

Haltevorrichtung zum Halten eines weichmagnetischen Transformatorenstapelkerns sowie Transformator

5 Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Haltevorrichtung zum Halten eines weichmagnetischen Transformatorenstapelkerns mit Schichten mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, wobei der Transformatorenstapelkern wenigstens zwei parallel zueinander verlaufende Spulenschenkel und zwei mit einander gegenüberliegenden Enden der Spulenschenkel verbundene Joche aufweist, und wobei die Haltevorrichtung wenigstens zwei Halteeinheiten, die jeweils derart an einem der beiden Joche anordbar sind, dass die Halteeinheiten an einander gegenüberliegenden Endbereichen des Transformatorenstapelkerns angeordnet sind, und wenigstens ein an den beiden Halteeinheiten angreifendes mechanisches Fixiermittel, über das die beiden Halteeinheiten zerstörungsfrei lösbar miteinander verbunden sind, aufweist.

Des Weiteren betrifft die Erfindung einen Transformator, insbesondere Drehstromtransformator, aufweisend wenigstens einen weichmagnetischen Transformatorenstapelkern mit Schichten mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, wobei der Transformatorenstapelkern wenigstens zwei parallel zueinander verlaufende Spulenschenkel und zwei mit einander gegenüberliegenden Enden der Spulenschenkel verbundene Joche aufweist, und wenigstens eine Haltevorrichtung zum Halten des Transformatorenstapelkerns.

25 Stand der Technik

Transformatoren wandeln eine Eingangsspannung in eine von der Eingangsspannung abweichende Ausgangsspannung. Transformatoren werden beispielsweise zur Spannungswandlung in Energieversorgungsanlagen und in elektrischen Geräten eingesetzt.

Ein Transformator weist für jede Phase der zu wandelnden Eingangsspannung eine Primärspule und eine Sekundärspule auf, die an einem gemeinsamen Transformatorenkern angeordnet sind, der aus ferromagnetischen Werkstoffen oder Ferriten hergestellt ist. Der Transformatorenkern bündelt in Verbindung mit den Spulen den magnetischen Fluss und vergrößert die Induktivität und die magnetische Flussdichte des Transformators. Der Transformatorenkern kann aus einem Blechpaket aus mehreren elektrisch voneinander isolierten Transformatorblechen gebildet sein. Hierdurch können Wirbelstromverluste des Transformators bei der Spannungswandlung reduziert werden.

Ein Drehstromtransformator weist einen weichmagnetischen Transformatorenkern auf, der drei parallel zueinander verlaufende Spulenschenkel und zwei jeweils endseitig mit den Spulenschenkeln verbundene Joche aufweist. An jedem Spulenschenkel sind eine Primärspule und eine Sekundärspule derselben Stromphase angeordnet. Eines der Joche kann monolithisch mit den drei Spulenschenkeln verbunden sein, wodurch ein E-förmig ausgebildeter Abschnitt des Transformatorenkerns gebildet wird. Nachdem die Spulen an den Spulenschenkeln angeordnet worden sind, kann das zweite Joch mit den freien Enden der Spulenschenkel verbunden werden.

DE 10 2009 048 658 A1 offenbart einen herkömmlichen Transformatorstapelkern, aufweisend weichmagnetische Schichten eines elektrisch leitfähigen Kernmaterials mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur, die durch Trennschichten eines elektrisch isolierenden Materials voneinander getrennt sind. Mehrere der weichmagnetischen Schichten bilden zumindest mit den zwischen ihnen liegenden Trennschichten einen monolithischen Verbund. Der Transformatorstapelkern besteht also aus einem Blechpaket, wobei die Transformatorbleche jeweils vollständig aus einem monolithischen Verbund weichmagnetischer Schichten und Trennschichten besteht. Zur Herstellung des Transformatorenstapelkerns wird eine weichmagnetische Schicht aus einem elektrisch leitfähigen Kernmaterial elektrochemisch auf einem Grundkörper abgeschieden. Auf der weichmagnetischen Schicht wird eine elektrisch isolierende Trennschicht erzeugt. Diese Vorgänge werden wiederholt, bis der Transformatorstapelkern die vorgesehene Gestalt erreicht hat. Als weichmagnetische Schicht werden mindestens ein weichmagnetisches Element, insbesondere eines oder mehrere der Elemente Eisen (Fe), Nickel (Ni) oder Cobalt (Co), und mindestens ein glasbildendes Element, insbesondere Phosphor (P) und/oder Bor (B), gemeinsam abgeschieden.

Die Ausbildung eines Transformatorenstapelkerns unter Verwendung von weichmagnetischen amorphen Schichten geht mit einer Verringerung der Verluste am Transformatorenstapelkern während seines Einsatzes in einem Transformator einher. Dies liegt an der geringeren magnetischen Koerzitivfeldstärke, so dass Hystereseverluste beim Ummagnetisieren des Transformatorenstapelkerns kleingehalten werden können.

DE 10 2011 083 521 A1 betrifft eine herkömmliche Pressrahmenstruktur für einen Transformator mit mehreren Zugelementen, mit mehreren Verstrebungen, die zumindest teilweise schräg von einem Kern des Transformators abstehend ausgeführt sind, und mit mehreren Zugpressplatten, die an oder in der Nähe des Kerns des Transformators angeordnet sind. Die Zugelemente sind außerhalb von Wicklungen des Transformators angeordnet. Anhand der Verstrebungen sind die Zugelemente mit den Zugpressplatten verbunden. Die Zugelemente verbinden den oberen Pressrahmen des Transformators mit dem unteren Pressrahmen des Transformators. Die Zugelemente bewirken, dass der Kern zwischen den beiden Pressrahmen eingespannt wird.

15 **Offenbarung der Erfindung**

Eine Aufgabe der Erfindung ist es, einen energieeffizienteren Transformator, insbesondere Drehstromtransformator, der eingangs genannten Art bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch die unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den abhängigen Patentansprüchen, der nachfolgenden Beschreibung und den Figuren wiedergegeben, wobei diese Ausgestaltungen jeweils für sich genommen oder in verschiedener Kombination von wenigstens zwei dieser Ausgestaltungen miteinander einen vorteilhaften und/oder weiterbildenden Aspekt der Erfindung darstellen können. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Haltevorrichtung können dabei vorteilhaften Ausgestaltungen des Transformators entsprechen, und umgekehrt, selbst wenn hierauf im Folgenden nicht explizit hingewiesen wird.

Eine erfindungsgemäße Haltevorrichtung dient zum Halten eines weichmagnetischen Transformatorenstapelkerns mit Schichten mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, wobei der Transformatorenstapelkern wenigstens zwei parallel zueinander verlaufende Spulenschenkel und zwei mit einander gegenüberliegenden Enden der Spulenschenkel verbundene Joche aufweist. Die Haltevorrichtung weist wenigstens zwei Halteein-

heiten, die jeweils derart an einem der beiden Joche anordbar sind, dass die Halteeinheiten an einander gegenüberliegenden Endbereichen des Transformatorenstapelkerns angeordnet sind, und wenigstens ein an den beiden Halteeinheiten angreifendes mechanisches Fixiermittel, über das die beiden Halteeinheiten zerstörungsfrei lösbar miteinander verbunden sind, auf. Des Weiteren weist die Haltevorrichtung wenigstens einen zwischen den Halteeinheiten eingespannten Abstandhalter und wenigstens einen zwischen wenigstens einer Halteeinheit und dem Transformatorenstapelkern anordbares Federelement auf, wobei die Haltevorrichtung derart ausgebildet ist, dass das Federelement bei an der Haltevorrichtung angeordnetem Transformatorenstapelkern durch einen dabei gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit dem Transformatorenstapelkern elastisch verformt ist.

Die erfindungsgemäße Haltevorrichtung ist als eigenstabile Haltevorrichtung ausgebildet, was bedeutet, dass die Haltevorrichtung in ihren Haltezustand gebracht und in diesem gehalten werden kann, ohne dass anderweitige Bauteile, wie beispielsweise der Transformatorenstapelkern, unterstützend erforderlich sind, um der Haltevorrichtung eine Stabilität zu verleihen. Die erfindungsgemäße Haltevorrichtung ist also insbesondere nicht entsprechend einem herkömmlichen Pressrahmen ausgebildet, wie er beispielsweise in DE 10 2011 083 521 A1 offenbart ist. Bei einem solchen herkömmlichen Pressrahmen ist es in der Regel erforderlich, den Pressrahmen mit Hilfe des Transformatorenkerns in einen Haltezustand zu bringen und zu halten. Hierbei wird der Transformatorenkern zwischen zwei Rahmenelementen eingespannt, wodurch relativ hohe Spannkraften, beispielsweise in Höhe von einigen 10.000 N, auf den Transformatorenkern einwirken, insbesondere um einen ausreichenden Kraftschluss beziehungsweise Reibschluss zwischen den Lagen eines herkömmlichen Elektrolechpaketes sicherstellen zu können.

