzugsweise eine Zugscherfestigkeit des Klebers von 18 MPa und mehr auf.
- [51] Ein Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Paketlamellen zu einem weichmag-

netischen Blechpaket weist die nachfolgenden Verfahrensschritte auf. Zunächst werden Bleche eines weichmagnetischen, kristallinen CoFe-Werkstoffs mit Oberseiten und Unterseiten hergestellt. Auf die Ober- und Unterseiten wird dann eine mit Epoxidharz benetzbare Beschichtung aufgebracht. Aus diesen beschichteten weichmagnetischen Blechen werden Paketlamellen mit benetzbarer Beschichtung auf den Ober- und Unterseiten und weniger benetzbaren Umrissflächen ausgetrennt. Dabei kann eine Schlussglühung vor der Beschichtung oder auch nach der Beschichtung oder gleichzeitig mit der Beschichtung durchgeführt werden.

- [52] Das aufgeführte Schlussglühen kann auch bereits vor dem Austrennen von Paketlamellen mit benetzbarer Beschichtung auf den Ober- und Unterseiten und weniger benetzbaren Umrissflächen durchgeführt werden. Beim Schlussglühen, das bei etwa einer Temperatur  $TG$  zwischen  $700\text{ °C} \leq TG \leq 900\text{ °C}$  für 2 bis 10 Stunden durchgeführt werden kann, wird die Versetzungsdichte der Legierung verringert bzw. Spannungen abgebaut und ein grobkörniges Gefüge eingestellt, was gute weichmagnetische Eigenschaften garantiert.
- [53] Da mit der Schlussglühung ein Wachstum bzw. eine Zunahme des Volumens der weichmagnetischen Bleche und/oder Paketlamellen verbunden ist, wird bei diesem Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Paketlamellen zu einem weichmagnetischen Blechpaket die weichmagnetische Schlussglühung mindestens vor dem Verkleben der Paketlamellenstapel durchgeführt. Die Formgebung auf Endmaß erfolgt dann am fertig geklebten Paket bevorzugt mittels Erodieren oder Schleifen oder mittels Verfahren wie Fräsen, Schleifen oder Drehen.
- [54] Die ausgetrennten Paketlamellen werden danach zu einem Paketlamellenstapel in einer entsprechenden Stapelform bzw. Klebeform gestapelt. Dabei werden die Paketlamellen in einem Maße fixiert, dass nur geringe, im unteren Mikrometerbereich liegende Zwischenräume entstehen. Durch dieses Verfahren kann in vorteilhafter Weise eine Dickeneinstellung der Pakete resultieren, die Blechstapel mit den technisch geringst möglichen Klebspalten liefert. Diese geringsten Klebspalte lassen wiederum die Fertigung von Paketen mit den technisch maximalen Füllfaktoren zu und den daraus resultierenden maximalen Flussdichten im Querschnitt des Blechpakets.
- [55] Abschließend erfolgt ein stoffschlüssiges Verbinden des Paketlamellenstapels zu einem weichmagnetischen, endmaßgenormten Blechpaket unter kapillarem Eindringen von lösemittelfreiem, niederviskosem Kapillarklebstoff auf der Basis von Epoxidharz und anschließend wird der Kapillarklebstoff zu einer Zwischenschicht ausgehärtet.
- [56] Durch eine geringe Aushärtetemperatur des eingesetzten Klebstoffs von ca.  $145\text{ °C}$  entstehen auch beim Aushärten und Abkühlen keine wesentlichen Verspannungen im Blechpaket. Diese entstehen üblicherweise durch die technisch nicht vermeidbaren unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten zwischen Klebstoff und der benetzbaren

Oberflächenbeschichtung. Die Aushärtung erfolgt vorzugsweise z.B. in einem Wärmeluftumluftofen.

- [57] Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass durch den Einsatz des lösemittelfreien, niederviskosen Kapillarklebstoffs die Packungsdichte des Paketlamellenstapels und damit des weichmagnetischen Werkstoffs gegenüber bisherigen weichmagnetischen Blechpaketen deutlich erhöht werden kann. Durch den hohen Füllfaktor kann ein hoher magnetischer Fluss über dem Paketlängsschnitt erfolgen. Hohe Induktionswerte bei gegebenen H-Werten sind möglich, so dass sich eine steile B-H-Kurve ergibt. Gleichzeitig sind die Ummagnetisierungsverluste minimiert.
- [58] Durch den Einsatz des niederviskosen und lösemittelfreien Kapillarklebstoffs kann eine hohe Maßgenauigkeit auch für den Umriss des weichmagnetischen Blechpaketes erreicht werden. Dabei wird kein Klebstoff aus den Zwischenräumen, wie bei einer Lackbeschichtung oder Sprüh- oder Tauchbeschichtung herausgequetscht, sondern die Paketlamellen werden vielmehr vor dem Einbringen des Kapillarklebstoffs in der Klebeform planparallel aufeinander fixiert, bis eine hohe Parallelität von der untersten Paketlamelle bis zur obersten Paketlamelle erreicht ist. Dann erst wird der Kapillarklebstoff zum Auffüllen der Zwischenräume im Mikrometerbereich von einer Stirnseite des Paketlamellenstapels angeboten. Ferner sorgt der Kapillarklebstoff für eine hohe Scherfestigkeit aufgrund guter Haftung der Paketlamellen aufeinander. Nach dem Verkleben ist eine mechanische Bearbeitung, wenn überhaupt, dann nur noch minimal erforderlich.
- [59] Das Klebeverfahren zeichnet sich durch einen geringen Einsatz an Produktionshilfsmitteln wie z.B. Klebstoff und einen ebenfalls geringen Fertigungsaufwand aus. Somit ist das Verfahren als kosteneffizient und ressourcenschonend anzusehen und es ergibt sich eine rationelle kostengünstige Fertigung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren. Zusätzlich ist dieses Verfahren umweltfreundlich, da ausschließlich lösemittelfreie Verfahrensschritte durchgeführt werden.
- [60] Sollte, wie bereits oben erwähnt, eine mechanische Nachbearbeitung des Blechpaketes nötig sein, so ist es von Vorteil, einen chemischen Reinigungsprozess durchzuführen, um elektrische Kurzschlussbrücken zwischen den Paketlamellen des Blechpaketes, die durch die Nachbearbeitung entstanden sein könnten, wieder zu entfernen.
- [61] In einer bevorzugten Durchführungsform des Verfahrens wird bereits nach dem Aufbringen der mit Epoxidharz benetzbaren Beschichtung der weichmagnetischen Bleche oder des weichmagnetischen Bandes eine Schlussglühung des beschichteten weichmagnetischen Materials durchgeführt.
- [62] Nach der Schlussglühung kann eine zusätzliche Oxidationsglühung an Luft oder unter Wasserdampfatmosphäre durchgeführt werden, welche zu einer noch besser mit

Epoxidharz benetzbaren Oberfläche der weichmagnetischen Bleche führt. Somit ergeben sich mehrere Verfahrensvarianten für den Einsatz der Schlussglühung.

- [63] Daraus ergibt sich eine bevorzugte Verfahrensvariante, bei der beispielsweise ein CoFe-weichmagnetisches Band, das bereits eine mit Epoxidharz benetzbare Beschichtung aufweisen kann, zu Streifen geschnitten wird, die anschließend einer magnetischen Schlussglühung, bei der das Blech einem Wachstum unterworfen ist, unterzogen werden, wobei im Anschluss auch eine Oxidationsglühung zur Bildung der verbesserten benetzbaren Ober- und Unterseiten der Blechstreifen möglich ist.
- [64] Erst danach wird eine Formgebung der weichmagnetischen CoFe-Blechstreifen zu Paketlamellen durchgeführt, sodass der weniger benetzbare, weichmagnetische Werkstoff an den Umrissflächen frei liegt. Danach kann dann ein Stapeln und Verkleben mit Kapillarkleber zu einem Blechpaket erfolgen, ohne dass erhebliche Nachbearbeitungen erforderlich werden, da das Blechpaket das Endmaß bereits aufweisen kann. Sollten dennoch Nachbearbeitungen, wie Schleifen, notwendig sein, so kann durch chemisches Reinigen dafür gesorgt werden, dass bei den Nachbearbeitungen entstehende elektrische Kurzschlussbrücken zwischen den Paketlamellen entfernt werden.
- [65] Bei einer weiteren Variation kann ein derartiges weichmagnetisches CoFe-Band, das bereits eine mit Epoxidharz benetzbare Beschichtung aufweisen kann, zu Streifen geschnitten werden, und ein magnetisches Schlussglühen kann durchgeführt werden. Nach der anschließenden Formgebung der bereits schlussgeglühten Streifen zu Paketlamellen kann zur Beseitigung von entstandenen magnetischen Schädigungen ein zweiter Glühvorgang mit oder ohne gleichzeitiger oder nacheinander erfolgender Oxidation durchgeführt werden. Bei diesem zweiten Glühprozess nach der Formgebung tritt kein weiteres Wachstum oder keine weitere Volumenzunahme mehr auf, sodass die Maßhaltigkeit der Paketlamellen durch das vorher stattgefundene Formgeben des bereits als Streifen schlussgeglühten Materials erhalten bleibt.
- [66] Die zweite Schlussglühung kann analog oder zur Optimierung der Materialeigenschaften in Abhängigkeit des eingesetzten weichmagnetischen Werkstoffes durchgeführt werden. Anschließend wird ein Stapeln und Verkleben der Paketlamellen mit Kapillarkleber ohne Dimensionsänderung des Blechpaketes möglich.
- [67] Durch den zweiten Glühprozess nach der Formgebung können etwaige magnetische Schädigungen durch den Formgebungsprozess nach der ersten Schlussglühung wieder behoben werden, weiterhin können hohe mechanische Genauigkeiten der Paketlamellen eingestellt werden, da bei dem zweiten Glühprozess keine Volumenänderung der Paketlamellen stattfindet.
- [68] Ferner ist es in einer weiteren Verfahrensvariante möglich, die bereits schlussgeglühten und eine Magnesiumoxid- und/oder eine andere Metalloxidschicht,

