



(10) **DE 11 2022 002 930 T5** 2024.03.21

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/022002**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 002 930.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/029912**
(86) PCT-Anmeldetag: **04.08.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **23.02.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **21.03.2024**

(51) Int Cl.: **B22D 11/06** (2006.01)
C22C 45/02 (2006.01)
C22C 45/00 (2023.01)
C21D 8/02 (2006.01)
B21B 27/08 (2006.01)
H01F 1/153 (2006.01)
H01F 27/25 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2021-132617 **17.08.2021** **JP**

(71) Anmelder:
HILLTOP CORPORATION, Uji-shi, Kyoto, JP

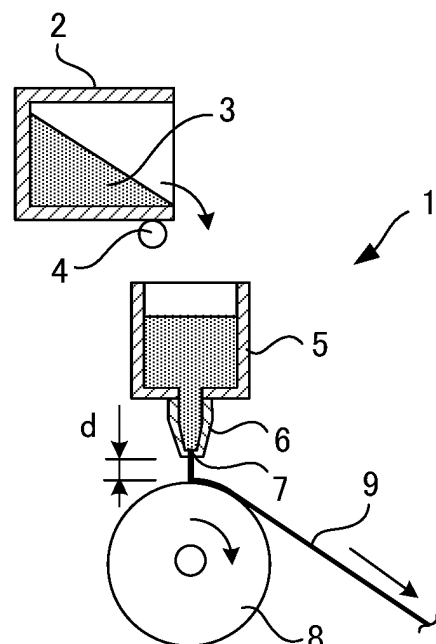
(74) Vertreter:
isarpatent - Patent- und Rechtsanwälte Barth
Hassa Peckmann und Partner mbB, 80801
München, DE

(72) Erfinder:
Kanekiyo, Hirokazu, Kyoto, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES FE-SI-B-BASIERTEN, DICKSCHICHTIGEN, SCHNELL ERSTARRTEN LEGIERUNGSBANDES**

(57) Zusammenfassung: Bereitgestellt wird ein Verfahren, das Ausstoßen einer Fe-Si-B-basierten, geschmolzenen Legierung, die Eisen (Fe), Bor (B) und Silicium (Si) als wesentliche Komponenten enthält, aus einer Abstichdüse auf eine Oberfläche einer Kühlwalze und Drehen der Kühlwalze mit einer Oberflächengeschwindigkeit von 15 m/s oder mehr und 50 m/s oder weniger enthält, um die Fe-Si-B-basierte, geschmolzene Legierung auf der Oberfläche der Kühlwalze schnell abzukühlen, um ein Legierungsband herzustellen, wobei die Abstichdüse einen einzigen Schlitz enthält, der so ausgebildet ist, um eine Breite von 0,6 mm oder mehr und weniger als 2,0 mm aufzuweisen, die Kühlwalze eine Krümmung von 8×10^{-4} oder mehr und weniger als 2×10^{-3} aufweist, und das Verfahren Durchleiten von Kühlwasser in einer Menge von 0,3 m³/min oder mehr und weniger als 20 m³/min bei 5°C oder mehr und weniger als 60°C durch die Kühlwalze enthält, um ein schnell erstarrtes Legierungsband herzustellen, das eine durchschnittliche Dicke von 30 µm oder mehr und weniger als 55 µm aufweist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes.

Hintergrund

[0002] In jüngster Zeit wird auf dem Markt nach Materialien, die einen geringen Eisenverlust und eine hohe Sättigungsmagnetisierungsflussdichte aufweisen, für verschiedene passive Elemente wie Induktoren und Drosseln gefragt, die als elektronische Komponenten und Transformatoren verwendet werden. Als Materialien, die eine hohe magnetische Permeabilität und einen geringeren Eisenverlust als Elektrostahlbleche aufweisen, sind weichmagnetische Werkstoffe bekannt. Weichmagnetische Materialien, wie z. B. Eisen-basierte, amorphe Werkstoffe und Eisen-basierte Nanokristallmaterialien, enthalten hauptsächlich Eisen (Fe), Bor (B), und Silicium (Si). Fe-Si-B-basierte, schnell erstarrte Legierungsbänder, die eine Dicke von etwa 17 µm bis 25 µm aufweisen, die durch die Verarbeitung von geschmolzenem Metall durch schnelle Erstarrung unter Verwendung eines solchen weichmagnetischen Materials hergestellt werden, werden als gewickelter Eisenkern in Induktoren, Transformatoren und dergleichen verwendet, und Fe-Si-B-basierte, schnell erstarrte Legierungsbänder werden Jahr für Jahr zunehmend als Ersatz für herkömmliche Elektrostahlbleche verlangt.

[0003] Eisen-basierte, amorphe Legierungen weisen hervorragende weichmagnetische Eigenschaften wie einen Eisenverlust von etwa 1/10 und eine magnetische Permeabilität auf, die mindestens dreimal so hoch ist wie die von Elektrostahlblechen (Siliciumstahlblechen), die als laminierter Eisenkern für Motoren verwendet werden. Daher wird erwartet, dass Eisen-basierte amorphe Legierungen als gewickelter Eisenkern für Induktoren und Transformatoren, wie oben beschrieben, und darüber hinaus für Motoren verwendet werden, um zur Verkleinerung und Verbesserung der Effizienz der Motoren beizutragen. Allerdings werden Eisen-basierte, amorphe Legierungen, die eine Dicke von etwa 17 µm bis 25 µm aufweisen, als gewickelter Eisenkern nur für einige wenige Motoren verwendet, da solche Eisen-basierte, amorphen Legierungen beispielsweise nicht dem Stanzen unterzogen werden können, das für die Bildung eines laminierten Eisenkerns erforderlich ist, und darüber hinaus der Platzfaktor abnimmt.

[0004] In einer Fe-Si-B-basierten, amorphen Legierung kann eine amorphe Struktur auf herkömmliche Weise nicht erhalten werden, es sei denn, die Legierung ist ein schnell erstarrtes Legierungsband, das eine Dicke von etwa 17 µm bis 25 µm aufweist, das mit einer sehr hohen Erstarrungsrate von 10^4 bis 10^6 K/sec schnell erstarrt. In der Nicht-Patentschrift 1 wird jedoch offenbart, dass die schnelle Erstarrungsrate durch die Zugabe von Phosphor (P) verringert wird, so dass ein Eisen-basiertes, amorphes Legierungsband, das eine Dicke von etwa 50 µm aufweist, erhalten wird. Die mit Phosphor versetzte Legierung führt jedoch nicht nur zu einer Verringerung der Sättigungsmagnetisierungsflussdichte B_s aufgrund der Zugabe von Phosphor, sondern auch zu einer erheblichen Verunreinigung innerhalb und außerhalb der Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenen Metall aufgrund der Verflüchtigung der Phosphorkomponente zum Zeitpunkt des Schmelzens der Legierung, und außerdem kann die mit Phosphor versetzte Legierung leicht brennen, so dass es noch wenige Anwendungsbeispiele im industriellen Bereich gibt.

[0005] Patentschrift 1 und Patentschrift 2 offenbaren ein Verfahren zur Herstellung eines schnell abgekühlten Legierungsbandes, das eine Schichtdicke (50 µm oder mehr) aufweist, so dass das Stanzen mit einem Mehrschlitzverfahren durchgeführt werden kann, bei dem eine geschmolzene Legierung aus einer Vielzahl von Schlitzdüsen auf eine rotierende Kühlwalze ausgestoßen wird. In der Patentschrift 1 und der Patentschrift 2 werden jedoch keine Spezifikationen und Betriebsparameter einer Herstellungsvorrichtung für die Massenproduktion einer Eisen-basierten, amorphen Legierung, die eine solche Schichtdicke aufweist, zu niedrigen Kosten offenbart, wobei die Homogenität und die gleichmäßige Qualität der amorphen Legierung stabil aufrechterhalten werden.

[0006] Patentschrift 3 und Patentschrift 4 offenbaren ein Verfahren zur Herstellung einer Eisen-basierten, amorphen Legierung, die eine Schichtdicke von 30 µm oder mehr aufweisen, durch abwechselndes Ausstoßen eines geschmolzenen Metalls aus einer Mehrschlitzdüse auf zwei Kühlwalzen. Die in diesem Verfahren verwendete Herstellungsvorrichtung erfordert zwei Kühlwalzen, und daher sind die Herstellungs- und Betriebskosten stark erhöht, und darüber hinaus ist die Spaltkontrolle zwischen der Düsen Spitze und der Kühlwalzenoberfläche, die die Schichtdicke und den schnellen Abkühlungszustand der Eisen-basierten,

amorphen Legierung stark beeinflusst, im Vergleich zu einer normalen Einwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall mit nur einer Kühlwalze extrem schwierig.

