



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 006 562.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2020/023360**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2021/255776**
(86) PCT-Anmeldetag: **15.06.2020**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **23.12.2021**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **12.01.2023**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **10.10.2024**

(51) Int Cl.: **C21D 9/52 (2006.01)**
C21D 6/00 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01)
C22C 38/34 (2006.01)
C23C 8/18 (2006.01)
F16F 1/02 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
**SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD., Osaka,
JP**

(74) Vertreter:
**HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte
PartmbB, 81925 München, DE**

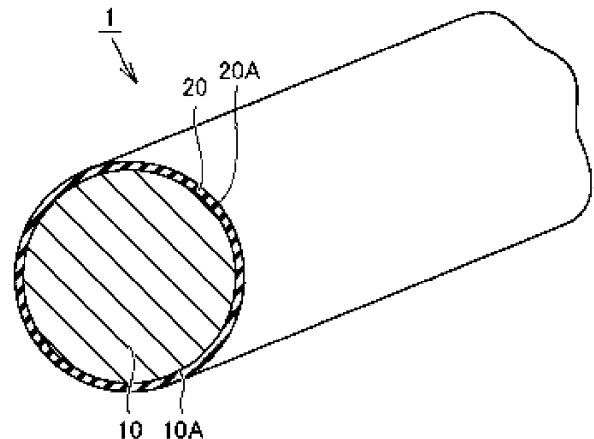
(72) Erfinder:
**Izumida, Hiromu, Osaka, JP; Natsumeda, Yoshiki,
Osaka, JP; Okada, Taichi, Osaka, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	694 31 200	T2
DE	11 2017 002 913	T5
EP	2 113 580	B1
EP	2 166 114	B1
JP	2014- 169 470	A
JP	2004- 52 048	A
JP	2017- 115 228	A
JP	2018- 12 868	A
JP	2004- 115 859	A
JP	2017- 115 859	A

(54) Bezeichnung: **Federstahldraht**

(57) Hauptanspruch: Federstahldraht (1), umfassend:
einen Hauptkörper (10), der aus einem Stahl hergestellt ist
und eine Linienform aufweist; und
eine oxidierte Schicht (20), die eine äußere Umfangsfläche
(10A) des Hauptkörpers (10) bedeckt;
wobei der Stahl, der den Hauptkörper (10) bildet, nicht weniger
als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 0,7 Masse-% C,
nicht weniger als 1 Masse-% und nicht mehr als 2,5
Masse-% Si, nicht weniger als 0,2 Masse-% und nicht
mehr als 1 Masse-% Mn und nicht weniger als 0,5 Masse-
% und nicht mehr als 2 Masse-% Cr enthält, wobei der Rest
Fe und unvermeidbare Verunreinigungen sind,
wobei der Stahl, der den Hauptkörper (10) bildet, eine Perlit-
struktur besitzt und
die oxidierte Schicht (20) eine Dicke (t) von nicht weniger als
2 µm und nicht mehr als 5 µm hat und
wobei die oxidierte Schicht (20) nicht weniger als 60 Masse-
% Fe₃O₄ enthält und eine erste Fe₃O₄-Schicht (22) und eine
zweite Fe₃O₄-Schicht (23), die eine äußere Umfangsfläche
(22A) der ersten Fe₃O₄-Schicht (22) bedeckt, einschließt,
wobei die erste Fe₃O₄-Schicht (22) eine höhere Si-Konzentration
als eine Si-Konzentration der zweiten Fe₃O₄-Schicht
(23) und eine Si-Konzentration des Hauptkörpers (10) auf-
weist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft einen Stahldraht für mechanische Federn.

Stand der Technik

[0002] Öl-abgeschreckte und getemperte Drähte (Federstahldrähte) mit einer oxidierten Schicht auf der äußeren Umfangsfläche, zu dem Zweck, während des Wickelprozesses die Schmierfähigkeit sicherzustellen, sind bekannt (siehe beispielsweise die offengelegte japanische Patentanmeldung JP 2004- 52 048 A (Patentliteratur 1), die offengelegte japanische Patentanmeldung JP 2017- 115 859 A (Patentliteratur 2), die offengelegte japanische Patentanmeldung JP 2017- 115 228 A (Patentliteratur 3) und die offengelegte japanische Patentanmeldung JP 2018- 12 868 A (Patentliteratur 4)). Die JP 2014- 169 470 A (Patentliteratur 5) betrifft einen Federstahldraht mit einer oxidierten Schicht aus Magnetit und Hämatit. Ein Drahtmaterial für eine geneigte Spiralfeder mit einem Kerndraht aus Stahl mit einer Perlitstruktur und einer Plattierungsschicht aus Kupfer oder einer Kupferlegierung, welche die Oberfläche des Kerndrahts bedeckt, ist aus der DE 11 2017 002 913 T5 (Patentliteratur 6) bekannt. DE 694 31 200 T2 (Patentliteratur 7) beschreibt einen ölgehärteten Draht, der einen Stahldraht mit einer Oxidschicht darauf und einer schmierenden Beschichtung aus Schmieröl und/oder organischer Verbindung umfasst. Die Dicke der Oxidschicht liegt zwischen 0,5 bis 1,0 µm.

[0003] Stahlwalzdrähte mit einer FeO-Schicht als Zunder-Innenschicht auf der Oberfläche eines Stahls und einer Fe₂SiO₄-Schicht, die in einer Grenzfläche zwischen FeO-Schicht und dem Stahl gebildet ist, sind aus der EP 2 113 580 B1 (Patentliteratur 8) bekannt. Die EP 2 166 114 B1 (Patentliteratur 9) betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Stahldrahts mit hervorragenden mechanischen Entzunderungseigenschaften. Der Stahldraht weist eine Fe₂SiO₄-Schicht auf.

Zitatliste

Patentliteratur

- Patentliteratur 1: JP 2004- 52 048 A
- Patentliteratur 2: JP 2004- 115 859 A
- Patentliteratur 3: JP 2017- 115 228 A
- Patentliteratur 4: JP 2018- 12 868 A
- Patentliteratur 5: JP 2014- 169 470 A
- Patentliteratur 6: DE 11 2017 002 913 T5
- Patentliteratur 7: DE 694 31 200 T2
- Patentliteratur 8: EP 2 113 580 B1
- Patentliteratur 9: EP 2 166 114 B1

Zusammenfassung der Erfindung

[0004] Ein Federstahldraht gemäß der vorliegenden Offenbarung ist in Anspruch 1 definiert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist ein Schema, das die Struktur eines Federstahldrahts zeigt;

Fig. 2 ist eine schematische Querschnittsansicht, die die Struktur des Federstahldrahts zeigt;

Fig. 3 ist eine schematische Querschnittsansicht, die die Struktur einer oxidierten Schicht des Federstahldrahts zeigt;

Fig. 4 ist ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zur Herstellung eines Federstahldrahts schematisch illustriert;

Fig. 5 ist eine schematische Querschnittsansicht, die die Struktur einer oxidierten Schicht eines Federstahldrahts gemäß Ausführungsform 2 zeigt; und

Fig. 6 ist eine REM-Aufnahme der oxidierten Schicht.

Beschreibung von Ausführungsformen

[Von der vorliegenden Offenbarung zu lösende Aufgabe]

[0005] Wie oben erläutert, ist eine Technik, die Schmierfähigkeit (lubricity) beim Wickeln eines Öl-abgeschreckten und getemperten Drahts als ein Federstahldraht in eine Feder sicherzustellen, indem die äußere Umfangsfläche des Drahts mit einer oxidierten Schicht bedeckt wird, bekannt. Der Stahl, der den Öl-abgeschreckten und getemperten Draht bildet, besitzt eine getemperte Martensitstruktur. Die getemperte Martensitstruktur schließt eine Matrix aus martensitischer Phase und feine Carbide, die in der Matrix dispergiert sind, ein. Das Bedecken der Oberfläche des Stahldrahts, der eine solche getemperte Martensitstruktur besitzt, mit einer oxidierten Schicht, kann die Schmierfähigkeit während des Wickelprozesses sicherstellen.