die eventuell durch eine Oxidationsglühung an Luft oder unter Wasserdampf optimiert ist, als elektrisch isolierende und die Benetzung fördernde Schicht aufweisenden Bleche aus einem weichmagnetischen Werkstoff zu stapeln und mit einem Kapillarkleber zu verkleben. Erst im Anschluss könnte dann ein formgebendes Erodieren zu einem Blechpaket erfolgen, wobei abschließend ein physikalischer und/ oder chemischer Reinigungsprozess der Umrissflächen des Blechpaketes sinnvoll ist, um die elektrischen Kurzschlussbrücken zwischen den einzelnen Paketlamellen des Blechpaketes, die beim Erodieren entstanden sein könnten, wieder zu entfernen. Weiterhin werden mit diesem chemischen Reinigungsprozess etwaige elektrische Kurzschlussbrücken, die durch einen notwendigen mechanischen Nachbearbeitungsschritt, wie etwa Schleifen der Konturen, entstanden sind, wieder entfernt.

- [69] Anstelle von reinen Oxidschichten, die beispielsweise durch Glühen an Luft oder Glühen in Wasserdampf aufgebracht werden können, ist es auch möglich, auf den weichmagnetischen Blechen elektrisch isolierende und klebstoffbenetzbare Keramiksichten abzuscheiden, ohne gezielt Magnesiumoxidschichten, Zirkoniumoxidschichten oder Aluminiumoxidschichten durch Abscheiden, beispielsweise aus einem Plasma in einem Plasmaabscheideofen, zu erzeugen. Die einzelnen Paketlamellen können mittels Stanzen, Funkenerosion, Wasserstrahlschneiden, Ätzen oder Lasertrennen aus den beschichteten weichmagnetischen Blechen heraus getrennt werden.
- [70] In einer entsprechenden Klebevorrichtung können die Paketlamellen verwölbungsfrei und planparallel aufeinander gestapelt und fixiert werden, und von einer Stirnseite des Paketlamellenstapels aus kann ein Klebstoff auf Epoxidharzbasis mit niedriger Viskosität mittels Kapillarwirkung die Zwischenräume zwischen den Paketlamellen des Paketlamellenstapels auffüllen, ohne die restlichen Umrissflächen der Paketlamellen zu benetzen.
- [71] Die weichmagnetischen Bleche können vor der Schlussglühung auf eine Dicke  $d$  mit  $d \leq 1000 \mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen  $50 \mu\text{m} \leq d \leq 500 \mu\text{m}$  kaltgewalzt werden. Dabei hat das oben angegebene Verfahren den Vorteil, dass äußerst dünne, selbst im Bereich von  $50 \mu\text{m}$  liegende Paketlamellen planparallel und verwölbungsfrei miteinander verklebt werden können. Das weichmagnetische Schlussglühen einer CoFeV-Legierung unter Inertgasatmosphäre kann bei einer Temperatur  $T_G$  zwischen  $700^\circ\text{C} \leq T_G \leq 900^\circ\text{C}$  für unter 10 Stunden durchgeführt werden.
- [72] Bei der Schlussglühung können mehrere weichmagnetische Bleche gleichzeitig zwischen zwei Stahlplatten als Glühplatten planparallel gepresst werden. Die Stahlplatten können dabei beispielsweise mindestens eine Fläche von  $290 \times 290 \text{ mm}^2$  aufweisen.
- [73] Vorzugsweise wird als lösemittelfreier niederviskoser Kapillarklebstoff ein Klebstoff

aus mindestens drei Komponenten, nämlich einer Basiskomponente A mit relativ hoher Viskosität, sowie einer B- und einer C-Komponente geringerer Viskosität gemischt und vorzugsweise mit einer Komponente D als Aushärtebeschleuniger versehen.

- [74] Die A-Komponente ist ein mittel- bis zähviskoser Epoxidharz vom Biphenol-A oder Biphenol-F-Typ oder Gemischen hiervon mit einer Viskosität  $\nu_A$  zwischen  $500 \leq \nu_A \leq 30.000$  mPas, und ein Epoxidäquivalenzgewicht  $G_A$ , für die Komponente A liegt zwischen  $0,2 \leq G_A \leq 0,6$  molEpoxid/100g der Komponente A mit einem Masseanteil  $m_A$  der Komponente A am Gesamtharz zwischen  $1 \% \leq m_A \leq 25 \%$ .
- [75] Die B-Komponente ist eine niedermolekulare und niederviskose Epoxidharzverbindung mit mindestens zwei Epoxidharzgruppen pro Molekül. Diese Epoxidharzverbindung wird durch Umsetzung eines aliphatischen Diols mit Epichlorhydrin gebildet. Dabei wird als B-Komponente des Kapillarklebstoffs ein Material mit einer Viskosität  $\nu_B$  mit  $\nu_B \leq 100$  mPas und mit einem Epoxidäquivalenzgewicht  $G_B$  zwischen  $0,5 \leq G_B \leq 1,2$  molE-poxid/100g der Komponente B und einem Masseanteil  $m_B$  am Gesamtharz zwischen  $20 \% \leq m_B \leq 50 \%$  vorgesehen.
- [76] Die B-Komponente kann aus der Gruppe der Verbindungen Ethylenglykoldiglycidylether, Propylenglykoldiglycidylether und Butandiol diglycidylether eingesetzt werden.
- [77] Als C-Komponente wird eine flüssige, niederviskose Härungskomponente vom Typ Anhydridhärter mit einer Viskosität  $\nu_C$  mit  $\nu_C < 100$  mPas eingesetzt und dafür ein Massenanteil  $m_C$  am Gesamtharz zwischen  $30 \% \leq m_C \leq 70 \%$  vorgesehen.
- [78] Als eine derartige C-Komponente kann ein Methylcyclohexandicarbonsäureanhydrid eingesetzt werden. Ferner kann in dem Verfahren zur Herstellung stoffschlüssig verbundener weichmagnetischer Blechpakete eine härtebeschleunigende D-Komponente aus einem Amin- oder einem Imidazol-Typ oder aus Metallsalzkomplexen mit einem Massenanteil  $m_D$  am Gesamtharz zwischen  $0,01 \% \leq m_D \leq 2 \%$  vorgesehen werden. Als eine derartige D-Komponente kann eine der Verbindung aus der Gruppe Dimethylbenzylamin, Diazabicyclononan und Ethylmethyylimidazol eingesetzt werden. Auch ist es möglich, zu dem Kapillarklebstoff weiterhin Additive der Gruppe Haftvermittler, Flexibilisatoren, Farbstoffe, Reaktivverdünner und andere Netzmittel hinzuzufügen.
- [79] Die Erfindung wird nun anhand der beigefügten Figuren näher erläutert.
- [80] Figuren 1 bis 6 zeigen Prinzipskizzen zum stoffschlüssigen Fügen von Paketlamellen, ausgehend von weichmagnetischen Blechen, Streifen oder Bändern.
- [81] Figur 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein Teilstück eines weichmagnetischen Bleches, Streifen oder Bandes aus einem weichmagnetischen Werkstoff;
- [82] Figur 2 zeigt das Teilstück gemäß Figur 1 nach Aufbringen einer benetzungsfähigen Schicht auf das weichmagnetische Blech oder den Streifen oder das Band;