[0007] Patentschrift 5 offenbart eine Kühlwalze, die in einer Einwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall zur Herstellung einer Eisen-basierten amorphen Legierung, die eine Schichtdicke von 30 µm oder mehr aufweist, verwendet wird, aber es besteht ein Problem, dass die Herstellungskosten aufgrund der komplizierten Struktur des Kühlwasserströmungskanals hoch sind. Patentschrift 5 beschreibt, dass die Durchflussrate des Kühlwassers mit zunehmender Schichtdicke des amorphen Folienbandes erhöht wird, jedoch wird die optimale Menge des Walzenkühlwassers nicht geklärt. Außerdem wird ein Walzendurchmesser in Abhängigkeit von der Schichtdicke eines amorphen Bandes empfohlen. Die Herstellung einer Vielzahl von Kühlwalzen und Antriebsmechanismen in Abhängigkeit von der Schichtdicke erhöht jedoch die Herstellungskosten der Vorrichtung erheblich, so dass die Vorrichtung im Hinblick auf die Produktionseffizienz nur schwer als Massenproduktionsvorrichtung eingesetzt werden kann.

[0008] Patentschrift 6 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Metallbandes, bei dem die Dicke eines Metallbandes zum Zeitpunkt der Herstellung eines schnell abgekühlten breiten Bandes unter Verwendung einer Mehrlochdüse nicht ungleichmäßig ist. Die Erfindung der Patentschrift 6 ist durch die Form der Düsenöffnung charakterisiert, aber es besteht das Problem, dass die Herstellungskosten der Düse aufgrund der schwierigen Herstellung ansteigen, so dass diese Erfindung nur schwer in der Massenproduktion eingesetzt werden kann.

[0009] Patentschrift 7 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Hartlötbandes, das eine Dicke von 50 bis 200 µm aufweist, mit einer Einwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall, aber das durch dieses Verfahren erhaltene Hartlötband ist eine kristalline Ni-basierte Legierung, und daher offenbart die Patentschrift 7 keine Technik zur Herstellung einer schnell erstarrten Legierung, das eine amorphe Struktur mit einer Dicke von etwa 50 µm aufweist.

[0010] Patentschrift 8 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Fe-basierten, amorphen Legierungsbandes, bei dem wellenartige Wellenformen auf einer freien Oberfläche mit einem Einwalze-Verfahren gebildet werden, um den Hystereseverlust zu verringern, der ein Hauptfaktor für den Eisenverlust eines breiten, amorphen Legierungsbandes ist. Patentschrift 8 beschreibt die Temperaturverteilung in der Breitenrichtung der Düse für geschmolzenes Metall und die Rauheit der Kühlwalzenoberfläche, aber es wird keine Technik zur Herstellung einer Eisen-basierten, schnell erstarrten Legierung, die eine amorphe Struktur aufweist, offenbart, die auf einen laminierten Eisenkern anwendbar ist.

[0011] Als Technik zur Herstellung einer Fe-Si-B-basierten, schnell abgekühlten Legierung, die eine Dicke von 30 µm oder mehr aufweist, unter Verwendung einer herkömmlichen Schlitzdüse, wie oben beschrieben, wurde eine Technik vorgeschlagen, bei dem eine Mehrschlitz-Abstichdüse verwendet wird, die eine Vielzahl von Schlitzreihen enthält, die senkrecht zur Drehrichtung der Kühlwalze angeordnet sind, zusätzlich zur Zugabe von Phosphor (P) oder dergleichen, um die Fähigkeit des amorphen Bildens der Legierung zu verbessern. Wenn jedoch die Abstichrate erhöht wird, z. B. durch Ausstoßen des geschmolzenen Metalls aus der Vielzahl der Schlitzreihen, wird es schwierig, die geschmolzene Legierung mit der Kühlwalze schnell abzukühlen, und es ist weniger wahrscheinlich, dass eine amorphe Struktur erhalten wird. Als Lösung für dieses Problem werden daher üblicherweise Maßnahmen erwogen, bei denen beispielsweise die Kühlwasserkanalstruktur in einer Kühlwalze weiterentwickelt wird oder zwei Kühlwalzen parallel angeordnet werden, um abwechselnd geschmolzenes Metall zuzuführen. Bei jeder dieser Maßnahmen wird die Konfiguration der Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall kompliziert, so dass eine Schnellkühltechnik für geschmolzenes Metall für eine stabile Massenproduktion einer Fe-Si-B-basierten, schnell abgekühlten Legierung, die eine Dicke von 30 µm oder mehr aufweist, zu niedrigen Kosten nicht etabliert wurde und es bisher keine Ausführungen über die Bereitstellung auf dem Markt für eine Massenproduktion gibt.

Zitationsliste

Patentschriften

Patentschrift 1: JP H5-329587 A

Patentschrift 2: JP H7-113151 A

Patentschrift 3: Japanisches Patent Nr. 5114241

Patentschrift 4: Japanisches Patent Nr. 5270295

Patentschrift 5: JP 2015-205290 A

Patentschrift 6: JP S63-220950 A

Patentschrift 7: JP S63-157793 A

Patentschrift 8: Japanisches Patent Nr. 6107140

Nicht-Patentschrift

[0012] Nicht-Patentschrift 1: Creation of new bulk metallic glass/amorphous thick plate with high saturation magnetic flux density (Tohoku University, Institute for Materials Research) Akihiro Makino, Ken Kubota, Tsuneharu Tsune

Zusammenfassung der Erfindung

Technische Aufgabe

[0013] Derzeit weisen Fe-Si-B-basierte, amorphe Materialien, die für Transformatoren und dergleichen verwendet werden, eine Dicke von etwa 20 µm auf, was nicht einem Dickenniveau entspricht, das für laminierte Eisenkerne verfügbar ist. Die bisherige Technik, mit der einem Fe-Si-B-basierten, amorphen Material ermöglicht wird, dicker ausgebildet zu werden, führt zu einer Verschlechterung der weichmagnetischen Eigenschaften oder weist Probleme hinsichtlich Produktivität und Kosten auf. Daher besteht auf dem Markt für elektronische Komponenten der dringende Wunsch nach einem Verfahren zur Massenproduktion eines Legierungsbandes, das ein kostengünstiges und leistungsstarkes Fe-Si-B-basiertes, amorphes Material enthält, das unabhängig von der Legierungszusammensetzung dicker ausgebildet werden kann.

[0014] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes bereitzustellen, bei dem ein Fe-Si-B-basiertes, dickschichtiges, schnell erstarrtes Legierungsband, das als laminierter Eisenkern eines Motors oder dergleichen geeignet ist, leicht und kostengünstig in Massenproduktion hergestellt werden kann.

Lösung der Aufgabe

[0015] Fig. 5 ist eine schematische Konfigurationsansicht einer Vorrichtung, die in einem herkömmlichen Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, schnell erstarrten Legierungsbandes verwendet wird. Wie in Fig. 5 dargestellt, wird eine geschmolzene Legierung, die von einer Düse 52 eines Behälters für geschmolzenes Metall 51 auf die Oberfläche einer Kühlwalze 54 zugeführt wird, auf der Kühlwalze 54 schnell abgekühlt und dann von der Kühlwalze 54 abgezogen, um ein Fe-Si-B-basiertes, schnell abgekühltes Legierungsband aus geschmolzenem Metall zu erhalten. Auf der Oberfläche der Kühlwalze 54 wird eine primäre Kühlung durchgeführt, bei der eine amorphe Struktur erhalten wird, indem die geschmolzene Legierung schnell abgekühlt wird, so dass der Bereich zwischen dem Schmelzpunkt und der Glasübergangstemperatur der Legierung schnell und ohne Kristallisation durchlaufen wird. Die schnell erstarrte Legierung, die der primären Kühlung unterzogen wird, befindet sich in einem unterkühlten Zustand und kann daher durch Selbst-erhitzung aufgrund der latenten Erstarrungswärme rekristallisiert werden.

[0016] Daher wird in einem herkömmlichen Massenproduktionsverfahren einer Fe-Si-B-basierten schnell erstarrten Legierung die primäre Kühlung in einem Zustand durchgeführt, in dem das auf die Oberfläche der Kühlwalze 54 ausgestoßene geschmolzene Metall an der Oberfläche von etwa einer halben Runde der Kühlwalze 54 haftet, und die latente Erstarrungswärme abgeführt wird. Ein schnell erstarrtes Legierungsband 55, das die amorphe Struktur enthält, die durch die primäre Kühlung gebildet wird, wird einer sekundären Kühlung in einem Festphasenzustand unterzogen und von der Kühlwalze 54 abgezogen.

