



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 475 450 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.11.2004 Patentblatt 2004/46

(51) Int Cl.7: **C22C 38/10, C22C 19/00**

(21) Anmeldenummer: **04010444.0**

(22) Anmeldetag: **03.05.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL HR LT LV MK

(30) Priorität: **07.05.2003 DE 10320350**

(71) Anmelder: **Vacuumschmelze GmbH & Co. KG
63450 Hanau (DE)**

(72) Erfinder:
• **Gerster, Joachim
63755 Alzenau (DE)**
• **Tenbrink, Johannes
63776 Mömbris (DE)**

(74) Vertreter: **Schäfer, Horst, Dr. et al
Schweiger & Partner
Patent- und Rechtsanwälte
Karl-Theodor-Strasse 69
80803 München (DE)**

(54) **Hochfeste weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung**

(57) Es wird eine hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungsauswahl vorgestellt, die aus $35,0 \leq \text{Co} \leq 55,0$ Gew.%, $0,75 \leq \text{V} \leq 2,5$ Gew.%, $0 \leq \text{Ta} + 2 \cdot \text{x Nb} \leq 0,8$ Gew.%, $0,3 < \text{Zr} \leq 1,5$ Gew.%, Rest Fe sowie erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen besteht. Diese zirkonhaltige Le-

gierungsauswahl weist exzellente mechanische Eigenschaften, insbesondere eine sehr hohe Streckgrenze, hohe Induktionswerte und besonders niedrige Koerzitivfeldstärken auf. Sie eignet sich hervorragend als Werkstoff für Magnetlager im Flugzeugbau.

EP 1 475 450 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine hochfeste weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung, die insbesondere für elektrische Generatoren, Motoren und magnetische Lager in Flugzeugen eingesetzt werden kann. Elektrische Generatoren, Motoren und magnetische Lager in Flugzeugen müssen neben einer möglichst kleinen Baugröße auch ein möglichst kleines Gewicht haben. Deshalb kommen für diese Anwendungen weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungen eingesetzt, die eine hohe Sättigungsinduktion aufweisen.

[0002] Die binären Eisen-Kobalt-Legierungen mit einem Kobaltgehalt zwischen 33 und 55 Gew.% sind außerordentlich spröde, was auf die Bildung einer geordneten Überstruktur bei Temperaturen unterhalb 730°C zurückzuführen ist. Der Zusatz von ungefähr 2 Gew.% Vanadium beeinträchtigt den Übergang in diese Überstruktur, so dass eine relativ gute Kaltverformbarkeit nach Abschrecken auf Raumtemperatur von der Temperaturen oberhalb 730°C erreicht werden kann.

[0003] Als ternäre Grundlegierung ist demnach eine Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung bekannt, die 49 Gew.% Eisen, 49 Gew.% Kobalt und 2 Gew.% Vanadium enthält. Diese Legierung ist seit langer Zeit bekannt und wird beispielsweise in "R. M. Bozorth, Ferromagnetism, van Nostrand, New York (1951)" ausführlich beschrieben. Diese vanadiumhaltige Eisen-Kobalt-Legierung zeichnet sich durch ihre sehr hohe Sättigungsinduktion von ca. 2,4 T aus.

[0004] Eine Weiterentwicklung dieser ternären vanadiumhaltigen Kobalt-Eisen-Grundlegierung ist aus der US 3,634,072 bekannt. Dort wird bei der Herstellung von Legierungsbändern ein Abschrecken des warmgewalzten Legierungsbandes von einer Temperatur oberhalb der Phasenübergangstemperatur von 730°C beschrieben. Dieser Prozess ist notwendig, damit die Legierung hinreichend duktil für das anschließende Kaltwalzen ist. Mit dem Abschrecken wird die Ordnungseinstellung unterdrückt. Fertigungstechnisch ist das Abschrecken jedoch sehr kritisch, da es bei den sogenannten Kaltwalzstichen sehr leicht zu Bandbrüchen kommen kann. Deshalb wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Duktilität der Legierungsbänder zu steigern und damit die Fertigungssicherheit zu erhöhen.

[0005] Die US 3,634,072 schlägt daher als duktilitätssteigernde Zusätze eine Zugabe von 0,02 bis 0,5 Gew.% Niob und/oder 0,07 bis 0,3 Gew.% Zirkon vor.

[0006] Niob, das im Übrigen auch durch das homologe Tantal ersetzt werden kann, hat im Eisen-Kobalt-Legierungssystem nicht nur die Eigenschaft, den Ordnungsgrad stark zu unterdrücken, was beispielsweise von R. V. Major und C. M. Orrock in "High saturation ternary cobalt-iron based alloys", IEEE Trans. Magn. 24 (1988), 1856-1858, beschrieben worden ist, sondern es hemmt auch das Kornwachstum.

[0007] Die Zugabe von Zirkon in den in der US 3,634,072 vorgeschlagenen Mengen von maximal 0,3 Gew.% hemmt ebenfalls das Kornwachstum. Beide Mechanismen verbessern wesentlich die Duktilität der Legierung nach dem Abschrecken.

[0008] Neben dieser aus der US 3,634,072 bekannten hochfesten niob- und zirkonhaltigen Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung sind des Weiteren noch zirkonfreie Legierungen aus der US 5,501,747 bekannt.

[0009] Dort werden Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungen vorgeschlagen, die ihre Anwendung in schnell drehenden Flugzeuggeneratoren und Magnetlagern finden. Die US 5,501,747 baut auf der Lehre der US 3,634,072 auf und schränkt den dort gelehrtten Niobgehalt auf 0,15 - 0,5 Gew.% ein. Des Weiteren wird dort eine besondere magnetische Schlussglühung empfohlen, bei der die Legierung nicht länger als ungefähr vier Stunden, vorzugsweise nicht länger als zwei Stunden, bei einer Temperatur von nicht über 740°C getempert werden kann, um einen Gegenstand herzustellen, der eine Streckgrenze von mindestens ungefähr 620 MPa aufweist. Dies ist sehr einschränkend und auch sehr ungewöhnlich, da normalerweise die weichmagnetischen Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungen bei Temperaturen oberhalb 740°C und unterhalb 900°C gegläht werden.

[0010] Mit der Glühtemperatur lassen sich die magnetischen und mechanischen Eigenschaften einstellen. Beide Eigenschaften sind für den Einsatz der Legierungen entscheidend. Die gleichzeitige Optimierung dieser beiden Eigenschaften ist jedoch sehr schwierig, da die Eigenschaften gegenläufig sind:

1. Wird die Legierung bei einer höheren Temperatur gegläht, so erhält man ein gröberes Korn und damit gute weichmagnetische Eigenschaften. Die dabei erzielten mechanischen Eigenschaften sind in der Regel jedoch relativ schlecht.

2. Glüht man die Legierung hingegen bei niedrigeren Temperaturen, so erzielt man bessere mechanische Eigenschaften aufgrund eines feineren Kornes. Das feinere Korn bewirkt jedoch schlechtere magnetische Eigenschaften.

[0011] Ein großer Nachteil bei der in der US 5,501,747 gelehrtten Legierungsauswahl liegt in der Notwendigkeit der oben genannten Kurzzeitglühung, die lediglich ungefähr ein bis zwei Stunden bei einer Temperatur in der Nähe der Phasengrenze ungeordnet/geordnet durchgeführt werden darf, um brauchbare magnetische und mechanische Eigenschaften zu erzielen.

[0012] Für eine große Menge an Glühgut ist aufgrund unterschiedlicher Aufheizzeiten und aufgrund von Tempera-

turschwankungen innerhalb des Glühgutes eine Fertigungssicherheit damit nur sehr schwer zu realisieren. Es kommt im großtechnischen Maßstab in der Regel zu nicht tolerierbaren Streuungen in Bezug auf die die mechanischen Eigenschaften charakterisierenden Streckgrenzen.

[0013] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine neue hochfeste weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungsauswahl bereitzustellen, die sich durch sehr gute mechanische Eigenschaften, insbesondere durch sehr hohe Streckgrenzen auszeichnen.

[0014] Die Legierungen sollen ferner auch bei längeren Glühzeiten von mindestens zwei Stunden mit einer hohen Fertigungssicherheit Streckgrenzen von über 600 MPa, vorzugsweise von über 700 MPa, aufweisen.

[0015] Die Legierungen sollen darüberhinaus gleichzeitig hohe Sättigungsinduktionswerte und möglichst niedrige Koerzitivfeldstärken aufweisen, d.h. ein hervorragendes weichmagnetisches Verhalten zeigen.

[0016] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungsauswahl gelöst, welche im Wesentlichen aus

$35,0 \leq \text{Co} \leq 55,0 \text{ Gew.}\%$,

$0,75 \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.}\%$,

$0 \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 0,8 \text{ Gew.}\%$,

$0,3 < \text{Zr} \leq 1,5 \text{ Gew.}\%$,

$\text{Ni} \leq 5,0 \text{ Gew.}\%$, Rest Fe sowie erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen besteht.

[0017] Unter dem Begriff "besteht im Wesentlichen aus" wird hier und im Folgenden verstanden, dass die erfindungsgemäße Legierungsauswahl neben den angegebenen Hauptbestandteilen an Co, V, Zr, Nb, Ta und Fe lediglich erschmelzungsbedingte und/oder zufällige Verunreinigungen in einer solchen Menge aufweisen kann, die weder die mechanischen noch die magnetischen Eigenschaften signifikant beeinträchtigt.

[0018] Es hat sich völlig überraschend gezeigt, dass Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungen mit Zirkongehalten oberhalb 0,3 Gew.% wesentlich bessere mechanische Eigenschaften unter gleichzeitiger Erzielung hervorragender magnetischer Eigenschaften aufweisen als die eingangs genannten Legierungen aus dem Stand der Technik.

[0019] Dies lässt sich darauf zurückführen, dass es durch die Zugabe von Zirkon in Mengen oberhalb 0,3 Gew.% innerhalb des Gefüges zur Ausbildung einer bisher nicht bekannten hexagonalen Laves-Phase zwischen den einzelnen Körnern kommt, die einen sehr positiven Einfluss auf die mechanischen und magnetischen Eigenschaften nimmt. Diese hexagonale Laves-Phase ist vom Standpunkt der Metallurgie und der Kristallographie nicht mit der in der US 5,501,747 beschriebenen kubischen Laves-Phase zu verwechseln. Es besteht lediglich eine Namensteilidentität. Dieser signifikante Zirkonzusatz bewirkt insbesondere im Zusammenspiel mit Niob und/oder Tantal eine signifikante Verbesserung in der Duktilität.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die erfindungsgemäße weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung einen Zirkoniumgehalt von $0,5 \leq \text{Zr} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$, idealerweise einen Zirkoniumgehalt von $0,6 \leq \text{Zr} \leq 0,8 \text{ Gew.}\%$ auf.

[0021] Typischerweise beträgt der Kobaltgehalt $48,0 \leq \text{Co} \leq 50,0 \text{ Gew.}\%$. Aber auch mit Legierungen, deren Kobaltgehalt zwischen $45,0 \leq \text{Co} \leq 48,0 \text{ Gew.}\%$ liegt, sind sehr gute Ergebnisse erzielbar. Der Gehalt an Nickel sollte $\text{Ni} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$, idealerweise $\text{Ni} \leq 0,5 \text{ Gew.}\%$ betragen.

[0022] In einer typischen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung weist die erfindungsgemäße weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung einen Vanadiumgehalt von $1,0 \leq \text{V} \leq 2,0 \text{ Gew.}\%$, idealerweise einen Vanadiumgehalt von $1,5 \leq \text{V} \leq 2,0 \text{ Gew.}\%$ auf.

[0023] Zur Erzielung besonders guter Duktilitäten sind nach der vorliegenden Erfindung Niob- und/oder Tantal-Gehalte von $0,04 \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 0,8 \text{ Gew.}\%$, idealerweise von $0,04 \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 0,3 \text{ Gew.}\%$, vorgesehen.

[0024] Die erfindungsgemäßen weichmagnetischen hochfesten Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungen weisen außerdem dabei einen Gehalt an erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen metallischen Verunreinigungen von:

$\text{Cu} \leq 0,2$, $\text{Cr} \leq 0,3$, $\text{Mo} \leq 0,3$, $\text{Si} \leq 0,5$, $\text{Mn} \leq 0,3$ und $\text{Al} \leq 0,3$; vorzugsweise von:

$\text{Cu} \leq 0,1$, $\text{Cr} \leq 0,2$, $\text{Mo} \leq 0,2$, $\text{Si} \leq 0,2$, $\text{Mn} \leq 0,2$ und $\text{Al} \leq 0,2$; idealerweise von :

$\text{Cu} \leq 0,06$, $\text{Cr} \leq 0,1$, $\text{Mo} \leq 0,1$, $\text{Si} \leq 0,1$, $\text{Mn} \leq 0,1$; auf.

[0025] Des Weiteren liegen nichtmetallische Verunreinigungen typischerweise im Bereich von:

$\text{P} \leq 0,01$, $\text{S} \leq 0,02$, $\text{N} \leq 0,005$, $\text{O} \leq 0,05$ und $\text{C} \leq 0,05$; vorzugsweise im Bereich von:

$\text{P} \leq 0,005$, $\text{S} \leq 0,01$, $\text{N} \leq 0,002$, $\text{O} \leq 0,02$ und $\text{C} \leq 0,02$; idealerweise im Bereich von:

$\text{S} \leq 0,005$, $\text{N} \leq 0,001$, $\text{O} \leq 0,01$ und $\text{C} \leq 0,01$.