- [83] Figur 3 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Paketlamelle, die nach Auftrennen bzw. Formgeben des weichmagnetischen Bleches bzw. des Streifens oder des Bandes entsteht;
- [84] Figur 4 zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen Paketlamellenstapel mit aufgebrachtem Kapillarklebstoffvorrat auf eine Stirnseite des Paketlamellenstapels;
- [85] Figur 5 zeigt einen schematischen Querschnitt durch den Paketlamellenstapel, gemäß Figur 4, nach Auffüllen der Zwischenräume der Paketlamellen durch einen niedrig viskosen, lösungsmittelfreien Kapillarklebstoff;
- [86] Figur 6 zeigt einen schematischen Querschnitt des Paketlamellenstapels nach Aushärten des Kapillarklebstoffs zu Zwischenschichten eines weichmagnetischen Blechpakets;
- [87] Figuren 7 bis 11 zeigen die Herstellung von weichmagnetischen Blechpaketen gemäß dem Stand der Technik, wie er einleitend bereits erörtert wurde;
- [88] Figur 12 zeigt ein Diagramm von B(H)-Werten zweier Blechpakete aus weichmagnetischem CoFe Material mit unterschiedlichen Klebstoffsystemen;
- [89] Figur 13 zeigt ein Diagramm von Verlusten, die an zwei ringförmigen Blechpaketen aus weichmagnetischem CoFe Material, die mit unterschiedlichen Verfahren verklebt sind;
- [90] Figuren 14 und 15 zeigen REM-Aufnahmen einer erodierten Fläche eines Pakets mit Einzelblechkanten, die durch Kurzschlussbrücken elektrischen Kontakt haben;
- [91] Figuren 16 und 17 zeigen REM-Aufnahmen einer erodierten Fläche eines Pakets mit Einzelblechkanten, die nach einem Reinigungsprozess elektrisch getrennt wurden.
- [92] Figur 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein Teilstück eines weichmagnetischen Bleches 5 aus einem weichmagnetischen Werkstoff 3, der im Wesentlichen ein CoFe-Legierung aufweist und aus Eisen mit  $35,0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Co} \leq 55,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0,3 \text{ Gew.}\% < \text{Zr} \leq 1,5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Ni} \leq 5,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{C} \leq 0,5 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Cr} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Mn} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Si} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ ,  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Al} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$  und  $0 \text{ Gew.}\% \leq \text{B} \leq 0,01 \text{ Gew.}\%$  mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen besteht. Derartige weichmagnetische CoFe-Bleche werden vorzugsweise mit einer Dicke d in Mikrometern zwischen  $50 \mu\text{m} \leq d \leq 500 \mu\text{m}$  vorgesehen, wobei sie eine Breite der aus diesen weichmagnetischen Blechen gefertigten Paketlamellen zwischen  $5 \text{ mm} \leq b \leq 300 \text{ mm}$  aufweisen.
- [93] Außerdem müssen die Oberseite 9 und die Unterseite 10 mit einer Isolationsschicht versehen werden, um einzelne Paketlamellen, die aus diesen weichmagnetischen Blechen gefertigt werden sollen, voneinander elektrisch zu isolieren. Die Isolation kann durch Keramiksichten und/oder Oxidschichten erfolgen, wobei Oxidschichten bereits beim hermetischen Schlussglühen dieser weichmagnetischen Bleche 5,

beispielsweise direkt anschließend an die Schlussglühung durch eine weitere Glühung an Luft oder in Wasserdampfatmosphäre gebildet werden können.

- [94] Dabei entsteht wie Figur 2 zeigt, ein Blech 5 gemäß Figur 1, das eine elektrisch isolierende Schicht und eine benetzbare Oberseite 9 und Unterseite 10 durch einen Epoxidharzkleber aufweist. Anschließend kann das weichmagnetische Blech in einzelne Paketlamellen aufgetrennt werden, wie es Figur 3 zeigt, wobei diese Paketlamellen eine Dicke  $d$  zwischen  $50\ \mu\text{m}$  und  $500\ \mu\text{m}$  aufweisen, vorzugsweise  $50\ \mu\text{m}$  bis  $350\ \mu\text{m}$ . Die elektrisch isolierenden und benetzbaren Beschichtungen 13 auf der Oberseite 9 und der Unterseite 10 weisen eine Schichtdicke von wenigen 10 Nanometern bis wenigen Mikrometern auf.
- [95] Figur 4 zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen Paketlamellenstapel mit aufgebrachtem Kapillarklebstoffvorrat auf einer Stirnseite des Paketlamellenstapels. Der hier gezeigte Paketlamellenstapel 6 weist nur symbolisch drei Paketlamellen auf, in Wirklichkeit besteht ein solcher Paketlamellenstapel aus einer Vielzahl von Paketlamellen 4 aus einem weichmagnetischen Werkstoff 3, die in Pfeilrichtung A durch entsprechende Vorrichtungen fixiert werden und dabei planparallel und ohne Verwölbungen ausgerichtet sind.
- [96] In Zwischenräumen 15 zwischen den Paketlamellen 4 kann der Kapillarklebstoff 8 von den Raupen entlang der Trennfugen zwischen die Paketlamellen 4 bei Raumtemperatur oder relativ geringer Erwärmung des Paketlamellenstapels kapillar in die Zwischenräume 15 eindringen.
- [97] Figur 5 zeigt einen entsprechenden Querschnitt durch den Paketlamellenstapel, gemäß Figur 4, nach Auffüllen der Zwischenräume 15 der Paketlamellen 4 durch einen niedrig viskosen, lösemittelfreien Kapillarklebstoff. Dabei wird der in Figur 4 auf der Stirnseite 14 angeordnete Kapillarklebstoffvorrat vollständig verbraucht und füllt den in Figur 4 gezeigten Zwischenraum 15 komplett auf. Durch eine derartige Klebevorrichtung, die gleichzeitig eine planparallele Fixierung der Oberseiten und Unterseiten des Paketlamellenstapels bewirkt, kann somit ein maßgenaues, weichmagnetisches Blechpaket mit hohem Füllgrad hergestellt werden, wie es die Figur 6 zeigt.
- [98] Gegenüber Verfahren, die nicht mit Kapillarkleber arbeiten, hat das auf diese Weise hergestellte weichmagnetische Blechpaket den Vorteil, dass die Paketlamellen exakt parallel ausgerichtet bleiben und keinerlei Verwölbungen auftreten und eine Nachbearbeitung zum Entfernen von Klebstoffüberhängen nicht erforderlich ist.
- [99] Während bei der Schlussglühung von weichmagnetischen Blechen ein Volumenwachstum durch entsprechende Umkristallisation der CoFe-Legierung auftritt, kann nach dem Auftrennen der bereits schlussgeglühten weichmagnetischen Bleche zu Paketlamellen 4, wie es Figur 3 zeigt, nach der Formgebung durchaus ein weiteres Glühen eingesetzt werden, das jedoch kein Volumenwachstum aufweist, die Form des

Bleches also nicht verändert, aber die magnetischen Schädigungen durch die Formgebung wieder behebt und somit die geometrischen Abmessungen für das Endmaß der Paketlamellen beibehält. Falls die Bleche zuvor eine Beschichtung aus Metalloxid auf der Basis Eisen-, Kobalt- bzw. Vanadiumoxid mittels einer Glühung an Luft oder in Wasserdampfatmosphäre erhalten haben, ist es jedoch erforderlich bei dieser Schlussglühung eine derartige Nachglühbehandlung unter Vakuum oder in nicht reduzierender Atmosphäre, beispielsweise unter Schutzgas, für die Paketlamellen durchzuführen, damit die Metalloxidschicht nicht reduziert wird. Um dies zu umgehen, wird die Oxidschicht auf der Basis Eisen-, Kobalt- bzw. Vanadiumoxid in der zuvor beschriebenen Weise, d. h. mittels einer Wärmebehandlung an Luft oder in Wasserdampfatmosphäre, typischerweise erst nach der zweiten Glühung aufgebracht. Bei Beschichtungen auf der Basis MgO, ZrO<sub>2</sub> oder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kann auch unter der üblichen Wasserstoffatmosphäre gegläht werden, da bei den üblichen Glühtemperaturen diese Beschichtungen nicht reduziert werden.

- [100] Figur 12 zeigt ein Diagramm von B(H)-Werten zweier Blechpakete aus weichmagnetischem CoFe Material mit unterschiedlichen Klebstoffsystemen. Dazu ist auf der Abszisse die magnetische Feldstärke H in A/cm aufgetragen und auf der Ordinate der magnetische Fluss B in Tesla (T) gezeigt. Der gestrichelte Graf a zeigt die B(H)-Werte eines Standard-Blechpakets mit Standardverklebung, wobei diese Werte deutlich unter den Werten des Grafen b mit durchgezogener Linie liegen, der für ein Blechpaket gemäß der Erfindung gemessen wurde.
- [101] Figur 13 zeigt ein Diagramm von Verlusten, die an zwei ringförmigen Blechpaketen aus weichmagnetischem CoFe Material gemessen wurden und die mit unterschiedlichen Verfahren verklebt sind. Dazu ist auf der Abszisse die Zykluszahl als Frequenz mit der Einheit Hz aufgetragen und auf der Ordinate werden die Verluste pro Zyklus in Ws/kg gezeigt. Der gestrichelte Graf a zeigt die Verluste eines Standard-Blechpakets mit Standardverklebung, wobei diese Werte deutlich über den Verlustwerten des Grafen b mit durchgezogener Linie liegen, die für ein Blechpaket gemäß der Erfindung gemessen wurden.
- [102] Figuren 14 und 15 zeigen in unterschiedlicher Auflösung rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen einer erodierten Fläche eines Pakets aus Einzelblechen. Die Einzelbleche sind dabei sichtbar über die Kanten elektrisch verbunden. Durch die Kurzschlussbrücken erhöhen sich die Wirbelstromverluste des gefertigten Pakets.
- [103] Figuren 16 und 17 zeigen in unterschiedlicher Auflösung rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der in Figuren 14 und 15 dargestellten Fläche. Die zuvor gezeigten elektrischen Kurzschlussbrücken zwischen den geschnittenen Einzelblechen sind nach einem bereits oben näher beschriebenen chemischen Reinigungsprozess nicht mehr vorhanden.