[0017] Wenn bei der herkömmlichen Technik das schnell erstarrte Legierungsband 55 unmittelbar nach der schnellen Erstarrung von der Kühlwalze 54 abgezogen wird, wird die latente Erstarrungswärme des schnell erstarrten Legierungsbandes 55 im unterkühlten Zustand freigesetzt, was eine Rekristallisation bewirkt, und daher wird das geschmolzene Metall mit etwa einer halben Runde der Kühlwalze 54 in Kontakt gebracht, um eine Rekristallisation zu verhindern. Wenn jedoch der Abstand von der Zufuhrposition für das geschmolzene Metall und der Abziehposition auf der Oberfläche der Kühlwalze 54 auf diese Weise gesteigert wird, verkürzt sich die Zeit, bis das geschmolzene Metall durch die Drehung der Kühlwalze 54 erneut der Abziehposition zugeführt wird, und als Folge davon wird, wenn die Zufuhrate des geschmolzenen Metalls pro Zeiteinheit gesteigert wird, die Zufuhr des geschmolzenen Metalls zur Kühlwalze 54 in einem Zustand wiederholt, in

dem die Oberflächentemperatur der Kühlwalze 54 nicht ausreichend gesenkt wird. Infolgedessen steigt die Oberflächentemperatur der Kühlwalze 54 übermäßig an, und es besteht die Möglichkeit, dass das schnelle Kühlen der Metallschmelze nicht fortgesetzt werden kann.

[0018] Durch verschiedene Tests hat die vorliegende Erfindung die Fähigkeit zur Wärmeabfuhr geklärt, die für eine Kühlwalze erforderlich ist, um eine schnell erstarrte Legierungsstruktur zu bilden, in der eine Rekristallisation aufgrund der Freisetzung latenter Erstarrungswärme nicht auftritt. Das heißt, die vorliegende Erfindung hat bevorzugte Bedingungen für die Oberflächengeschwindigkeit, die Krümmung, die Kühlwassermenge, und die Kühlwassertemperatur einer Kühlwalze in Abhängigkeit von der Größe eines schnell erstarrten Legierungsbandes geklärt und ermöglicht somit eine einfache Massenproduktion eines Fe-Si-B-basierten, aus geschmolzenen Metall schnell abgekühlten Legierungsbandes, das für einen laminierten Eisenkern eines Motors oder dergleichen kostengünstig verwendet werden kann, ohne die Konfiguration einer Herstellungsvorrichtung zu komplizieren.

[0019] Die oben beschriebene Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird durch ein Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes erreicht, und das Verfahren enthält Ausstoßen einer Fe-Si-B-basierten, geschmolzenen Legierung, die Eisen (Fe), Bor (B), und Silicium (Si) als wesentliche Komponenten enthält, aus einer Abstichdüse auf eine Oberfläche einer Kühlwalze und Drehen der Kühlwalze mit einer Oberflächengeschwindigkeit von 15 m/sec oder mehr und 50 m/sec oder weniger, um die Fe-Si-B-basierte, geschmolzene Legierung auf der Oberfläche der Kühlwalze schnell abzukühlen, um ein Legierungsband herzustellen, wobei die Abstichdüse einen einzigen Schlitz enthält, der so ausgebildet ist, um eine Breite von 0,6 mm oder mehr und weniger als 2,0 mm aufzuweisen, die Kühlwalze eine Krümmung von 8×10^{-4} oder mehr und weniger als 2×10^{-3} aufweist, und das Verfahren Durchleiten von Kühlwasser in einer Menge von 0,3 m³/min oder mehr und weniger als 20 m³/min bei 5°C oder mehr und weniger als 60°C durch die Kühlwalze enthält, um ein schnell erstarrtes Legierungsband herzustellen, das eine durchschnittliche Dicke von 30 µm oder mehr und weniger als 55 µm aufweist.

[0020] Bei dem Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes weist der einzige Schlitz der Abstichdüse bevorzugt eine Länge von 20 mm oder mehr und weniger als 300 mm auf.

[0021] Es ist bevorzugt, dass die Kühlwalze ein Material enthält, das eines aus Cu, Mo oder W als eine Hauptkomponente enthält, eine arithmetische mittlere Rauheit Ra der Oberfläche von 10 nm oder mehr und weniger als 20 µm aufweist, so ausgebildet ist, um eine Länge länger als die Länge des einzigen Schlitzes um 50 mm oder mehr und weniger als 400 mm aufzuweisen, und eine Dicke von der Oberfläche bis zu einem Strömungskanal des Kühlwassers von 5 mm oder mehr und weniger als 50 mm aufweist.

[0022] Die Fe-Si-B-basierte, geschmolzene Legierung wird bevorzugt mit einem Abstichdruck von 5 kPa oder mehr und weniger als 40 kPa aus dem einzigen Schlitz ausgestoßen.

[0023] Die Kühlwalze weist bevorzugt einen Durchmesser von 1000 mm oder mehr und weniger als 2500 mm auf.

[0024] Die Fe-Si-B-basierte, geschmolzene Legierung weist bevorzugt eine Zusammensetzungsformel auf, dargestellt durch $T_{100-x-y-z-n}Q_xSi_yM_n$, wobei T ein Übergangsmetallelement darstellt, das mindestens ein Element enthält, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Fe, Co und Ni, wobei das Übergangsmetallelement notwendigerweise Fe enthält, Q ein oder mehrere Elemente darstellt, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus B und C, wobei das eine oder die mehreren Elemente notwendigerweise B enthalten, M ein oder mehrere Elemente darstellt, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus P, Al, Ti, V, Cr, Mn, Nb, Cu, Zn, Ga, Mo, Ag, Hf, Zr, Ta, W, Pt, Au und Pb, und die Zusammensetzungsverhältnisse x, y und n $5 \leq x < 20$ Atom%, $2 \leq y < 15$ Atom%, und $0 \leq n < 10$ Atom% erfüllen.

[0025] Das oben beschriebene Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes ermöglicht es, ein Fe-Si-B-basiertes, dickschichtiges, schnell erstarrtes Legierungsband zu erhalten, das eine durchschnittliche Dicke von 30 µm oder mehr und weniger als 55 µm aufweist, das als laminiertes Eisenkern verwendet werden kann, der leicht in einem Motor oder dergleichen verwendet werden kann, und somit kann beispielsweise ein Fe-Si-B-basiertes, dickschichtiges, schnell erstarrtes Legierungsbande, das 90 Vol.-% oder mehr einer amorphen Struktur enthält, leicht hergestellt werden mit niedrigen Kosten. Ein schnell erstarrtes Legierungsband, das eine solche Größe aufweist, eignet sich beispielsweise für die Herstellung eines laminierten Eisenkerns, der in einem Motor für Elektrofahrzeuge,

einem Kompressor, einem Generator oder dergleichen verwendet wird. Nach der Verarbeitung des Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes in eine gewünschte Form durch Stanzen, Drahtschneiden, Laserschneiden oder dergleichen kann ein laminierter Eisenkern durch ein Verfahren wie Harzverklebung oder Verstemmen erhalten werden. Der hergestellte laminierte Eisenkern kann durch Drahtschneiden, Laserschneiden oder dergleichen weiterverarbeitet werden, um einen geteilten Eisenkern zu erhalten, der für einen Motor verwendbar ist.

Vorteilhafte Effekte der Erfindung

[0026] Gemäß dem Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes der vorliegenden Erfindung kann ein Fe-Si-B-basiertes, dickschichtiges, schnell erstarrtes Legierungsband, das als ein laminierter Eisenkern eines Motors oder dergleichen geeignet ist, leicht in Massenproduktion mit niedrigen Kosten hergestellt werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist eine schematische Konfigurationsansicht einer Vorrichtung, die in einem Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes verwendet wird, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2(a) und **2(b)** sind vergrößerte Ansichten, die einen Hauptteil der in **Fig. 1** dargestellten Vorrichtung zeigen, und **Fig. 2(a)** ist eine Schnittansicht und **Fig. 2(b)** ist eine Bodenansicht.

Fig. 3 ist eine schematische Ansicht zur Beschreibung von Einzelheiten eines Verfahrens zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 4(a) und **4(b)** sind vergrößerte Ansichten, die einen anderen Hauptteil der in **Fig. 1** dargestellten Vorrichtung zeigen, und **Fig. 4(a)** ist eine Längsschnittansicht und **Fig. 4(b)** ist eine Schnittansicht entlang der Linie A-A in **Fig. 4(a)**.

Fig. 5 ist eine schematische Konfigurationsansicht einer Vorrichtung, die in einem herkömmlichen Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, schnell erstarrten Legierungsbandes verwendet wird.

Fig. 6 zeigt Röntgenbeugungsmuster eines schnell erstarrten Fe-Si-B-basierten Legierungsbandes, das in einem Beispiel der vorliegenden Erfindung erhalten wurde.

Fig. 7 zeigt Röntgenbeugungsmuster eines Fe-Si-B-basierten, schnell erstarrten Legierungsbandes, das in einem anderen Beispiel der vorliegenden Erfindung erhalten wurde.

Fig. 8 zeigt Röntgenbeugungsmuster eines Fe-Si-B-basierten, schnell erstarrten Legierungsbandes, das in einem Vergleichsbeispiel der vorliegenden Erfindung erhalten wurde.