Entsprechend hohe Spannkraften führen zu mechanischen Spannungen innerhalb des Transformatorenkerns. Bei einem Transformatorenstapelkern, also einem Transformatorkern aus mehreren gestapelten Schichten, die gegeneinander elektrisch isoliert sind und mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, hergestellt sind, führen solche mechanischen Spannungen zu einer Verschlechterung der Energieeffizienz und somit zu höheren Verlusten des Transformators. Dies ist insbesondere so, da mechanische Spannungen in weichmagnetischen Eisenlegierungen die magnetische Permeabilität der Ei-

senlegierungen herabsetzen. Die magnetische Permeabilität ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf den materialspezifischen Ummagnetisierungsverlust (Hystereseverlust). Insbesondere die sehr hohe magnetische Permeabilität von Eisenlegierungen mit amorpher und/oder nanokristalliner Gefügestruktur wird durch einwirkende mechanische Spannungen überproportional stark beeinträchtigt. Dadurch werden die Energieeffizienz des Transformatorenstapelkerns und der Wirkungsgrad des Transformators reduziert. Dies wird mit der vorliegenden Erfindung vermieden, da mit der erfindungsgemäßen Haltevorrichtung lediglich die durch die elastische Verformung des wenigstens einen Federelements erzeugte Rückstellkraft auf den Transformatorenstapelkern einwirkt, die im Vergleich zu den beschriebenen herkömmlichen mechanischen Spannkraften deutlich reduziert sind. Zudem ist erfindungsgemäß durch die gegebene Eigenstabilität der Haltevorrichtung kein herkömmlich zwischen den am Joch und an den Verbindungsstellen der Spulenschenkel anliegenden Presseisen und den einzelnen Lagen des aus kornorientierten Elektroblechen geschichteten Kerns erforderlicher Reibschluss notwendig. Zudem werden mittels des wenigstens einen Federelements lediglich spezifizierte, voreingestellte Kräfte zur Fixierung bzw. zum Halten von Transformatorenstapelkern bzw. von Spulenwicklungen in den eigenstabilen Rahmen eingeleitet, die den Transformatorenstapelkern minimal beeinflussen. Die Krafteinleitung zum Halten des Transformatorenstapelkerns ist sehr gering (kann beispielsweise etwa 0,5 N/mm² betragen) und erfolgt voreingestellt über das wenigstens eine Federelement. Daher wird die Energieeffizienz eines mit einem Transformatorenstapelkern mit Schichten, die gegeneinander elektrisch isoliert sind und mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, hergestellt sind, nicht durch die erfindungsgemäße Haltevorrichtung beeinträchtigt.

Dieser Vorteil wird erfindungsgemäß insbesondere dadurch erreicht, dass die beiden Halteeinheiten zur Herstellung des Haltezustands der Haltevorrichtung mittels des wenigstens einen an den beiden Halteeinheiten angreifenden mechanischen Fixiermittels über den wenigstens einen starren Abstandhalter gegeneinander verspannt werden, so dass die mechanischen Spannkraften von dem Abstandhalter aufgenommen und nicht auf den Transformatorenstapelkern übertragen werden. Die beiden Halteeinheiten können auch über zwei oder mehrere, beispielsweise vier, mechanische Fixiermittel entsprechend gegeneinander verspannt sein. Zwischen den beiden Halteeinheiten

können auch zwei oder mehrere, beispielsweise vier, Abstandhalter entsprechend eingespannt sein. Der Abstandhalter kann hierzu beispielsweise aus einem Metall, einer Metalllegierung oder einem anderen starren bzw. formstabilen Werkstoff hergestellt sein. Der Abstandhalter kann in unmittelbarer Nähe eines Spulenschenkels verlaufen
5 bzw. in Kontakt mit einem Spulenschenkel stehen, oder derart beabstandet zu dem Spulenschenkel angeordnet sein, dass zwischen dem Abstandhalter und dem Spulenschenkel ein Bauraum für die an dem Spulenschenkel anzuordnenden Spulen vorhanden ist.

Die einzigen Kräfte, die auf den von der erfindungsgemäßen Haltevorrichtung gehaltenen Transformatorenstapelkern einwirken, sind die durch die elastische Verformung des wenigstens einen Federelements erzeugten Rückstellkräfte. Derartige Rückstellkräfte sind deutlich geringer als die herkömmlich mit einem Pressrahmen aufgebrachten mechanischen Spannkkräfte. Die auf den Transformatorenstapelkern einwirkenden Kräfte können gemäß der vorliegenden Erfindung also durch die Wahl der Art und
10 Ausgestaltung des Federelements festgelegt werden, dessen Federkonstante bzw. Elastizitätsmodul die gewünschten Haltekräfte hervorruft. Das Federelement kann insbesondere einen linearen oder nichtlinearen Kraft-Weg-Verlauf aufweisen. Der Transformatorenstapelkern kann mittels entsprechender Federelemente beispielsweise in x-Richtung, y-Richtung und z-Richtung mit Kraft beaufschlagt werden. Beispielsweise
15 kann ein Federelement im Bereich eines stumpfen Stoßes zwischen einem Spulenschenkel und einem Joch angeordnet sein.

Die Haltevorrichtung kann auch zwei oder mehrere entsprechende Federelemente aufweisen, die an verschiedenen Stellen zwischen der jeweiligen Halteeinheit bzw. den Halteeinheiten und dem Transformatorenstapelkern angeordnet werden können. Das
20 Federelement kann beispielsweise ein aus einem Elastomer gebildeter Körper sein, der an einer einzigen Seite des Transformatorenstapelkörpers oder an zwei oder mehreren Seiten des Transformatorenstapelkörpers angeordnet bzw. an dessen Formgebung angepasst ist. Der Elastomerkörper kann beispielsweise quaderförmig, plattenförmig oder dergleichen ausgebildet sein. Alternativ kann das Federelement als Druckfeder, beispielsweise Schraubenfeder, Spiralfeder oder Tellerfeder, ausgebildet sein.
25 30

Die erfindungsgemäße Haltevorrichtung ist in seinem Haltezustand derart ausgebildet, dass der Transformatorenstapelkern ohne das wenigstens eine Federelement mit ei-

5 nem bestimmten Spiel an der Haltevorrichtung angeordnet ist. Erst durch die Anordnung des wenigstens einen Federelements an der Haltevorrichtung und einen unmittelbaren oder über wenigstens ein weiteres Bauteil realisierten mittelbaren Kontakt des Transformatorenstapelkerns mit dem Federelement und die damit einhergehende elastische Verformung des Federelements wird ein Formschluss zwischen dem Transformatorenstapelkern und der Haltevorrichtung hergestellt.

10 Das wenigstens eine mechanische Fixiermittel kann beispielsweise als Schraubverbindung ausgebildet sein. Ein Gewindenschaft einer solchen Schraubverbindung kann durch den, beispielsweise hülsenförmig ausgebildeten, Abstandhalter verlaufen oder außerhalb und beabstandet zu dem Abstandhalter angeordnet sein. Der hülsenförmig ausgebildete Abstandhalter kann langgestreckt und mit einer polygonalen, beispielsweise quadratischen oder rechteckigen, oder einer runden, beispielsweise kreisrunden, elliptischen oder ovalen, Querschnittsfläche ausgebildet sein.

15 Die erfindungsgemäße Haltevorrichtung bringt zudem den Vorteil, dass eine Montage von Spulen an einem an der Haltevorrichtung angeordneten Transformatorenstapelkern relativ einfach durchgeführt werden kann, indem zunächst das bzw. die mechanischen Fixiermittel gelöst werden, so dass anschließend eine Halteeinheit entfernt werden kann, wonach das mit dieser Halteeinheit vorab gehaltene Joch von dem übrigen Transformatorenstapelkern entfernt werden kann. Dann können die Spulen auf die Spulenschenkel des Transformatorenstapelkerns aufgebracht werden, wonach zuerst wieder das zuvor entfernte Joch an dem übrigen Transformatorenstapelkern und anschließend wieder die zuvor entfernte Halteeinheit an der übrigen Haltevorrichtung angeordnet werden kann. Zuletzt werden die mechanischen Fixiermittel wieder angezogen, um den Haltezustand der Haltevorrichtung herbeizuführen.