[0026] Die erfindungsgemäßen Legierungen können mittels verschiedener Verfahren erschmolzen werden. Grund-

sätzlich sind alle gängigen Techniken, wie zum Beispiel das Erschmelzen an der Luft oder Herstellen über Vakuuminduktionsschmelzen (VIM = Vacuum Induction Melting) möglich.

[0027] Zur Herstellung der erfindungsgemäßen weichmagnetischen Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungen wird jedoch das VIM-Verfahren bevorzugt, da die relativ hohen Zirkonium-Gehalte besser einzustellen sind. Beim Schmelzen an der Luft weisen zirkoniumhaltige Legierungen einen hohen Abbrand auf, so dass sich unerwünschte Zirkoniumoxide und andere Verunreinigungen bilden.

[0028] Insgesamt ist bei der Verwendung des VIM-Verfahrens der Zirkoniumgehalt besser einzustellen.

[0029] Die Legierungsschmelze wird dann in Kokillen abgegossen. Nach dem Erstarren wird der Schmelzblock abgedreht und anschließend bei einer Temperatur zwischen 900°C und 1300°C zu einer Bramme gewalzt.

Alternativ kann auch auf das Abdrehen der Oxidhaut auf der Oberfläche der Schmelzblöcke verzichtet werden. Stattdessen muss dann die Bramme entsprechend an ihrer Oberfläche bearbeitet werden.

[0030] Die resultierende Bramme wird danach bei ähnlichen Temperaturen, das heißt also bei Temperaturen oberhalb 900°C, zu einem Band warmgewalzt. Das dann erhaltene warmgewalzte Legierungsband ist für einen weiteren Kaltwalzprozess zu spröde. Demzufolge wird das warmgewalzte Legierungsband von einer Temperatur oberhalb des Phasenübergangs geordnet/ungeordnet, welches bekanntlich bei einer Temperatur von ungefähr 730°C liegt in Wasser, vorzugsweise in Eissalzwasser, abgeschreckt.

[0031] Durch diese Behandlung ist das Legierungsband nun hinreichend duktil. Nach Entfernung der Oxidhaut auf dem Legierungsband, welches beispielsweise durch Beizen oder Strahlen erfolgen kann, wird das Legierungsband beispielsweise auf eine Dicke von ungefähr 0,35 mm kaltgewalzt.

[0032] Anschließend werden aus dem kaltgewalzten Legierungsband die gewünschten Formen gefertigt. Diese Formbearbeitung erfolgt in der Regel durch Stanzen. Weitere Verfahren sind Laserschneiden, Drahterodieren, Wasserstrahlschneiden oder der- gleichen.

[0033] Nach dieser Formbearbeitung erfolgt die wichtige magnetische Schlussglühung, wobei durch die Variation der Glühdauer und der Glüh Temperatur die magnetischen Eigenschaften und die mechanischen Eigenschaften des Endprodukts präzise eingestellt werden können.

[0034] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen und Vergleichsbeispielen erläutert. Die Unterschiede der einzelnen Legierungen bezüglich ihrer mechanischen und magnetischen Eigenschaften werden anhand der Figuren 1 bis 8 veranschaulicht, die jeweils die Koerzitivfeldstärke H_c als Funktion der Streckgrenze $R_{p0,2}$ zeigen.

[0035] Alle Ausführungsbeispiele und alle Vergleichsbeispiele wurden hergestellt, indem Schmelzen unter Vakuum in Flachkokillen abgegossen wurden. Die auf den Schmelzblöcken vorhandene Oxidhaut wurde anschließend abgefräst.

[0036] Anschließend wurden die Schmelzblöcke bei einer Temperatur von 1150°C zusammen mit einer Dicke von $d=3,5$ mm warmgewalzt.

[0037] Die resultierenden Brammen wurden danach von einer Temperatur $T=930^\circ\text{C}$ in Eiswasser abgeschreckt. Die abgeschreckten, warmgewalzten Brammen wurden schließlich auf eine Dicke $d'=0,35$ mm kaltgewalzt. Anschließend wurden Zugproben und Ringe gestanzt. An den entstandenen Zugproben und Ringen wurden die jeweiligen magnetischen Schlussglühungen durchgeführt.

[0038] Sämtliche Legierungsparameter, magnetische Messergebnisse und mechanische Messergebnisse sind in den Tabellen 1 bis 26 wiedergegeben.

[0039] Zur Untersuchung der mechanischen Eigenschaften wurden Zugversuche durchgeführt, bei denen das Elastizitätsmodul E , die Streckgrenze $R_{p0,2}$, die Zugfestigkeit R_m , die Bruchdehnung A_L sowie die Härte HV gemessen wurden. Als wesentlicher mechanischer Parameter wurde dabei die Streckgrenze $R_{p0,2}$ erachtet.

[0040] Die magnetischen Eigenschaften wurden an den gestanzten Ringen untersucht. An den gestanzten Ringen wurde dabei die statische B-H-Neukurve sowie die statische Koerzitivfeldstärke H_c bestimmt.

[0041] Im Folgenden werden anhand von den Tabellen 1 bis 33 sowie der Figuren 1 bis 15 Vergleichsbeispiele und Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung eingehend erörtert. Dabei zeigen:

Tabelle 1: Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/5964 bis 93/6018 nach einstündiger Schlussglühung bei 720°C unter H_2

Tabelle 2: Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach einstündiger Schlussglühung bei 720°C unter H_2

Tabelle 3: Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6655 bis 93/6666 nach einstündiger Schlussglühung bei 720°C unter H_2

Tabelle 4: Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/5964 bis 93/6018 nach zweistündiger Schluss-

glühung bei 720°C unter H₂

5	Tabelle 5:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach zweistündiger Schlussglühung bei 720°C unter H ₂
	Tabelle 6:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6655 bis 93/6666 nach zweistündiger Schlussglühung bei 720°C unter H ₂
10	Tabelle 7:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach vierstündiger Schlussglühung bei 720°C unter H ₂
	Tabelle 8:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6655 bis 93/6666 nach vierstündiger Schlussglühung bei 720°C unter H ₂
15	Tabelle 9:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach einstündiger Schlussglühung bei 730°C unter H ₂
	Tabelle 10:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach zweistündiger Schlussglühung bei 730°C unter H ₂
20	Tabelle 11:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach einstündiger Schlussglühung bei 740°C unter H ₂
	Tabelle 12:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6655 bis 93/6666 nach einstündiger Schlussglühung bei 740°C unter H ₂
25	Tabelle 13:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach zweistündiger Schlussglühung bei 740°C unter H ₂
	Tabelle 14:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6655 bis 93/6666 nach zweistündiger Schlussglühung bei 740°C unter H ₂
30	Tabelle 15:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/5964 bis 93/6018 nach vierstündiger Schlussglühung bei 740°C unter H ₂
	Tabelle 16:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6306 nach vierstündiger Schlussglühung bei 740°C unter H ₂
35	Tabelle 17:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6655 bis 93/6666 nach vierstündiger Schlussglühung bei 740°C unter H ₂
40	Tabelle 18:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach einstündiger Schlussglühung bei 750°C unter H ₂
	Tabelle 19:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach einstündiger Schlussglühung bei 770°C unter H ₂
45	Tabelle 20:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6289 nach zweistündiger Schlussglühung bei 770°C unter H ₂
	Tabelle 21:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/5964 bis 93/6018 nach vierstündiger Schlussglühung bei 770°C unter H ₂
50	Tabelle 22:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6284 nach vierstündiger Schlussglühung bei 770°C unter H ₂
55	Tabelle 23:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6655 bis 93/6666 nach vierstündiger Schlussglühung bei 770°C unter H ₂

EP 1 475 450 A1

	Tabelle 24:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/5964 bis 93/6018 nach vierstündiger Schlussglühung bei 800°C unter H ₂
5	Tabelle 25:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6278 bis 93/6306 nach vierstündiger Schlussglühung bei 800°C unter H ₂
	Tabelle 26:	Eigenschaften von Sonderschmelzen der Chargen 93/6655 bis 93/6666 nach vierstündiger Schlussglühung bei 800°C unter H ₂
10	Tabelle 27:	Gefügestand der Sonderschmelzen 93/7179 bis 93/7183 nach Abschrecken von verschiedenen Temperaturen
	Tabelle 28:	Eigenschaften der Chargen 93/7180 bis 93/7184 sowie 74/5517 und 99/5278 nach einstündiger Schlussglühung bei 720°C unter H ₂ ; Dicke: 0,35 mm
15	Tabelle 29:	Ummagnetisierungsverluste von Sonderschmelzen der Chargen 93/7180 bis 93/7184 sowie 74/5517 und 99/5278 für verschiedene Aussteuerungen und Frequenzen nach einstündiger Schlussglühung bei 720°C unter H ₂ ; Dicke: 0,35 mm
20	Tabelle 30:	Eigenschaften der Chargen 93/7180 bis 93/7184 sowie 74/5517 und 99/5278 nach zweistündiger Schlussglühung bei 750°C unter H ₂ ; Dicke: 0,35 mm
	Tabelle 31:	Ummagnetisierungsverluste von Sonderschmelzen der Chargen 93/7180 bis 93/7184 sowie 74/5517 und 99/5278 für verschiedene Aussteuerungen und Frequenzen nach zweistündiger Schlussglühung bei 750°C unter H ₂ ; Dicke: 0,35 mm
25	Tabelle 32:	Eigenschaften der Chargen 93/7180 bis 93/7184 sowie 74/5517 und 99/5278 nach vierstündiger Schlussglühung bei 840°C unter H ₂ ; Dicke: 0,35 mm
30	Tabelle 33:	Ummagnetisierungsverluste von Sonderschmelzen der Chargen 93/7180 bis 93/7184 sowie 74/5517 und 99/5278 für verschiedene Aussteuerungen und Frequenzen nach vierstündiger Schlussglühung bei 840°C unter H ₂ ; Dicke: 0,35 mm

Vergleichsbeispiele:

[0042] Es wurden unter den Bezeichnungen Chargen 93/5973 sowie unter den Bezeichnungen Charge 93/5969 und 93/5968 Legierung gemäß dem Stand der Technik hergestellt. Die Charge 93/5973 entspricht einer Legierung, wie sie der eingangs erwähnten US 3,634,072 (Ackermann) entnehmbar ist, d. h. also einer hochfesten, weichmagnetischen Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung mit einem geringen Zirkon-Zusatz unterhalb 0,3 Gew.%.
40

[0043] Der Zirkonzusatz betrug exakt 0,28 Gew.%.
40

[0044] Die Chargen 93/5969 sowie 93/5968 waren Legierungen, wie sie der eingangs erwähnten US 5,501,747 (Masteller) entsprechen. Es handelte sich dabei um hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierungen, die zirkonfrei waren.

[0045] Die Eigenschaften dieser Legierungen sind den Tabellen 1, 4, 15, 21 sowie 24 zu entnehmen.

[0046] Diese Tabellen geben die Eigenschaften der erschmolzenen Legierungen unter verschiedenen Schlussglühungen wieder.

[0047] Dabei wurden die Zeitdauer der Schlussglühungen sowie die Glühtemperaturen variiert. Die Glühtemperaturen wurden von 720°C bis zu 800°C variiert. Die Dauer der Schlussglühungen wurde von einer Stunde bis vier Stunden variiert.

[0048] Eine graphische Zusammenfassung der gefundenen Ergebnisse bei diesen drei Legierungen aus dem Stand der Technik liefern die Figuren 1, 2 und 3. Wie diesen Figuren zu entnehmen ist, ist mit diesen Legierungen eine hohe Streckgrenze, d. h. eine Streckgrenze R_{p0,2} oberhalb 700 MPa nur dann erzielbar, wenn merkliche Einbußen im weichmagnetischen Verhalten hingenommen werden. Alle drei Legierungen zeigen im Bereich von 700 MPa und höher bereits ein halbhart-magnetisches Verhalten, d. h. eine Koerzitivfeldstärke H_c von mehr als 6,0 A/cm.

Ausführungsbeispiele:

[0049] Als Ausführungsbeispiele gemäß der vorliegenden Erfindung wurden fünf verschiedene Legierungschargen

hergestellt, die unter den Chargenbezeichnungen 93/6279, 93/6284, 93/6285, 93/6655 sowie 93/6661 in den Tabellen 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 22, 23, 25 sowie 26 aufgelistet sind.

[0050] Bei den Legierungen wurde zum Einen der Zirkongehalt variiert, zum Anderen wurden der Zirkongehalt zusammen mit den anderen für die Duktilität verantwortlichen Legierungsbestandteilen Niob und Tantal variiert.

[0051] Auch mit diesen Legierungschargen wurden sowohl die Glühtemperaturen bei den magnetischen Schlussglühungen als auch die Schlussglühzeiten variiert. Die Schlussglühzeiten wurden zwischen einer Stunde und vier Stunden variiert. Die Schlussglühtemperaturen wurden zwischen 720°C und 800°C variiert.

[0052] Eine graphische Zusammenfassung der einzelnen Ergebnisse ist den Figuren 4 bis 8 zu entnehmen. In diesen Figuren ist ebenfalls die Koerzitivfeldstärke H_c als Funktion der Streckgrenze $R_{p0,2}$ gezeigt. Im Gegensatz zu den Legierungen aus dem Stand der Technik, die oben unter den Vergleichsbeispielen diskutiert wurden, zeigen die Legierungen gemäß der vorliegenden Erfindung sehr hohe Streckgrenzen unter gleichzeitigem sehr guten weichmagnetischen Verhalten.