- [104] Bezugszeichenliste
- [105] 1 Blechpaket (Ausführungsform)
- [106] 2 Blechpaket (Stand der Technik)
- [107] 3 weichmagnetischer Werkstoff
- [108] 4 Paketlamellen
- [109] 5 weichmagnetisches Blech
- [110] 6 Paketlamellenstapel
- [111] 7 Zwischenschicht
- [112] 8 Klebstoff
- [113] 9 Oberseite
- [114] 10 Unterseite
- [115] 11 Umrissfläche
- [116] 12 Kontur des Blechpakets
- [117] 13 Benetzbare Beschichtung bzw. benetzbare Schicht
- [118] 14 Stirnseite des Paketlamellenstapels
- [119] 15 Zwischenräume zwischen den Paketlamellen
- [120] 16 Verwölbung

## Claims

- [Claim 1] Blechpaket mit weichmagnetischem Werkstoff (3) aufweisend:  
einen Paketlamellenstapel (6) aufweisend:  
- Paketlamellen (4) aus weichmagnetischen Blechen (5) und  
- Zwischenschichten (7), wobei die Zwischenschichten (7) einen ausgehärteten, im Zustand niedriger Viskosität eingebrachten Klebstoff (8) aufweisen, und wobei  
die Paketlamellen (4) eine schlussgeglühte kristalline CoFe-Legierung, eine klebstoffbenetzbare Oberseite (9) und eine klebstoffbenetzbare Unterseite (10) aufweisen und wobei die Paketlamellen (4) mit den Zwischenschichten (7) ein maßgenaues Blechpaket (1) bilden, und wobei das Blechpaket (1) eine im wesentlichen klebstofffreie Kontur (12) aus Umrissflächen (11) der Paketlamellen (4) aufweist und wobei der Klebstoff (8) im Zustand niedriger Viskosität lösemittelfrei ist.
- [Claim 2] Blechpaket nach Anspruch 1, wobei die Paketlamellen (4) mit Klebstoffzwischen- schicht (7) verwölbungsfrei und planparallel aufeinander angeordnet sind.
- [Claim 3] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Oberseite (9) und die Unterseite (10) der Paketlamellen (4) elektrisch isolierende und klebstoffbenetzbare Keramikschichten (13) aufweisen.
- [Claim 4] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Oberseite (9) und die Unterseite (10) der Paketlamellen (4) Magnesiumoxidschichten aufweisen.
- [Claim 5] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Oberseite (9) und die Unterseite (10) der Paketlamellen (4) Zirkoniumoxidschichten aufweisen.
- [Claim 6] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Oberseite (9) und die Unterseite (10) der Paketlamellen (4) Aluminiumoxidschichten aufweisen.
- [Claim 7] Blechpaket nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberseite (9) und die Unterseite (10) der Paketlamellen (4) Eisen-, Kobalt- und/ oder Vanadiumoxidschichten aufweisen.
- [Claim 8] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die weichmag- netischen Bleche (5) eine Walztextur vor dem Schlussglühen aufweisen.
- [Claim 9] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Paketlamellen (4) eine CoFe-Legierung aus Eisen mit  $35,0 \text{ Gew.}\% \leq \text{Co} \leq 55,0$

- Gew.%, vorzugsweise  $45,0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Co} \leq 52,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Ni} \leq 0,5 \text{ Gew.\%}$  und  $0,5 \text{ Gew.\%} \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.\%}$  mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen aufweisen.
- [Claim 10] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Paketlamellen (4) eine CoFe-Legierung aus Eisen mit  $35,0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Co} \leq 55,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0,75 \text{ Gew.\%} \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Zr} \leq 1,5 \text{ Gew.\%}$ ,  $\text{Ni} \leq 5,0 \text{ Gew.\%}$ , mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen aufweisen.
- [Claim 11] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Paketlamellen (4) eine CoFe-Legierung aus Eisen mit  $35,0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Co} \leq 55,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Zr} \leq 1,5 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Ni} \leq 5,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{C} \leq 0,5 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Cr} \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Mn} \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Si} \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Al} \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$  und  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{B} \leq 0,01 \text{ Gew.\%}$  mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen aufweisen.
- [Claim 12] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Paketlamellen (4) eine CoFe-Legierung aus Eisen mit  $48,0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Co} \leq 50,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} < \text{Zr} \leq 1,5 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Ni} \leq 5,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{C} \leq 0,5 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Cr} \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Mn} \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Si} \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$ ,  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{Al} \leq 1,0 \text{ Gew.\%}$  und  $0 \text{ Gew.\%} \leq \text{B} \leq 0,01 \text{ Gew.\%}$  mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen aufweisen.
- [Claim 13] Blechpaket nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Paketlamellen (4) eine CoFe-Legierung aus Eisen mit  $15 \text{ Gew.\%} \leq \text{Co} \leq 35 \text{ Gew.\%}$  und  $1 \text{ Gew.\%} \leq \text{X} \leq 6,5 \text{ Gew.\%}$ , wobei X mindestens eines der Elemente Cr, Mo, V, Mn, Al ist, mit erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen aufweisen.
- [Claim 14] Blechpaket nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Paketlamellen (4) eine Dicke d in Mikrometern zwischen  $50 \mu\text{m} \leq d \leq 500 \mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen  $50 \mu\text{m} \leq d \leq 350 \mu\text{m}$ , und eine Breite b zwischen  $5 \text{ mm} \leq b \leq 300 \text{ mm}$  aufweisen.
- [Claim 15] Blechpaket nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Klebstoff (8) der Zwischenschichten (7) ein lösemittelfreier Kapillarklebstoff ist.
- [Claim 16] Blechpaket nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die

Zwischenschichten (7) einen organischen, physikalisch abbindenden und lösemittelfreien Kapillarklebstoff (8) auf Epoxidharzbasis aufweisen.

- [Claim 17] Blechpaket nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Zwischenschichten (7) auf der Grundlage eines lösemittelfreien Kapillarklebstoffs (8) gebildet sind, der eine Komponente A aus einem mittel- bis zähviskosen Epoxidharz vom Biphenol-A oder Biphenol-F-Typ oder Gemischen hiervon mit einer Viskosität  $\nu_A$  zwischen  $500 \leq \nu_A \leq 30.000$  mPas, einem Epoxidäquivalenzgewicht  $G_A$  zwischen  $0,2 \leq G_A \leq 0,6$  molEpoxid/100g der Komponente A und einem Masseanteil  $m_A$  am Gesamtharz zwischen  $1 \% \leq m_B \leq 25 \%$  aufweist.
- [Claim 18] Blechpaket nach Anspruch 17, wobei die Zwischenschichten (7) auf der Grundlage eines lösemittelfreien Kapillarklebstoffs (8) gebildet sind, der zusätzlich eine Komponente B aus einer niedermolekularen und niederviskosen Epoxidharzverbindung mit mindestens zwei Epoxidharzgruppen pro Molekül aufweist, und wobei die Epoxidharzverbindung ein Umsetzungsprodukt eines aliphatischen Diols mit Epichlorhydrin aufweist.
- [Claim 19] Blechpaket nach Anspruch 18, wobei die Komponente B des Kapillarklebstoffs (8) eine Viskosität  $\nu_B$  mit  $\nu_B < 100$  mPas, ein Epoxidäquivalenzgewicht  $G_B$  zwischen  $0,5 \leq G_B \leq 1,2$  molEpoxid/100g der Komponente B und einen Masseanteil  $m_B$  am Gesamtharz zwischen  $20 \% \leq m_B \leq 50 \%$  aufweist.
- [Claim 20] Blechpaket nach Anspruch 19, wobei der Kapillarklebstoff (8) als Komponente B eine Verbindung aus der Gruppe Ethylenglykoldiglycidylether, Propylenglykoldiglycidylether und Butandioldiglycidylether aufweist.
- [Claim 21] Blechpaket nach einem der Ansprüche 17 bis 20, wobei die Zwischenschichten (7) auf der Grundlage eines lösemittelfreien Kapillarklebstoffs (8) gebildet sind, der zusätzlich eine Komponente C als flüssige, niederviskose Härungskomponente vom Typ Anhydridhärter mit einer Viskosität  $\nu_C$  mit  $\nu_C < 100$  mPas und einen Massenanteil  $m_C$  am Gesamtharz zwischen  $30 \% \leq m_C \leq 70 \%$  aufweist.
- [Claim 22] Blechpaket nach Anspruch 21, wobei der Kapillarklebstoff (8) als Komponente C ein Methylcyclohexandicarbonsäureanhydrid aufweist.
- [Claim 23] Blechpaket nach einem der Ansprüche 17 bis 22, wobei der Kapillarklebstoff (8) einen Härtebeschleuniger als Komponente D vom Typ des Amins oder des Imidazols oder der Metallsalzkomplexe mit einem

Massenanteil mD am Gesamtharz zwischen  $0,01 \% \leq mD \leq 2 \%$  aufweist.