25 Die beiden Halteeinheiten können jeweils im Querschnitt im Wesentlichen U-förmig ausgebildet und derart an dem jeweiligen Joch angeordnet sein, dass sie jeweils nicht ausschließlich auf einer dem jeweils anderen Joch abgewandten Seite des jeweiligen Jochs angeordnet sind, sondern zusätzlich einen Abschnitt des jeweiligen Jochs beidseitig seitlich umgreifen, jedoch ohne dass ein Formschluss zwischen der jeweiligen Halteeinheit und dem jeweiligen Joch gegeben ist. Hierdurch kann das jeweilige Joch sowohl an seiner dem jeweils anderen Joch abgewandten Seite, als auch an seinen beiden Längsseiten seitlich abgestützt werden, insbesondere über wenigstens ein zwi-

30

schen der jeweiligen Halteeinheit und dem jeweiligen Joch angeordnetes Federelement, das bei an der Haltevorrichtung angeordnetem Transformatorenstapelkern durch einen dabei gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit dem Transformatorenstapelkern, insbesondere mit dessen jeweiligem Joch, elastisch verformt ist. Alternativ können auch zwei oder mehrere Federelemente zu dieser Abstützung des Jochs vorhanden sein.

Das bzw. die Federelemente bewirken zusätzlich einen Ausgleich von Fertigungstoleranzen, wodurch die erforderliche Fertigungsgenauigkeit aller Komponenten der Haltevorrichtung und des Transformatorstapelkerns kostensenkend reduziert werden kann.

10 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung weist wenigstens eine Halteeinheit wenigstens zwei Halteelemente, die an einander gegenüberliegenden Jochendbereichen des jeweiligen Jochs anordbar sind, wenigstens ein an den beiden Halteelementen angreifendes mechanisches Fixiermittel, über das die beiden Halteelemente zerstörungsfrei lösbar miteinander verbunden sind, wenigstens einen zwischen den Halteelementen
15 eingespannten Abstandhalter und wenigstens ein zwischen wenigstens einem Halteelement und dem jeweiligen Joch anordbares Federelement auf, wobei die Halteeinheit derart ausgebildet ist, dass das Federelement bei an der Haltevorrichtung angeordnetem Transformatorenstapelkern durch einen dabei gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit dem Transformatorenstapelkern elastisch verformt ist. Hierdurch
20 kann das jeweilige Joch auch in Querrichtung fixiert werden, indem das Joch unter elastischer Verformung des Federelements an der jeweiligen Halteeinheit eingespannt wird. Das wenigstens eine Federelement zwischen dem wenigstens einen Halteelement und dem jeweiligen Joch bewirkt zusätzlich einen Ausgleich von Fertigungstoleranzen, wodurch die erforderliche Fertigungsgenauigkeit aller Komponenten der Haltevorrichtung und des Transformatorenstapelkerns kostensenkend reduziert werden kann.

Auch gemäß dieser Ausgestaltung wirkt lediglich die durch die elastische Verformung des wenigstens einen Federelements zwischen wenigstens einem Halteelement und dem jeweiligen Joch erzeugte Rückstellkraft auf den Transformatorenstapelkern ein,
30 die im Vergleich zu den oben beschriebenen herkömmlichen mechanischen Spannkraften deutlich reduziert sind. Die beiden Halteelemente werden zur Herstellung des Haltezustands der Haltevorrichtung mittels des wenigstens einen an den beiden Hal-

teelementen angreifenden mechanischen Fixiermittels über den wenigstens einen starren Abstandhalter zwischen den Halteelementen gegeneinander verspannt, so dass die mechanischen Spannkkräfte von dem Abstandhalter aufgenommen und nicht auf den Transformatorenstapelkern übertragen werden.

- 5 Die beiden Halteelemente können auch über zwei oder mehrere, beispielsweise vier, mechanische Fixiermittel entsprechend gegeneinander verspannt sein. Zwischen den beiden Halteelementen können auch zwei oder mehrere, beispielsweise vier, Abstandhalter entsprechend eingespannt sein. Der Abstandhalter zwischen den Halteelementen kann hierzu beispielsweise aus einem Metall, einer Metalllegierung oder einem anderen starren bzw. formstabilen Werkstoff hergestellt sein.
- 10

- Die auf den Transformatorenstapelkern einwirkenden Kräfte können durch die Wahl der Art und Ausgestaltung des Federelements zwischen dem jeweiligen Halteelement und dem Joch festgelegt werden, dessen Federkonstante bzw. Elastizitätsmodul die gewünschten Kräfte hervorruft. Die Haltevorrichtung kann auch zwei oder mehrere entsprechende Federelemente aufweisen, die an verschiedenen Stellen zwischen den Halteelementen und dem Transformatorenstapelkern angeordnet werden können. Das Federelement kann beispielsweise ein aus einem Elastomer gebildeter Körper sein, der an einer einzigen Seite des Transformatorenstapelkörpers oder an zwei oder mehreren Seiten des Transformatorenstapelkörpers angeordnet bzw. an dessen Formgebung angepasst ist. Alternativ kann das Federelement als Druckfeder, beispielweise Schraubenfeder, Spiralfeder oder Tellerfeder, ausgebildet sein.
- 15
- 20

- Das wenigstens eine an den Halteelementen angreifende mechanische Fixiermittel kann beispielsweise als Schraubverbindung ausgebildet sein. Ein Gewindeschacht einer solchen Schraubverbindung kann durch den, beispielsweise hülsenförmig ausgebildeten, Abstandhalter zwischen den Halteeinheiten verlaufen oder außerhalb und beabstandet zu diesem Abstandhalter angeordnet sein.
- 25

- Die beiden Halteelemente können jeweils im Querschnitt beispielsweise im Wesentlichen S-förmig ausgebildet und derart an dem jeweiligen Joch angeordnet sein, dass sie jeweils nicht ausschließlich auf einer dem jeweils anderen Joch abgewandten Seite des jeweiligen Jochs angeordnet sind, sondern zusätzlich einen Abschnitt des jeweiligen Jochs einseitig seitlich umgreifen. Hierdurch kann das jeweilige Joch sowohl an
- 30

seiner dem jeweils anderen Joch abgewandten Seite, als auch an seiner jeweiligen Längsseite seitlich abgestützt werden, insbesondere über wenigstens ein zwischen der jeweiligen Halteelement und dem jeweiligen Joch angeordnetes Federelement, das bei an der Haltevorrichtung angeordnetem Transformatorenstapelkern durch einen dabei
5 gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit dem Transformatorenstapelkern, insbesondere mit dessen jeweiligem Joch, elastisch verformt ist.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist wenigstens ein Federelement derart U-förmig ausgebildet, dass es den Transformatorenstapelkern entlang zumindest eines Abschnitts des jeweiligen Jochs derart formschlüssig umgreift, dass sich ein
10 Verbindungsbereich zwischen wenigstens einem Spulenschenkel und dem jeweiligen Joch zwischen parallelen Schenkeln des Federelements befindet. Hierdurch kann die Anzahl der erforderlichen Federelemente reduziert werden, was die Montage eines entsprechend ausgestatteten Transformators vereinfacht. Das U-förmig ausgebildete Federelement kann das jeweilige Joch beispielsweise auf der dem jeweils anderen
15 Joch abgewandten Seite und an Abschnitten der sich daran seitlich anschließenden Längsseiten umgreifen. Da der Verbindungsbereich zwischen dem Spulenschenkel und dem Joch zwischen parallelen Schenkeln des Federelements befindet, wird dieser Verbindungsbereich durch das Federelement im Zuge eines Formschlusses gesichert, was insbesondere bei einer Verbindung des Spulenschenkels mit dem Joch über einen
20 stumpfen Stoß von Vorteil ist.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die Haltevorrichtung wenigstens ein zumindest teilweise zwischen dem Abstandhalter und dem Transformatorenstapelkern anordbares Federelement auf, wobei die Haltevorrichtung derart ausgebildet ist, dass das Federelement bei an der Haltevorrichtung angeordnetem Transformatorstapelkern durch einen dabei gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit dem
25 Transformatorenstapelkern elastisch verformt ist. Hierdurch kann beispielsweise ein mit gleichseitigen Endabschnitten der Joche verbundener Spulenschenkel seitlich abgestützt werden. Zusätzlich kann der Endabschnitt von einem dieser Joche stirnseitig abgestützt werden, wobei sich das Federelement über einen Verbindungsbereich zwischen dem Joch und dem Spulenschenkel erstreckt. Das Federelement kann sich unmittelbar oder mittelbar an dem Abstandhalter und/oder dem Transformatorenstapelkern abstützen und kann hierbei einen Formschluss mit dem Abstandhalter und/oder dem Transformatorenstapelkern ausbilden.
30