[0006] Andererseits kann ein hartgezogener Draht als ein Federstahldraht verwendet werden. Der Stahl, der den hartgezogenen Draht bildet, besitzt eine Perlitstruktur. Die Perlitstruktur mit abwechselnd laminierten Ferrit- und Zementit (Fe_3C)-Schichten unterscheidet sich beträchtlich von der oben beschriebenen getemperten Martensitstruktur. Folglich ist es für den hartgezogenen Draht notwendig, einen Weg zu überlegen, eine für die Perlitstruktur geeignete Schmierfähigkeit sicherzustellen. Vor diesem Hintergrund ist es ein Ziel der vorliegenden Offenbarung, einen Federstahldraht aus hartgezogenem Draht bereitzustellen, der eine ausgezeichnete Schmierfähigkeit zeigt, wenn er dem Wickelprozess unterzogen wird.

[Vorteilhafte Effekte der vorliegenden Offenbarung]

[0007] Der Federstahldraht gemäß der vorliegenden Offenbarung kann einen Federstahldraht aus hartgezogenem Draht bereitstellen, der eine ausgezeichnete Schmierfähigkeit während des Wickelprozesses sicherstellt.

[Beschreibung von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung]

[0008] Zuerst werden Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung aufgelistet und beschrieben. Ein Federstahldraht gemäß der vorliegenden Offenbarung schließt einen Hauptkörper, der aus einem Stahl hergestellt ist und eine Linienform aufweist, und eine oxidierte Schicht, die eine äußere Umfangsfläche des Hauptkörpers bedeckt, ein. Der Stahl, der den Hauptkörper bildet, enthält nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 0,7 Masse-% C (Kohlenstoff), nicht weniger als 1,0 Masse-% und nicht mehr als 2,5 Masse-% Si (Silicium), nicht weniger als 0,2 Masse-% und nicht mehr als 1,0 Masse-% Mn (Mangan) und nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 2,0 Masse-% Cr (Chrom), wobei der Rest Fe (Eisen) und unvermeidbare Verunreinigungen sind. Der Stahl, der den Hauptkörper bildet, besitzt eine Perlitstruktur. Die oxidierte Schicht besitzt eine Dicke von nicht weniger als 2 μm und nicht mehr als 5 μm . Die oxidierte Schicht enthält nicht weniger als 60 Masse-% Fe_3O_4 und schließt eine erste und eine zweite Fe_3O_4 -Schicht ein, wie in Anspruch 1 spezifiziert.

[0009] Die Struktur des Stahls, der den Hauptkörper des Federstahldrahts der vorliegenden Offenbarung bildet, ist die Perlitstruktur. D.h., der Federstahldraht der vorliegenden Offenbarung ist ein hartgezogener Draht. In dem Federstahldraht der vorliegenden Offenbarung ist die äußere Umfangsfläche des Hauptkörpers mit der Perlitstruktur mit der oxidierten Schicht mit einer Dicke von nicht weniger als 2 μm und nicht mehr als 5 μm bedeckt. Die oxidierte Schicht enthält mindestens 60 Masse-% Fe_3O_4 . Entsprechend den von den Erfindern durchgeführten Studien wird, wenn die oxidierte Schicht mindestens 60 Masse-% Fe_3O_4 enthält, das Abblättern der oxidierten Schicht von dem Hauptkörper mit der Perlitstruktur unterdrückt und eine hohe Schmierfähigkeit während des Wickelprozesses sichergestellt.

[0010] Wie oben beschrieben, stellt der Federstahldraht gemäß der vorliegenden Offenbarung einen Federstahldraht aus hartgezogenem Draht zur Verfügung, der eine ausgezeichnete Schmierfähigkeit zeigt, wenn er dem Wickelprozess unterzogen wird. Die oxidierte Schicht enthält vorzugsweise 70 Masse-% oder mehr Fe_3O_4 und mehr bevorzugt 80 Masse-% oder mehr Fe_3O_4 .

[0011] Die Gründe für die Beschränkung der Komponentenzusammensetzung des Stahls, der den Hauptkörper bildet, auf die oben beschriebenen Bereiche werden nunmehr beschrieben.

[0012] Kohlenstoff (C): nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 0,7 Masse-%

[0013] Kohlenstoff ist ein Element, das die Festigkeit des Stahls in hohem Maße beeinflusst. Um eine ausreichende Festigkeit als ein Federstahldraht zu erzielen, ist es erforderlich, dass der Kohlenstoffgehalt nicht weniger als 0,5 Masse-% ist. Andererseits kann ein erhöhter Kohlenstoffgehalt die Zähigkeit verringern, was die Bearbeitung schwierig macht. Um eine ausreichende Zähigkeit sicherzustellen, ist es erforderlich, dass der Kohlenstoffgehalt nicht mehr als 0,7 Masse-% beträgt. Um die Zähigkeit zu verbessern und die Bearbeitung zu erleichtern, kann der Kohlenstoffgehalt nicht mehr als 0,6 Masse-% sein.

[0014] Silicium (Si): nicht weniger als 1 Masse-% und nicht mehr als 2,5 Masse-%

Silicium hat die Eigenschaft, dass die Erweichung in Folge des Erhitzens (Beständigkeit gegen die Erweichung) unterdrückt wird. Um das Erweichen in Folge des Erhitzens beim Wickeln des Federstahldrahts in eine Feder sowie auch bei der Verwendung der Feder zu unterdrücken ist es erforderlich, dass der Siliciumgehalt nicht weniger als 1 Masse-% ist, und er kann nicht weniger als 1,2 Masse-% sein. Andererseits verringert Silicium, wenn es in einer übermäßigen Menge hinzugefügt wird, die Zähigkeit. Um eine ausreichende Zähigkeit sicherzustellen, ist es erforderlich, dass der Siliciumgehalt nicht mehr als 2,5 Masse-% ist. Unter dem Gesichtspunkt der Fokussierung auf die Zähigkeit kann der Siliciumgehalt nicht mehr als 2 Masse-% oder nicht mehr als 1,6 Masse-% sein.

[0015] Mangan (Mn): nicht weniger als 0,2 Masse-% und nicht mehr als 1 Masse-%

Mangan ist ein Element, das bei der Stahlherstellung als Deoxidationsmittel hinzugefügt wird. Um die Funktion als das Deoxidationsmittel zu erzielen, ist es erforderlich, dass der Mangangehalt nicht weniger als 0,2 Masse-% ist, und er kann nicht weniger als 0,5 Masse-% sein. Andererseits reduziert Mangan, wenn es in einer übermäßigen Menge hinzugefügt wird, die Zähigkeit und verschlechtert die Bearbeitbarkeit beim Warmumformen. Somit ist es erforderlich, dass der Mangangehalt nicht mehr als 1 Masse-% ist, und er kann nicht mehr als 0,9 Masse-% betragen.

[0016] Chrom (Cr): nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 2 Masse-%

Chrom wirkt in dem Stahl als Carbid-bildendes Element und trägt zur Verfeinerung der Metallstruktur als Ergebnis der Bildung feiner Carbide bei und trägt ebenso zu der Unterdrückung der Erweichung während des Erhitzens bei. Um sicherzustellen, dass diese Effekte erzielt werden, ist es erforderlich, dass Chrom in einer Menge von nicht weniger als 0,5 Masse-% hinzugefügt wird. Andererseits ruft Chrom, wenn es in einer übermäßigen Menge hinzugefügt wird, eine Verschlechterung der Zähigkeit hervor. Somit muss die hinzugefügte Menge Chrom nicht mehr als 2 Masse-% sein. Unter dem Gesichtspunkt der Fokussierung auf die Zähigkeit kann die Menge des hinzugefügten Chroms nicht mehr als 1,5 Masse-% oder nicht mehr als 1 Masse-% sein.