- [Claim 24] Blechpaket nach Anspruch 23, wobei der Kapillarklebstoff (8) als Komponente D eine Verbindung aus der Gruppe Dimethylbenzylamin, Diazabicyclononan und Ethylmethyylimidazol aufweist.
- [Claim 25] Blechpaket nach einem der Ansprüche 17 bis 24, wobei der Kapillarklebstoff (8) mindestens ein Additiv der Gruppe Haftvermittler, Flexibilisator, Farbstoff, Reaktivverdünner und Netzmittel aufweist.
- [Claim 26] Blechpaket nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Paketlamellen (4) eine Zugfestigkeit von 200 MPa und mehr aufweisen.
- [Claim 27] Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Paketlamellen (4) zu einem weichmagnetischen Blechpaket (1), wobei das Verfahren folgende Verfahrensschritte aufweist:
- Herstellen von Blechen (5) eines weichmagnetischen kristallinen CoFe-Werkstoffs mit Oberseiten (9) und Unterseiten (10);
  - Aufbringen einer mit Epoxidharz benetzbaren Beschichtung (13) auf die Ober- und Unterseiten (9, 10);
  - Austrennen von Paketlamellen (4) mit benetzbarer Beschichtung (13) auf den Ober- und Unterseiten (9, 10) und weniger benetzbarer Umrissflächen (11);
  - Stapeln der Paketlamellen (4) zu einem Paketlamellenstapel (6);
  - stoffschlüssiges Verbinden des Paketlamellenstapels (6) zu einem weichmagnetischen Blechpaket (1) unter Einbringen von lösemittelfreiem niederviskosem Kapillarklebstoff (8) und Aushärten des Klebstoffs (8) zu elektrisch isolierenden Zwischenschichten (7).
- [Claim 28] Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Aufbringen der mit Epoxidharz benetzbaren Beschichtung (13) eine weichmagnetische Schlussglühung der beschichteten Bleche (5) durchgeführt wird.
- [Claim 29] Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Austrennen der Paketlamellen (4) eine weitere weichmagnetische Schlussglühung durchgeführt wird.
- [Claim 30] Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass nach der weiteren weichmagnetischen Schlussglühung eine Eisen-,

Kobalt- und/ oder Vanadiumoxidschicht auf den Oberseiten (9) und den Unterseiten (10) der weichmagnetischen Bleche (5) durch eine Wärmebehandlung unter Luft und/ oder Wasserdampf aufgebracht wird.

- [Claim 31] Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass während der weichmagnetischen Schlussglühung die mit Epoxidharz benetzbare Beschichtung (13) aufgebracht wird.
- [Claim 32] Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Austrennen der Paketlamellen (4) eine weichmagnetische Schlussglühung durchgeführt wird.
- [Claim 33] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 32, wobei das Herstellen der Bleche (5) mittels Schneiden eines weichmagnetischen Bandes zu Streifen erfolgt.
- [Claim 34] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 33, wobei auf den Oberseiten (9) und den Unterseiten (10) der weichmagnetischen Bleche (5) elektrisch isolierende und klebstoffbenetzbare Keramikschichten abgeschieden werden.
- [Claim 35] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 33, wobei auf den Oberseiten (9) und den Unterseiten (10) der weichmagnetischen Bleche (5) elektrisch isolierende und klebstoffbenetzbare Magnesiumoxidschichten abgeschieden werden.
- [Claim 36] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 33, wobei auf den Oberseiten (9) und den Unterseiten (10) der Bleche (5) elektrisch isolierende und klebstoffbenetzbare Zirkoniumoxidschichten abgeschieden werden.
- [Claim 37] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 33, wobei auf den Oberseiten (9) und den Unterseiten (10) der Bleche (5) elektrisch isolierende und klebstoffbenetzbare Aluminiumoxidschichten abgeschieden werden.
- [Claim 38] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 37, wobei die Paketlamellen (4) mittels Funkenerosion, Wasserstrahlschneiden, Stanzen, Ätzen oder Lasertrennen aus den beschichteten weichmagnetischen Blechen (4) heraus getrennt werden, und wobei die unbeschichteten Umrissflächen (11) der Paketlamellen (4) aus weichmagnetischem Werkstoff (3) eine geringere Benetzungsfähigkeit für einen Klebstoff (8) niedriger Viskosität aufweisen als die beschichteten Ober- und Un-

- terseiten (9, 10) der Paketlamellen (4).
- [Claim 39] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 38, wobei die Paketlamellen (4) verwölbungsfrei und planparallel aufeinander gestapelt werden und von einer Stirnseite (14) des Paketlamellenstapels (6) aus ein lösemittelfreier Klebstoff (8) auf Epoxidharzbasis mit niedriger Viskosität mittels Kapillarwirkung die Zwischenräume zwischen den Paketlamellen (4) des Paketlamellenstapels (6) auffüllt.
- [Claim 40] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 38, wobei das Einbringen des lösemittelfreien niederviskosen Kapillarklebstoffs (8) mittels Einpinseln, Aufsprühen oder Tauchen erfolgt.
- [Claim 41] Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 40, wobei die Bleche (5) vor der weichmagnetischen Schlussglühung auf eine Dicke  $d$  mit  $d \leq 500 \mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen  $50 \mu\text{m} \leq d \leq 350 \mu\text{m}$  kaltgewalzt werden.
- [Claim 42] Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 41, wobei die weichmagnetische Schlussglühung der CoFeV-Legierung unter Inertgasatmosphäre bei einer Temperatur  $TG$  zwischen  $700^\circ\text{C} \leq TG \leq 900^\circ\text{C}$  für unter 10 Stunden durchgeführt wird.
- [Claim 43] Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 42, wobei nach der weichmagnetischen Schlussglühung oder nach der weiteren weichmagnetischen Schlussglühung eine Oxidationsglühung an Luft oder unter Wasserdampfatmosphäre durchgeführt wird.
- [Claim 44] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 43, wobei mehrere weichmagnetische Bleche (5) bei der weichmagnetischen Schlussglühung zwischen zwei Stahlplatten als Glühplatten planparallel gepresst werden.
- [Claim 45] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 44, wobei nach dem Aushärten des Klebstoffs (8) eine mechanische Nachbearbeitung des Blechpakets (1) durchgeführt wird.
- [Claim 46] Verfahren nach Anspruch 45, wobei die mechanische Nachbearbeitung des Blechpakets (1) mittels Erodieren, Schleifen und/ oder Fräsen durchgeführt wird.
- [Claim 47] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 46, wobei ein physikalischer und/ oder chemischer Reinigungsprozess des Blechpakets (1) durchgeführt wird.
- [Claim 48] Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 47, wobei der lösemittelfreie niederviskose Kapillarklebstoff aus mindestens drei Komponenten einer Basiskomponente A relativ hoher Viskosität, sowie

einer B- und einer C-Komponente geringer Viskosität gemischt wird und vorzugsweise mit einer Komponente D als Aushärtebeschleuniger versehen wird.

- [Claim 49] Verfahren nach Anspruch 48, wobei als A-Komponente ein mittel- bis zähviskoses Epoxidharz vom Biphenol-A oder Biphenol-F-Typ oder Gemischen hiervon mit einer Viskosität  $v_A$  zwischen  $500 \leq v_A \leq 30.000$  mPas, einem Epoxidäquivalenzgewicht  $G_A$  zwischen  $0,2 \leq G_A \leq 0,6$  molE-poxid/100g der Komponente A und einem Masseanteil  $m_A$  am Gesamtharz zwischen  $1 \% \leq m_A \leq 25 \%$  eingesetzt wird.
- [Claim 50] Verfahren nach Anspruch 48, wobei als B-Komponente eine niedermolekulare und niederviskose Epoxidharzverbindung mit mindestens zwei Epoxidharzgruppen pro Molekül eingesetzt wird, und wobei die Epoxidharzverbindung durch Umsetzung eines aliphatischen Diols mit Epichlorhydrin gebildet wird.
- [Claim 51] Verfahren nach Anspruch 50, wobei für die B-Komponente des Kapillarklebstoffs eine Viskosität  $v_B$  mit  $v_B < 100$  mPas, ein Epoxidäquivalenzgewicht  $G_B$  zwischen  $0,5 \leq G_B \leq 1,2$  molEpoxid/100g der Komponente B und ein Masseanteil  $m_B$  am Gesamtharz zwischen  $20 \% \leq m_B \leq 50 \%$  vorgesehen wird.
- [Claim 52] Verfahren nach Anspruch 51, wobei als B-Komponente eine Verbindung aus der Gruppe Ethylenglykoldiglycidylether, Propylenglykoldiglycidylether und Butandiol diglycidylether eingesetzt wird.
- [Claim 53] Verfahren nach einem der Ansprüche 48 bis 52, wobei als C-Komponente eine flüssige, niederviskose Härungskomponente vom Typ Anhydridhärter mit einer Viskosität  $v_C$  mit  $v_C < 100$  mPas und einem Massenanteil  $m_C$  am Gesamtharz zwischen  $30 \% \leq m_C \leq 70 \%$  vorgesehen wird.
- [Claim 54] Verfahren nach einem der Ansprüche 48 bis 52, wobei als C-Komponente ein Methylcyclohexandicarbonsäureanhydrid eingesetzt wird.
- [Claim 55] Verfahren nach einem der Ansprüche 48 bis 52, wobei als härtebeschleunigende D-Komponente ein Amin- oder ein Imidazol-Typ oder Metallsalzkomplexe mit einem Massenanteil  $m_D$  am Gesamtharz zwischen  $0,01 \% \leq m_D \leq 2 \%$  vorgesehen werden.
- [Claim 56] Verfahren nach Anspruch 55, wobei als D-Komponente eine Verbindung aus der Gruppe Dimethylbenzylamin, Diazabicyclononan und Ethylmethylimidazol eingesetzt wird.
- [Claim 57] Verfahren nach einem der Ansprüche 48 bis 56, wobei dem Kapil-

larklebstoff (8) weiterhin ein Additiv der Gruppe Haftvermittler, Flexibilisator, Farbstoff, Reaktivverdünner und Netzmittel hinzugefügt wird.