[0053] Dies ist insbesondere den Figuren 7 und 8 zu entnehmen. Die dort gezeigten Legierungen weisen im Bereich der Streckgrenze Werte von über 700 MPa auf bei Koerzitivfeldstärken von ungefähr 5,0 A/cm.

[0054] Insbesondere aus der Figur 3 ist zu entnehmen, dass beim Einsatz von Zirkongehalten unter 0,30 Gew.%, wie sie die US 3,634,072 lehrt, in der Tat keine wirklich hochfesten Legierungen herstellbar sind.

[0055] Im Vergleich zu der Zusammensetzung 49,2 Co; 1,9 V; 0,16 Ta; 0,77 Zr; Rest Fe wurde der V-Gehalt von 0-3 % und der Co-Gehalt von 10-49 % in Chargen 93/7179 bis 93/7184 variiert. Diese Ausführungsbeispiele sind in Figuren 9 bis 15 und Tabellen 26 bis 32 zusammengefasst. Die Charge 74/5517 99/5278 ist eine Vergleichslegierung des Stands der Technik.

[0056] Tabelle 26 zeigt die Untersuchung der passenden Abstrecktemperatur für die Sonderschmelzen versuche der Chargen 93/7179 bis 93/7183. Nur die Charge 93/7184 wurde ohne Abschrecken kaltgewalzt. Nach dem Abschrecken bei den jeweils festgelegten Temperaturen, siehe Tabelle 26, ließen sich die Bänder auf Enddicke kaltwalzen.

[0057] Figuren 9 bis 11 zeigen das Verhältnis zwischen Induktion und Feldstärke für die Chargen 93/7179 bis 93/7184 nach einer Schlussglühung unter verschiedenen Glühparametern. Induktionswerte sind luftflusskorrigiert gemäß ASTM A 341/A 341M und IEC 404-4. Diese Ergebnisse sowie die Ergebnisse der Zugversuche sind in Tabellen 27, 29 und 31 aufgelistet.

[0058] Das Verhältnis zwischen Co-Gehalt bzw. V-Gehalt und Streckgrenze $R_{p0,2}$ ist in Figuren 12 und 13 graphisch dargestellt.

[0059] Die Tabellen 28, 30 und 32 zeigen den spezifischen Widerstand sowie die Ummagnetisierungsverluste für die Chargen 93/7179 bis 93/7184. Das Verhältnis zwischen spezifischem elektrischem Widerstand ρ_{e1} und Co- bzw. V-Gehalt für verschiedene Glühparameter ist in Figuren 14 und 15 graphisch dargestellt.

[0060] Die Legierungen nach der vorliegenden Erfindung eignen sich insbesondere hervorragend für Magnetlager, insbesondere für die Rotoren von Magnetlagern, wie sie in der US 5,501,747 beschrieben sind, sowie als Werkstoff für Generatoren und für Motoren.

Tabelle 1

Band 0,35 mm 1h 720°C, H2, OK

	Gewichts - %					statische magnetische Messungen					ohne Luftflusskorrektur ab B ₄₀					mechanische Messungen				
	Co	V	Nb	Ni	Zusatz	H _c [A/cm]	B ₃ [T]	B ₈ [T]	B ₁₆ [T]	B ₂₄ [T]	B ₄₀ [T]	B ₈₀ [T]	B ₁₆₀ [T]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A _L [%]	E-Modul [GPa]	HV		
Charge																				
93/5973	49,10	1,95		0,03	Zr ~ 0,28	10,945	0,088	0,368	1,669	1,893	2,018	2,135	2,222	1229	721	11,8-16,6	219-262	371-377		
93/5969	49,10	1,91	0,37	0,04		10,638	0,087	0,394	1,861	1,985	2,080	2,180	2,270	1521	939	19,2-21,2	251-264	421-432		
93/5968	49,10	1,91	0,23	0,04		12,144	0,077	0,287	1,650	1,918	2,038	2,152	2,246	1498	890	21,3-21,8	239-271	414-418		

Tabelle 2

Glühung: 1h, 720°C, H2, OK

Glühung: 1h, 720°C, H2, OK														
	Gewichts-%				Statische magnetische Messungen					Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV5
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	2,815	0,549	1,902	2,054	2,115	970	633	8,5	241	312
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	3,435	0,319	1,798	1,995	2,066	993	663	7,6-9,5	235	329
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	3,381	0,334	1,797	1,983	2,061	953	675	6,9-8,3	243	333

Tabelle 3

Glühung: 1h/720°C/H2/OK										mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀									
Gewichts-%						Statische magnetische Messungen						Mechanische Messungen							
Charge	Co	V	Nb	Zr	Ta	H _c (A/cm)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV	
93/6655	49,15	1,90	0,10	# 0,86	x	5,265	0,204	1,393	1,850	1,965	2,050	2,130	2,170	1101-1251	753-772	9,7-13,9	239-248	326-332	
93/6661	49,70	1,91	x	# 0,77	# 0,16	6,397	0,175	1,121	1,824	1,945	2,037	2,118	2,170	1245-1285	831-833	12,3-14,7	223-251	341-349	

¹⁾: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm

Tabelle 4

Band 0,35 mm 2h 720°C/H2,OK

Band 0,35 mm 24 720 0112,01x																		
Gewichts - %					statische magnetische Messungen							ohne Luftflusskorrektur ab B ₄₀				mechanische Messungen		
	Co	V	Nb	Ni	Zusatz	H _c [A/cm]	B ₃ ¹⁾ [T]	B ₈ ¹⁾ [T]	B ₁₆ ¹⁾ [T]	B ₂₄ ¹⁾ [T]	B ₄₀ ¹⁾ [T]	B ₈₀ ¹⁾ [T]	B ₁₆₀ ¹⁾ [T]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A _L [%]	E-Modul [GPa]	HV
Charge																		
93/5973	49,10	1,95		0,03	Zr ~ 0,28	1,810	1,687	2,028	2,141	2,189	2,236	2,303	2,378	907	504	9,5-9,6	246-263	247-261
93/5969	49,10	1,91	0,37	0,04		6,442	0,161	1,384	1,990	2,068	2,151	2,239	2,316	1379	761	15,1-22,5	257-268	332-335
93/5968	49,10	1,91	0,23	0,04		5,791	0,183	1,499	1,986	2,066	2,146	2,232	2,307	1335	700	16,6-23,0	243-250	323-326

Tabelle 5

Glühung: 2h, 720°C, H ₂ , OK														
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen					Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV5
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	3,172	0,417	1,836	2,024	2,092	1041	612	9,7-11,0	242-243	283-293
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	2,950	0,588	1,843	2,010	2,084	965	636	5,1-11,3	245-247	291-294
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	3,287	0,412	1,847	1,969	2,048	1060	641	8,0-11,3	246-247	300-304

Tabelle 6

Glühung: 2h/720°C/H ₂ /OK					mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀																	
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen									Mechanische Messungen								
Charge	Co	V	Nb	Zr	Ta	H _c (A/cm)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV				
93/6655	49,15	1,90	0,10	# 0,86	x	4,003	0,295	1,630	1,922	2,017	2,092	2,161	2,205	1095-1187	679-695	10,3-12,8	247-253	309-312				
93/6661	49,70	1,91	x	# 0,77	# 0,16	5,218	0,218	1,429	1,887	1,991	2,068	2,145	2,196	1100-1267	749-766	9,3-13,9	235-249	323-329				

¹⁾: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm

¹⁾: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm

Tabelle 7

Glühung: 4h, 720°C, H ₂ , OK																				
Gewichts-%				Magnetische Messungen					mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀							Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c	Physt/f	p _{Fe} ²⁾	p _{Fe} ²⁾	B ₃ ¹⁾	B ₈ ¹⁾	B ₁₆ ¹⁾	B ₂₄ ¹⁾	B ₄₀ ¹⁾	B ₈₀ ¹⁾	B ₁₆₀ ¹⁾	R _m	R _{p0,2}	A _L	E-Modul (GPa)	HV5
					(A/cm)	(J/kg)	f=400Hz	f=1000Hz	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)	(MPa)	(MPa)	(%)	
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,600	0,1214	91,302	388,531	1,781	2,016	2,117	2,158	2,187	2,219	2,248	849	510	5,8-9,4	228-233	282-302
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	1,949	0,1502	100,746	404,399	1,629	1,958	2,075	2,127	2,163	2,198	2,227	940	558	7,1-9,2	236-254	319-321
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	2,005				1,606	1,959	2,070	2,121				913	570	6,8-8,2	230-238	336-338

Physt/f: statische Hystereseverluste bei B = 2T

1): Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₄₀ bei H = 40 A/cm2): p_{Fe} bei B = 2T

Tabelle 8

Glühung: 4h/720°C/H2/OK										mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀													
Gewichts-%					Magnetische Messungen										Mechanische Messungen								
Charge	Co	V	Nb	Zr	Ta	H _c (A/cm)	Phys/f (J/kg)	f=400Hz (W/kg)	f=1000Hz (W/kg)	p _{Fe} ²⁾	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E- Modul (GPa)	HV	
93/6655	49,15	1,90	0,10	#	x	3,038	0,2482	139,757	501,111	0,602	1,738	1,959	2,044	2,110	2,170	2,207			1107- 1119	622- 624	11,3- 11,4	234- 243	277- 292
93/6661	49,70	1,91	x	#	#	3,913	0,3098	164,061	560,637	0,320	1,680	1,952	2,035	2,105	2,165	2,206			1167- 1241	692- 700	11,7- 13,9	240- 250	310- 329

Phys/f: statische Hystereseverluste bei B = 2T

1): Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm

2): p_{Fe} bei B = 2T

Tabelle 9

Glühung: 1h, 730°C, H2, OK																						
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen								Mechanische Messungen									
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV 5								
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,966	1,687	1,999	2,104	2,155	938	583	8,4-8,6	243-244	280-281								
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	2,514	0,929	1,921	2,056	2,114	997	611	9,1-9,3	243-249	300								
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	2,431	1,125	1,913	2,045	2,103	964	629	6,5-9,4	237-250	301-303								

Tabelle 10

Glühung: 2h, 730°C, H2, OK														
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen					Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV5
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,717	1,758	2,017	2,118	2,169	875	513	7,3-9,0	238	270
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	2,115	1,515	1,962	2,083	2,133	884	547	6,0-8,9	236	285
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	2,334	1,271	1,921	2,045	2,097	738	561	2,9-7,3	242	297

Tabelle 11

Glühung:1h, 740°C, H2, OK														
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen					Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV5
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,977	1,600	1,979	2,096	2,152	1051	561	10,2-12,1	230-241	305-314
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	2,282	1,289	1,931	2,066	2,121	1050	605	10,0-10,2	239-242	276-283
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	2,588	0,833	1,874	2,013	2,078	966	612	6,8-9,6	234-236	289-297

Tabelle 12

Glühung: 1h/740°C/H2/OK						mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀															
Gewichts-%						Statische magnetische Messungen								Mechanische Messungen							
Charge	Co	V	Nb	Zr	Ta	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	B ₄₀ (T)	B ₈₀ (T)	B ₁₆₀ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV			
93/6655	49,15	1,90	0,10	# 0,86	x	3,203	0,443	1,727	1,954	2,037	2,101	2,161	2,201	946-1100	638-650	7,4-11,1	240-241	294-297			
93/6661	49,70	1,91	x	# 0,77	# 0,16	3,901	0,297	1,699	1,958	2,040	2,105	2,170	2,217	1169-1173	694-703	12,0-12,3	228-243	303-312			

¹⁾: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm

^{b)}: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm

Tabelle 13

Glühung: 2h, 740°C, H2, OK														
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen					Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV5
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,646	1,739	1,993	2,095	2,136	922	511	7,2-10,3	237-245	264-272
93/6282	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	2,073	1,559	1,972	2,088	2,142	886	573	5,6-8,1	234-246	278-284
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	2,100	1,564	1,957	2,076	2,130	967	566	7,9-9,8	234-240	273-288

Tabelle 14

Gühtung: 2h/740°C/H2/OK										mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀									
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen										Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Nb	Zr	Ta	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	B ₄₀ (T)	B ₈₀ (T)	B ₁₆₀ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV	
993/6655	49,15	1,90	0,10	# 0,86	x	2,601	0,776	1,826	2,011	2,082	2,140	2,186	2,217	1037-1043	581-592	10,0-10,1	241-243	280-293	
993/6661	49,70	1,91	x	# 0,77	# 0,16	2,773	0,636	1,838	2,012	2,085	2,137	2,189	2,220	1127-1143	627-635	11,6-12,5	223-246	289-295	

¹⁾: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm

Tabelle 15

Band 0,35 mm						4h 740°C,H2,OK														
Gewichts - %						statische magnetische Messungen					mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀					mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Nb	Ni	Zusatz	H _c [A/cm]	B ₃ ¹⁾ [T]	B ₈ ¹⁾ [T]	B ₁₆ ¹⁾ [T]	B ₂₄ ¹⁾ [T]	B ₄₀ ¹⁾ [T]	B ₈₀ ¹⁾ [T]	B ₁₆₀ ¹⁾ [T]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A _L [%]	E-Modul [GPa]	HV		
93/5973	49,10	1,95		0,03	Zr ~ 0,28	1,149	1,931	2,101	2,185	2,219				813-874	407-438	8,4-9,7	241-250	231-236		
93/5969	49,10	1,91	0,37	0,04		3,719	0,694	1,838	2,051	2,111	2,172	2,231	2,265	930-1261	582-617	8,9-17,5	229-252	275-291		
93/5968	49,10	1,91	0,23	0,04		3,194	0,597	1,900	2,078	2,137	2,178	2,230	2,266	1061-1192	569-588	10,9-15,5	245-262	283-295		