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die Haltevorrichtung wenigstens ein zwischen zwei benachbart zueinander angeordneten Spulenschenkeln anordbares Distanzstück auf, an dem die beiden Spulenschenkel seitlich aneinander abgestützt sind. Hierdurch können sich die Spulenschenkel mittelbar aneinander abstützen, was insbesondere bei einem stumpfen Stoß zwischen dem jeweiligen Spulenschenkel und dem jeweiligen Joch von Vorteil ist, da dann die, insbesondere formschlüssige, Verbindung zwischen dem Spulenschenkel und dem Joch keinen seitlichen Halt bietet. Das Distanzstück ist vorzugsweise aus einem nichtleitenden Werkstoff hergestellt. Das Distanzstück kann aus einem starren oder federnden, insbesondere elastischen, Material hergestellt sein.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die Haltevorrichtung wenigstens zwei auf einander gegenüberliegenden Seiten eines Spulenschenkels anordbare Stützelemente auf, die jeweils endseitig, insbesondere formschlüssig, mit den beiden Halteeinheiten verbunden sind. Die Stützelemente stützen den Spulenschenkel über einen Formschluss seitlich ab und übertragen hierbei die Stützkräfte auf die Halteeinheiten. Jedes Stützelement kann beispielsweise plattenförmig bzw. stabförmig ausgebildet sein. An den Halteeinheiten sind Ausnehmungen ausgebildet, in die die Endabschnitte der Stützelemente eingreifen, um auf einander abgewandten Seiten seitlich abgestützt zu sein.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die Haltevorrichtung wenigstens vier Spulenstützelemente zum axialen Abstützen von an einem Spulenschenkel angeordneten Spulen auf, wobei zwei Spulenstützelemente an der einen Halteeinheit und die beiden anderen Spulenstützelemente an der anderen Halteeinheit angeordnet sind, wobei die Spulenstützelemente paarweise auf einander gegenüberliegenden Seiten des Spulenschenkels anordbar sind. Des Weiteren weist die Haltevorrichtung gemäß dieser Ausgestaltung pro Spulenstützelement wenigstens ein entweder zwischen der jeweiligen Halteeinheit und dem jeweiligen Spulenstützelement oder zwischen dem jeweiligen Spulenstützelement und den jeweiligen Spulen angeordnetes bzw. anordbares Federelement auf, wobei die Haltevorrichtung derart ausgebildet ist, dass das Federelement bei an der Haltevorrichtung angeordnetem Transformatorenstapelkern mit daran angeordneten Spulen durch einen dabei gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit den Spulen elastisch verformt ist. Hierdurch stützen sich die Spulen separat von dem Transformatorenstapelkern an der Haltevorrichtung ab. Dies ist von Vorteil,

da die Spulen, insbesondere wenn es sich um Spulen mit nicht verklebten bzw. losen Wicklungen handelt, im Vergleich zu dem Transformatorenstapelkern mit deutlich höheren mechanischen Spannkraften an der Haltevorrichtung festgelegt werden müssen. Entsprechend hohe mechanische Spannkraften wirken durch die Entkopplung der mechanischen Fixierungen von Transformatorenstapelkern einerseits und Spulen andererseits an der Haltevorrichtung also nicht auf den Transformatorenstapelkern ein. Die Federelemente gemäß dieser Ausgestaltung können jeweils beispielsweise aus Körpern aus einem Elastomer oder als Druckfeder ausgebildet sein. Alternativ können die Spulenstützelemente, die in der Nähe der jeweiligen Halteeinheit angeordnet sind, miteinander verbunden sein, um einen monolithischen Spulenabstützkörper auszubilden, an dem für jeden Spulenschenkel eine eigene Durchbrechung ausgebildet ist.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist eine mit dem jeweiligen Federelement aufbringbare Rückstellkraft separat einstellbar. Hierdurch kann die Rückstellkraft beispielsweise im Nachhinein geändert, beispielsweise nachgestellt oder erhöht, bzw. optimiert werden. Hierzu kann sich das Federelement an einem Bauteil der Haltevorrichtung abstützen, dessen Stellung relativ zu der übrigen Haltevorrichtung variierbar ist. Dieses Bauteil kann beispielsweise ein in eine Schraubbohrung an einer Halteeinheit bzw. an einem Halteelement eingeschraubter Schraubenkörper sein. Es können auch zwei oder mehrere, insbesondere alle, mit den Federelementen aufbringbaren Rückstellkräfte entsprechend separat einstellbar sein.

Ein erfindungsgemäßer Transformator, insbesondere Drehstromtransformator, weist wenigstens einen weichmagnetischen Transformatorenstapelkern mit Schichten mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, auf, wobei der Transformatorenstapelkern wenigstens zwei parallel zueinander verlaufende Spulenschenkel und zwei mit einander gegenüberliegenden Enden der Spulenschenkel verbundene Joche aufweist. Des Weiteren weist der Transformator wenigstens eine Haltevorrichtung zum Halten des Transformatorenstapelkerns auf, wobei die Haltevorrichtung nach einer der oben genannten Ausgestaltungen oder einer beliebigen Kombination von wenigstens zwei dieser Ausgestaltungen miteinander ausgebildet ist.

Mit dem Transformator sind die oben mit Bezug auf die Haltevorrichtung genannten Vorteile entsprechend verbunden. Die Eisenlegierung enthält vorzugsweise wenigstens

ein weichmagnetisches Element, insbesondere eines oder mehrere der Elemente Fe, Silicium (Si), Ni oder Co, und wenigstens ein glasbildendes Element, insbesondere P und/oder B. Das glasbildenden Element dient der Ausbildung der amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur der jeweiligen amorphen Schicht. Die amorphen Schichten sind vorzugsweise elektrisch voneinander getrennt.

Wenigstens ein Spulenschenkel kann stoffschlüssig und/oder formschlüssig mit wenigstens einem Joch verbunden sein. Zur Herstellung des Transformatorenstapelkerns kann beispielsweise ein E-förmig ausgebildetes Bauteil hergestellt werden, das einen als Joch ausgebildeten Abschnitt und drei als Spulenschenkel ausgebildete Abschnitte aufweist. Ein separates Joch kann nach Anordnung der Spulen an den Spulenschenkeln mit den freien Enden der Spulenschenkel verbunden werden. Die Joche können quaderförmig ausgebildet sein, während die Spulenschenkel jeweils eine abgestufte Querschnittsfläche aufweisen können. Durch die quaderförmige Ausgestaltung der Joche können diese unter geringerem Materialaufwand hergestellt werden, was die Kosten zur Herstellung des Transformators reduziert.

Wenigstens ein Spulenschenkel kann über einen stumpfen Stoß, also bei einem Schnittwinkel von 90° , mit dem jeweiligen Joch verbunden sein. Jedoch kann wenigstens ein Spulenschenkel auch unter Verwendung eines anderen Schnittwinkels, beispielsweise eines Schnittwinkels von 45° , mit dem jeweiligen Joch verbunden sein. Alternativ können die Verbindungsabschnitte des jeweiligen Spulenschenkels und des jeweiligen Jochs derart ausgebildet werden, dass sich Abschnitte von Spulenschenkel und Joch gegenseitig überlappen. Die einander überlappenden Abschnitte können stoffschlüssig miteinander verbunden werden. Alternativ kann ein Verbindungsabschnitt eines Spulenschenkels sogenannte Step-Lap-Schichtung aufweisen. Die einzelnen Spulenschenkel eines Transformatorenstapelkerns können auf verschiedene Art und Weise ausgebildet und mit dem jeweiligen Joch verbunden sein. Zudem kann wenigstens ein Spulenschenkel auf wenigstens zwei verschiedene der genannten Arten mit wenigstens einem Joch verbunden sein.

Wenigstens eine Stoßfläche von miteinander zu verbindenden Stoßflächen eines Spulenschenkels und eines Jochs können zumindest teilweise physikalisch und/oder chemisch behandelt sein. Hierdurch kann die Stoßfläche beispielsweise mit einer gewünschten Oberflächenrauigkeit versehen werden. Zudem kann die Behandlung der

Stoßfläche zur Herstellung einer Planparallelität zwischen miteinander zu verbindenden Stoßflächen dienen. Es können auch beide miteinander zu verbindenden Stoßflächen entsprechend behandelt werden. Die physikalische Behandlung kann beispielsweise mechanisch, insbesondere spanend, und/oder thermisch und/oder chemisch, beispielsweise ein Ätzen, sein.