FIG 1

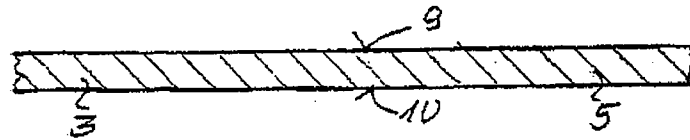


FIG 2

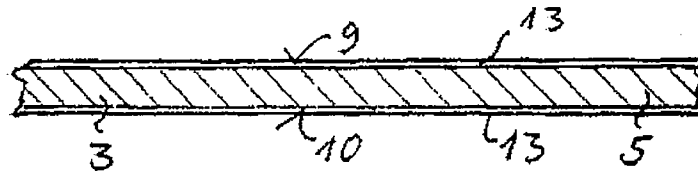


FIG 3

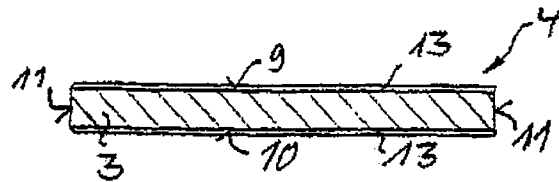


FIG 4

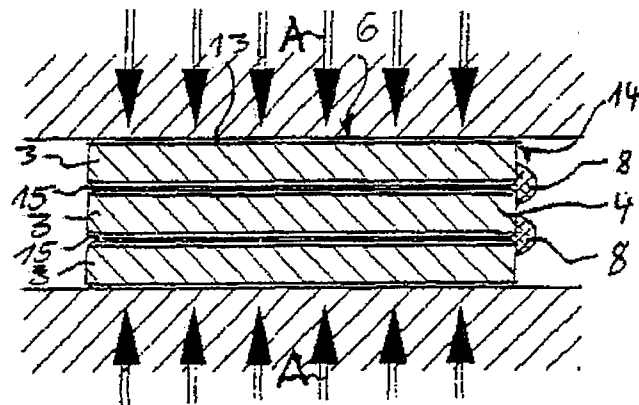


FIG 5

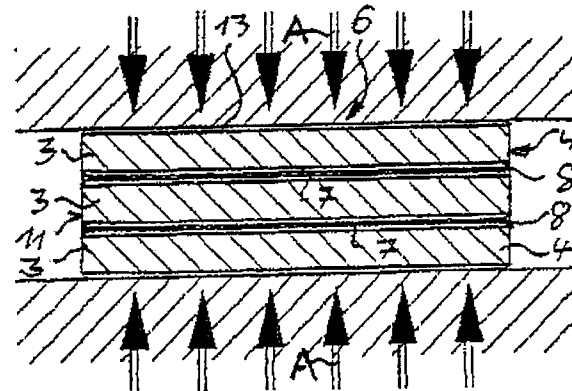
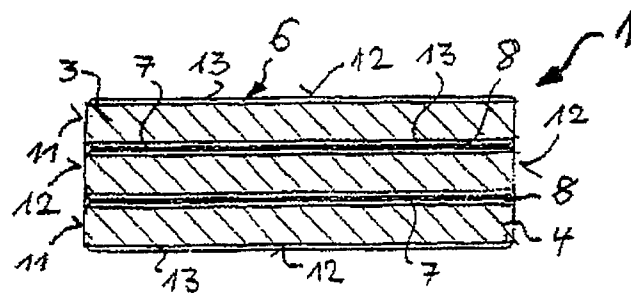


FIG 6



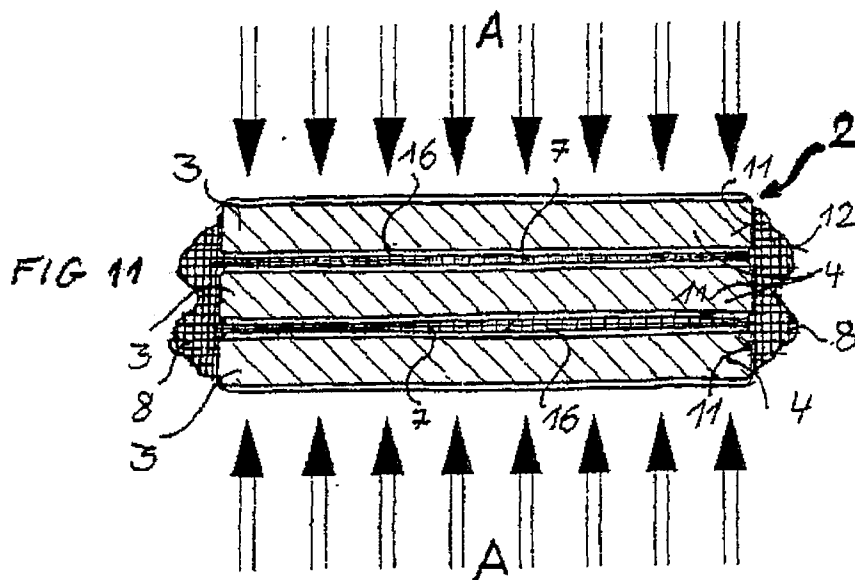
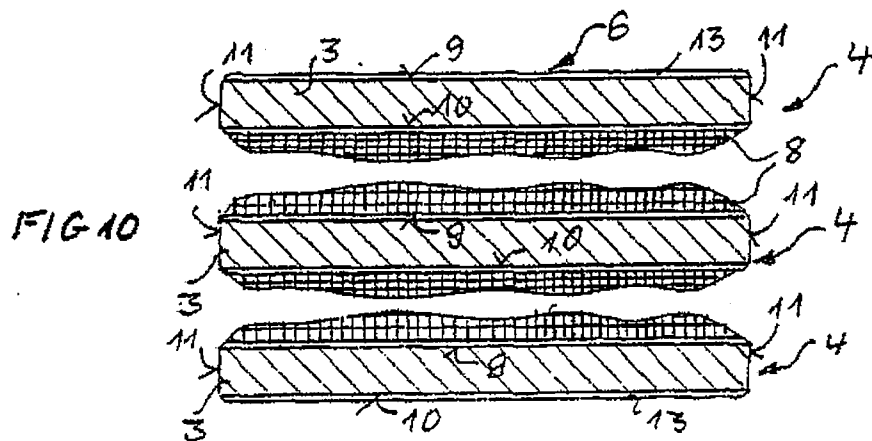
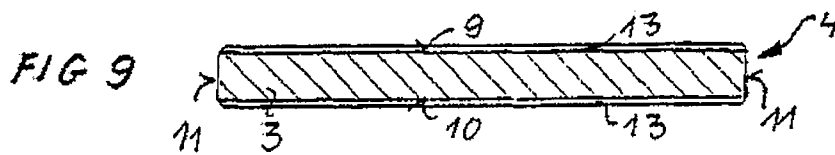
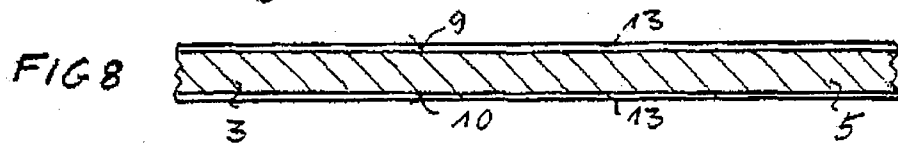
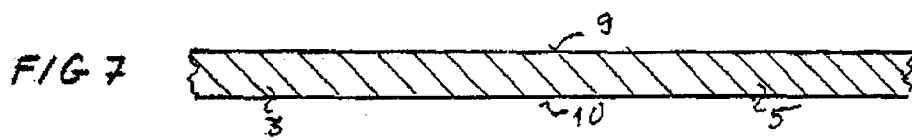