Tabelle 16

Glühung : 4h, 740°C, H2, OK																					
Gewichts-%			Magnetische Messungen					mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀								Mechanische Messungen					
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	physt/f (J/kg)	P _{Fe} f=400Hz (W/kg)	P _{Fe} f=1000Hz (W/kg)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV	ρ _{cl} (Ωmm²/m)
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,456	0,109	85,117	369,182	1,813	2,037	2,132	2,172	2,199	2,230	2,257	764	484	5,7-6,5	251	242	0,451
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	1,690				1,727	2,001	2,104	2,152				830	525	6,2-7,1	250	275	0,449
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	1,974				1,608	1,963	2,073	2,121				804	552	3,1-6,8	253	280	0,450

Tabelle 17

Glühung: 4h/740°C/H ₂ /OK/Rohde-Ofen										mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀												
Gewichts-%			Magnetische Messungen							Mechanische Messungen												
Charge	Co	V	Nb	Zr	Ta	H _c (A/cm)	p _{phys} /f (J/kg)	p _{Fe} ²⁾ f=400Hz (W/kg)	p _{Fe} ²⁾ f=1000Hz (W/kg)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV	
93/6655	49,15	1,90	0,10	# 0,86	x	2,270	0,1796	113,844	442,061	1,060	1,862	2,031	2,098	2,147	2,190	2,214	2,214	1034	538	9,7	255	268-271
93/6661	49,70	1,91	x	# 0,77	# 0,16	2,351	0,1856	114,229	435,546	1,031	1,884	2,040	2,101	2,144	2,193	2,223	2,223	1058-1124	572-579	10,6-12,1	231-242	277-281

Physt/f: statische Hystereseverluste bei B = 2T

1): Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm2): P_{Fe} bei B = 2T

Tabelle 19

Glühung: 1h, 770°C, H2, OK														
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen					Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV5
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,476	1,819	2,028	2,127	2,169	903	486	8,5-9,0	250-252	257-260
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	1,634	1,755	1,997	2,098	2,141	854	511	6,3-8,1	252-265	272-273
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	1,808	1,693	1,961	2,066	2,111	881	528	7,2-8,1	244-264	278-281

Tabelle 20

Glühung: 2h, 770°C, H2, OK														
Gewichts-%					Statische magnetische Messungen					Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV5
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,207	1,860	2,035	2,121	2,155	851	421	8,2-9,5	236-244	254-262
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	1,427	1,813	2,014	2,106	2,141	882	451	8,5-9,1	239-244	262-268
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	1,571	1,761	1,977	2,073	2,110	861	486	6,8-7,9	231-249	270-277

Tabelle 21

Band 0,35 mm 4h 770°C,H2,OK

Gewichts - %						statische magnetische Messungen						mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀				mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Nb	Ni	Zusatz	H _c [A/cm]	B ₃ ⁽¹⁾ [T]	B ₈ ⁽¹⁾ [T]	B ₁₆ ⁽¹⁾ [T]	B ₂₄ ⁽¹⁾ [T]	B ₄₀ ⁽¹⁾ [T]	B ₈₀ ⁽¹⁾ [T]	B ₁₆₀ ⁽¹⁾ [T]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A _L [%]	E-Modul [GPa]	HV		
93/5973	49,10	1,95		0,03	Zr 0,28 ~	0,885	1,980	2,218	2,200	2,227				492-815	370-389	3,6-9,5	232-248	206-210		
93/5969	49,10	1,91	0,37	0,04		2,038	1,582	2,026	2,128	2,174	2,211	2,248	2,275	1018-1129	493-501	11,1-13,9	246-250	232-236		
93/5968	49,10	1,91	0,23	0,04		1,700	1,755	2,061	2,154	2,192	2,222	2,252	2,275	942-1087	471-479	9,8-13,5	239-253	226-227		

Tabelle 22

Glühung: 4h, 770°C, H ₂ , OK																								
Gewichts-%					Magnetische Messungen					mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀										Mechanische Messungen				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	Phys/f (J/kg)	p _{Fe} f=400Hz (W/kg)	p _{Fe} f=1000Hz (W/kg)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	B ₄₀ (T)	B ₈₀ (T)	B ₁₆₀ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)					
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,234	0,0819	77,873	363,928	1,861	2,062	2,149	2,184	2,207	2,235	2,260	766	444	4,3-7,5	239	250				
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	1,489	0,1241	99,401	442,150	1,608	1,867	1,968	2,010	2,038	2,066	2,090	782	491	4,3-8,0	233	261				

Tabelle 23

Glühung: 4h/770°C/H ₂ /OK																	mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀									
Gewichts-%			Magnetische Messungen										Mechanische Messungen													
Charge	Co	V	Nb	Zr	Ta	H _c (A/cm)	p _{hyst} /f (J/kg)	p _{Fe} f=400Hz (W/kg)	p _{Fe} f=1000Hz (W/kg)	B ₃ (T)	B ₈ (T)	B ₁₆ (T)	B ₂₄ (T)	B ₄₀ (T)	B ₈₀ (T)	B ₁₆₀ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV					
93/6655	49,15	1,90	0,10	#	x	1,819	0,1445	99,664	418,788	1,457	1,928	2,067	2,127	2,157	2,194	2,227	856-	481-	7,2-	237-	249-					
				0,86													931	484	8,5	241	264					
93/6661	49,70	1,91	x	#	#	1,586	0,1263	89,614	381,568	1,623	1,963	2,085	2,139	2,168	2,208	2,227	940-	478-	9,0-	217-	241-					
				0,77	0,16												974	485	9,8	225	258					

p_{hyst}/f: statische Hystereseverluste bei B = 2Th): Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm2): p_{Fe} bei B = 2T

Tabelle 24

Band 0,35 mm 4h 800°C, H2, OK														
Gewichts - %					statische magnetische Messungen					mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀				
Charge	Co	V	Nb	Ni	Zusatz	H _c [A/cm]	B ₃ ¹⁾ [T]	B ₈ ¹⁾ [T]	B ₁₆ ¹⁾ [T]	B ₂₄ ¹⁾ [T]	B ₄₀ ¹⁾ [T]	B ₈₀ ¹⁾ [T]	B ₁₆₀ ¹⁾ [T]	mechanische Messungen
93/5973	49,10	1,95		0,03	Zr 0,28	0,750	2,004	2,141	2,208	2,237				R _m [MPa]
														R _{p0,2} [MPa]
93/5969	49,10	1,91	0,37	0,04	~	1,548	1,842	2,080	2,157	2,200	2,226	2,259	2,285	A _L / %
														E-Modul [GPa]
93/5968	49,10	1,91	0,23	0,04		1,360	1,902	2,098	2,180	2,216	2,235	2,263	2,284	HV

Tabelle 25

Glühung: 4h, 800°C, H2, OK														
Gewichts-%					Magnetische Messungen					mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀				
Charge	Co	V	Ni	Zusatz	H _c (A/cm)	Phys/f (J/kg)	P _{Fe} f=400Hz (W/kg)	P _{Fe} f=1000Hz (W/kg)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	Mechanische Messungen
93/6279	49,20	1,89	0,06	Zr ~ 0,80	1,062	0,0744	74,154	351,926	1,913	2,080	2,158	2,188	2,209	R _m (MPa)
														R _{p0,2} (MPa)
93/6284	49,35	1,90	0,43	Zr ~ 1,00	1,264	0,0945	87,404	404,535	1,835	2,039	2,129	2,164	2,185	A _L (%)
														E-Modul (GPa)
93/6285	49,35	1,89	0,44	Zr ~ 1,40	1,456				1,813	2,015	2,104	2,140		HV (□mm ² /m)

Tabelle 26

Gießung: 4h/800°C/H2/OK										mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀														
Gewichts-%						Magnetische Messungen						Mechanische Messungen												
Charge	Co	V	Nb	Zr	Ta	H _c (A/cm)	p _{phys} /f (J/kg)	p _{Fe} f=400Hz (W/kg)	p _{Fe} f=1000Hz (W/kg)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV			
93/6655	49,15	1,90	0,10	#	x	1,640	0,1279	98,076	421,081	1,623	1,959	2,084	2,137	2,167	2,204	2,232		848-869	460-462	7,0-7,5	240-247	249-260		
93/6661	49,70	1,91	x	#	#	1,380	0,1042	83,840	367,657	1,684	1,983	2,099	2,153	2,177	2,208	2,229		910-936	441-447	8,7-9,1	241-249	244-254		

Phys/f: statische Hystereseverluste bei B = 2T

1): Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₂₄ bei H = 24 A/cm

2): P_{Fe} bei B = 2T

Tabelle 27

Abschreckversuch Charge	Gefügezustand					Wahl der Abschreckbehandlung
	3h/880°C	3h/900°C	3h/920°C	3h/940°C	3h/950°C	
93/7179 49,2 Co / 0 V / 0,16 Ta / 0,77 Zr	α	α	α	$\alpha +$ wenig α'	$\alpha +$ wenig α'	2h/970°C/Luft
93/7180 49,2 Co / 3 V / 0,16 Ta / 0,77 Zr	$\alpha + \alpha'$	$\alpha + \alpha'$	$\alpha + \alpha'$	α'	α'	2h/900°C/Luft
93/7181 49,2 Co / 1 V / 0,16 Ta / 0,77 Zr	α	α	α	$\alpha +$ wenig α'	$\alpha + \alpha'$ am Rand mehr α'	2h/970°C/Luft
93/7182 35 Co / 2 V / 0,16 Ta / 0,77 Zr	α	α	$\alpha +$ wenig α'	$\alpha +$ wenig α'	$\alpha +$ wenig α'	2h/800°C/Luft
93/7183 27 Co / 2 V / 0,16 Ta / 0,77 Zr	α	α	α	α	$\alpha +$ wenig α'	2h/800°C/Luft

Tabelle 28

Glühung: 1h/720°C/H2/OK/														
Charge	Gewichts-%				Magnetische Messungen; mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀						Mechanische Messungen			
	Co	V	Ta	Zr	Dichte (g/cm ³)	H _c (A/cm)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	HV
93/7180	49,2	3	0,16	0,77	8,12	12,761	0,093	0,319	1,229	1,666	1,843	1,971	2,047	394-412
93/7181	49,2	1	0,16	0,77	8,12	5,842	0,160	1,435	1,954	2,048	2,126	2,205	2,258	364-371
93/7182	35	2	0,16	0,77	8,004	9,285	0,120	0,643	1,811	1,931	2,033	2,137	2,211	375-390
93/7183	27	2	0,16	0,77	7,990	9,248	0,077	0,589	1,661	1,785	1,892	2,039	2,171	281-293
93/7184	10	2	0,16	0,77	7,872	6,228	0,103	1,105	1,484	1,603	1,708	1,842	1,985	180-188
74/5517 99/5278	49,3	2	0,18	0,75	8,12	5,905	0,184	1,189	1,812	1,940	2,033	2,114	2,158	333-356

¹⁾: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₃ bei H = 3 A/cm

Tabelle 29

Charge	$\rho_{el}^{3)}$ ($\mu\Omega m$)	p_{1T}^{50Hz} (W/kg)	$p_{1,5T}^{50Hz}$ (W/kg)	p_{2T}^{50Hz} (W/kg)	p_{1T}^{400Hz} (W/kg)	$p_{1,5T}^{400Hz}$ (W/kg)	p_{2T}^{400Hz} (W/kg)	p_{1T}^{1000Hz} (W/kg)	$p_{1,5T}^{1000Hz}$ (W/kg)	p_{2T}^{1000Hz} (W/kg)
93/7180	0,733	11,83	24,51	48,73 ²⁾	99,78	247,8	425,0	279,9	683,4	1166
93/7181	0,365	6,372	14,35	25,76	64,20	141,5	246,5	203,8	468,3	834,5
93/7182	0,477	12,31	24,09	37,09 ²⁾	106,7	248,3	343,9	295,4	613,2	1040
93/7183	0,457	13,42	26,25	42,26 ²⁾	124,3	222,6	383,6	335,2	723,3	1162
93/7184	0,437	11,47	21,19 ²⁾	33,87 ²⁾	102,6	205,2	326,3 ²⁾	301,3	632,7	984,3 ²⁾
74/5517	-	5,8	14,02	25,2	53,9	118,2	234,2	168,7	401,3	728,8
99/5278										

2). Formfaktor FF = $1,111 \pm 1\%$ nicht erfüllt

3). ρ_{el} berechnet aus den Steigungen m der Geraden im p/f (f)-Diagramm bei B = 2T mit $m \sim 1/\rho_{el}$ und $\rho_{el}(Vacoflux 50) = 0,44 \mu\Omega m$
 p_{1T}^{50Hz} = Ummagnetisierungsverluste bei einer Induktion B = 1T und einer Frequenz f = 50Hz