Beschreibung von Ausführungsformen

[Legierungszusammensetzung]

[0027] Eine geschmolzene Legierung, die in einem Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes der vorliegenden Ausführungsform verwendet wird, weist eine Zusammensetzungsformel auf, dargestellt durch $T_{100-x-y-z-n}Q_xSi_yM_n$. Q stellt ein oder mehrere Elemente dar, ausgewählt aus der Gruppe ausgewählt bestehend aus B und C, und das eine oder die mehreren Elemente enthalten notwendigerweise B. M stellt ein oder mehrere Elemente dar, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus P, Al, Ti, V, Cr, Mn, Nb, Cu, Zn, Ga, Mo, Ag, Hf, Zr, Ta, W, Pt, Au und Pb. Die Zusammensetzungsverhältnisse x, y und n erfüllen $5 \leq x < 20$ Atom%, $2 \leq y < 15$ Atom%, und $0 \leq n < 10$ Atom%.

[0028] Das Übergangsmetall T, das Fe als wesentliches Element enthält, wird zur Bilanzierung neben Q, Si und M verwendet. Die gewünschten hartmagnetischen Eigenschaften können auch dann erhalten werden, wenn ein Teil des Fe durch Co oder Ni oder durch Co und Ni substituiert wird, die wie Fe ferromagnetische Elemente sind. Eine Substitution von mehr als 30 % Fe führt jedoch zu einer erheblichen Verringerung der magnetischen Flussdichte, weshalb die Menge des substituierten Fe auf einen Bereich von 0 % bis 30 % begrenzt ist.

[0029] Wenn das Zusammensetzungsverhältnis x von Q (= B + C) weniger als 5 Atom% beträgt, verschlechtert sich die Fähigkeit des amorphen Bildens erheblich, und α -Fe wird bei der schnellen Erstarrung von

geschmolzenem Metall präzipitiert. Im Falle einer weichmagnetischen Zusammensetzung, wenn das Zusammensetzungsverhältnis x mehr als 20 Atom% beträgt, verringert sich das Komponentenverhältnis von Fe, so dass die magnetische Flussdichte abnimmt und es schwierig wird, ein leistungsstarkes weichmagnetisches Material zu erhalten. Daher beträgt das Zusammensetzungsverhältnis x 5 Atom% oder mehr und weniger als 20 Atom%. Das Zusammensetzungsverhältnis x beträgt bevorzugt 7 Atom% oder mehr und weniger als 19 Atom%, und bevorzugter 8 Atom% oder mehr und weniger als 19 Atom%.

[0030] Wenn die Substitutionsrate $C/(B + C)$ von C für B in Q ansteigt, sinkt der Schmelzpunkt der geschmolzenen Legierung, und die Verschleißmenge des zum Zeitpunkt der schnellen Erstarrung verwendeten feuerfesten Materials nimmt ab, so dass die Prozesskosten der schnellen Erstarrung unterdrückt werden können. Wenn jedoch die Substitutionsrate von C für B zu groß ist, verschlechtert sich die Fähigkeit des amorphen Bildens stark, und daher ist die Substitutionsrate $C/(B + C)$ bevorzugt 0 oder mehr und weniger als 0,5, bevorzugter 0 oder mehr und weniger als 0,3, und noch bevorzugter 0 oder mehr und weniger als 0,2.

[0031] Si ist effektiv als ein Element, das die Fähigkeit des amorphen Bildens verbessert und die magnetische Permeabilität einer Eisen-basierten, Bor-basierten, schnell erstarrten Legierung erhöht, wenn es gleichzeitig mit Fe und B zugegeben wird, aber wenn die Menge y an zugegebenen Si mehr als 15 Atom% beträgt, wird die Sättigungsmagnetisierungsflussdichte B_s stark verringert, und daher ist y kleiner als 15 Atom%. Außerdem ist y bevorzugt 2 Atom% oder mehr unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung der magnetischen Permeabilität. y ist bevorzugt 2,5 Atom% oder mehr und weniger als 12 Atom%.

[0032] Die Zugabe von M verbessert die Produktivität zum Zeitpunkt der schnellen Erstarrung als Ergebnis der Verbesserung der Fähigkeit des amorphen Bildens, der Verfeinerung der schnell erstarrten Metallstruktur und dergleichen. Wenn jedoch das Zusammensetzungsverhältnis n von M mehr als 10 Atom% beträgt, wird die Sättigungsmagnetisierungsflussdichte B_s verringert, und daher ist n auf 0 Atom% oder mehr und weniger als 10 Atom% begrenzt. n ist bevorzugt 0 Atom% oder mehr und weniger als 7 Atom%, und bevorzugter 0 Atom% oder mehr und weniger als 5 Atom%.

[Schnellerstarrungsvorrichtung für eine geschmolzene Legierung (Einzelwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall)]

[0033] Fig. 1 ist eine schematische Konfigurationsansicht einer Einzelwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall, die in einem Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes verwendet wird, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die in Fig. 1 dargestellte Einzelwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall 1 enthält einen Schmelzofen 2, einen Vorratsbehälter für geschmolzenes Metall 5, und eine Kühlwalze 8.

[0034] Der Schmelzofen 2 liefert eine durch Schmelzen eines Rohmaterials erhaltene geschmolzene Legierung 3 durch Drehung einer Kippwelle 4 in den Vorratsbehälter für geschmolzenes Metall 5. Der Vorratsbehälter für geschmolzenes Metall 5 enthält am Boden eine Abstichdüse 6 und stößt die geschmolzene Legierung 3 aus einem an der Unterseite der Abstichdüse 6 ausgebildeten Schlitz 7 auf die Oberfläche (äußere Umfangsfläche) der Kühlwalze 8 aus. Kühlwasser wird der Kühlwalze 8 auf der Innenseite zugeführt, so dass die geschmolzene Legierung, die mit der Oberfläche der Kühlwalze 8 in Kontakt kommt, schnell abgekühlt wird, um ein schnell erstarrtes Legierungsband 9 zu bilden.

[0035] Fig. 2(a) und 2(b) sind vergrößerte Ansichten, die die Abstichdüse 6 der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung zeigen, und Fig. 2(a) ist eine Schnittansicht und Fig. 2(b) eine Bodenansicht. Die in Fig. 2(a) dargestellte Abstichdüse 6 ist eine Einzelschlitzdüse, in der der einzige Schlitz 7 ausgebildet ist. Die Breite $W1$ des Schlitzes 7 ist auf 0,6 mm oder mehr und weniger als 2,0 mm eingestellt. Wenn die Breite weniger als 0,6 mm beträgt, wird der Fluss des geschmolzenen Metalls, das durch den Schlitz 7 geleitet wird, gehemmt, so dass die Abstichrate verringert wird, und daher ist es schwierig, ein schnell erstarrtes Legierungsband 9, das eine durchschnittliche Dicke von 30 μm oder mehr aufweist, zu erhalten. Wenn die Breite hingegen 2,0 mm oder mehr beträgt, ist die Abstichrate des geschmolzenen Metalls, das der Kühlwalze 8 zugeführt wird, zu hoch, und das geschmolzene Metall kann von der Kühlwalze 8 nicht ausreichend gekühlt werden, so dass die gewünschte amorphe Struktur nicht erreicht werden kann. In Anbetracht der Verarbeitbarkeit und der Genauigkeit des Spalts beträgt die Breite $W1$ des Spalts 7 bevorzugter 0,7 mm oder mehr und weniger als 1,6 mm, und noch bevorzugter 0,7 mm oder mehr und weniger als 1,4 mm.

[0036] Die Länge $L1$ des in Fig. 2(b) dargestellten Schlitzes 7 wird entsprechend der Breite der Kühlwalze und der erforderlichen Größe eines Eisenkerns für einen Motor oder dergleichen gewählt und ist nicht unbe-

dingt begrenzt. Beträgt die Länge jedoch weniger als 20 mm, ist der Anwendungsbereich als laminierter Eisenkern begrenzt. Beträgt die Länge hingegen 300 mm oder mehr, ist die Abstichrate des geschmolzenen Metalls, das der Kühlwalze 8 zugeführt wird, zu groß, und das geschmolzene Metall kann von der Kühlwalze 8 nicht ausreichend gekühlt werden, so dass die gewünschte amorphe Struktur nicht erreicht werden kann. Daher beträgt die Länge L1 des Schlitzes 7 bevorzugt 20 mm oder mehr und weniger als 300 mm, und unter Berücksichtigung der Produktivität einschließlich der Betriebskosten und der Kosten der Einzelwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall beträgt die Länge L1 bevorzugter 30 mm oder mehr und weniger als 250 mm, und noch bevorzugter 40 mm oder mehr und weniger als 200 mm.

[0037] Die Tiefe D1 des in **Fig. 2(a)** dargestellten Schlitzes 7 wird auf der Grundlage der Dicke der Unterseite der Abstichdüse 6 bestimmt. Wenn die Tiefe D1 jedoch weniger als 2 mm beträgt, so ist die Festigkeit der Unterseite tendenziell unzureichend. Wenn die Tiefe D1 hingegen 15 mm oder mehr beträgt, sinkt die Temperatur des geschmolzenen Metalls, das durch den Schlitz 7 durchgeleitet wird, was die Gefahr des Verstopfens der Düse erhöht. Daher beträgt die Tiefe D1 des Schlitzes 7 bevorzugt 2 mm oder mehr und weniger als 15 mm, und im Hinblick auf die Stabilität des Abstichs (Geradheit) beträgt die Tiefe D1 bevorzugter 3 mm oder mehr und weniger als 12 mm, und noch bevorzugter 3 mm oder mehr und weniger als 10 mm.