FIG 12

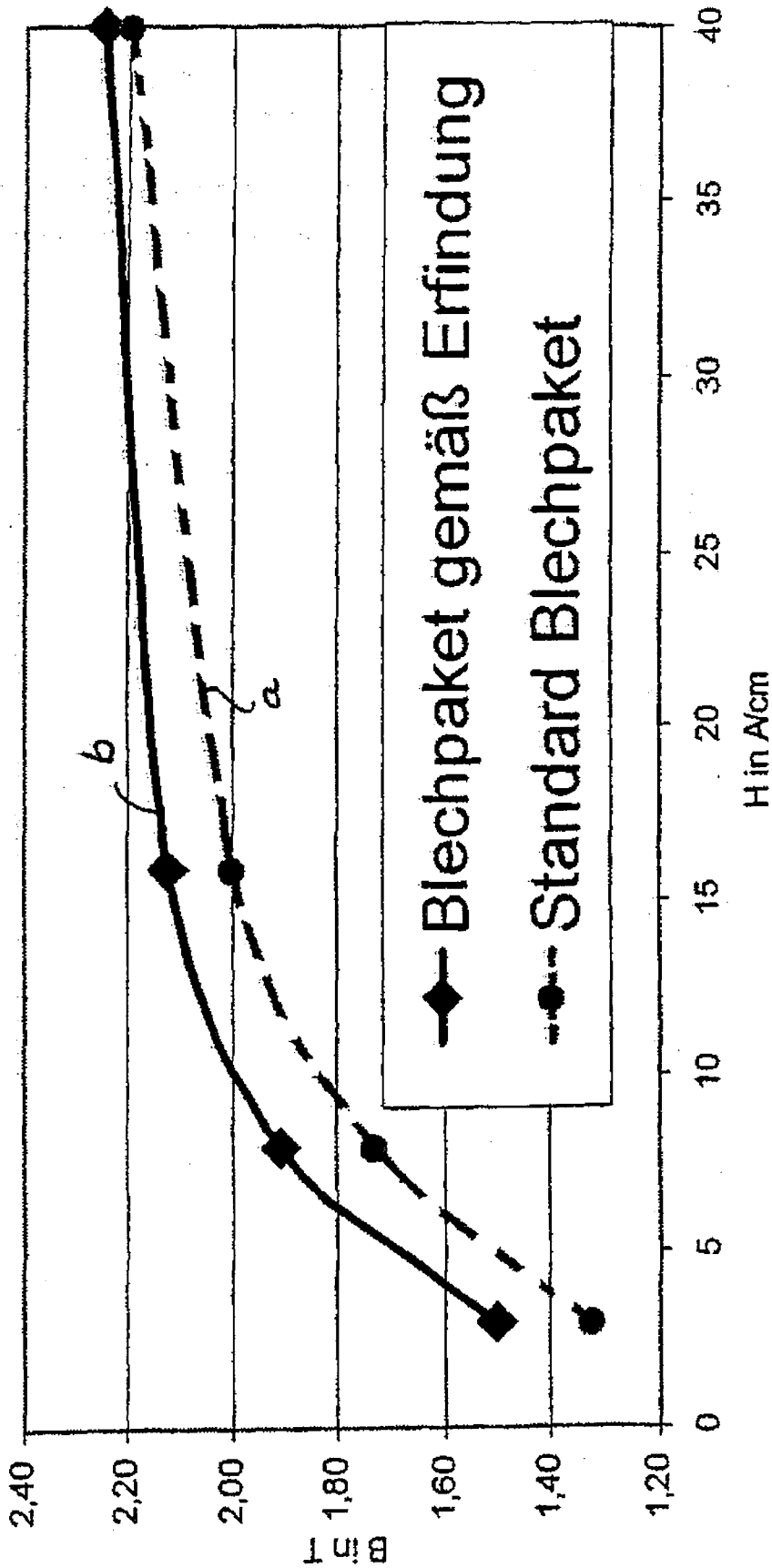
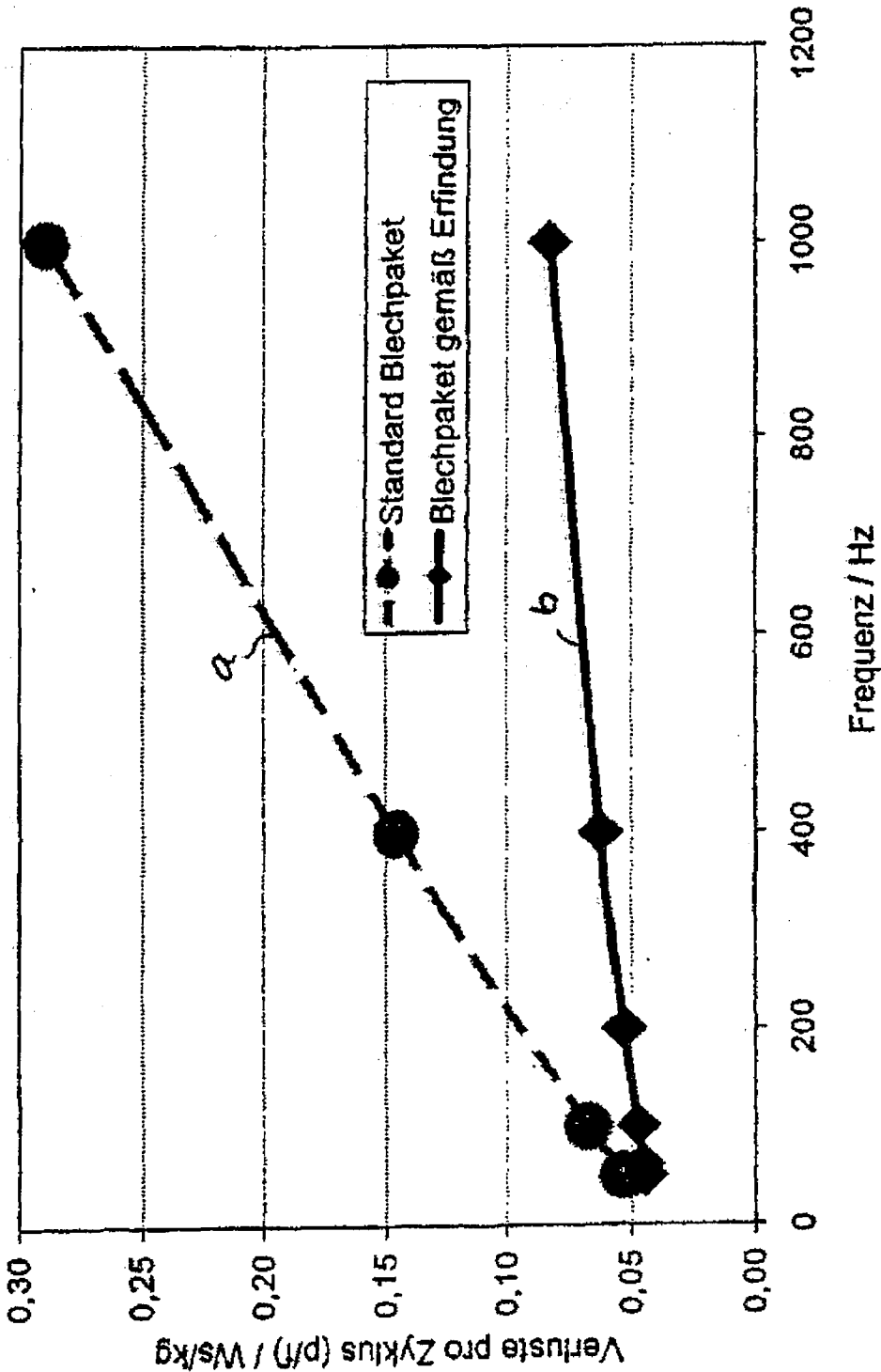