Bei dem erfindungsgemäßen Transformator ist es möglich, zur Montage von Spulen an den Spulenschenkeln zunächst, das bzw. die mechanischen Fixiermittel, über die die beiden Halteeinheiten miteinander verbunden sind, zu lösen, und anschließend nach einem Entfernen der jeweiligen Halteeinheit das damit gehaltene Joch von dem übrigen Transformatorstapelkern zu lösen. Dann können die Spulen an den Spulenschenkeln angeordnet werden. Dieser Vorgang ist deutlich einfacher und schneller durchführbar als ein herkömmlicher Montagevorgang, bei dem zum Anordnen von Spulen an Spulenschenkeln zunächst tausende Wicklungen eines Transformatorenkerns mühsam manuell abgeschichtet und nach Anordnung der Spulen an den Spulenschenkeln mühsam manuell wieder aufgeschichtet werden müssen. Durch die deutlich schneller mögliche Herstellung des erfindungsgemäßen Transformators kann der Durchsatz eines Werks zur Herstellung entsprechender Transformatoren deutlich erhöht werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung sind die Spulenschenkel und die Joche jeweils durch einen Stapel aus stoffschlüssig miteinander verbundenen Verbundkörpern gebildet, wobei jeder Verbundkörper aus stoffschlüssig miteinander verbundenen, abgelängten Verbundabschnitten eines bandförmigen Mehrkomponentenverbunds gebildet ist, wobei der Mehrkomponentenverbund wenigstens zwei stoffschlüssig miteinander verbundene Verbundlagen aufweist, wobei jede Verbundlage aus einem Folienverbund gebildet ist, wobei jeder Folienverbund wenigstens zwei bandförmige, weichmagnetische Folien mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, aufweist, wobei die Folien stoffschlüssig miteinander verbunden sind. Jede amorphe Folie bildet eine amorphe Schicht des Transformatorenstapelkerns. Hierdurch kann der Transformator kostengünstiger und schneller hergestellt werden, als beispielsweise der in DE 10 2009 048 658 A1 offenbarte Transformator, insbesondere da die einzelnen Schichten eines Transformatorstapelkerns nicht entsprechend DE 10 2009 048 658 A1 nacheinander abgeschieden werden, was sehr zeitaufwändig ist.

Die jeweilige bandförmige, weichmagnetische Folie mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, kann unter Verwendung eines Gießverfahrens kontinuierlich hergestellt werden, was deutlich schneller ist ein herkömmliches sukzessives Abscheiden einzelner Schichten bestimmter Form und Größe. Zum kontinuierlichen Herstellen der amorphen Folie kann zunächst eine Schmelze aus der Eisenlegierung hergestellt werden, beispielsweise unter Verwendung eines Induktionsschmelzofens. Die Schmelze kann anschließend auf eine sich drehende Walze aufgegossen werden, wo die Schmelze unter Bildung der amorphen Folie fortschreitend abgekühlt wird bzw. unter Bildung der amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur erstarrt. Die so gebildete amorphe Folie kann von der Walze abgezogen und nach eventuellen weiteren Ver- und/oder Bearbeitungsschritten zu einer Folienrolle aufgehaspelt werden. Für weitere Verfahrensschritte kann dann die amorphe Folie wieder abgehaspelt werden.

Dass die amorphe Folie kontinuierlich hergestellt wird, bedeutet, dass die amorphe Folie nicht in bestimmter Größe und Formgebung, die an eine Größe und eine Formgebung eines herzustellenden weichmagnetischen Bauteils angepasst ist, sondern als langgestreckt ausgebildetes Band ausgebildet wird, das eine Länge von beispielsweise mehreren 10.000 m aufweisen kann. Die Dicke der amorphen Folie kann beispielsweise in einem Bereich von etwa 20 µm bis etwa 60 µm liegen. Die maximale Breite der amorphen Folie kann beispielsweise in einem Bereich von etwa 180 mm bis etwa 300 mm, insbesondere bis etwa 400 mm, liegen. Bei einer Dicke von etwa 25 µm kann die Länge der amorphen Folie beispielsweise 35.000 m betragen.

Des Weiteren kann der bandförmige Folienverbund durch kontinuierliches, insbesondere flächiges oder lokales, stoffschlüssiges Verbinden der amorphen Folie mit wenigstens einer entsprechend hergestellten weiteren amorphen Folie kontinuierlich hergestellt werden, was ebenfalls deutlich schneller durchführbar ist als die herkömmliche Herstellung eines speziellen Folienverbunds durch Abscheiden einzelner Schichten, wie es beispielsweise DE 10 2009 048 658 A1 offenbart. Die beiden amorphen Folien können zum kontinuierlichen Herstellen des bandförmigen Folienverbunds beispielsweise gleichzeitig von verschiedenen Folienrollen abgehaspelt werden.

Auf wenigstens einen der beiden abgehaspelten Folienabschnitte kann zur Ausbildung des Stoffschlusses zwischen den amorphen Folien beispielsweise ein Klebstoff wäh-

rend des weitergehenden Abhaspeln der amorphen Folien kontinuierlich aufgebracht werden, beispielsweise mittels einer Auftragsrolle oder durch Aufsprühen des Klebstoffs. Der Klebstoff kann alternativ punktförmig oder in Linien aufgebracht werden. Der Klebstoff bildet eine Klebstoffschicht zwischen jeweils zwei benachbart zueinander angeordneten amorphen Folien des Folienverbunds, die elektrisch isolierend sein kann, um die amorphen Folien elektrisch voneinander zu trennen. Hierdurch können Wirbelstromverluste an dem Transformatorenstapelkern möglichst geringgehalten werden.

Alternativ kann die Klebstoffschicht keine oder nur eine geringe elektrische Isolation bewirken, wobei die elektrische Trennung der amorphen Folien untereinander auf eine andere Art und Weise erfolgen kann. Beispielsweise kann wenigstens eine Hauptseite einer amorphen Folie, beispielsweise durch einen Diffusionsvorgang oder dergleichen, derart behandelt werden, dass ein an die Hauptseite angrenzender Abschnitt der amorphen Folie im Vergleich zu der übrigen amorphen Folie eine reduzierte elektrische Leitfähigkeit aufweist, die zur elektrischen Isolierung zwischen miteinander verbundenen amorphen Folien verwendet wird.

Alternativ kann während des weitergehenden Abhaspeln der amorphen Folien ein anderes Mittel, beispielsweise ein Öl, auf wenigstens einen der beiden abgehaspelten Folienabschnitte kontinuierlich aufgebracht werden, das eine Adhäsion zwischen den amorphen Folien erzeugt oder verstärkt. Das Mittel kann alternativ punktförmig oder in Linien aufgebracht werden. Weiter alternativ kann der Stoffschluss zwischen den amorphen Folien dadurch erzeugt werden, dass zumindest eine Verbindungsseite von wenigstens einer amorphen Folie vor dem Zusammenführen der amorphen Folien zumindest bereichsweise erwärmt und dadurch teilweise geschmolzen wird, so dass der geschmolzene Werkstoff dieser amorphen Folie an der anderen amorphen Folie erstarrt und den Stoffschluss bewirkt.

Die amorphe Folie kann zur Herstellung des Folienverbunds auch mit zwei oder mehreren, beispielsweise zwei bis sieben, weiteren amorphen Folien verbunden werden, wobei der Folienverbund dadurch eine entsprechende Anzahl von Folienschichten aufweist. Der Folienverbund kann anschließend zu einer Folienverbundrolle aufgehaspelt werden, um für weitere Ver- und/oder Bearbeitungsschritte zur Verfügung zu stehen. Ein Folienverbund mit fünf Schichten aus amorphen Folien mit einer jeweiligen Dicke von etwa 25 µm kann beispielsweise mit einer Länge von etwa 7.000 m herge-

stellt werden. Die Dicke des Folienverbunds kann beispielsweise in einem Bereich von etwa 40 µm bis etwa 400 µm liegen.