[0038] In **Fig. 1** bildet die Metallschmelze, die von der Abstichdüse 6 der Kühlwalze 8 zugeführt wird, ein Bad von geschmolzenen Metall (Paddel) auf der Oberfläche der Kühlwalze 8, und folglich tritt eine schnelle Erstarrungsreaktion des geschmolzenen Metalls auf, so dass die Bildung eines geeigneten Paddels wichtig ist. Wenn der Abstand d von der Spitze der Abstichdüse 6 zur Oberfläche der Kühlwalze 8 30 mm oder mehr beträgt, ist die Bildung eines Paddels instabil, und wenn der Abstand d weniger als 0,15 mm beträgt, ist es aufgrund der Wärmeausdehnung der Kühlwalze 8 schwierig, den Abstand d konstant zu halten. Daher beträgt der Abstand d bevorzugt 0,15 mm oder mehr und weniger als 30 mm. In Anbetracht der Kosten für die Ausrüstung zur präzisen Kontrolle des Abstands d beträgt der Abstand d bevorzugter 0,3 mm oder mehr und weniger als 30 mm, und in Anbetracht der Homogenität der schnell erstarrten Legierungsstruktur beträgt der Abstand d noch bevorzugter 0,3 mm oder mehr und weniger als 20 mm.

[0039] Wie in **Fig. 4** dargestellt, bewegt sich das der Oberfläche der Kühlwalze 8 zugeführte geschmolzene Metall durch Drehung der Kühlwalze 8 von der Gießposition P unmittelbar unterhalb des Schlitzes 7 der Abstichdüse 6 zur Abziehposition Q, in der die Metallschmelze zum schnell erstarrten Legierungsband 9 wird und von der Kühlwalze 8 abgezogen wird, wobei eine primäre Kühlung, bei der die Legierungsschmelze schnell auf einen unterkühlten flüssigen Zustand abgekühlt wird, und eine sekundäre Kühlung, bei der der unterkühlten Flüssigkeit latente Erstarrungswärme entzogen wird, um eine Rekristallisation zu verhindern, durchgeführt werden. Der Abstand Δs zwischen der Gießposition P und der Abziehposition Q muss einen Abstand sicherstellen, der für die Komplettierung der primären Kühlung und der sekundären Kühlung erforderlich ist. Die Oberflächentemperatur der Kühlwalze 54 muss jedoch ausreichend abgesenkt werden, während sich die Abziehposition Q wieder in die Gießposition P dreht. Daher ist der Drehwinkel $\Delta\alpha$ der Kühlwalze 8 von der Gießposition P zur Abziehposition Q bevorzugt klein genug, um der Linie zwischen der Gießposition P und der Abziehposition Q zu ermöglichen, als gerade Linie betrachtet zu werden. In diesem Fall wird der Radius R der Kühlwalze 8 nach der folgenden Formel bestimmt.

$$R = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} |\Delta s / \Delta\alpha| = |ds / d\alpha|$$

[0040] Wenn die Kühlwalze 8 so gedreht wird, dass die Oberflächengeschwindigkeit 15 m/sec oder mehr und 50 m/sec oder weniger beträgt, kann Δs aus der Zeit, die für die primäre Kühlung und die sekundäre Kühlung benötigt wird, bestimmt werden, und somit wird ein bevorzugter Zahlenbereich für den Durchmesser 2R der Kühlwalze 8 ermittelt. Der bevorzugte Wert von Δs hängt von der Größe des schnell erstarrten Legierungsbandes 9 ab, und für den Fall, dass das schnell erstarrte Legierungsband 9 eine durchschnittliche Dicke von 30 μm oder mehr und weniger als 55 μm aufweist, beträgt der Durchmesser 2R der Kühlwalze 8 1000 mm oder mehr und weniger als 2500 mm, und unter Berücksichtigung der Homogenität der schnell erstarrten Legierungsstruktur, beträgt der Durchmesser 2R bevorzugt 1500 mm oder mehr und weniger als 2500 mm, und unter Berücksichtigung der Beschränkung der Bearbeitungsvorrichtung der Kühlwalze, die mit einem Schmiedeverfahren oder dergleichen hergestellt wird, und der Herstellungskosten, beträgt der Durchmesser 2R bevorzugter 1500 mm oder mehr und weniger als 2300 mm.

[0041] Die Krümmung κ der Kühlwalze 8 ist der Kehrwert des Radius R. Daher beträgt die Krümmung κ im Falle des Erhaltens des schnell erstarrten Legierungsbandes 9, das eine durchschnittlichen Dicke von 30 μm oder mehr und weniger als 55 μm aufweist, 8×10^{-4} oder mehr und weniger als 2×10^{-3} , bevorzugter 8×10^{-4} oder mehr und weniger als $1,3 \times 10^{-3}$, und noch bevorzugter $8,7 \times 10^{-4}$ oder mehr und weniger als $1,3 \times 10^{-3}$.

[0042] Um die primäre Kühlung und die sekundäre Kühlung innerhalb des Abstands Δs zu komplettieren, sind die Menge und die Temperatur des Kühlwassers der Kühlwalze 8 ebenfalls wichtige Faktoren. **Fig. 4(a)** und **4(b)** sind schematische Konfigurationsansichten, die ein Beispiel der Kühlwalze 8 zeigen, und **Fig. 4(a)** ist eine Längsschnittansicht und **Fig. 4(b)** ist eine Schnittansicht entlang der Linie A-A. Das Kühlwasser, das von einer Endseite (IN-Seite) einer rotierenden Welle 81 der Kühlwalze 8 zugeführt wird, breitet sich radial entlang eines Strömungskanals 82 aus, kühlt die gesamte Oberfläche der Kühlwalze 8 und wird dann zusammengeführt und von der anderen Endseite (OUT-Seite) der rotierenden Welle 81 abgeleitet. Wenn die Kühlwassermenge weniger als $0,3 \text{ m}^3/\text{min}$ beträgt, um ein schnell erstarrtes Legierungsband 9, das eine durchschnittliche Dicke von $30 \text{ }\mu\text{m}$ oder mehr und weniger als $55 \text{ }\mu\text{m}$ aufweist, zu erhalten, ist die Komplettierung der primären Kühlung und der sekundären Kühlung auf der Oberfläche der Kühlwalze 8 schwierig. Wenn die Kühlwassermenge hingegen $20 \text{ m}^3/\text{min}$ oder mehr beträgt, steigt die Oberflächentemperatur der Kühlwalze 8 während der Kühlung des geschmolzenen Metalls nicht an, so dass der Temperaturunterschied ΔT zwischen der Temperatur auf der IN-Seite und der Temperatur auf der OUT-Seite der Kühlwalze 8 gering ist (z. B. $1 \text{ }^\circ\text{C}$ oder weniger), so dass das auf der Oberfläche der Kühlwalze 8 erzeugte Paddel instabil wird. Daher beträgt die Kühlwassermenge $0,3 \text{ m}^3/\text{min}$ oder mehr und weniger als $20 \text{ m}^3/\text{min}$, und in der Einzelwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall 1, die für die Massenproduktion bei einem angenommenen kontinuierlichen Betrieb geeignet ist, beträgt die Kühlwassermenge bevorzugt $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$ oder mehr und weniger als $20 \text{ m}^3/\text{min}$, und bevorzugter $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$ oder mehr und weniger als $15 \text{ m}^3/\text{min}$.

[0043] Die Temperatur des Kühlwassers der Kühlwalze 8 beeinflusst die Haftung zwischen der geschmolzenen Legierung und der Kühlwalze 8. Wenn die Temperatur des Kühlwassers weniger als $5 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt, wird die Haftung zwischen der geschmolzenen Legierung und der Kühlwalze 8 beeinträchtigt, und die Fähigkeit der Kühlwalze 8, die Wärme der geschmolzenen Legierung abzuführen, verschlechtert sich. Wenn die Temperatur des Kühlwassers 60°C oder mehr beträgt, kann es zu einem Ausfall der Pumpe kommen, die die Kühlwalze 8 mit Kühlwasser versorgt. Daher beträgt die Temperatur des Kühlwassers 5°C oder mehr und weniger als 60°C . Um die Haftung zwischen der geschmolzenen Legierung und der Kühlwalze 8 weiter zu verbessern, ist die Untergrenze der Kühlwassertemperatur besonders wichtig und beträgt bevorzugt 15°C oder mehr und weniger als 60°C , und bevorzugter 30°C oder mehr und weniger als 60°C .