Unvermeidbare Verunreinigungen

[0017] Während des Prozesses zur Herstellung des Stahls, der einen Federstahldraht bildet, werden Phosphor (P), Schwefel (S) etc. unvermeidlich in den Stahl gemischt. Phosphor und Schwefel rufen, wenn sie in einer übermäßigen Menge enthalten sind, Korngrenzensegregation hervor und erzeugen Einschlüsse und verschlechtern dadurch die Eigenschaften des Stahls. Daher sind der Phosphorgehalt und der Schwefelgehalt jeweils bevorzugt nicht mehr als 0,025 Masse-%. Ferner ist der Gesamtgehalt der unvermeidbaren Verunreinigungen vorzugsweise nicht mehr als 0,3 Masse-%.

[0018] In dem oben beschriebenen Federstahldraht schließt die oxidierte Schicht eine erste Fe_3O_4 -Schicht und eine zweite Fe_3O_4 -Schicht, die eine äußere Umfangsfläche der ersten Fe_3O_4 -Schicht bedeckt, ein. Die erste Fe_3O_4 -Schicht weist eine höhere Si-Konzentration auf als eine Si-Konzentration der zweiten Fe_3O_4 -Schicht und eine Si-Konzentration des Hauptkörpers. Die Gegenwart der ersten Fe_3O_4 -Schicht mit einer hohen Si-Konzentration zwischen der zweiten Fe_3O_4 -Schicht und dem Hauptkörper unterdrückt das Abblättern der oxidierten Schicht von dem Hauptkörper zusätzlich.

[0019] In dem oben beschriebenen Federstahldraht kann die oxidierte Schicht ferner eine FeO-Schicht zwischen der ersten Fe_3O_4 -Schicht und dem Hauptkörper einschließen. Der Zustand der Oxidation in dem Ausmaß, dass die FeO-Schicht zwischen der ersten Fe_3O_4 -Schicht und dem Hauptkörper gebildet wird, kann die Bildung einer Fe_2O_3 -Schicht unterdrücken, die leicht abblättert.

[0020] Obwohl die FeO-Schicht die gesamte äußere Umfangsfläche des Hauptkörpers bedecken kann, bedeckt in dem oben beschriebenen Federstahldraht die FeO-Schicht die äußere Umfangsfläche des Haupt-

körpers vorzugsweise teilweise. In einem Stück des Hauptkörpers, an dem dessen äußere Umfangsfläche nicht mit der FeO-Schicht bedeckt ist, stehen der Hauptkörper und die erste Fe₃O₄-Schicht vorzugsweise in Kontakt miteinander. Eine solche Ausgestaltung unterdrückt das Ablättern der oxidierten Schicht von dem Hauptkörper zusätzlich.

[0021] In dem oben beschriebenen Federstahldraht kann die erste Fe₃O₄-Schicht eine Si-Konzentration von nicht weniger als 2,5 Masse-% und nicht mehr als 6 Masse-% und eine Cr-Konzentration von nicht weniger als 1,5 Masse-% und nicht mehr als 3 Masse-% aufweisen. Eine solche Ausgestaltung kann das Ablättern der oxidierten Schicht von dem Hauptkörper zusätzlich unterdrücken.

[0022] In dem oben beschriebenen Federstahldraht kann die erste Fe₃O₄-Schicht eine Dicke von nicht weniger als 0,3 µm und nicht mehr als 1,5 µm haben. Eine solche Ausgestaltung unterdrückt das Ablättern der oxidierten Schicht von dem Hauptkörper zusätzlich.

[Details von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung]

[0023] Ausführungsformen des Federstahldrahts gemäß der vorliegenden Offenbarung werden nachstehend mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben. In den folgenden Zeichnungen sind dieselben oder entsprechende Teile mit denselben Bezugszahlen bezeichnet und ihre Beschreibung wird nicht wiederholt.

(Ausführungsform 1)

[0024] Fig. 1 ist eine schematische Darstellung, die die Struktur eines Federstahldrahts zeigt. Fig. 2 ist eine schematische Querschnittsansicht, die die Struktur des Federstahldrahts zeigt. Fig. 2 zeigt einen Querschnitt senkrecht zu der Längsrichtung des Federstahldrahts.

[0025] Unter Bezugnahme auf Fig. 1 und Fig. 2 schließt ein Federstahldraht 1 gemäß der vorliegenden Ausführungsform einen Hauptkörper 10, der aus einem Stahl hergestellt ist und eine Linienform aufweist, und eine oxidierte Schicht 20, die eine äußere Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10 bedeckt, ein. Die oxidierte Schicht 20 besitzt eine äußere Umfangsfläche 20A, die eine äußere Umfangsfläche des Federstahldrahts 1 bildet. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 hat der Federstahldraht 1 einen Durchmesser ϕ von beispielsweise nicht weniger als 2,0 mm und nicht mehr als 8,0 mm. Die oxidierte Schicht 20 besitzt eine Dicke t von nicht weniger als 2 µm und nicht mehr als 5 µm.

[0026] Der Stahl, der den Hauptkörper 10 bildet, enthält nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 0,7 Masse-% C, nicht weniger als 1 Masse-% und nicht mehr als 2,5 Masse-% Si, nicht weniger als 0,2 Masse-% und nicht mehr als 1 Masse-% Mn und nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 2 Masse-% Cr, wobei der Rest Fe (Eisen) und unvermeidbare Verunreinigungen sind. Der Stahl, der den Hauptkörper 10 bildet, kann eine Komponentenzusammensetzung haben, die JIS SWOSC-V entspricht. Der Stahl, der den Hauptkörper 10 bildet, kann beispielsweise SAE 9254V sein. Der Stahl, der den Hauptkörper 10 bildet, kann einer auf Basis einer solchen Stahlsorte sein, wobei die Menge von C innerhalb des oben beschriebenen Komponentenzusammensetzungsbereichs erhöht sein kann. Der Stahl, der den Hauptkörper 10 bildet, besitzt eine Perlitstruktur. Der Federstahldraht 1 ist ein hartgezogener Draht.

[0027] Die Struktur der oxidierten Schicht 20 wird nachstehend ausführlich beschrieben. Fig. 3 ist eine schematische Querschnittsansicht, die die Struktur der oxidierten Schicht 20 des Federstahldrahts 1 zeigt. Unter Bezugnahme auf Fig. 3 bedeckt die oxidierte Schicht 20 die gesamte äußere Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10. Die oxidierte Schicht 20 steht in Kontakt mit der äußeren Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10. Die oxidierte Schicht 20 enthält 60 Masse-% oder mehr Fe₃O₄.

[0028] Die oxidierte Schicht 20 schließt eine FeO-Schicht 21, eine erste Fe₃O₄-Schicht 22, eine zweite Fe₃O₄-Schicht 23 und eine Fe₂O₃-Schicht 24 ein. Die FeO-Schicht 21 ist auf der äußeren Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10 angeordnet. Die FeO-Schicht 21 steht in Kontakt mit der äußeren Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10. Die erste Fe₃O₄-Schicht 22 ist auf einer äußeren Umfangsfläche 21A der FeO-Schicht 21 angeordnet. Die erste Fe₃O₄-Schicht 22 steht in Kontakt mit der äußeren Umfangsfläche 21A der FeO-Schicht 21. Die erste Fe₃O₄-Schicht 22 umgibt den gesamten Umfang der äußeren Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10. Die FeO-Schicht 21 befindet sich zwischen der ersten Fe₃O₄-Schicht 22 und dem Hauptkörper 10.