- 5 Vor dem Aufhaspeln des Folienverbunds kann wenigstens eine elektrisch isolierende Trennschicht zumindest einseitig kontinuierlich flächig auf den Folienverbund aufgebracht oder an dem Folienverbund ausgebildet werden. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn der Folienverbund später mit wenigstens einem entsprechend hergestellten weiteren Folienverbund verbunden werden soll, da dann die Folienverbunde zur Reduzierung von Wirbelstromverlusten elektrisch voneinander getrennt sind. Alternativ kann auch zum Verbinden der Folienverbunde ein elektrisch isolierender Klebstoff eingesetzt werden.
- 10 Es kann auch an jeder Seite des Folienverbunds jeweils eine elektrisch isolierende Trennschicht angeordnet werden. Der mit der wenigstens einen Trennschicht versehene Folienverbund kann anschließend zu einer Folienverbundrolle aufgehaspelt werden, um für eine weitere Ver- und/oder Bearbeitung zur Verfügung zu stehen. Die Trennschicht kann beispielsweise derart einseitig an dem Folienverbund ausgebildet werden,
- 15 indem die entsprechende Hauptseite des Folienverbunds, beispielsweise durch einen Diffusionsvorgang oder dergleichen, derart behandelt werden, dass ein an die Hauptseite angrenzender Abschnitt des Folienverbunds im Vergleich zu dem übrigen Folienverbund eine reduzierte elektrische Leitfähigkeit aufweist, die zur elektrischen Isolierung zwischen miteinander verbundenen Folienverbunden verwendet wird.
- 20 Das kontinuierliche Aufbringen oder Ausbilden von wenigstens einer elektrisch isolierenden Trennschicht zumindest einseitig flächig auf den bzw. an dem Folienverbund ist deutlich schneller durchführbar als beispielsweise das Abscheiden von Trennschichten entsprechend DE 10 2009 048 658 A1. Das Aufbringen der elektrisch isolierenden Trennschicht auf den Folienverbund kann durch ein kontinuierliches stoffschlüssiges Verbinden, beispielsweise unter Verwendung eines aufgesprühten Klebstoffs oder anderweitigen Adhäsionsmittels, des Folienverbunds mit einer die Trennschicht bildenden Folie erfolgen.
- 25 Das Ausbilden der elektrisch isolierenden Trennschicht an dem Folienverbund kann beispielsweise durch ein kontinuierliches Auftragen, beispielsweise mittels einer Auftragsrolle oder durch Aufsprühen, eines Isolationswerkstoffs auf den Folienverbund erfolgen, der nach seinem Auftragen möglichst schnell unter Bildung der Trennschicht aushärtet. Alternativ kann das Ausbilden der Trennschicht an dem Folienverbund durch das oben beschriebene Behandeln einer Hauptseite des Folienverbunds erfolgen.
- 30

Vor der Herstellung des Folienverbunds kann wenigstens einer elektrisch isolierenden Trennschicht zumindest einseitig kontinuierlich flächig auf jede der Folien aufgebracht oder an jeder der Folien ausgebildet werden. Auch das kontinuierliche Aufbringen oder Ausbilden von wenigstens einer elektrisch isolierenden Trennschicht zumindest einseitig flächig auf die bzw. an der jeweiligen amorphen Folie ist deutlich schneller durchführbar als beispielsweise das Abscheiden von Trennschichten entsprechend DE 10 2009 048 658 A1. Das Aufbringen der elektrisch isolierenden Trennschicht auf die jeweilige amorphe Folie kann durch ein kontinuierliches stoffschlüssiges Verbinden, beispielsweise unter Verwendung eines aufgesprühten Klebstoffs oder eines anderen Adhäsionsmittels, der amorphen Folie mit einer die Trennschicht bildenden Folie erfolgen. Das Ausbilden der elektrisch isolierenden Trennschicht an der jeweiligen amorphen Folie kann beispielsweise durch ein kontinuierliches Auftragen, beispielsweise mittels einer Auftragsrolle oder durch Aufsprühen, eines Isolationswerkstoffs auf die amorphe Folie erfolgen, der nach seinem Auftragen möglichst schnell unter Bildung der Trennschicht aushärtet. Alternativ kann das Ausbilden der Trennschicht an der jeweiligen amorphen Folie durch das oben beschriebene Behandeln einer Hauptseite der amorphen Folie erfolgen. Es kann auch an jeder Seite der jeweiligen amorphen Folie jeweils eine elektrisch isolierende Trennschicht angeordnet bzw. ausgebildet werden. Die jeweilige mit der wenigstens einen Trennschicht versehene amorphe Folie kann anschließend zu einer Folienrolle aufgehaspelt werden, um für eine weitere Ver- und/oder Bearbeitung zur Verfügung zu stehen.

Das kontinuierliche stoffschlüssige Verbinden der Folienverbunde miteinander kann mittels eines Klebstoffs oder eines anderen Adhäsionsmittels erfolgen, der bzw. das mittels einer Auftragsrolle oder durch Aufsprühen kontinuierlich auf wenigstens einen der Folienverbunde aufgetragen wird. Der Klebstoff bzw. das Adhäsionsmittel kann elektrisch isolierend ausgebildet sein. Die Breite des Mehrkomponentenverbunds kann beispielsweise in einem Bereich von etwa 200 mm bis etwa 1000 mm liegen. Die Dicke des Mehrkomponentenverbunds kann beispielsweise in einem Bereich von etwa 40 µm bis etwa 2000 µm liegen.

Die Dicke eines Verbundkörpers kann beispielsweise in einem Bereich von etwa 3 mm bis etwa 400 mm liegen. Die Breite eines Verbundkörpers kann beispielsweise in einem Bereich von etwa 30 mm bis 1000 mm liegen. Die Länge eines Verbundkörpers kann beispielsweise in einem Bereich von etwa 100 mm bis 2500 mm liegen. Die Ver-

bundabschnitte können beispielsweise derart ausgewählt, gestapelt und stoffschlüssig miteinander verbunden werden, dass der jeweilig daraus gebildete Verbundkörper beispielsweise eine rechteckige, trapezförmige oder anderweitig ausgebildete Schnittfläche aufweist. Auch kann an wenigstens einer Seitenfläche des jeweilig gebildeten Verbundkörpers wenigstens eine Nut oder dergleichen ausgebildet sein. Die Verbundabschnitte können unterschiedlich dick, lang und/oder breit ausgebildet sein, um eine stufenartige Abschrägung des jeweilig daraus gebildeten Verbundkörpers zu erzeugen. Eine Breite und/oder Länge der Verbundkörper ist über eine Höhe des Stapels gleich oder nimmt in wenigstens einem bezüglich der Höhe gegebenen Endbereich des Stapels zumindest teilweise zu dem freien Ende des Endbereichs hin stufenartig ab.

Der jeweilige Spulenschenkel bzw. das jeweilige Joch kann durch stoffschlüssiges Verbinden von Verbundkörpern gleicher oder verschiedener Breite und/oder Länge hergestellt werden, wobei eine Querschnittsfläche des Spulenschenkels bzw. Jochs durch die Verwendung von Verbundkörpern verschiedener Breite bzw. Länge an wenigstens einem Eckbereich mit einer Abstufung ausgebildet wird. Hierdurch kann dem Spulenschenkel beispielsweise eine im Querschnitt annähernd kreisförmige, elliptische oder ovale Querschnittsfläche verliehen werden, wozu jeder Eckbereich mit einer entsprechenden Abstufung ausgebildet wird. Dem Joch kann beispielsweise eine rechteckige Querschnittsfläche aufweisen. Die Verbundkörper können über einen Klebstoff oder ein anderes Adhäsionsmittel miteinander verbunden werden. Der Klebstoff bzw. das Adhäsionsmittel kann elektrisch isolierend ausgebildet sein.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind die Verbundlagen jeweils aus einem längsgeteilten Folienverbund gebildet, wobei der eine Folienverbund bezüglich einer Querschnittsbreite des jeweiligen Mehrkomponentenverbunds an einer anderen Stelle längsteilt ist als der benachbart zu dem Folienverbund angeordnete weitere Folienverbund. Durch ein versetztes Anordnen von durch die jeweilige Längsteilung des jeweiligen Folienverbunds erzeugten Verbundabschnitten und stoffschlüssiges Verbinden der Verbundabschnitte kann ein Mehrkomponentenverbund beliebiger Breite hergestellt werden. Der eine Folienverbund kann beispielsweise an einer einzelnen Stelle seiner Querschnittsfläche längsgeteilt sein, während der weitere Folienverbund beispielsweise an zwei Stellen seiner Querschnittsfläche, die der Querschnittsfläche des erstgenannten Folienverbunds entspricht, längsgeteilt sein kann. Der Mehrkomponentenverbund kann durch eine abwechselnde Anordnung dieser beiden Folienverbunde

ausgebildet werden, wobei der Mehrkomponentenverbund auch aus mehr als zwei Folienverbunden gebildet sein kann. Die einzelnen Folienverbunde können auch eine andere Anzahl an Längsteilungen aufweisen. Für die Ausbildung des Mehrkomponentenverbunds ist es wesentlich, dass Längsteilungen von benachbart angeordneten Folienverbunden bezüglich der Längserstreckung des Mehrkomponentenverbunds versetzt zueinander angeordnet sind bzw. in Dickenrichtung des Mehrkomponentenverbunds nicht fluchtend zueinander angeordnet sind. Alternativ sind die Folienverbunde der Verbundlagen nicht entsprechend längsgeteilt ausgebildet.