[0044] Die Haftung zwischen der geschmolzenen Legierung und der Kühlwalze 8 wird auch durch das Material der Kühlwalze 8 beeinflusst. Im Hinblick auf die Wärmeleitung und den Schmelzpunkt des Materials enthält die Kühlwalze 8 bevorzugt ein Material, das eines aus Cu, Mo oder W als eine Hauptkomponente enthält, und im Hinblick auf die Kosten der Anlage und die Betriebskosten ist ein Material, das Cu als eine Hauptkomponente enthält, bevorzugt. Beispiele des Materials, das Cu als eine Hauptkomponente enthält, schließen Legierungen, die Cu in einem Verhältnis von mehr als 50 Massenprozent enthalten, und darüber hinaus reines Kupfer ein (dasselbe gilt für das Material, das Mo oder W als eine Hauptkomponente enthält).

[0045] Die Oberflächenrauheit der Oberfläche der Kühlwalze 8 wirkt sich auch auf die Haftung zwischen der geschmolzenen Legierung und der Kühlwalze 8 aus, weshalb die arithmetische durchschnittliche Rauheit R_a der Oberfläche der Kühlwalze bevorzugt 10 nm oder mehr und weniger als $20 \text{ }\mu\text{m}$ beträgt, und unter Berücksichtigung der Produktionseffizienz und Qualität beträgt R_a bevorzugter 50 nm oder mehr und weniger als $10 \text{ }\mu\text{m}$, und noch bevorzugter 100 nm oder mehr und weniger als $10 \text{ }\mu\text{m}$.

[0046] Die Länge L_2 der Kühlwalze 8 in der in **Fig. 4(a)** dargestellten axialen Richtung ist bevorzugt länger als die Länge des in **Fig. 2(b)** dargestellten Schlitzes 7 um 50 mm oder mehr und weniger als 400 mm , und unter Berücksichtigung der Kühlfähigkeit und der Beschaffungskosten der Kühlwalze ist die Länge L_2 bevorzugter länger als die Länge des Schlitzes 7 um 100 mm oder mehr und weniger als 300 mm , und noch bevorzugter um 100 mm oder mehr und weniger als 200 mm .

[0047] Die Fähigkeit der Kühlwalze 8, die Wärme der geschmolzenen Legierung abzuführen, wird auch durch die in **Fig. 4(a)** dargestellte Dicke T_2 von der Oberfläche der Kühlwalze 8 bis zum Strömungskanal 82 beeinflusst. Wenn die Dicke T_2 weniger als 5 mm beträgt, ist die mechanische Festigkeit der Kühlwalze 8 nur schwer aufrechtzuerhalten. Wenn die Dicke T_2 hingegen 50 mm oder mehr beträgt, ist die Oberflächentemperatur der Kühlwalze 8, die mit der geschmolzenen Legierung in Kontakt kommt, lokal gleich oder höher als der Schmelzpunkt, so dass die schnell erstarrte Legierung mit der Oberfläche der Kühlwalze 8 verschweißt werden kann und somit die schnelle Abkühlung des geschmolzenen Metalls nicht fortgesetzt werden kann. Daher beträgt die Dicke T_2 der Kühlwalze 8 bevorzugt 5 mm oder mehr und weniger als 50 mm . In Anbetracht des Verschleißes, der durch das Polieren der Walzen nach der schnellen Abkühlung des geschmolzenen Metalls verursacht wird, beträgt die Dicke T_2 bevorzugter 10 mm oder mehr und weniger als

50 mm, und in Anbetracht der Betriebsstabilität des Schnellkühlungsprozesses des geschmolzenen Metalls beträgt die Dicke T2 noch bevorzugter 10 mm oder mehr und weniger als 40 mm.

[0048] Die aus dem Schlitz 7 der Abstichdüse 6 ausgestoßene geschmolzene Legierung wird gegen die Oberfläche der Kühlwalze 8 gepresst, um wie oben beschrieben ein Paddel zu erzeugen. Wenn jedoch der Druck, mit dem die geschmolzene Legierung gepresst wird, niedrig ist, ist es weniger wahrscheinlich, dass ein gewünschtes Paddel auf der Oberfläche der Kühlwalze 8 erzeugt wird. Daher beträgt der Abstichdruck der geschmolzenen Legierung aus dem Schlitz 7 bevorzugt 5 kPa oder mehr und weniger als 40 kPa. Der Abstichdruck beträgt bevorzugter 10 kPa oder mehr und weniger als 35 kPa, und noch bevorzugter 15 kPa oder mehr und weniger als 30 kPa zur weiteren stabilen Erzeugung eines Paddels. Der Abstichdruck kann durch den Kopfdruck oder den Druck in dem in **Fig. 1** dargestellten Vorratsbehälter für geschmolzenes Metall 5 eingestellt werden.

[0049] Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand von Beispielen näher beschrieben. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf die folgenden Beispiele beschränkt.

[0050] In einen Aluminiumoxid-Tiegel wurden 200 kg eines Rohmaterials gegeben, in dem Elemente aus B, C, Si, Nb, Cu und Fe, die eine Reinheit von jeweils 99,5 % oder mehr aufweisen, gemischt wurden, um die in den Beispielen 1 bis 6 und den Vergleichsbeispielen 7 bis 10 in Tabelle 1 unten dargestellten Legierungszusammensetzungen zu erhalten, und das Rohmaterial wurde durch Hochfrequenz-Induktionserwärmung geschmolzen, um eine geschmolzene Legierung zu bilden. In einen Aluminiumoxid-Vorratsbehälter für geschmolzenes Metall, der einen Innendurchmesser von 200 mm und einer Höhe von 400 mm aufweist, und der an der Unterseite eine BN-Abstichdüse mit einem in Tabelle 1 dargestellten Schlitz aufweist, wurden 50 kg der geschmolzenen Legierung gegossen. Danach wurde eine Hochfrequenz-Heizspule, die um den Vorratsbehälter für geschmolzenes Metall herum installiert war, mit Energie versorgt, um 50 kg der geschmolzenen Legierung weiter zu erhitzen, und nachdem die Temperatur der geschmolzenen Legierung eine Temperatur erreicht hatte, die 50 °C oder mehr über dem Schmelzpunkt der Legierung mit der gemischten Zusammensetzung lag, wurde ein aus Aluminiumoxid hergestellter Verschluss für die geschmolzene Legierung, der über der Abstichdüse angeordnet war, herausgezogen. Dadurch wurde die geschmolzene Legierung aus der Abstichdüse auf die unmittelbar darunterliegende Kühlwalzenoberfläche ausgestoßen. Die Größe und die Betriebsparameter der Kühlwalze sind in Tabelle 2 dargestellt. Die durchschnittliche Abstichrate des geschmolzenen Metalls ist in Tabelle 3 angegeben.

[0051] Die geschmolzene Legierung, die in Kontakt mit der Oberfläche der Kühlwalze ist, bildete ein Paddel auf der Oberfläche der Kühlwalze, und die geschmolzene Legierung wurde schnell an der Schnittstelle zwischen dem Paddel und der Kühlwalze erstarrt, um eine bandförmige schnell erstarrte Legierung zu erhalten. Die durchschnittliche Dicke und die durchschnittliche Breite des schnell erstarrten Legierungsbandes sind in Tabelle 3 dargestellt.

[0052] Für das erhaltene schnell erstarrte Legierungsband wurde das Röntgenbeugungsmuster der Oberfläche (Walzenoberfläche), die mit der Kühlwalzenoberfläche in Kontakt ist, und das Röntgenbeugungsmuster der gegenüberliegenden Oberfläche (freie Oberfläche), die nicht mit der Kühlwalzenoberfläche in Kontakt ist, gemessen und die Struktur ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 als Volumenrate der amorphen Struktur dargestellt. Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, wurde bei den Beispielen 1 bis 6 bestätigt, dass die amorphe Einphasenstruktur oder die amorphe Struktur den größten Teil ausmacht und dass die Struktur feine Kristalle enthält, die auf der freien Oberfläche als α -Fe bestimmt wurden. Als repräsentative Beispiele für die Röntgenbeugungsmuster auf der Walzenoberfläche und der freien Oberfläche des schnell erstarrten Legierungsbandes in den Beispielen sind die Röntgenbeugungsmuster in Beispiel 1 und Beispiel 4 in **Fig. 6** bzw. **Fig. 7** dargestellt.

[0053] In Vergleichsbeispiel 7 war die Volumenrate der amorphen Struktur aufgrund der unzureichenden Fähigkeit zur schnellen Abkühlung geringer als in den Beispielen 1 bis 6, wie in Tabelle 3 dargestellt. Die Röntgenbeugungsmuster auf der Walzenoberfläche und der freien Oberfläche des schnell erstarrten Legierungsbandes in Vergleichsbeispiel 7 sind in **Fig. 8** dargestellt.

[0054] Auf der freien Oberfläche des in **Fig. 8** gezeigten Vergleichsbeispiels 7 ist α -Fe, das durch heterogene Keimbildung aufgrund unzureichender schneller Abkühlung des geschmolzenen Metalls präzipitiert wurde, im Halo-Muster zu finden. Auf der Walzenoberfläche ist neben α -Fe auch γ -Fe der Austenitphase zu finden, das bei langsamer Abkühlung des geschmolzenen Metalls beobachtet wird, und es wird darauf hingewiesen, dass die schnell erstarrte Legierung einen Teil enthält, in dem die Schnellkühlrate des geschmolze-

nen Metalls bemerkenswert langsam ist.