FIG 13



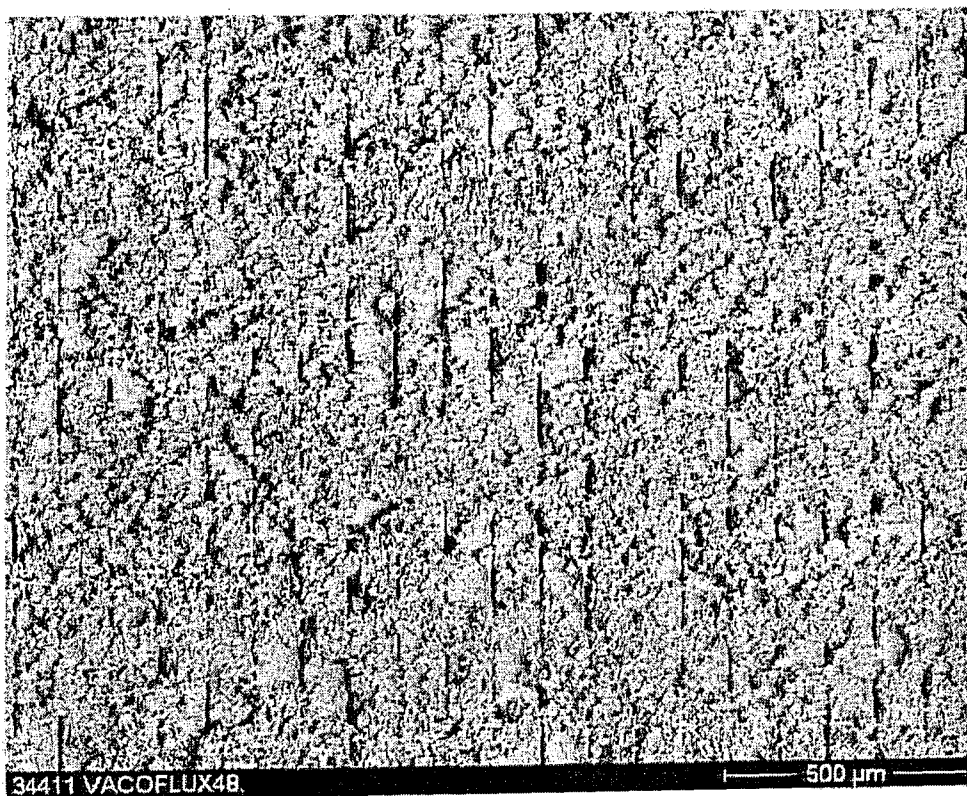


FIG 14

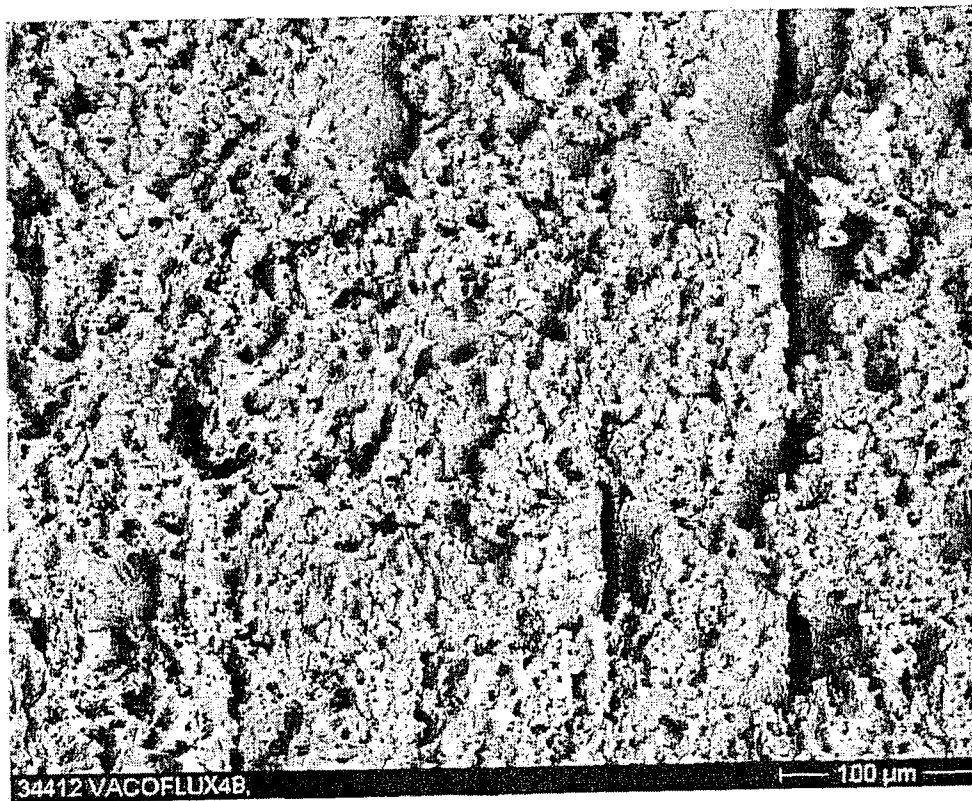


FIG 15

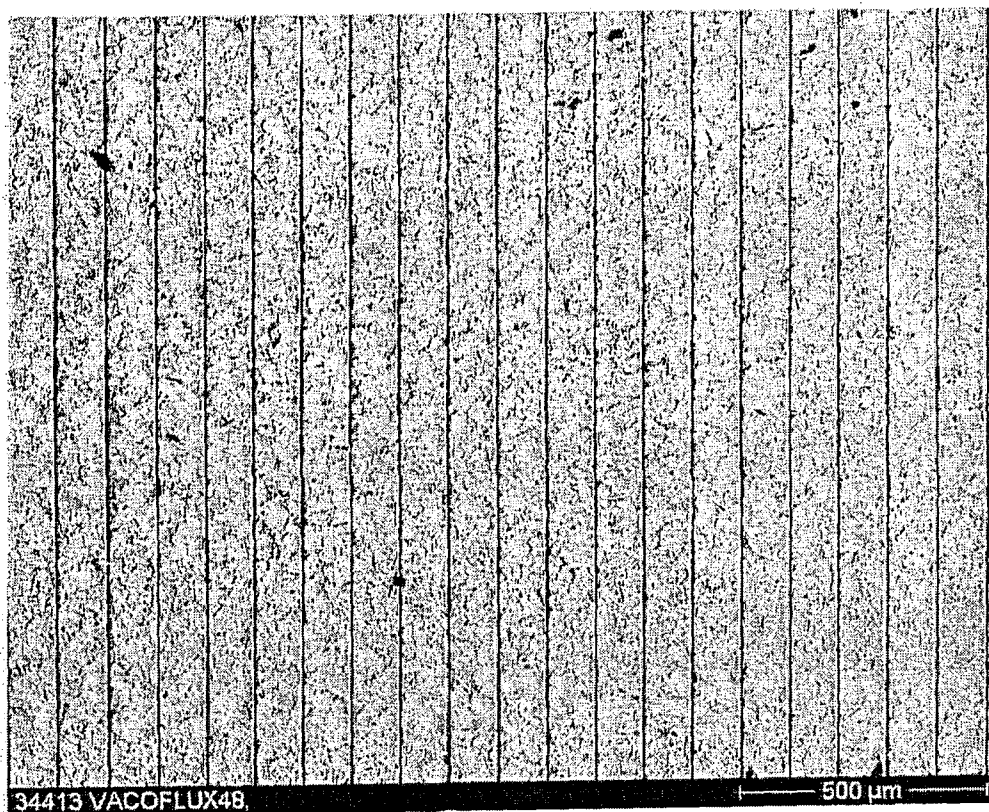


FIG 16

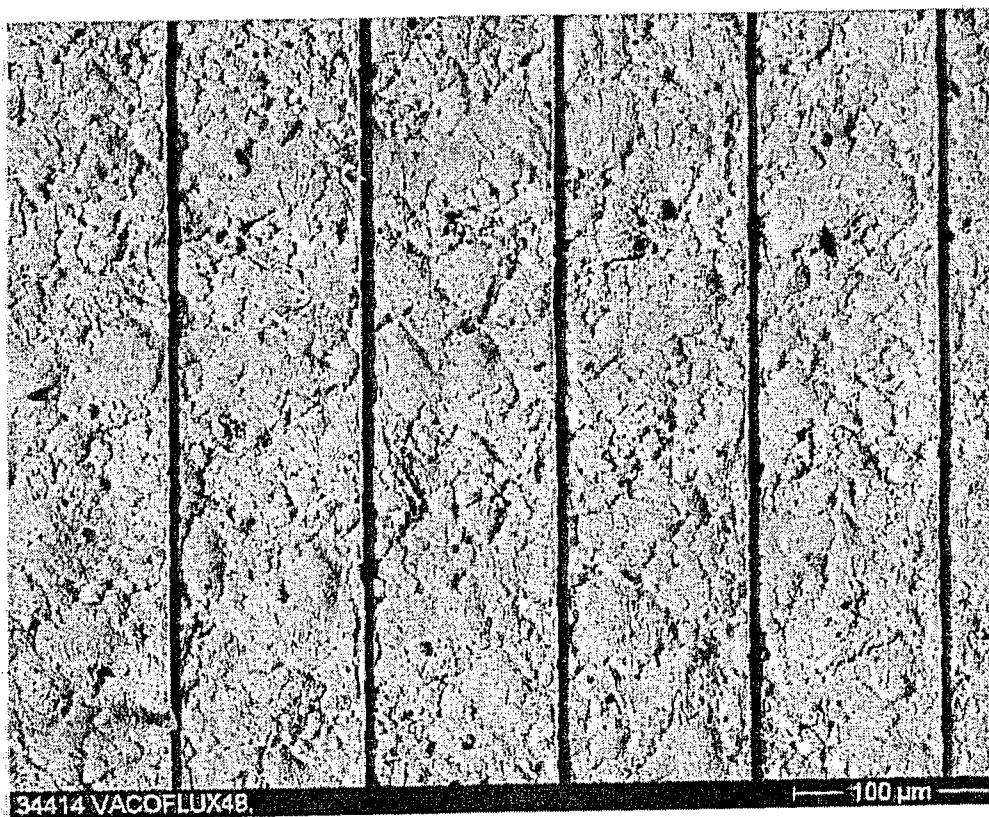


FIG 17