Tabelle 30

Glühung: 2h/750°C/H2/OK/																			
Charge	Gewichts-%				Magnetische Messungen; mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀										Mechanische Messungen				
	Co	V	Ta	Zr	Dichte (g/cm ³)	H _c (A/cm)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E- Modul (GPa)	HV	
93/7180	49,2	3,0	0,16	0,77	8,12	6,396	0,188	0,823	1,546	1,754	1,911	2,043	2,144	961- 1231	678- 728	6,6- 12,1	250- 260	316- 344	
93/7181	49,2	1,0	0,16	0,77	8,12	2,660	0,701	1,872	2,053	2,125	2,185	2,240	2,276	930- 946	602- 611	7,7- 8,2	248- 259	292- 303	
93/7182	35	2	0,16	0,77	8,004	6,459	0,118	1,090	1,833	1,950	2,055	2,159	2,222	985- 1266	790- 802	5,4- 13,7	258- 263	323- 339	
93/7183	27	2	0,16	0,77	7,990	7,507	0,079	0,803	1,654	1,765	1,869	2,020	2,168	832- 847	625- 637	8,9- 11,9	237- 246	258- 264	
93/7184	10	2	0,16	0,77	7,872	4,728	0,162	1,222	1,498	1,599	1,691	1,816	1,964	515- 527	315- 327	20,0- 22,9	206- 213	142- 145	
74/5517 99/5278	49,3	2	0,18	0,75	8,12	2,248	0,970	1,830	2,011	2,081	2,134	2,179	2,206	941- 1179	551- 563	8,4- 14,7	216- 239	274- 291	

¹⁾: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₃ bei H = 3 A/cm

Tabelle 31

Charge	$\rho_{el}^{3)}$ ($\mu\Omega m$)	p_{1T}^{50Hz} (W/kg)	$p_{1,ST}^{50Hz}$ (W/kg)	p_{2T}^{50Hz} (W/kg)	p_{1T}^{400Hz} (W/kg)	$p_{1,ST}^{400Hz}$ (W/kg)	p_{2T}^{400Hz} (W/kg)	p_{1T}^{1000Hz} (W/kg)	$p_{1,ST}^{1000Hz}$ (W/kg)	p_{2T}^{1000Hz} (W/kg)
93/7180	0,720	5,560	13,91	22,92 ²⁾	49,35	126,7	208,0	152,3	385,1	628,1
93/7181	0,350	2,955	6,606	11,24	35,62	77,80 ²⁾	143,9	132,2	305,0	586,3
93/7182	0,493	7,965	17,15	25,97 ²⁾	73,44	155,7 ²⁾	248,7	213,8	462,5	804,2
93/7183	0,468	11,42	21,51	34,37 ²⁾	99,72	200,1	318,0	288,7	613,8	980,3
93/7184	0,428	8,934	17,60	26,20 ²⁾	82,67	160,9	261,1 ²⁾	261,2	547,6	865,2 ²⁾
74/5517	-	2,4	5,59	9,9	27,1	56,25	109,1	98,0	230,5	413,0
99/5278										

2). Formfaktor FF = $1,111 \pm 1\%$ nicht erfüllt

3). ρ_{el} berechnet aus den Steigungen m der Geraden im p/f (f)-Diagramm bei $B = 2T$ mit $m \sim 1/\rho_{el}$ und $\rho_{el}(\text{Vacoflux } 50) = 0,44 \mu\Omega m$
 p_{1T}^{50Hz} = Ummagnetisierungsverluste bei einer Induktion $B = 1T$ und einer Frequenz $f = 50Hz$

Tabelle 32

Glühung: 4h/840°C/H2/OK/																			
Charge	Gewichts-%				Magnetische Messungen, mit Luftflusskorrektur ab B ₄₀										Mechanische Messungen				
	Co	V	Ta	Zr	Dichte (g/cm ³)	H _c (A/cm)	B ₃ ¹⁾ (T)	B ₈ ¹⁾ (T)	B ₁₆ ¹⁾ (T)	B ₂₄ ¹⁾ (T)	B ₄₀ ¹⁾ (T)	B ₈₀ ¹⁾ (T)	B ₁₆₀ ¹⁾ (T)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A _L (%)	E-Modul (GPa)	HV	
93/7180	49,2	3,0	0,16	0,77	8,12	6,398	0,150	0,512	1,099	1,384	1,652	1,907	2,037	995-1199	553-600	8,3-12,2	250-258	287-302	
93/7181	49,2	1,0	0,16	0,77	8,12	1,396	1,614	1,958	2,104	2,165	2,213	2,254	2,282	662-736	379-387	5,3-6,2	257-259	220-233	
93/7182	35	2	0,16	0,77	8,004	2,355	0,372	1,556	1,818	1,953	2,092	2,199	2,240	811-945	478-490	5,8-7,9	253-261	240-254	
93/7183	27	2	0,16	0,77	7,990	3,357	0,154	1,399	1,620	1,717	1,820	1,974	2,141	701-730	379-390	10,8-12,7	236-246	202-217	
93/7184	10	2	0,16	0,77	7,872	3,187	0,386	1,249	1,482	1,576	1,663	1,792	1,944	439-451	190-195	23,8-26,5	198-211	116-121	
74/5517 99/5278	49,3	2	0,18	0,75	8,12	1,065	1,618	1,942	2,074	2,131	2,165	2,196	2,216	841-1013	410-427	7,6-10,9	236-271	235-248	

¹⁾: Induktion B bei einer Feldstärke H in A/cm, z.B. B₃ bei H = 3 A/cm

Tabelle 33

Charge	ρ_{el} ³⁾ ($\mu\Omega m$)	p_{1T} ^{50Hz} (W/kg)	$p_{1,5T}$ ^{50Hz} (W/kg)	p_{2T} ^{50Hz} (W/kg)	p_{1T} ^{400Hz} (W/kg)	$p_{1,5T}$ ^{400Hz} (W/kg)	p_{2T} ^{400Hz} (W/kg)	p_{1T} ^{1000Hz} (W/kg)	$p_{1,5T}$ ^{1000Hz} (W/kg)	p_{2T} ^{1000Hz} (W/kg)
93/7180	0,649	5,847	13,67	18,82 ²⁾	53,17	121,7	179,0 ²⁾	163,3	385,2	559,8
93/7181	0,316	1,829	3,883	6,266	26,64	61,00	104,5	108,6	272,9	510,6
93/7182	0,446	3,770	6,844	8,882 ²⁾	40,08	68,84	118,0	139,1	263,8	464,9
93/7183	0,408	5,736	11,32	16,59 ²⁾	56,00	119,3	175,4	182,5	409,4	635,5
93/7184	0,370	6,314	12,96 ²⁾	19,54 ²⁾	63,53	124,4	204,3 ²⁾	205,4	486,0	707,4 ²⁾
74/5517	-	1,7	3,348	5,4	21,6	46,85	78,5	82,4	183,8	352,5
99/5278										

²⁾: Formfaktor FF = $1,111 \pm 1\%$ nicht erfüllt

³⁾: ρ_{el} berechnet aus den Steigungen m der Geraden im p/f (f)-Diagramm bei B = 2T mit $m \sim 1/\rho_{el}$ und $\rho_{el}(\text{Vacoflux 50}) = 0,44 \mu\Omega m$

p_{1T}^{50Hz} = Ummagnetisierungsverluste bei einer Induktion B = 1T und einer Frequenz f = 50Hz

Patentansprüche

1. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung bestehend aus

$35,0 \leq \text{Co} \leq 55,0 \text{ Gew.}\%$,
 $0,75 \leq \text{V} \leq 2,5 \text{ Gew.}\%$,
 $0 \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$,
 $0,3 < \text{Zr} \leq 1,5 \text{ Gew.}\%$,
 $\text{Ni} \leq 5,0 \text{ Gew.}\%$,

Rest Fe sowie erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen Verunreinigungen.

2. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 1, wobei der Zirkoniumgehalt $0,5 \leq \text{Zr} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

3. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 2, wobei der Zirkoniumgehalt $0,6 \leq \text{Zr} \leq 0,8 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

4. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Kobaltgehalt zwischen $45,0 \leq \text{Co} \leq 50,0 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

5. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 4, wobei der Kobaltgehalt zwischen $48,0 \leq \text{Co} \leq 50,0 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

6. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Vanadiumgehalt zwischen $1,0 \leq \text{V} \leq 2,0 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

7. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Vanadiumgehalt zwischen $1,5 \leq \text{V} \leq 2,0 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

8. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Gehalt an Niob und/oder Tantal zwischen $0,04 \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 0,8 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

9. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 8, wobei der Gehalt an Niob und/oder Tantal zwischen $0,04 \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 0,5 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

10. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 9, wobei der Gehalt an Niob und/oder Tantal zwischen $0,04 \leq (\text{Ta} + 2 \times \text{Nb}) \leq 0,3 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

11. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Nickelgehalt $\text{Ni} \leq 1,0 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

12. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 11, wobei der Nickelgehalt $\text{Ni} \leq 0,5 \text{ Gew.}\%$ beträgt.

13. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei der Gehalt an erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen metallischen Verunreinigungen $\text{Cu} \leq 0,2$, $\text{Cr} \leq 0,3$, $\text{Mo} \leq 0,3$, $\text{Si} \leq 0,5$, $\text{Mn} \leq 0,3$ und $\text{Al} \leq 0,3$ beträgt.

14. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 13, wobei der Gehalt an erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen metallischen Verunreinigungen $\text{Cu} \leq 0,1$, $\text{Cr} \leq 0,2$, $\text{Mo} \leq 0,2$, $\text{Si} \leq 0,2$, $\text{Mn} \leq 0,2$ und $\text{Al} \leq 0,3$ beträgt.

15. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 14, wobei der Gehalt an erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen metallischen Verunreinigungen $\text{Cu} \leq 0,06$, $\text{Cr} \leq 0,1$, $\text{Mo} \leq 0,1$, $\text{Si} \leq 0,1$ und $\text{Mn} \leq 0,1$ beträgt.

16. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei der

EP 1 475 450 A1

Gehalt an erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen nichtmetallischen Verunreinigungen $P \leq 0,01$, $S \leq 0,02$, $N \leq 0,005$, $O \leq 0,05$ und $C \leq 0,05$ beträgt.

5 17. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 16, wobei der Gehalt an erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen nichtmetallischen Verunreinigungen $P \leq 0,005$, $S \leq 0,01$, $N \leq 0,002$, $O \leq 0,02$ und $C \leq 0,02$ beträgt.

10 18. Hochfeste, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach Anspruch 17, wobei der Gehalt an erschmelzungsbedingten und/oder zufälligen nichtmetallischen Verunreinigungen $S \leq 0,005$, $N \leq 0,001$, $O \leq 0,01$ und $C \leq 0,01$ beträgt.

19. Verwendung einer hochfesten, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, als Werkstoff für Magnetlager.

15 20. Verwendung einer hochfesten, weichmagnetische Eisen-Kobalt-Vanadium-Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, als Werkstoff für Rotoren.