Im Folgenden wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert, wobei die nachfolgend erläuterten Merkmale sowohl jeweils für sich genommen als auch in unterschiedlicher Kombination miteinander einen vorteilhaften und/oder weiterbildenden Aspekt der Erfindung darstellen können.

Kurze Beschreibung der Figuren

Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische und perspektivische Darstellung eines Ausführungsbeispiels für einen erfindungsgemäßen Transformator;
- Fig. 2 eine schematische und perspektivische Darstellung der in Fig. 1 gezeigten Haltevorrichtung;
- Fig. 3 eine schematische und perspektivische Teilschnittdarstellung eines Abschnitts des in Fig. 1 gezeigten Transformators;
- Fig. 4 eine schematische und perspektivische Schnittdarstellung eines weiteren Abschnitts des in Fig. 1 gezeigten Transformators in einer ersten Variante;
- Fig. 5 eine schematische und perspektivische Schnittdarstellung eines weiteren Abschnitts des in Fig. 1 gezeigten Transformators in einer weiteren Variante;
- Fig. 6 eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels für einen erfindungsgemäßen Transformator;

Fig. 7 eine weitere schematische Schnittdarstellung des in Fig. 6 gezeigten Transformators; und

Fig. 8 eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels für einen erfindungsgemäßen Transformator.

5 Ausführliche Beschreibung der Figuren

In den Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile mit denselben Bezugszeichen versehen. Eine wiederholte Beschreibung dieser Bauteile kann weggelassen sein.

10 Fig. 1 zeigt eine schematische und perspektivische Darstellung eines Ausführungsbeispiels für einen erfindungsgemäßen Transformator 1 in Form eines Drehstromtransformators.

15 Der Transformator 1 weist einen weichmagnetischen Transformatorenstapelkern 2 mit nicht gezeigten Schichten mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, auf. Der Transformatorenstapelkern 2 weist drei parallel zueinander verlaufende Spulenschenkel 3 und zwei mit einander gegenüberliegenden Enden der Spulenschenkel 3 verbundene Joche 4 auf. An jedem Spulenschenkel 3 sind zwei Spulen 18 und 19 angeordnet.

20 Die Spulenschenkel 3 und die Joche 4 sind jeweils durch einen Stapel aus stoffschlüssig miteinander verbundenen, nicht gezeigten Verbundkörpern gebildet, wobei jeder Verbundkörper aus stoffschlüssig miteinander verbundenen, abgelängten, nicht gezeigten Verbundabschnitten eines bandförmigen, nicht gezeigten Mehrkomponentenverbunds gebildet ist. Der jeweilige Mehrkomponentenverbund weist wenigstens zwei stoffschlüssig miteinander verbundene, nicht gezeigte Verbundlagen auf, wobei jede Verbundlage aus einem nicht gezeigten Folienverbund gebildet ist, wobei jeder Folienverbund wenigstens zwei bandförmige, weichmagnetische, nicht gezeigte Folien mit einer amorphen und/oder nanokristallinen Gefügestruktur aus einer Eisenlegierung, insbesondere einer FeSiB-Legierung, aufweist, wobei die Folien stoffschlüssig miteinander verbunden sind.

Die Verbundlagen des Mehrkomponentenverbunds können jeweils aus einem nicht gezeigten längsgeteilten Folienverbund gebildet sein, wobei der eine Folienverbund bezüglich einer nicht gezeigten Querschnittsbreite des jeweiligen Mehrkomponentenverbunds an einer anderen Stelle längsteilt ist als der benachbart zu dem Folienverbund angeordnete weitere Folienverbund.

Der Transformator 1 weist zudem eine Haltevorrichtung 5 zum Halten des Transformatorstapelkerns 2 auf. Die Haltevorrichtung 5 weist zwei Halteeinheiten 6 und 7 auf, die jeweils derart an einem der beiden Joche 4 angeordnet sind, dass die Halteeinheiten 6 und 7 an einander gegenüberliegenden Endbereichen des Transformatorstapelkerns 2 angeordnet sind.

Des Weiteren weist die Haltevorrichtung 5 vier an den beiden Halteeinheiten 6 und 7 angreifende mechanische Fixiermittel 8 auf, über die die beiden Halteeinheiten 6 und 7 zerstörungsfrei lösbar miteinander verbunden sind. Jedes Fixiermittel 8 ist als Schraubverbindung ausgebildet. Die Fixiermittel 8 sind jeweils in einem Eckbereich der Haltevorrichtung 5 angeordnet.

Zudem weist die Haltevorrichtung 5 vier zwischen den Halteeinheiten 6 und 7 eingespannten Abstandhalter 9 auf, die in dem Ausführungsbeispiel hülsenförmig ausgebildet sind, wobei ein Gewindeschäft 39 des jeweiligen Fixiermittels 8 durch den jeweiligen Abstandhalter 9 hindurchgeführt ist. Die Gewindeschäfte 39 der Fixiermittel 8 können über die Halteeinheit 6 hinaus derart nach oben verlängert sein, dass sie zusätzlich zum Halten eines nicht gezeigten Deckels eines nicht gezeigten Transformatorstapelkessels verwendet werden.

Des Weiteren weist die Haltevorrichtung 5 mehrere zwischen der jeweiligen Halteeinheit 6 bzw. 7 und dem Transformatorstapelkern 2 angeordnete, nicht gezeigte Federelemente auf. Die Haltevorrichtung 5 ist derart ausgebildet, dass die Federelemente bei an der Haltevorrichtung 5 angeordnetem Transformatorstapelkern 2 durch einen dabei gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit dem Transformatorstapelkern 2 elastisch verformt sind. Wenigstens ein Federelement kann derart U-förmig ausgebildet sein, dass es den Transformatorstapelkern 2 entlang zumindest eines Abschnitts des jeweiligen Jochs 4 derart formschlüssig umgreift, dass sich ein nicht gezeigter Verbindungsbereich zwischen wenigstens einem Spulenschenkel 3 und dem jeweiligen

Joch 4 zwischen nicht gezeigten parallelen Schenkeln des Federelements befindet. Eine mit dem jeweiligen Federelement aufbringbare Rückstellkraft kann separat einstellbar sein.

5 Jede Halteeinheit 6 bzw. 7 weist zwei Halteelemente 10 und 11 auf, die an einander gegenüberliegenden Jochendbereichen des jeweiligen Jochs 4 angeordnet sind. Des Weiteren weist jede Halteeinheit 6 bzw. 7 zwei an den beiden Halteelementen 10 und 11 angreifende mechanische Fixiermittel 12 auf, über das die beiden Halteelemente 11 und 12 zerstörungsfrei lösbar miteinander verbunden sind. Zudem weist jede Halteeinheit 6 bzw. 7 zwei zwischen den Halteelementen 10 und 11 eingespannte Abstandhalter 13 auf, die in dem Ausführungsbeispiel hülsenförmig ausgebildet sind, wobei ein Gewindeschacht 40 des jeweiligen Fixiermittels 12 durch den jeweiligen Abstandhalter 13 hindurchgeführt ist. Jede Halteeinheit 6 bzw. 7 weist des Weiteren mehrere zwischen dem jeweiligen Halteelement 11 bzw. 12 und dem jeweiligen Joch 4 angeordnete, nicht gezeigte Federelemente auf. Die jeweilige Halteeinheit 6 bzw. 7 ist derart ausgebildet, dass das jeweilige Federelement bei an der Haltevorrichtung 5 angeordnetem Transformatorenstapelkern 2 durch einen dabei gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit dem Transformatorenstapelkern 2 elastisch verformt ist. Eine mit dem jeweiligen Federelement aufbringbare Rückstellkraft kann separat einstellbar sein.

20 Die Haltevorrichtung 5 kann zudem wenigstens ein zumindest teilweise zwischen dem jeweiligen Abstandhalter 9 und dem Transformatorenstapelkern 2 angeordnetes, nicht gezeigtes Federelement aufweisen, wobei die Haltevorrichtung 5 derart ausgebildet sein kann, dass das Federelement bei an der Haltevorrichtung 5 angeordnetem Transformatorenstapelkern 2 durch einen dabei gegebenen zumindest mittelbaren Kontakt mit dem Transformatorenstapelkern 2 elastisch verformt ist.

25 Des Weiteren kann die Haltevorrichtung 5 wenigstens ein zwischen zwei benachbart zueinander angeordneten Spulenschenkeln 3 angeordnetes, nicht gezeigtes Distanzstück aufweisen, an dem die beiden Spulenschenkel 3 seitlich aneinander abgestützt sind. Entsprechende Distanzstücke sind beispielsweise in Fig. 6 gezeigt.