[0029] Die zweite Fe_3O_4 -Schicht 23 ist an einer äußeren Umfangsfläche 22A der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22 angeordnet. Die zweite Fe_3O_4 -Schicht 23 steht in Kontakt mit der äußeren Umfangsfläche 22A der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22. Die zweite Fe_3O_4 -Schicht 23 steht in Kontakt mit der gesamten äußeren Umfangsfläche 22A der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22. Die zweite Fe_3O_4 -Schicht 23 umgibt den gesamten Umfang der äußeren Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10 und der äußeren Umfangsfläche 22A der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22.

[0030] Die Fe_2O_3 -Schicht 24 ist an einer äußeren Umfangsfläche 23A der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23 angeordnet. Die Fe_2O_3 -Schicht 24 steht in Kontakt mit der äußeren Umfangsfläche 23A der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23. Die Fe_2O_3 -Schicht 24 kann die gesamte oder einen Teil der äußeren Umfangsfläche 23A der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23 bedecken. Die Fe_2O_3 -Schicht 24 ist kein unverzichtbares Element des Federstahldrahts der vorliegenden Offenbarung und muss nicht vorliegen. Die Fe_2O_3 -Schicht 24 besitzt ihre äußere Umfangsfläche 24A, die die äußere Umfangsfläche 20A der oxidierten Schicht 20 oder die äußere Umfangsfläche des Federstahldrahts 1 bildet. Wenn die Fe_2O_3 -Schicht 24 auf einem Teil der äußeren Umfangsfläche 23A der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23 vorliegt, bildet in einem Teil der äußeren Umfangsfläche 23A der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23, auf der keine Fe_2O_3 -Schicht 24 vorliegt, die äußere Umfangsfläche 23A der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23 die äußere Umfangsfläche 20A der oxidierten Schicht 20 oder die äußere Umfangsfläche des Federstahldrahts 1. Wenn keine Fe_2O_3 -Schicht 24 vorliegt, ist die äußere Umfangsfläche 23A der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23 die äußere Umfangsfläche 20A der oxidierten Schicht 20 oder die äußere Umfangsfläche des Federstahldrahts 1.

[0031] Die erste Fe_3O_4 -Schicht 22 besitzt eine Si-Konzentration, die höher ist als die Si-Konzentration der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23 und die Si-Konzentration des Hauptkörpers 10. Die Si-Konzentration der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22 ist beispielsweise nicht weniger als 2,5 Masse-% und nicht mehr als 6 Masse-%. Die erste Fe_3O_4 -Schicht 22 hat beispielsweise eine Cr-Konzentration von nicht weniger als 1,5 Masse-% und nicht mehr als 3 Masse-%.

[0032] In dem Federstahldraht 1 der vorliegenden Ausführungsform ist die äußere Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10, der die Perlitstruktur besitzt, mit der oxidierten Schicht 20, die eine Dicke von nicht weniger als 2 μm und nicht mehr als 5 μm besitzt, bedeckt. Die oxidierte Schicht 20 enthält 60 Masse-% oder mehr Fe_3O_4 . Dies unterdrückt das Ablättern der oxidierten Schicht 20 von dem Hauptkörper 10, der die Perlitstruktur besitzt, und stellt eine hohe Schmierfähigkeit beim Wickeln des Federstahldrahts 1 in eine Feder sicher. Im Ergebnis ist der Federstahldraht 1 ein Federstahldraht aus hartgezogenem Draht, der eine ausgezeichnete Schmierfähigkeit während des Wickelprozesses sicherstellt.

[0033] Die oxidierte Schicht 20 der vorliegenden Ausführungsform schließt die erste Fe_3O_4 -Schicht 22 und die zweite Fe_3O_4 -Schicht 23, die die äußere Umfangsfläche 22A der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22 bedeckt, ein. Die Si-Konzentration der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22 ist höher als die Si-Konzentration der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23 und die Si-Konzentration des Hauptkörpers 10. Eine solche erste Fe_3O_4 -Schicht 22 vorzusehen, ist für den Federstahldraht der vorliegenden Offenbarung nicht unverzichtbar. Die Gegenwart einer solchen ersten Fe_3O_4 -Schicht 22 unterdrückt jedoch das Ablättern der oxidierten Schicht 20 von dem Hauptkörper 10 zusätzlich.

[0034] Die oxidierte Schicht 20 der vorliegenden Ausführungsform schließt die FeO-Schicht 21 zwischen der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22 und dem Hauptkörper 10 ein. Obwohl die Gegenwart der FeO-Schicht 21 für den Federstahldraht der vorliegenden Offenbarung nicht unverzichtbar ist, unterdrückt der Zustand der Oxidation in dem Ausmaß, dass die FeO-Schicht 21 zwischen der ersten Fe_3O_4 -Schicht 22 und dem Hauptkörper 10 ausgebildet ist, die Bildung der Fe_2O_3 -Schicht 24, die leicht abblättert. Der Prozentsatz der FeO-Schicht 21 in der oxidierten Schicht 20 beträgt beispielsweise nicht mehr als 5 Masse-%. Der Prozentsatz der FeO-Schicht 21 in der oxidierten Schicht 20 ist vorzugsweise nicht mehr als 1 Masse-% und mehr bevorzugt nicht mehr als 0,1 Masse-%.

[0035] In dem Federstahldraht 1 der vorliegenden Ausführungsform kann die erste Fe_3O_4 -Schicht eine Dicke von nicht weniger als 0,3 μm und nicht mehr als 1,5 μm haben. Dies kann das Ablättern der oxidierten Schicht 20 von dem Hauptkörper zusätzlich unterdrücken.

[0036] Ein beispielhaftes Verfahren zur Herstellung des Federstahldrahts 1 wird nunmehr mit Bezug auf **Fig. 4** beschrieben. **Fig. 4** ist ein Flussdiagramm, das das Verfahren zur Herstellung des Federstahldrahts 1 der vorliegenden Ausführungsform schematisch illustriert. Bezugnehmend auf **Fig. 4** wird in dem Verfahren zur Herstellung des Federstahldrahts 1 in der vorliegenden Ausführungsform zuerst ein Schritt zur Herstellung des Drahtmaterials als Schritt S10 durchgeführt. In Schritt S10 wird ein Drahtmaterial aus Stahl herge-

stellt, wobei der Stahl nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 0,7 Masse-% C, nicht weniger als 1,0 Masse-% und nicht mehr als 2,5 Masse-% Si, nicht weniger als 0,2 Masse-% und nicht mehr als 1,0 Masse-% Mn und nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 2,0 Masse-% Cr enthält, wobei der Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen sind.

[0037] Als nächstes wird mit Bezug auf **Fig. 4** ein Patentierschritt als Schritt S20 durchgeführt. In dem Schritt S20 wird mit Bezug auf **Fig. 4** das in dem Schritt S10 hergestellte Drahtmaterial dem Patentieren unterzogen. Im Einzelnen wird das Drahtmaterial einer Hitzebehandlung unterzogen, bei der das Drahtmaterial auf einen Temperaturbereich nicht niedriger als die Austenitisierungstemperatur (A_1 -Punkt) erhitzt wird und dann schnell auf einen Temperaturbereich höher als die Starttemperatur der martensitischen Umwandlung (M_s -Punkt) abgekühlt und in dem Temperaturbereich gehalten wird. Hiermit erlangt das Drahtmaterial eine feine Perlitstruktur mit kleinem Lamellenabstand. In dem Patentierprozess wird hier der Prozess des Erhitzens des Drahtmaterials auf den Temperaturbereich nicht niedriger als den A_1 -Punkt unter dem Gesichtspunkt, dass das Auftreten von Entkohlung unterdrückt wird, vorzugsweise in einer Inertgasatmosphäre durchgeführt.