20

25

30

35

40

45

50

55

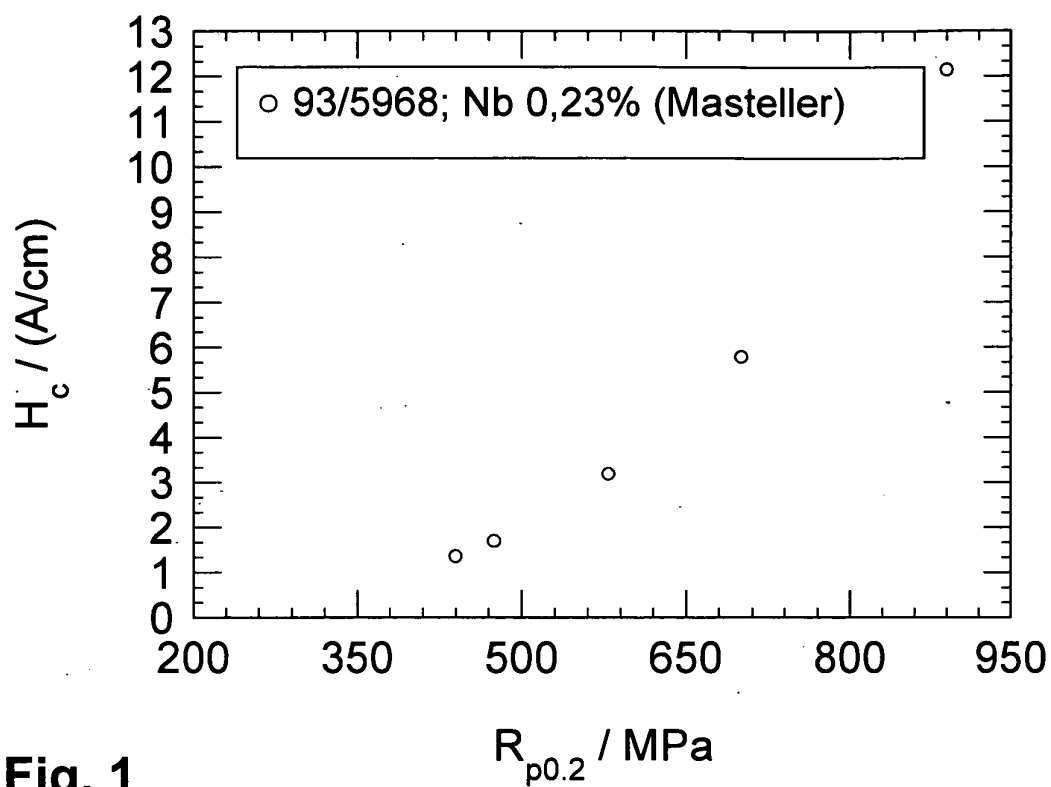


Fig. 1

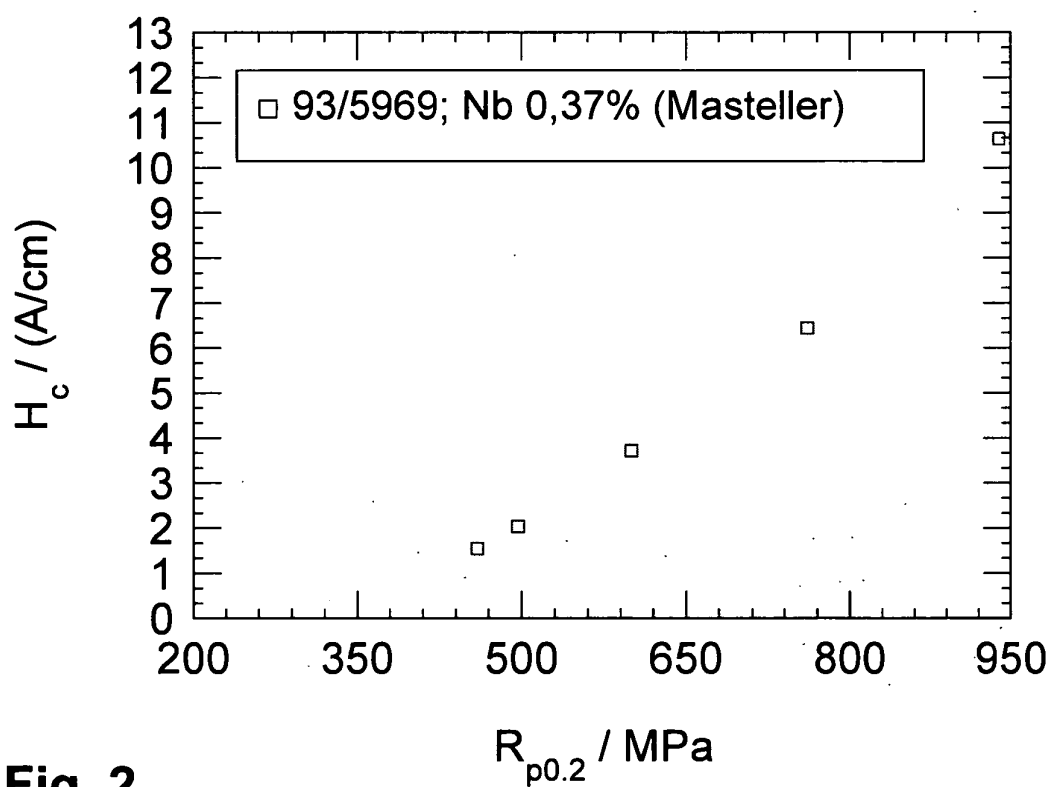
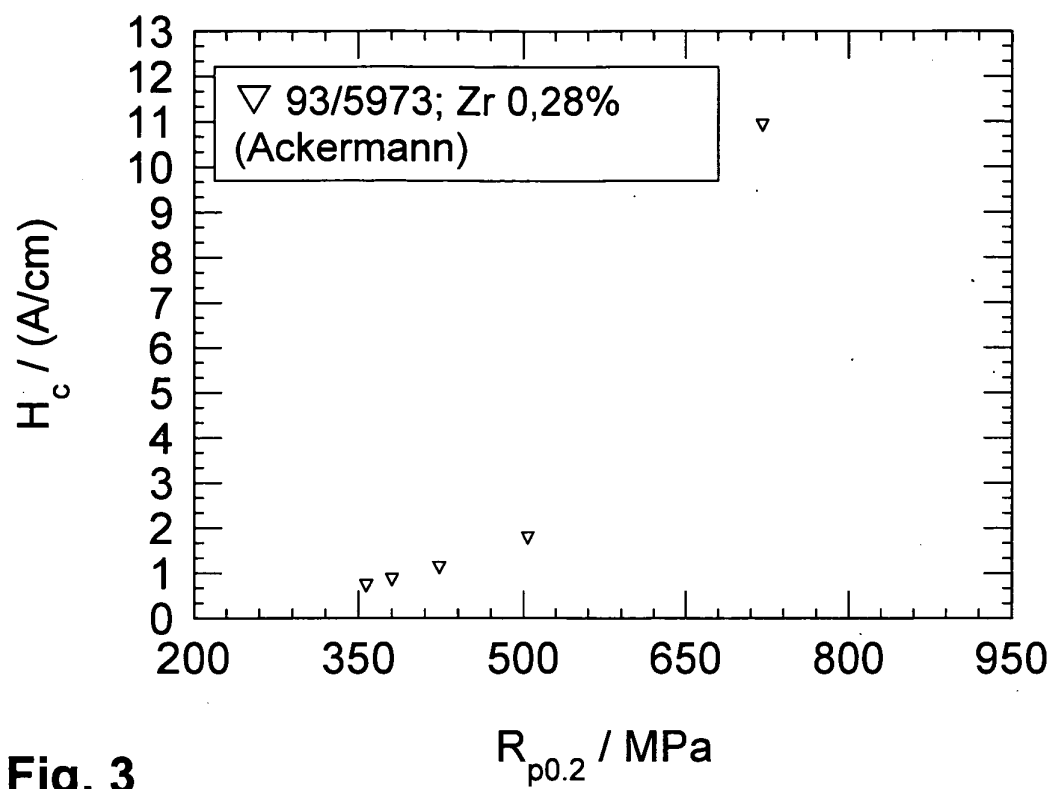
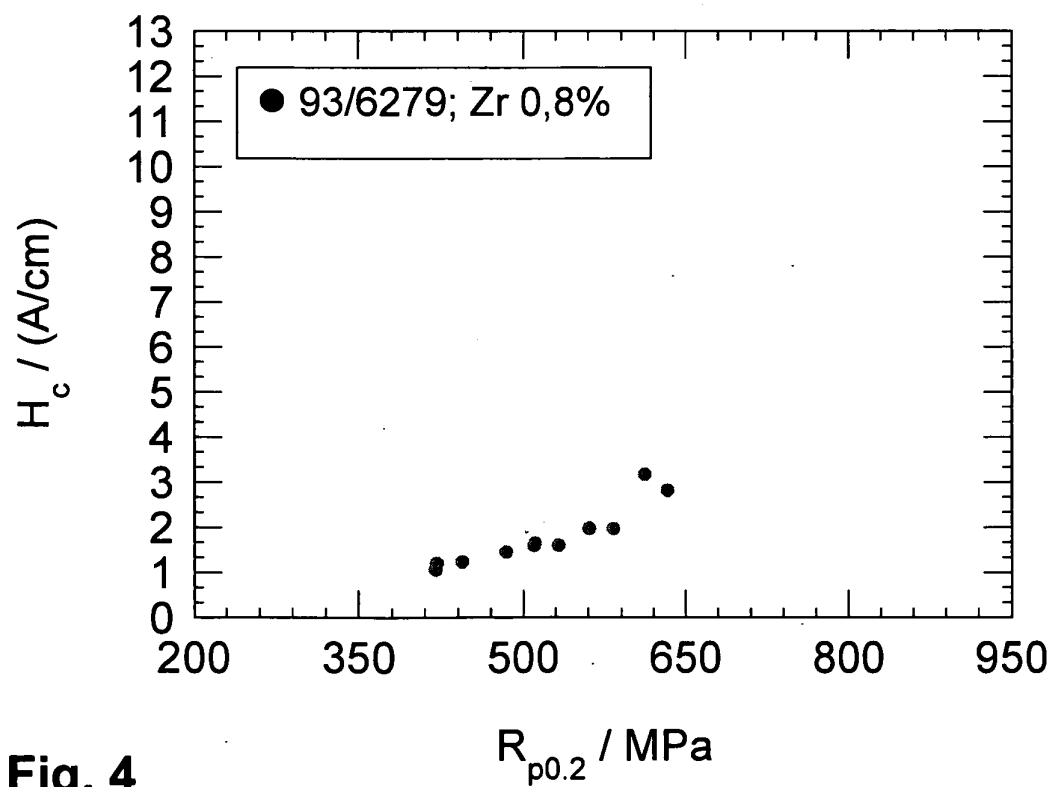