[Tabelle 1]

		Legierungs- zusammensetzung (Atom%)	Schlitz- breite (mm)	Schlitz- länge (mm)	Schlitz- tiefe (mm)	Walzen- oberflächen- geschwindig- keit (m/sec)	Abstich- druck (kPa)
Beispiele	1	Fe _{80,5} B ₁₃ Si _{6,5}	0,8	50	5	23	20
	2	Fe ₇₈ B ₁₂ C ₁ Si ₉	0,7	100	3	23	30
	3	Fe ₇₆ B ₁₂ C ₁ Si ₉ Nb ₂	1,0	50	7	30	15
	4	Fe ₈₂ B ₁₂ C ₁ Si ₅	0,9	150	5	25	15
	5	Fe _{81,5} B ₁₅ Si _{3,5}	1,6	70	4	25	10
	6	Fe ₇₈ B ₁₅ Si ₆ Cu ₁	0,6	100	5	40	35
Vergleichs- beispiele	7	Fe _{80,5} B ₁₃ Si _{6,5}	0,8	50	5	23	20
	8	Fe ₇₈ B ₁₂ C ₁ Si ₉	0,4	50	3	23	30
	9	Fe _{81,5} B ₁₅ Si _{3,5}	1,6	50	4	25	10
	10	Fe ₇₈ B ₁₅ Si ₆ Cu ₁	0,5	100	5	20	20

[Tabelle 2]

		Material der Kühl- walze	Äußerer Krümmungs- durchmesser der Kühl- walze	Durch- messer der Kühlwalze (mm)	Breite der Kühlwalze (mm)	Dicke der Kühlwalze (mm)	Kühlwasser- menge der Walze (m ³ /min)	Kühlwasser- temperatur der Walze (°C)	Düsen/Wal- zenabstand (mm)	Walzen- oberflächen- rauheit Ra (nm)
Beispiele	1	Kupfer- Chrom- Zirkonium	2,0E-03	1000	150	15	0,8	30	0,4	420
	2		1,3E-03	1500	300	20	1,0	15	0,5	380
	3		8,7E-04	2300	300	40	2,0	55	0,3	150
	4		8,7E-04	2300	350	40	10,0	50	0,4	750
	5		1,0E-03	2000	270	30	15,0	5	7,0	410
	6	Reines Molybdän	1,3E-03	1500	300	30	15,0	40	15,0	1500
Vergleichs- beispiele	7	Kupfer- Chrom- Zirkonium	5,0E-03	400	150	25	0,3	15	0,4	400
	8		5,0E-03	400	150	25	0,3	15	0,5	400
	9		5,0E-03	400	150	25	0,3	15	1,0	400
	10		3,3E-03	600	300	30	0,2	2	1,0	250

[Tabelle 3]

		Durchschnittliche Dicke (μm)	Durchschnittliche Breite (mm)	Durchschnittliche Abstichrate (kg/min)	Volumenrate des Amorphen (%)
Beispiele	1	42	52	17,7	97
	2	39	101	31,0	99
	3	43	54	22,1	96
	4	40	153	59,7	95
	5	53	76	49,6	93
	6	34	102	26,5	93
Vergleichsbeispiele	7	40	53	17,7	68
	8	24	51	8,8	98
	9	Keine Probe wurde hergestellt da schnell gekühlte Legierung sich um die Kühlwalze gewickelt hat			
	10	28	102	22,1	91

Industrielle Anwendbarkeit

[0055] Das Fe-Si-B-basierte, dickschichtige, schnell erstarrte Legierungsband, das durch die vorliegende Erfindung erhalten wird, kann in geeigneter Weise als laminierter Eisenkern mit geringem Eisenverlust verwendet werden, der leicht in Drosseln, verschiedenen Motoren, Generatoren und dergleichen eingesetzt werden kann. Darüber hinaus kann anstelle von Elektrostahlblechen, die häufig in verschiedenen Transformatoren, Motoren und dergleichen verwendet werden, eine auf Fe-Si-B-basierte amorphe Legierung, die für laminierte Eisenkerne, die einen geringen Eisenverlust und einer hohen magnetischen Permeabilität aufweisen, verwendet werden kann, dem Markt zu geringen Kosten im Massenproduktionsmaßstab bereitgestellt werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Einzelwalze-Schnellkühlvorrichtung für geschmolzenes Metall
- 2 Schmelzofen
- 3 geschmolzene Legierung
- 4 Kippwelle
- 5 Vorratsbehälter für geschmolzenes Metall
- 6 Abstichdüse

- 7 Schlitz
- 8 Kühlwalze
- 9 schnell erstarrtes Legierungsband

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP H5329587 A [0011]
- JP H7113151 A [0011]
- JP 5114241 [0011]
- JP 5270295 [0011]
- JP 2015205290 A [0011]
- JP 63220950 A [0011]
- JP S63157793 A [0011]
- JP 6107140 [0011]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes, wobei das Verfahren umfasst:

Ausstoßen einer Fe-Si-B-basierten, geschmolzenen Legierung, die Eisen (Fe), Bor (B), und Silizium (Si) als wesentliche Komponenten enthält, aus einer Abstichdüse auf eine Oberfläche einer Kühlwalze und Drehen der Kühlwalze mit einer Oberflächengeschwindigkeit von 15 m/sec oder mehr und 50 m/sec oder weniger, um die Fe-Si-B-basierte, geschmolzene Legierung auf der Oberfläche der Kühlwalze schnell abzukühlen, um ein Legierungsband herzustellen,

wobei die Abstichdüse einen einzigen Schlitz enthält, der so ausgebildet ist, um eine Breite von 0,6 mm oder mehr und weniger als 2,0 mm aufzuweisen,

die Kühlwalze eine Krümmung von 8×10^{-4} oder mehr und weniger als 2×10^{-3} aufweist, und

Durchleiten von Kühlwasser in einer Menge von 0,3 m³/min oder mehr und weniger als 20 m³/min bei 5°C oder mehr und weniger als 60°C durch die Kühlwalze, um ein schnell erstarrtes Legierungsband herzustellen, das eine durchschnittliche Dicke von 30 µm oder mehr und weniger als 55 µm aufweist.

2. Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes gemäß Anspruch 1, wobei der einzige Schlitz der Abstichdüse eine Länge von 20 mm oder mehr und weniger als 300 mm aufweist.

3. Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes gemäß Anspruch 1, wobei die Kühlwalze ein Material enthält, das eines aus Cu, Mo oder W als eine Hauptkomponente enthält, eine arithmetische mittlere Rauheit Ra der Oberfläche von 10 nm oder mehr und weniger als 20 µm aufweist, so ausgebildet ist, um eine Länge länger als die Länge des einzigen Schlitzes um 50 mm oder mehr und weniger als 400 mm aufzuweisen, und eine Dicke von der Oberfläche bis zu einem Strömungskanal des Kühlwassers von 5 mm oder mehr und weniger als 50 mm aufweist.

4. Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes gemäß Anspruch 1, wobei die Fe-Si-B-basierte, geschmolzene Legierung mit einem Abstichdruck von 5 kPa oder mehr und weniger als 40 kPa aus dem einzigen Schlitz ausgestoßen wird.

5. Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes gemäß Anspruch 1, wobei die Kühlwalze einen Durchmesser von 1000 mm oder mehr und weniger als 2500 mm aufweist.

6. Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes gemäß Anspruch 1, wobei die Fe-Si-B-basierte, geschmolzene Legierung eine Zusammensetzungsformel aufweist, dargestellt durch $T_{100-x-y-z-n}Q_xSi_yM_n$, wobei T ein Übergangsmetallelement darstellt, das mindestens ein Element enthält, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Fe, Co und Ni, wobei das Übergangsmetallelement notwendigerweise Fe enthält, Q ein oder mehrere Elemente darstellt, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus B und C, wobei das eine oder die mehreren Elemente notwendigerweise B enthalten, M ein oder mehrere Elemente darstellt, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus P, Al, Ti, V, Cr, Mn, Nb, Cu, Zn, Ga, Mo, Ag, Hf, Zr, Ta, W, Pt, Au und Pb, und die Zusammensetzungsverhältnisse x, y und n $5 \leq x < 20$ Atom%, $2 \leq y < 15$ Atom%, und $0 \leq n < 10$ Atom% erfüllen.