30 Die Haltevorrichtung 5 weist zudem drei Paare aus jeweils zwei auf einander gegenüberliegenden Seiten des jeweiligen Spulenschenkels 3 angeordneten Stützelementen 14 auf, die jeweils endseitig mit den beiden Halteeinheiten 6 und 7 verbunden sind.

- Zudem weist die Haltevorrichtung 5 pro Spulenschenkel 3 vier Spulenstützelemente 15 zum axialen Abstützen der an dem jeweiligen Spulenschenkel 3 angeordneten Spulen 18 und 19 auf. Pro Spulenschenkel 3 sind zwei Spulenstützelemente 15 an der einen Halteeinheit 6 und die beiden anderen Spulenstützelemente 15 an der anderen Halteeinheit 7 angeordnet. Pro Spulenschenkel 3 sind die Spulenstützelemente 15 paarweise auf einander gegenüberliegenden Seiten des jeweiligen Spulenschenkels 3 angeordnet. Wie an der Halteeinheit 7 durch strichpunktierte Linien angedeutet, können zwischen benachbart angeordneten Spulenschenkeln 3 verlaufende Spulenstützelemente 15 monolithisch miteinander verbunden sein.
- 10 Ferner weist die Haltevorrichtung 5 pro Spulenstützelement 15 zwei zwischen der jeweiligen Halteeinheit 6 bzw. 7 und dem jeweiligen Spulenstützelement 15 angeordnete, nicht gezeigte Federelemente auf, die jeweils in eine Durchbrechung 16 an der jeweiligen Halteeinheit 6 bzw. 7 eingreifen. Die Haltevorrichtung 5 ist derart ausgebildet, dass die Federelemente bei an der Haltevorrichtung 5 angeordnetem Transformatorenstapelkern 2 mit daran angeordneten, durch strichpunktierte Linien angedeuteten Spulen 15 18 und 19 durch einen dabei gegebenen mittelbaren Kontakt über die Spulenstützelemente 15 mit wenigstens einer Spule 18 bzw. 19 elastisch verformt sind.
- Fig. 2 zeigt eine schematische und perspektivische Darstellung des in Fig. 1 gezeigten Haltevorrichtung 5. Es sind insbesondere alle vier Abstandhalter 9 gezeigt.
- 20 Fig. 3 zeigt eine schematische und perspektivische Teilschnittdarstellung eines Abschnitts des in Fig. 1 gezeigten Transformators 1. Es sind die Spulen weggelassen, wodurch die Stützelemente 14 und deren jeweilige Anordnung an dem jeweiligen Spulenschenkel 3 besser zu erkennen sind.
- Fig. 4 zeigt eine schematische und perspektivische Schnittdarstellung eines weiteren Abschnitts des in Fig. 1 gezeigten Transformators 1 im Bereich des Halteelements 11 der Halteeinheit 6 in einer ersten Variante. Es ist eine an dem Halteelement 11 ausgebildete Durchbrechung 16 gezeigt, in die ein Zapfen 20 des gezeigten Federelements 21 eingreift. An einer Stützplatte 22, die durch monolithisches Verbinden von zwischen benachbart angeordneten Spulenschenkeln 3 angeordneten, nicht gezeigten Spulenstützelementen gebildet ist, wie es in Fign. 1 und 3 angedeutet ist, ist für jedes Federelement 21 eine eigene Vertiefung 23 ausgebildet, in der das jeweilige Federele-
- 25 30

ment 21 teilweise aufgenommen ist. An einem Boden 24 der Vertiefung 23 ist eine Ausnehmung 25 ausgebildet, in die ein weiterer Zapfen 26 des jeweiligen Federelements 21 eingreift. Jedes Federelement 21 ist monolithisch aus einem Elastomer hergestellt.

5 Fig. 5 zeigt eine schematische und perspektivische Schnittdarstellung eines weiteren Abschnitts des in Fig. 1 gezeigten Transformators 1 im Bereich des Halteelements 11 der Halteeinheit 6 in einer zweiten Variante. Es ist eine an dem Halteelement 11 ausgebildete Durchbrechung 16 gezeigt, in die ein Zapfen 17 des gezeigten plattenförmigen Federelements 27 eingreift. Das Federelement 27 stützt sich einseitig an einer
10 Stützplatte 28 ab, die durch monolithisches Verbinden von zwischen benachbart angeordneten Spulenschenkeln 3 angeordneten, nicht gezeigten Spulenstützelementen gebildet ist, wie es in Fig. 1 und 3 angedeutet ist. Jedes Federelement 27 ist monolithisch aus einem Elastomer hergestellt.

Fig. 6 zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels für einen erfindungsgemäßen Transformator 29 in Form eines Drehstromtransformators. Der Transformator 29 unterscheidet sich im Wesentlichen dadurch von dem in den Fig. 1 bis 5 gezeigten Ausführungsbeispiel, dass der Transformatorenstapelkern 2 über großflächiger ausgebildete Federelemente 30 und 31 an der Halteeinheit 6 bzw.
15 7 und über jeweils zwei weitere Federelemente 32 an den Abstandhaltern 33 abgestützt ist, die separat zu den Fixiermitteln 8 angeordnet sind. Im Übrigen kann der Transformator 29 entsprechend den Fig. 1 bis 5 ausgebildet sein, weshalb zur Vermeidung von Wiederholungen im Übrigen auf die obige Beschreibung zu den Fig. 1 bis 5 verwiesen wird. Die Haltevorrichtung 5 weist zudem vier paarweise zwischen zwei benachbart zueinander angeordneten Spulenschenkeln 3 angeordnete Distanzstücke 34 auf, an dem die jeweiligen beiden Spulenschenkel 3 seitlich aneinander abgestützt sind.
20 25

Fig. 7 zeigt eine weitere schematische Schnittdarstellung des in Fig. 7 gezeigten Transformators 29 gemäß der Schnittebene A-A aus Fig. 6. Es ist zu sehen, dass die Federelemente 30 und 31 jeweils im Querschnitt U-förmig ausgebildet sind. Jeweils ein
30 Verbindungsbereich 35 zwischen dem jeweiligen Joch 4 und dem jeweiligen Spulenschenkel 3 ist zwischen parallelen Schenkeln 36 des jeweiligen Federelements 36 angeordnet. Statt des jeweiligen U-förmig ausgebildeten Federelements 30 bzw. 31 kön-

nen drei nicht gezeigte separat hergestellte Elemente entsprechend U-förmig angeordnet sein, wobei ein einen Schenkel ausbildendes Element als Federelement und das andere einen Schenkel ausbildende Element als Gleitkörper ausgebildet sein kann, während das diese beiden Elemente miteinander verbindende Element als Federelement ausgebildet sein kann.

Fig. 8 zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels für einen erfindungsgemäßen Transformator 37 in Form eines Drehstromtransformators. Der Transformator 35 unterscheidet sich insbesondere dadurch von dem in den Fig. 6 und 7 gezeigten Ausführungsbeispiel, dass jede Halteeinheit 6 bzw. 7 im Querschnitt U-förmig ausgebildet ist und somit zwei parallel verlaufende Schenkel 38 aufweist, zwischen denen das jeweilige Federelement 30 bzw. 31 aufgenommen ist. Die mechanischen Fixiermittel der Halteeinheit 5 sind nicht gezeigt. Zwischen den freien Enden der Schenkel 38 und wenigstens einer Spule 18 bzw. 19 ist jeweils ein Federelement 41 angeordnet, das durch den Kontakt mit der jeweiligen Spule 18 bzw. 19 elastisch verformt ist.

Bezugszeichenliste

	1	Transformator
	2	Transformatorenstapelkern
	3	Spulenschenkel
5	4	Joch
	5	Haltevorrichtung
	6	Halteeinheit
	7	Halteeinheit
	8	Fixiermittel von 5
10	9	Abstandhalter von 5
	10	Halteelement
	11	Halteelement
	12	Fixiermittel von 6, 7
	13	Abstandhalter von 6, 7
15	14	Stützelement
	15	Spulenstützelement
	16	Durchbrechung an 10, 11
	17	Zapfen von 27
	18	Spule
20	19	Spule
	20	Zapfen von 21
	21	Federelement
	22	Stützplatte
	23	Vertiefung an 22
25	24	Boden von 23
	25	Ausnehmung an 23
	26	Zapfen von 21
	27	Federelement
	28	Stützplatte
30	29	Transformator
	30	Federelement
	31	Federelement
	32	Federelement

- 33 Abstandhalter
- 34 Distanzstück
- 35 Verbindungsbereich zwischen 3 und 4
- 36 Schenkel von 30, 31
- 5 37 Transformator
- 38 Schenkel von 6, 7
- 39 Gewindestange von 8
- 40 Gewindestange von 12
- 41 Federelement