Fig. 2

**Fig. 3****Fig. 4**

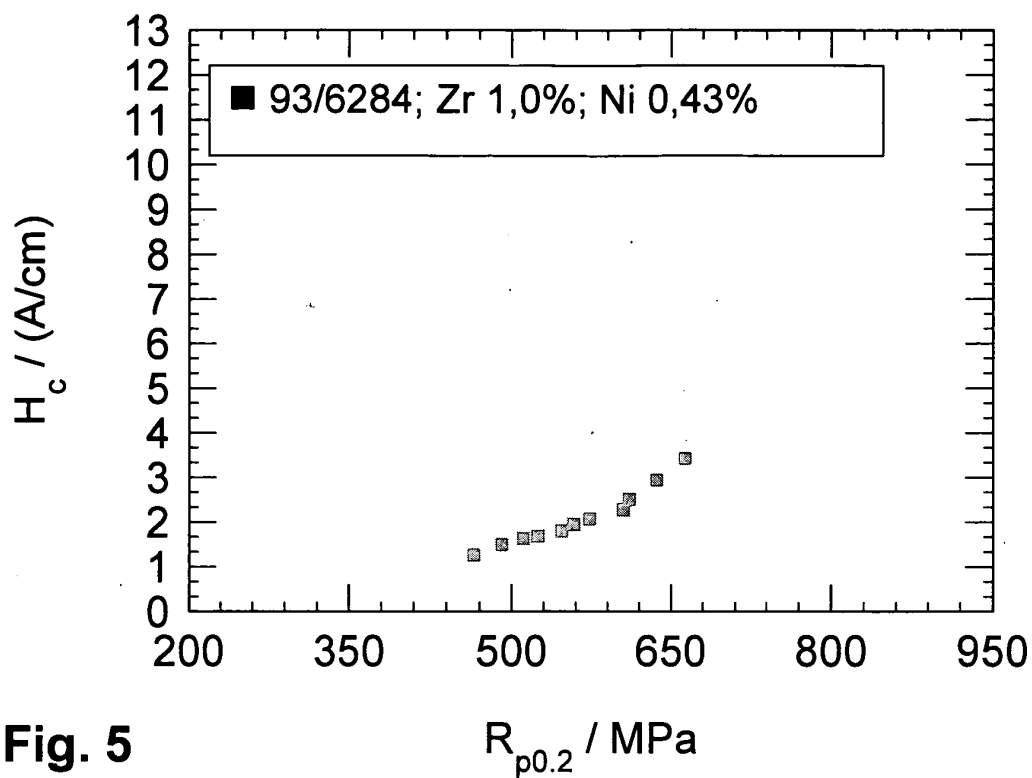


Fig. 5

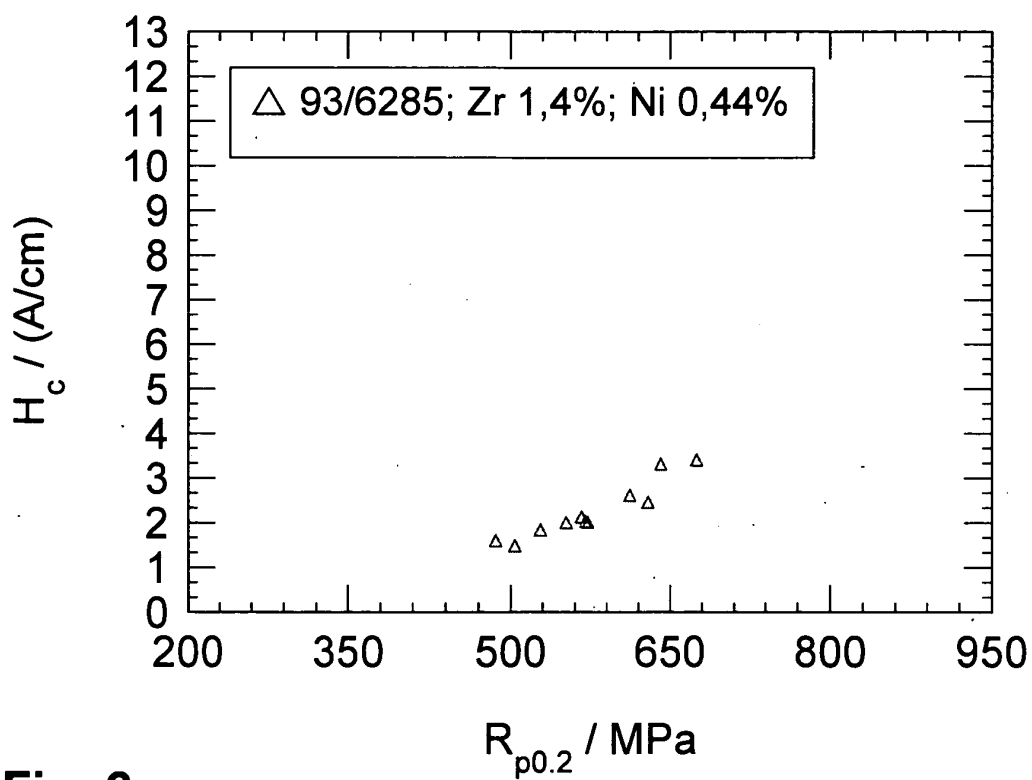


Fig. 6

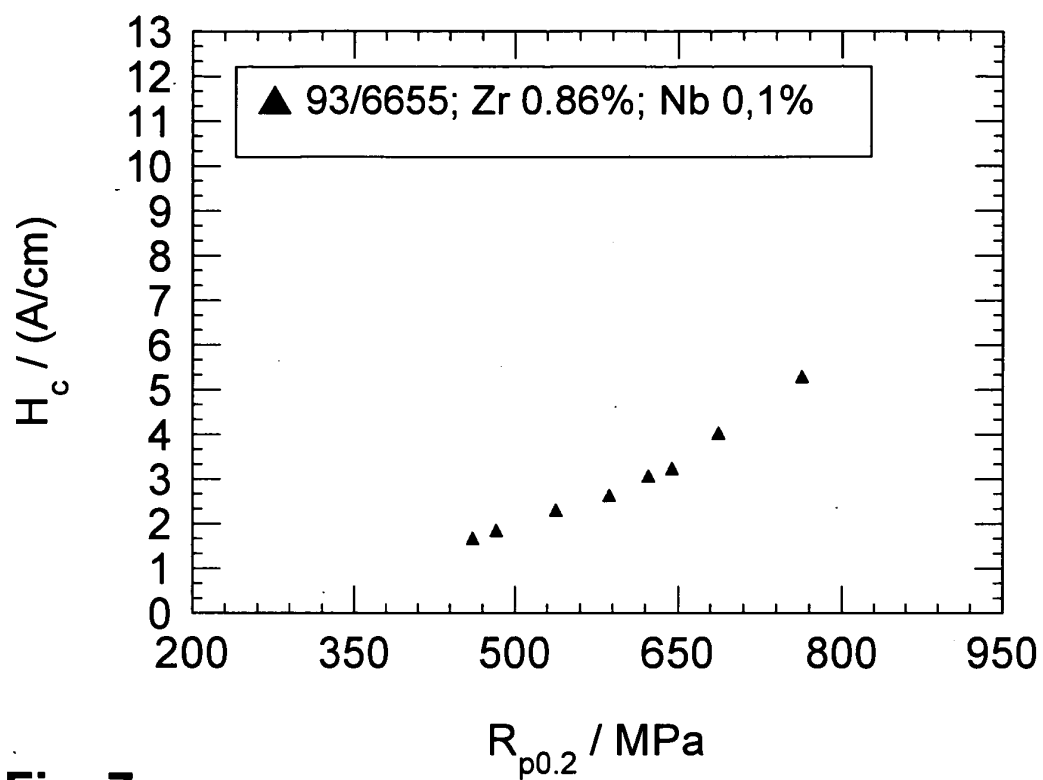


Fig. 7

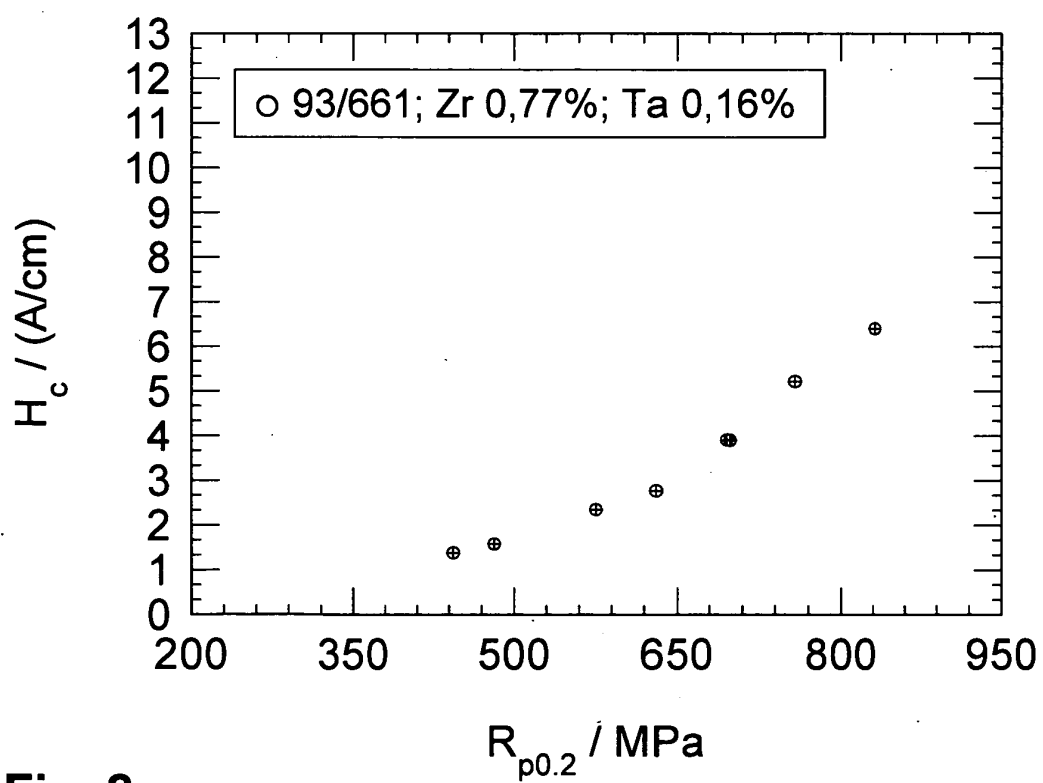


Fig. 8

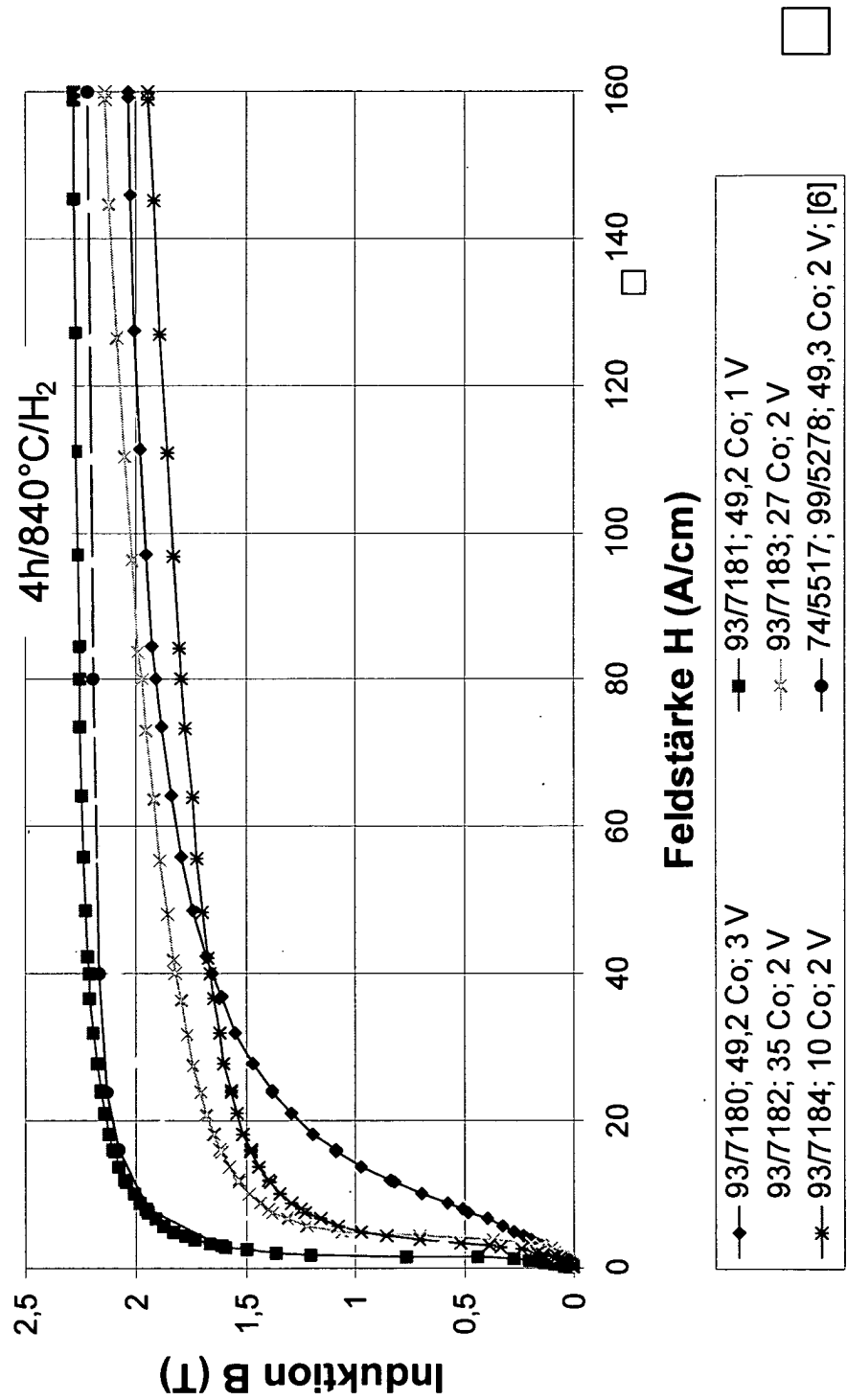


Fig. 9

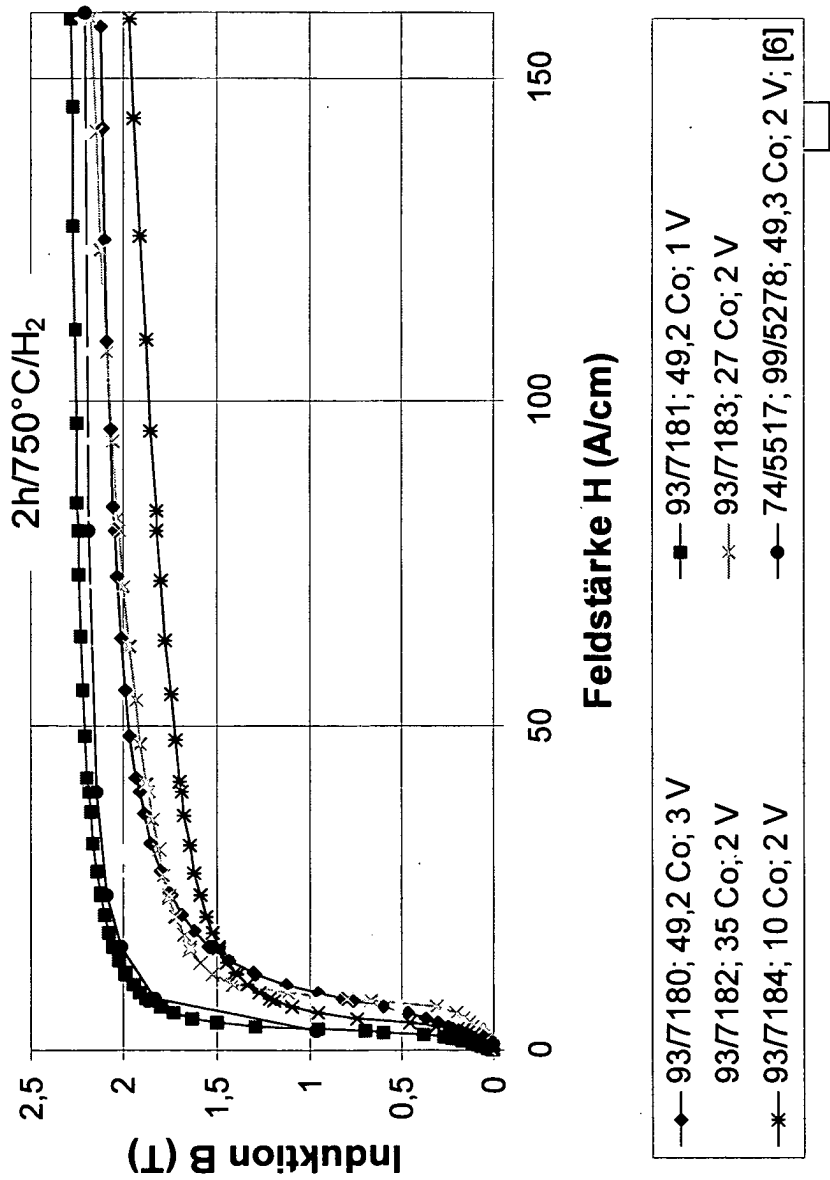


Fig. 10

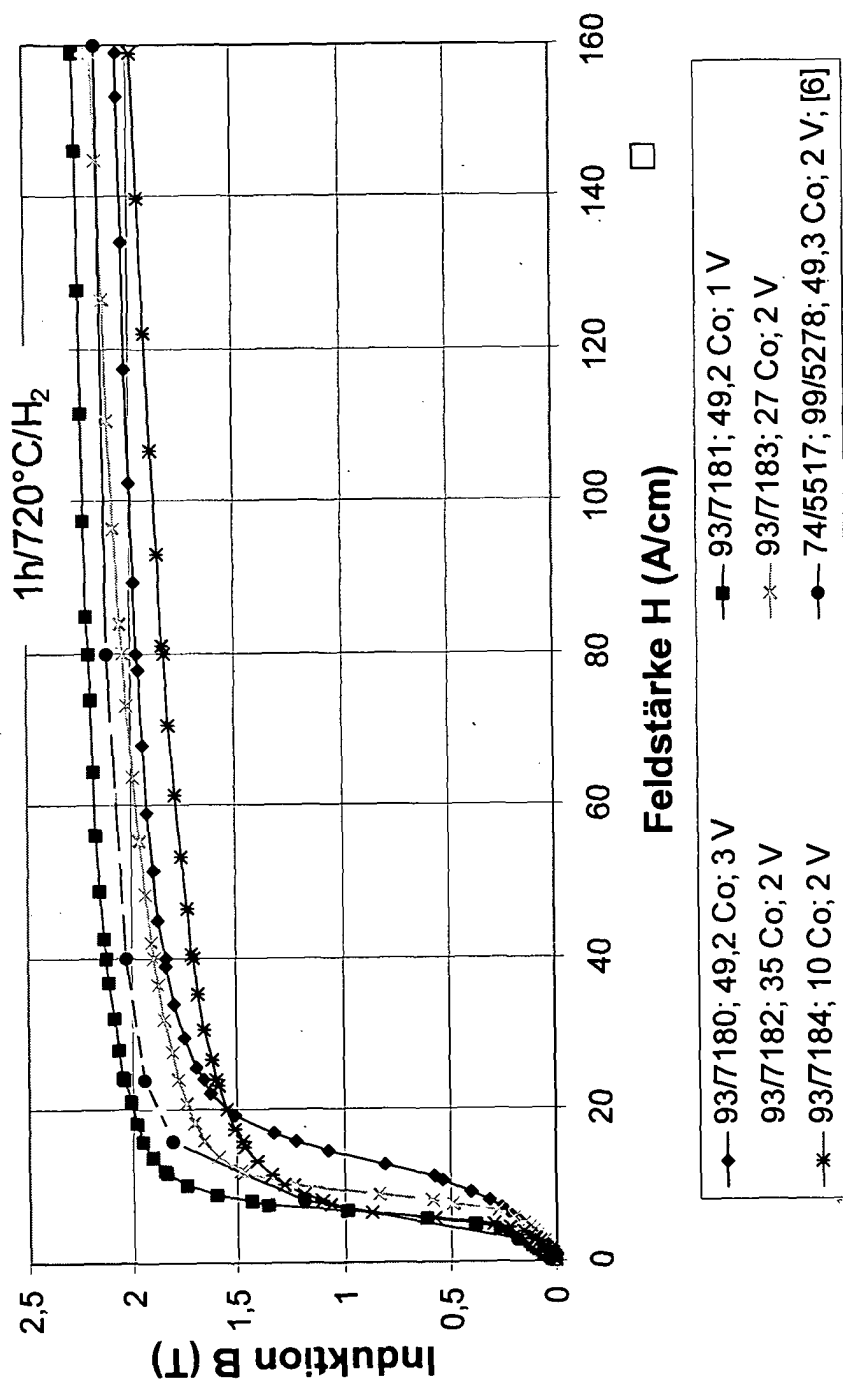
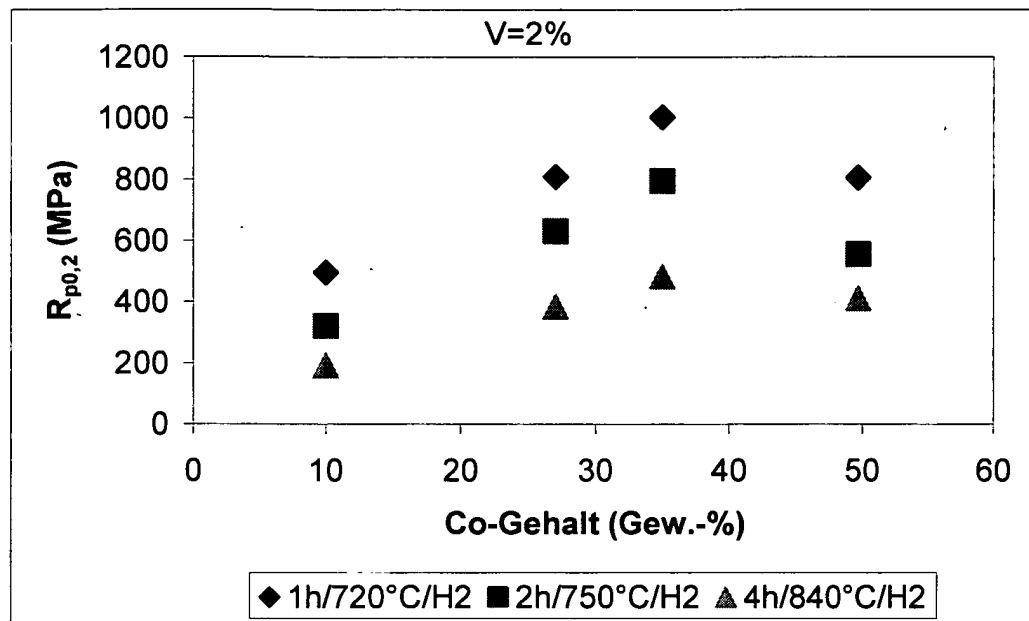
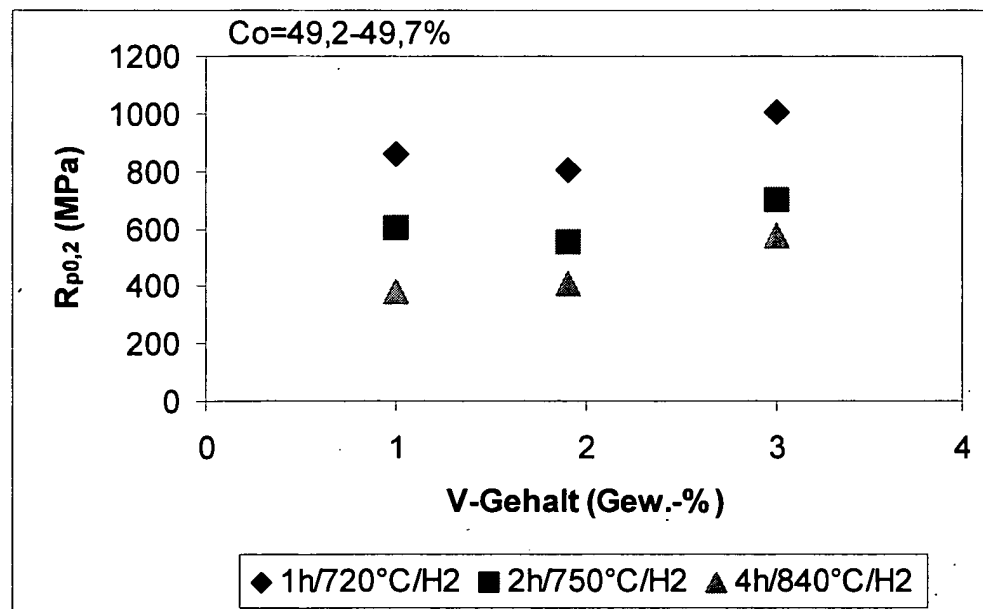


Fig. 11

**Fig. 12****Fig. 13**

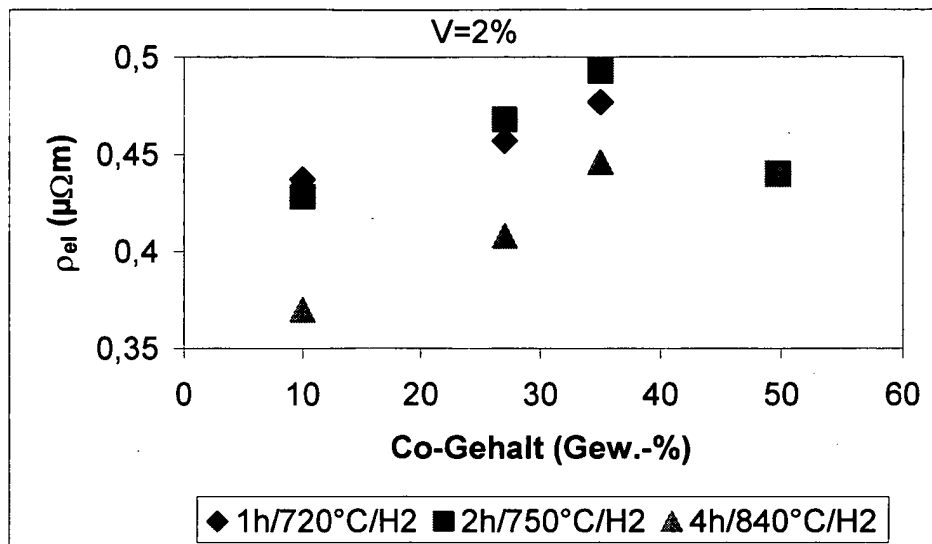


Fig. 14

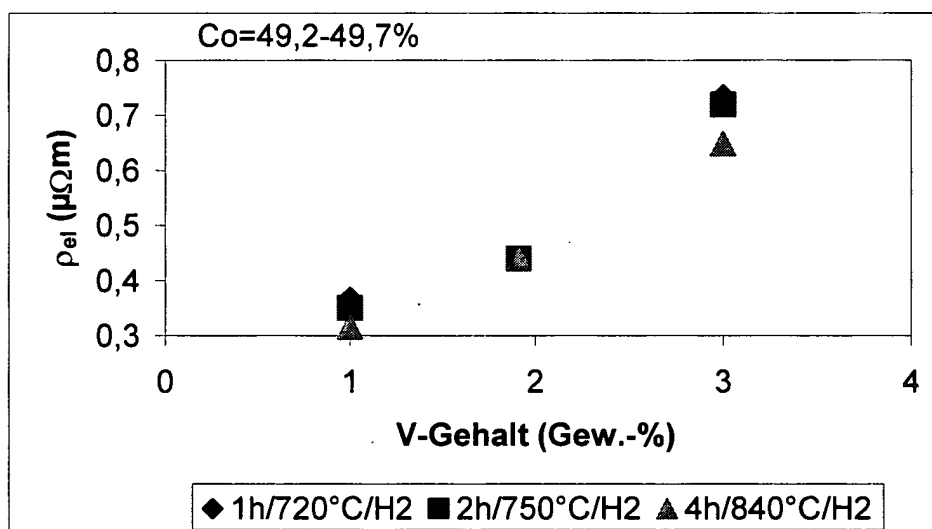


Fig. 15



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 04 01 0444

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A,D	US 3 634 072 A (ACKERMANN FRIEDRICH W ET AL) 11. Januar 1972 (1972-01-11) * Zusammenfassung * * Anspruch 1 *	1	C22C38/10 C22C19/00
A	US 4 116 727 A (MAJOR RODNEY VICTOR) 26. September 1978 (1978-09-26) * Zusammenfassung * * Spalte 2, Zeile 42 - Zeile 68 * * Anspruch 1 *	1	
A,D	US 5 501 747 A (MASTELLER MILLARD S ET AL) 26. März 1996 (1996-03-26) * Zusammenfassung * * Spalte 3, Zeilen 66,67 * * Spalte 4 - Spalte 5 *	1-20	
A	US 6 146 474 A (CHAPUT LAURENT ET AL) 14. November 2000 (2000-11-14) * das ganze Dokument *	1-20	
A	JP 09 228007 A (TOSHIBA CORP; TOSHIBA ELECTRON ENG CORP) 2. September 1997 (1997-09-02) * Zusammenfassung *	1-20	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) C22C
A	US 2002/127132 A1 (SUNDAR RANGARAJ S ET AL) 12. September 2002 (2002-09-12) * das ganze Dokument *	1-20	
A	US 5 976 274 A (INOUE AKIHISA ET AL) 2. November 1999 (1999-11-02) * das ganze Dokument *	1-20	
A	US 4 933 026 A (RAWLINGS REES D ET AL) 12. Juni 1990 (1990-06-12) * das ganze Dokument *	1-20	
		-/--	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 12. Juli 2004	Prüfer Brown, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 04 01 0444