[0038] Als nächstes wird, bezugnehmend auf **Fig. 4**, ein Schritt der Entfernung der Oberflächenschicht als ein Schritt S30 durchgeführt. In dem Schritt S30 wird eine Oberflächenschicht des Drahtmaterials, das in Schritt S20 das Patentieren durchlaufen hat, entfernt. Im Einzelnen wird das Drahtmaterial beispielsweise durch eine Schabdüse hindurchgeführt, wodurch eine entkohlte Schicht oder dergleichen an der Oberfläche, die durch das Patentieren gebildet wurde, entfernt wird. Obwohl dieser Schritt kein unverzichtbarer Schritt ist, kann, selbst wenn eine entkohlte Schicht oder dergleichen in Folge des Patentierens auf der Oberfläche gebildet ist, eine solche Schicht entfernt werden, indem dieser Schritt durchgeführt wird.

[0039] Als nächstes wird ein Glühschritt als ein Schritt S40 durchgeführt. In dem Schritt S40 wird das Drahtmaterial, dessen Oberflächenschicht in dem Schritt S30 entfernt wurde, dem Glühen (annealing) unterzogen. Im Einzelnen wird das Drahtmaterial einer Hitzebehandlung unterzogen, bei der das Drahtmaterial beispielsweise auf einen Temperaturbereich nicht niedriger als 600°C und nicht höher als 700°C in einer Inertgas- (beispielsweise Stickstoff- oder Argongas-) Atmosphäre erhitzt wird und für einen Zeitraum von nicht kürzer als eine Stunde und nicht länger als zehn Stunden gehalten wird. Während das Glühen eine Hitzebehandlung ist, die für das Erweichen eines Drahtmaterials durchgeführt wird, wird in der vorliegenden Ausführungsform in diesem Schritt S40 eine oxidierte Schicht 20 gebildet und die Struktur in der oxidierten Schicht 20 eingestellt.

[0040] In der vorliegenden Ausführungsform oxidiert die oben beschriebene Hitzebehandlung, die im Schritt S40 durchgeführt wird, den Oberflächenteil des Drahtmaterials und bildet dadurch eine oxidierte Schicht 20. Der Bereich, der nicht zu der oxidierten Schicht 20 wurde, bildet den Hauptkörper 10 (siehe **Fig. 2** und andere). Unter dem Gesichtspunkt, eine oxidierte Schicht 20 mit einem hohen Prozentsatz von Fe_3O_4 einfach zu bilden, kann hier die Hitzebehandlung durchgeführt werden, um beispielsweise das Drahtmaterial auf etwa 600°C in einer Stickstoffatmosphäre zu erhitzen. Dies bildet die oxidierte Schicht 20 mit einem hohen Prozentsatz von Fe_3O_4 , weil der Oberflächenteil durch den Sauerstoff, der als Verunreinigung in dem Stickstoff-, Argon- oder anderen Inertgas enthalten ist, sowie auch durch den Sauerstoff, der unvermeidlich in den Hitzebehandlungsöfen eintritt, oxidiert wird. Die oxidierte Schicht 20 der vorliegenden Ausführungsform sollte jedoch dick sein mit einer Dicke von nicht weniger als 2 µm und nicht mehr als 5 µm. Ferner sollte die oxidierte Schicht 20 der vorliegenden Ausführungsform die erste Fe_3O_4 -Schicht mit einer hohen Si-Konzentration einschließen. Unter dem Gesichtspunkt, eine solche oxidierte Schicht 20 zu bilden, müssen die Heiztemperatur und die Atmosphäre in dem Ofen kontrolliert werden. Obwohl die Atmosphäre in dem Ofen einen starken Einfluss hat und möglicherweise hervorruft, dass die Bedingungen je nach der Anlage variieren, wird die Heiztemperatur höher als üblich eingestellt und ist nicht niedriger als 650°C und vorzugsweise nicht niedriger als 680°C. Auch was die Atmosphäre betrifft, kann anstelle der üblichen Inertgasatmosphäre eine Atmosphäre, in der das Inertgas absichtlich mit Luft vermischt wird, oder eine Atmosphäre, in der das Inertgas mit Wasserdampf vermischt wird, verwendet werden. Das Vorgehen wie oben ermöglicht es, eine oxidierte Schicht 20 mit gewünschter Zusammensetzung und Struktur zu bilden.

[0041] Als nächstes wird ein Kugelstrahlenschritt als Schritt S50 durchgeführt. In Schritt S50 wird das Drahtmaterial, das die Glühbearbeitung in Schritt S40 durchlaufen hat, mit der darauf ausgebildeten oxidierten Schicht 20 dem Kugelstrahlen unterzogen. Obwohl dieser Schritt nicht unverzichtbar ist, kann die Durchführung dieses Schritts die spröde Fe_2O_3 -Schicht 24, die auf der Oberfläche der oxidierten Schicht 20 gebildet ist, entfernen und auch die Prozentsätze von FeO, Fe_3O_4 und Fe_2O_3 in der oxidierten Schicht 20 anpassen. Im Einzelnen werden die Intensität und Zeit des Kugelstrahlens so angepasst, dass die Fe_2O_3 -Schicht 24 von der

oxidieren Schicht 20 entfernt wird und die erste Fe_3O_4 -Schicht 22 und die zweite Fe_3O_4 -Schicht 23 verbleiben.

[0042] Als nächstes wird ein Drahtziehschritt als Schritt S60 durchgeführt. In dem Schritt S50 wird das Drahtmaterial, das das Kugelstrahlen im Schritt S50 durchlaufen hat, dem Drahtziehprozess (Ziehprozess) unterzogen. Der Grad der Verarbeitung (Verringerung der Fläche) in dem Drahtziehprozess in Schritt S60 kann wie jeweils anwendbar eingestellt werden; beispielsweise kann die Verringerung der Fläche auf nicht weniger als 60 % und nicht mehr als 80 % eingestellt sein. Hier bezieht sich die „Verringerung der Fläche“ auf einen Querschnitt senkrecht zu der Längsrichtung des Drahtmaterials und bezieht sich auf einen Wert, ausgedrückt in Prozent, der erhalten wird durch Dividieren eines Unterschieds zwischen den Querschnittsflächen vor und nach dem Drahtziehprozess durch die Durchschnittsfläche vor dem Drahtziehprozess.

[0043] Als nächstes wird ein Schritt der Bildung der oxidierten Schicht als Schritt S70 durchgeführt. In Schritt S70 wird das Drahtmaterial (Stahldraht), nachdem es den Drahtziehprozess in Schritt S60 durchlaufen hat, der Hitzebehandlung unterzogen, um die oxidierte Schicht 20 weiter auszubilden. In dem Fall, dass die oxidierte Schicht 20 gebildet wurde, wie in Schritt S40 gewünscht, kann dieser Schritt S70 weggelassen werden. Der Schritt S70 wird durchgeführt, wenn die in dem Schritt S40 gebildete oxidierte Schicht 20 eine nicht ausreichende Dicke besitzt oder wenn die Zusammensetzung und/oder Struktur der oxidierten Schicht 20 angepasst werden muss. Die Hitzebehandlungsbedingungen in dem Schritt S70 sind dieselben wie diejenigen im Schritt S40.

[0044] Der Federstahldraht 1 gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird durch das oben beschriebene Verfahren hergestellt. Insbesondere die Durchführung der Schritte S40 und S70, wie jeweils anwendbar, können den Federstahldraht 1 mit der oxidierten Schicht 20 mit gewünschter Dicke, Zusammensetzung und Struktur erzeugen.