7. Laminierter Eisenkern, hergestellt durch Verarbeiten eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes, das durch das Verfahren zur Herstellung eines Fe-Si-B-basierten, dickschichtigen, schnell erstarrten Legierungsbandes gemäß Anspruch 1 hergestellt wird, in eine gewünschte Form.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

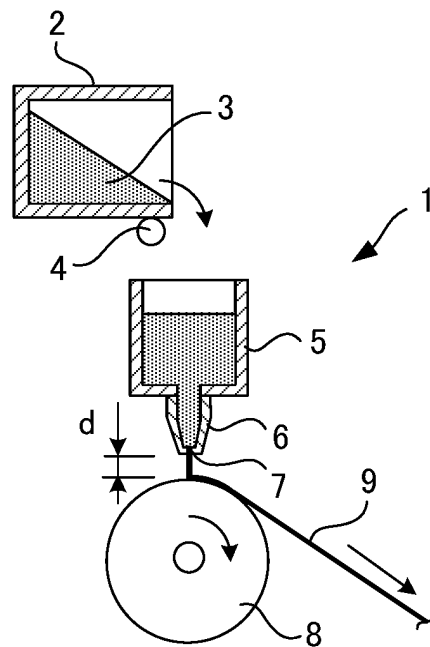


Fig. 2

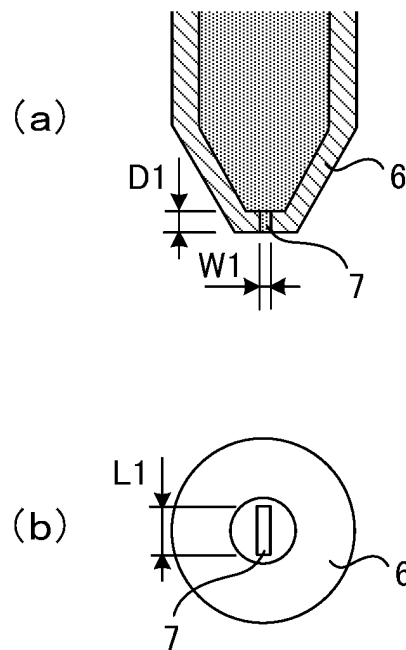


Fig. 3

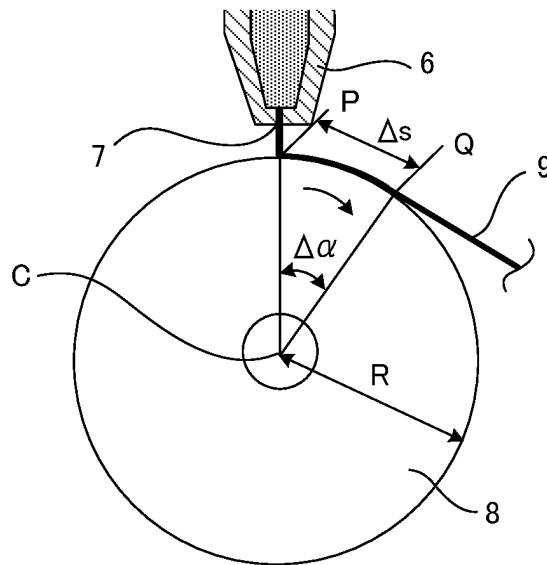


Fig. 4

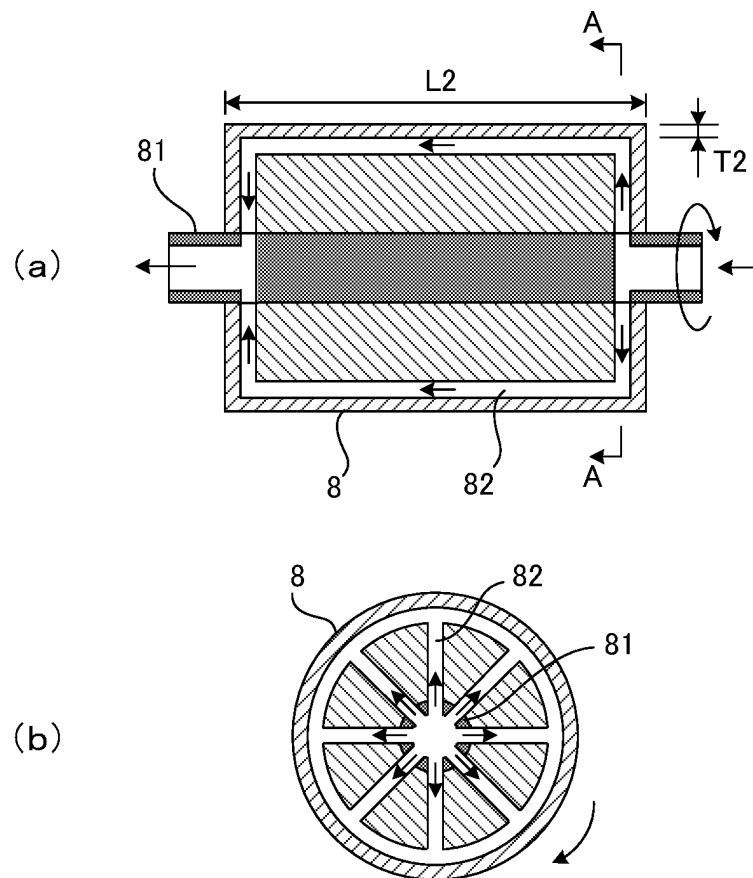


Fig. 5

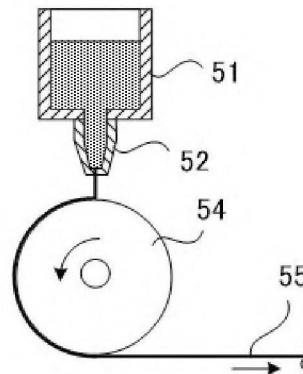


Fig. 6

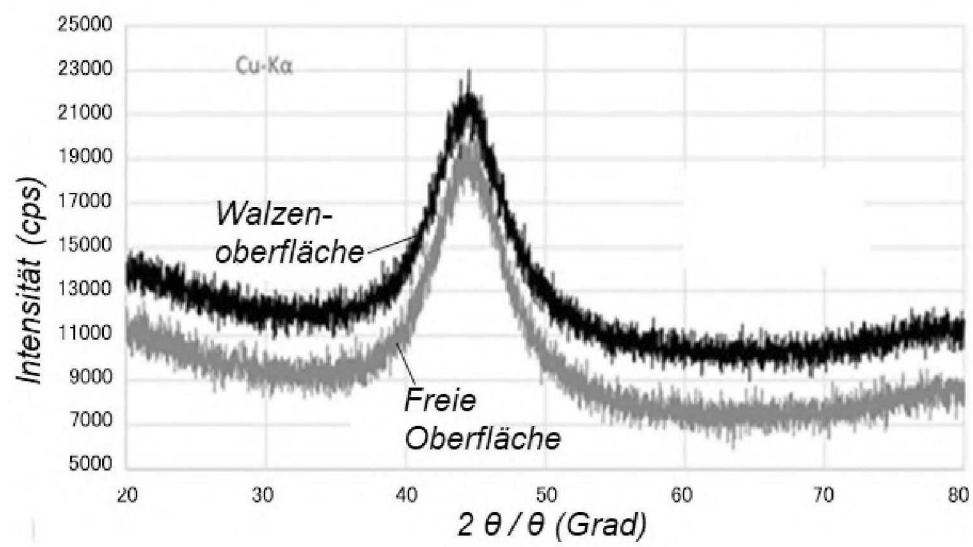


Fig. 7

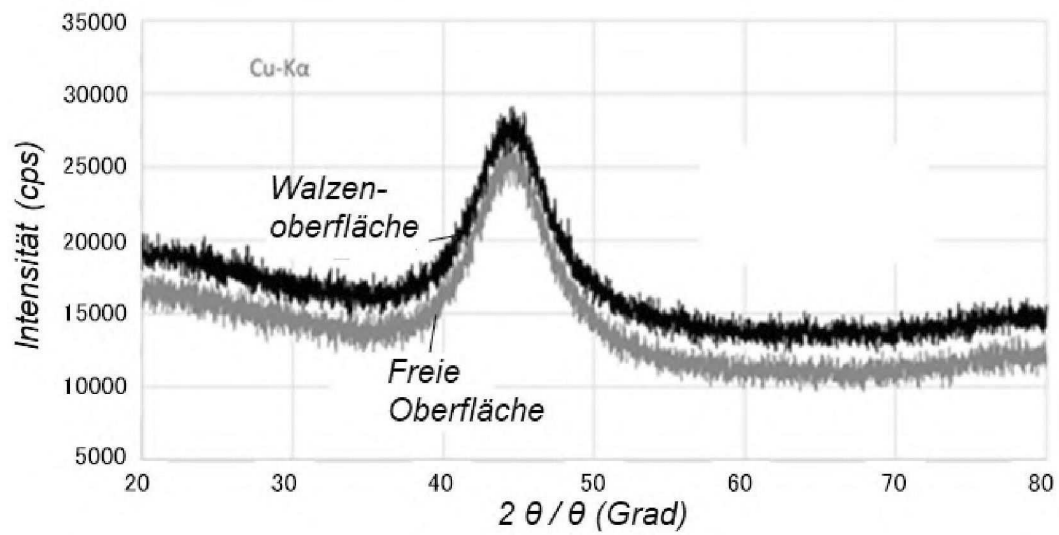


Fig. 8