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	EP 0 824 755 A (CRS HOLDINGS INC) 25. Februar 1998 (1998-02-25) * das ganze Dokument * -----	1-20	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 12. Juli 2004	Prüfer Brown, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 04 01 0444

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

12-07-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3634072	A	11-01-1972	CA 934990 A1	09-10-1973
US 4116727	A	26-09-1978	GB 1523881 A	06-09-1978
US 5501747	A	26-03-1996	BR 9608519 A	30-11-1999
			CA 2220568 A1	14-11-1996
			DE 69611610 D1	22-02-2001
			DE 69611610 T2	05-07-2001
			EP 0824755 A1	25-02-1998
			IL 117490 A	29-06-2000
			JP 11505369 T	18-05-1999
			WO 9636059 A1	14-11-1996
US 6146474	A	14-11-2000	FR 2774397 A1	06-08-1999
			CN 1227271 A ,B	01-09-1999
			DE 69903202 D1	07-11-2002
			DE 69903202 T2	18-06-2003
			EP 0935008 A1	11-08-1999
			ES 2185294 T3	16-04-2003
			HK 1021651 A1	02-05-2003
			IL 128067 A	31-10-2001
			JP 11264058 A	28-09-1999
			RU 2201990 C2	10-04-2003
JP 9228007	A	02-09-1997	KEINE	
US 2002127132	A1	12-09-2002	EP 1360340 A1	12-11-2003
			TW 530313 B	01-05-2003
			WO 02055749 A1	18-07-2002
			US 2004089377 A1	13-05-2004
US 5976274	A	02-11-1999	JP 10265917 A	06-10-1998
			DE 19802349 A1	30-07-1998
			JP 11131199 A	18-05-1999
			US 6284061 B1	04-09-2001
			JP 10324939 A	08-12-1998
US 4933026	A	12-06-1990	GB 2207927 A ,B	15-02-1989
EP 0824755	A	25-02-1998	US 5501747 A	26-03-1996
			BR 9608519 A	30-11-1999
			CA 2220568 A1	14-11-1996
			DE 69611610 D1	22-02-2001
			DE 69611610 T2	05-07-2001
			EP 0824755 A1	25-02-1998
			JP 11505369 T	18-05-1999

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 04 01 0444

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

12-07-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0824755 A		IL 117490 A	29-06-2000
		WO 9636059 A1	14-11-1996

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82