(Ausführungsform 2)

[0045] Nunmehr wird eine weitere Ausführungsform, Ausführungsform 2, beschrieben. Der Federstahldraht der Ausführungsform 2 hat grundsätzlich eine ähnliche Struktur und ähnliche Effekte wie diejenigen der Ausführungsform 1. Der Federstahldraht der Ausführungsform 2 unterscheidet sich von dem der Ausführungsform 1 in der Struktur der oxidierten Schicht. **Fig. 5** ist eine schematische Querschnittsansicht, die die Struktur der oxidierten Schicht des Federstahldrahts in Ausführungsform 2 zeigt.

[0046] Bezugnehmend auf **Fig. 5** bedeckt in dem Federstahldraht 1 der Ausführungsform 2 die FeO-Schicht 21 die äußere Umfangsfläche 10A des Hauptkörpers 10 teilweise. In dem Teil des Hauptkörpers 10, wo dessen äußere Umfangsfläche 10A nicht mit der FeO-Schicht 21 bedeckt ist, stehen der Hauptkörper 10 und die erste Fe_3O_4 -Schicht 22 in Kontakt miteinander. Der Bereich, wo der Hauptkörper 10 und die erste Fe_3O_4 -Schicht 22 miteinander in Kontakt stehen, der auf diese Weise gebildet wird, unterdrückt das Abblättern der oxidierten Schicht 20 von dem Hauptkörper 10 zusätzlich.

[0047] Es ist zu beachten, dass die oxidierte Schicht 20 in Ausführungsform 2 gebildet werden kann, indem die Hitzebehandlungsbedingungen in den Schritten S40 und S70 in dem Herstellungsverfahren in Ausführungsform 1 oben angepasst werden.

Beispiele

(Experiment 1)

[0048] Ein Experiment wurde durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen der Dicke der oxidierten Schicht und der Ausbeute, wenn der Draht in eine Feder gewickelt wird, zu untersuchen. Der Federstahldraht wurde in einem ähnlichen Verfahren wie in Ausführungsform 1 oben hergestellt. Hierbei wurde die Heiztemperatur in Schritt S40 auf 700°C eingestellt und die Heizzeit wurde angepasst, um die Dicke der oxidierten Schicht innerhalb des Bereichs von 0,3 µm bis 6,5 µm zu variieren und so Proben A bis E herzustellen. Um die Dicke der oxidierten Schicht zu erhalten, wurde der Querschnitt senkrecht zu der Längsrichtung unter Verwendung eines Rasterelektronenmikroskops (REM) betrachtet und ein Mittelwert der Dicken an vier Stellen an Durchmessern orthogonal zueinander berechnet. Der Federstahldraht hatte einen Durchmesser von 1,2 mm. Die Proben A bis E wurden unter Verwendung einer Wickelmaschine in eine Feder gewickelt. Die Feder hatte einen äußeren Wicklungsdurchmesser von 7 mm, eine effektive Zahl von Windungen von 12

und eine freie Länge von 32 mm. Für jede Probe wurden 100 Federn hergestellt. Als Wickelmaschine wurde VF-720ST, hergestellt von Shinko Machinery Co., Ltd., verwendet.

[0049] Für die erhaltenen Federn wurde die Ausbeute berechnet, indem diejenigen mit einem Unterschied von mehr als 0,5 mm von dem Zielwert der freien Länge (32 mm) und diejenigen, bei denen Fressen (seizing) an der Oberfläche beobachtet wurde, verworfen wurden. Hier meint die „freie Länge“ die Gesamtlänge der Feder in dem Zustand, in dem keine Last an die Feder angelegt ist. Die experimentellen Ergebnisse sind in Tabelle 1 gezeigt.

[Tabelle 1]

	Dicke der oxidierten Schicht (μm)	Oberflächenzustand	Ausbeute (%)
A	0,3	Fressen beobachtet	73
B	1,2	Fressen beobachtet	81
C	2,2	Gut	96
D	4,5	Gut	95
E	6,5	Fressen beobachtet	83

[0050] Bezogen auf Tabelle 1 war für die Proben C und D, in denen die oxidierte Schicht eine Dicke von nicht weniger als 2 μm und nicht mehr als 5 μm hatte, der Oberflächenzustand gut und eine hohe Ausbeute war sichergestellt. Andererseits trat bei den Proben A, B und E mit der oxidierten Schicht mit einer Dicke, die außerhalb des Bereichs von nicht weniger als 2 μm und nicht mehr als 5 μm fiel, Fressen an der Oberfläche auf, was zu einer niedrigen Ausbeute führte. In den Proben A und B mit einer dünnen oxidierten Schicht trat das Fressen möglicherweise in Folge der durch die oxidierte Schicht erhaltenen unzureichenden Schmierfähigkeit auf. Andererseits rief in der Probe E mit einer dicken oxidierten Schicht das Auftreten von lokalem Abblättern der oxidierten Schicht möglicherweise das Fressen hervor.

[0051] Die obigen experimentelle Resultate zeigen, dass die oxidierte Schicht eine Dicke von nicht weniger als 2 μm und mehr als 5 μm haben sollte.

(Experiment 2)

[0052] Ein Experiment wurde durchgeführt, um die Effekte der Bildung der ersten Fe_3O_4 -Schicht mit einer hohen Si-Konzentration zu bestätigen. Der Federstahldraht wurde auf ähnliche Weise wie in Experiment 1 oben hergestellt, und die Ausbeute und der Zustand der Oberfläche beim Bilden der Federn wurde untersucht. In Experiment 2 wurde die Heiztemperatur in der Hitzebehandlung in Schritt S40 auf 750°C oder 800°C eingestellt, und in dem Zustand erhöhter Diffusionsrate von Si und anderer Elemente in dem Stahl wurde die Heizzeit angepasst und hierdurch die Dicke der ersten Fe_3O_4 -Schicht angepasst. Die Dicke der ersten Fe_3O_4 -Schicht wurde unter Verwendung eines REM gemessen. **Fig. 6** zeigt ein Beispiel der REM-Betrachtung. Die Messung unter Verwendung eines energiedispersiven Spektrometers (EDS) bestätigte, dass die oxidierte Schicht 20 in **Fig. 6** die FeO -Schicht 21, die erste Fe_3O_4 -Schicht 22, die zweite Fe_3O_4 -Schicht 23 und die Fe_2O_3 -Schicht 24 einschloss und dass die erste Fe_3O_4 -Schicht 22 eine höhere Si-Konzentration besaß als diejenige in dem Hauptkörper 10 und der zweiten Fe_3O_4 -Schicht 23. Die experimentellen Resultate sind in Tabelle 2 gezeigt.

[Tabelle 2]

	Dicke der oxidierten Schicht (μm)	Dicke der ersten Fe_3O_4 -Schicht (μm)	Oberflächenzustand	Ausbeute (%)
F	2, 2	0,2	Gut	96
G	2,1	1,1	Gut	98
H	2,2	2,2	Gut	98
I	6,5	0,3	Fressen beobachtet	83
J	6,3	1,2	Gut	85
K	6,4	2,4	Gut	85

[0053] Bezogen auf Tabelle 2, wurde in den Proben F bis H mit der oxidierten Schicht mit einer Dicke von nicht weniger als 2 µm und nicht mehr als 5 µm eine weitere Verbesserung der Ausbeute als in Experiment 1 bestätigt. Auch in den Proben I bis K mit der oxidierten Schicht mit einer Dicke über 5 µm wäre das Auftreten von Fressen wahrscheinlich unterdrückt, was zu einer verbesserten Ausbeute führt. Dies kann mutmaßlich der Fall sein, weil die Bildung der ersten Fe₃O₄-Schicht 22 das Abblättern der oxidierten Schicht 20 von dem Hauptkörper 10 unterdrückt hat.

(Experiment 3)

[0054] Ein Experiment wurde durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung zwischen der oxidierten Schicht und der Ausbeute zu untersuchen. Der Federstahldraht wurde auf eine ähnliche Weise wie in Experiment 1 oben hergestellt, und die Ausbeute und der Zustand der Oberflächen, wenn die Federn gebildet werden, wurde untersucht. In Experiment 3 wurde die Atmosphäre in der Hitzebehandlung in Schritt S40 geändert, um die Zusammensetzung der oxidierten Schicht zu verändern. Im Einzelnen wurde in Probe L Luft absichtlich der Atmosphäre zugemischt, um den Sauerstoffpartialdruck zu erhöhen und dadurch die Oxidation zu beschleunigen. Andererseits ließ man in Probe N ein Inertgas in den Ofen strömen, um den Sauerstoffpartialdruck zu verringern und dadurch die Oxidation zu unterdrücken. Die Zusammensetzung der oxidierten Schicht wurde unter Verwendung eines Referenzintensitätsverhältnis (reference intensity ratio, RIR)-Verfahrens, das Röntgenbeugung verwendet, analysiert. Im Einzelnen wurde eine Probe hergestellt, indem der Federstahldraht auf eine Länge von etwa 2 cm geschnitten wurde und zwei oder drei der geschnittenen Drähte nebeneinander angeordnet wurden. Als eine Röntgenstrahlquelle wurde eine Kupferrohre verwendet, wobei die Tiefe des Eindringens der Röntgenstrahlung in die Probe berücksichtigt wurde. Eine Weitwinkelmessung wurde unter Verwendung einer Parallelstrahlmethode (wobei die Röntgenbestrahlungsfläche ein Quadrat mit Seitenlängen von etwa 15 mm war) durchgeführt und so das Massenverhältnis (FeO:Fe₃O₄:Fe₂O₃ in Masse-%) der Oxide aus den Intensitätsverhältnissen der Beugungspeaks erhalten. Die experimentellen Ergebnisse sind in Tabelle 3 gezeigt.

[Tabelle 3]

	Dicke der oxidierten Schicht (µm)	Zusammensetzung der oxidierten Schicht FeO:Fe ₃ O ₄ :Fe ₂ O ₃ (Masseverhältnis)	Oberflächenzustand	Ausbeute (%)
L	2,2	3:72:25	Gut	88
M	2,2	6:88:6	Gut	96
N	2,1	35:60:5	Gut	93

[0055] Unter Bezugnahme auf Tabelle 3, nahm in der Probe L, die durch Beschleunigen der Oxidation erhalten wurde, die Oxidation von Fe₂O₃ mehr zu als der Prozentsatz von Fe₃O₄ zunahm. Andererseits nahm in der Probe N, die durch Unterdrücken der Oxidation erhalten wurde, die Oxidation von FeO weniger zu als der Prozentsatz von Fe₃O₄ zunahm. Obwohl der Zustand der Oberfläche in allen Proben gut war, war verglichen mit Probe M die Ausbeute in beiden Proben L und N verringert. Dies kann als Hinweis verstanden werden, dass, obwohl noch kein Fressen auftrat, eine leichte Adhäsion zwischen dem Federstahldraht und dem Arbeitswerkzeug während des Wickelprozesses aufgetreten war.

[0056] Im Einzelnen bildet sich in der Probe L mit einem hohen Prozentsatz von Fe₂O₃ die spröde Fe₂O₃-Schicht 24 auf der Oberfläche der oxidierten Schicht 20, was zu der niedrigsten Ausbeute führt. Andererseits ist in Probe N mit einem hohen Prozentsatz von FeO die Ausbeute verglichen mit der Probe M verringert, obwohl sie besser ist als die Ausbeute der Probe L mit der spröden Fe₂O₃-Schicht 24 auf der Oberfläche der oxidierten Schicht 20 ausgebildet. Aus dem Vorstehenden lässt sich sagen, dass der Prozentsatz von Fe₃O₄ in der oxidierten Schicht vorzugsweise hoch ist, und er ist beispielsweise vorzugsweise nicht weniger als 80 Masse-%. Es lässt sich ebenso sagen, dass der Prozentsatz von Fe₂O₃ in der oxidierten Schicht vorzugsweise niedrig ist, und er ist beispielsweise vorzugsweise nicht mehr als 10 Masse-%.

[0057] Es sollte klargestellt werden, dass die hierin offenbarten Ausführungsformen und Beispiele in jeglicher Hinsicht illustrativ und nicht einschränkend sind. Der Bereich der vorliegenden Erfindung ist eher durch die Begriffe der Patentansprüche als die obige Beschreibung definiert und soll jegliche Modifikationen innerhalb des Bereichs und einer Bedeutung äquivalent zu den Begriffen der Patentansprüche einschließen.

Bezugszeichenliste

[0058] 1: Federstahldraht; 10: Hauptkörper; 10A: äußere Umfangsfläche; 20: oxidierte Schicht; 20A: äußere Umfangsfläche; 21: FeO-Schicht; 21A: äußere Umfangsfläche; 22: erste Fe₃O₄-Schicht; 22A: äußere Umfangsfläche; 23: zweite Fe₃O₄-Schicht; 23A: äußere Umfangsfläche; 24: Fe₂O₃-Schicht; 24A: äußere Umfangsfläche; ϕ : Durchmesser des Federstahldrahts; und t: Dicke der oxidierten Schicht.

Patentansprüche

1. Federstahldraht (1), umfassend:
einen Hauptkörper (10), der aus einem Stahl hergestellt ist und eine Linienform aufweist; und
eine oxidierte Schicht (20), die eine äußere Umfangsfläche (10A) des Hauptkörpers (10) bedeckt;
wobei der Stahl, der den Hauptkörper (10) bildet, nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 0,7 Masse-% C, nicht weniger als 1 Masse-% und nicht mehr als 2,5 Masse-% Si, nicht weniger als 0,2 Masse-% und nicht mehr als 1 Masse-% Mn und nicht weniger als 0,5 Masse-% und nicht mehr als 2 Masse-% Cr enthält, wobei der Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen sind,
wobei der Stahl, der den Hauptkörper (10) bildet, eine Perlitstruktur besitzt und
die oxidierte Schicht (20) eine Dicke (t) von nicht weniger als 2 μm und nicht mehr als 5 μm hat und
wobei die oxidierte Schicht (20) nicht weniger als 60 Masse-% Fe₃O₄ enthält und eine erste Fe₃O₄-Schicht (22) und eine zweite Fe₃O₄-Schicht (23), die eine äußere Umfangsfläche (22A) der ersten Fe₃O₄-Schicht (22) bedeckt, einschließt,
wobei die erste Fe₃O₄-Schicht (22) eine höhere Si-Konzentration als eine Si-Konzentration der zweiten Fe₃O₄-Schicht (23) und eine Si-Konzentration des Hauptkörpers (10) aufweist.
2. Federstahldraht (1) gemäß Anspruch 1, in dem die oxidierte Schicht (20) ferner eine FeO-Schicht (21) zwischen der ersten Fe₃O₄-Schicht (22) und dem Hauptkörper (10) einschließt.
3. Federstahldraht (1) gemäß Anspruch 2, in dem
die FeO-Schicht (21) die äußere Umfangsfläche (10A) des Hauptkörpers (10) teilweise bedeckt und
in einem Stück des Hauptkörpers (10), in dem dessen äußere Umfangsfläche (10A) nicht mit der FeO-Schicht (21) bedeckt ist, der Hauptkörper (10) und die erste Fe₃O₄-Schicht (22) in Kontakt miteinander stehen.
4. Federstahldraht (1) gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, in dem die erste Fe₃O₄-Schicht (22) eine Si-Konzentration von nicht weniger als 2,5 Masse-% und nicht mehr als 6 Masse-% und eine Cr-Konzentration von nicht weniger als 1,5 Masse-% und nicht mehr als 3 Masse-% aufweist.
5. Federstahldraht (1) gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die erste Fe₃O₄-Schicht (22) eine Dicke von nicht weniger als 0,3 μm und nicht mehr als 1,5 μm hat.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

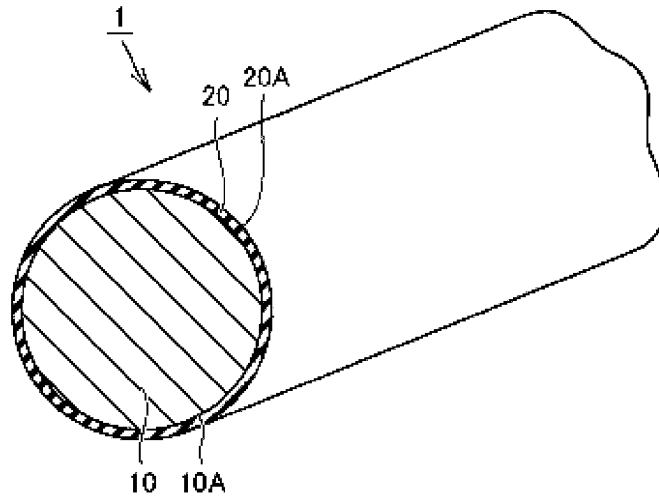


FIG.2

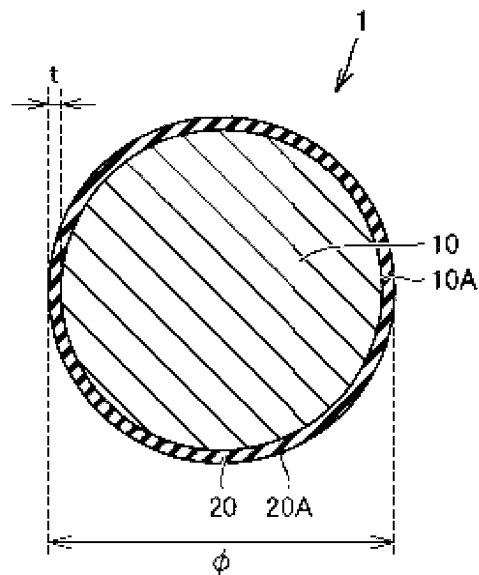


FIG.3

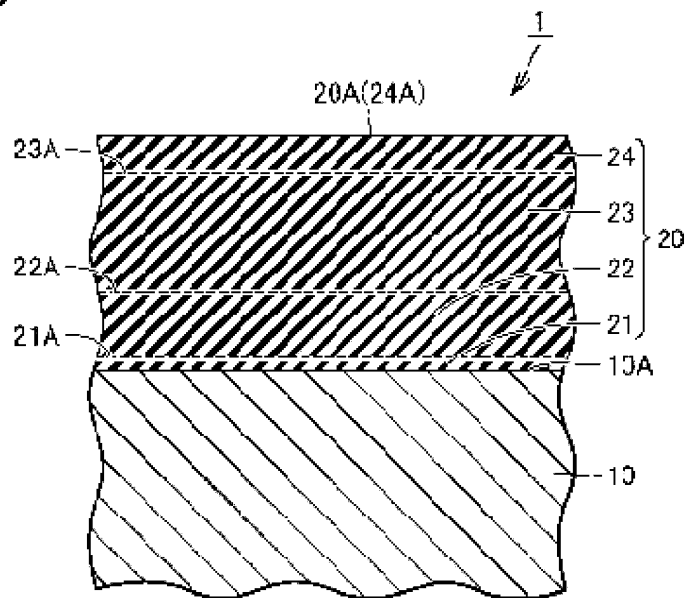


FIG.4

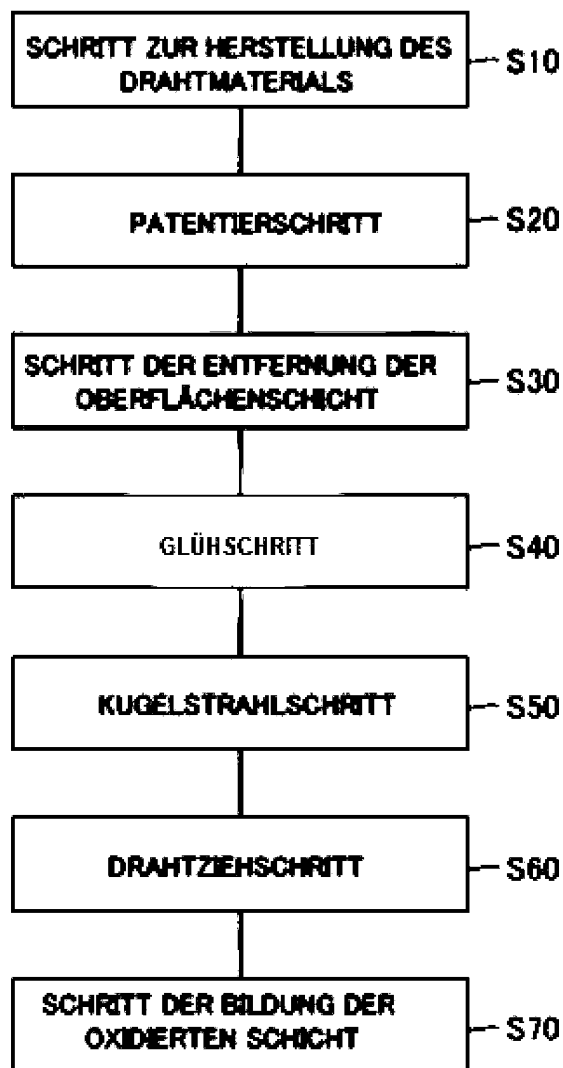


FIG.5

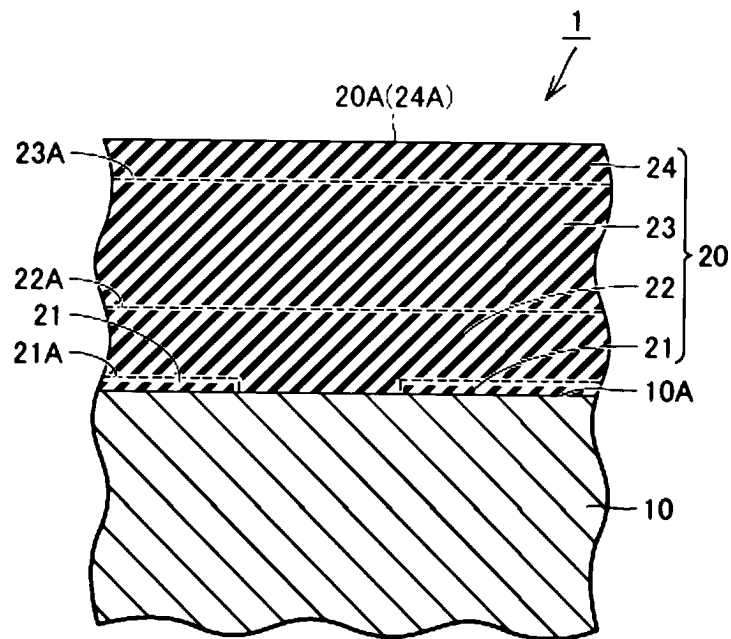


FIG.6

