

(19)



(11)

EP 2 993 531 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
31.03.2021 Patentblatt 2021/13

(51) Int Cl.:
G04B 17/06 (2006.01) **B21F 35/02** (2006.01)
F16F 1/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14183962.1**

(22) Anmeldetag: **08.09.2014**

(54) VERFAHREN ZUR UMFORMUNG EINER FEDER

A METHOD FOR FORMING A SPRING

PROCÉDÉ DE FORMATION D'UN RESSORT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.03.2016 Patentblatt 2016/10

(73) Patentinhaber: **Precision Engineering AG**
8212 Neuhausen am Rheinfall (CH)

(72) Erfinder:
• **LAUPER, Dominique**
2560 Nidau (CH)

- **ALBERT, Andreas**
8200 Schaffhausen (CH)
- **Weyder, Xavier**
8212 Neuhausen am Rheinfall (CH)
- **CHRIST, Stephan**
78166 Donaueschingen (DE)

(74) Vertreter: **Strässle, Simon**
Isler & Pedrazzini AG
Giesshübelstrasse 45
Postfach 1772
8027 Zürich (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
CH-A2- 706 233 US-A- 5 907 524

EP 2 993 531 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umformung einer Feder, insbesondere einer Spiralfeder für ein mechanisches Uhrwerk, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, eine nach diesem Verfahren umgeformte Feder und ein Uhrwerk umfassend eine solche Feder.

STAND DER TECHNIK

- 10 **[0002]** Es ist bekannt, spiralförmige Biegefedern für mechanische Uhrwerke durch Umformverfahren abschnittsweise mit einer bestimmten Kurvenform zu versehen. Die EP 0 911 707 lehrt, dass eine durch Wärmebehandlung fixierte Rohspirale mit einer durch eine Kaltdeformation der Aussenwindung der Spirale eingebrachten Endkurve versehen werden kann. Hierzu werden mit einem Werkzeug Knicke in den Verlauf der zu verformenden Aussenwindung der Spirale eingebogen, sodass sich der Windungsabstand zwischen den äussersten Gängen im Bereich der Endkurve vergrößert. Der derart kaltverformte Abschnitt wird dann durch eine thermische Nachbehandlung von inneren Spannungen befreit. Dieses Verfahren ist zeitaufwändig
- 15 **[0003]** Ähnliche Verfahren zur Umformung von Spiralfedern sind in den Dokumenten CH 706 233 A2 und US 5 907 524 A offenbart.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

- [0004]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Umformung einer mechanischen Feder, insbesondere einer Spiralfeder für ein Uhrwerk, vorzugsweise zum Herstellen einer Endkurve, anzugeben.
- 25 **[0005]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.
- [0006]** Hierbei liegt die erste Temperatur T_1 im Halbwarmumformungsbereich zumindest des Materials des Biegeabschnitts. Der Halbwarmumformungsbereich schliesst sich kaltseitig an den Warmumformungsbereich an. T_1 ist also mindestens so hoch wie die materialabhängige Restaurationstemperatur. Eine typische Halbwarmumformungstemperatur T_1 für gebräuchliche Spiralfedern ist bspw. 300°C bis 500°C. T_1 liegt also über der Raumtemperatur von 20°C und unterhalb der Rekristallisationstemperatur T_{RK} des Materials des Biegeabschnitts. T_1 liegt vorzugsweise bei über 100°C, das Material ist also angewärmt, und/oder T_1 liegt in einem Bereich von 30% der Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C des Materials des Biegeabschnitts bis zu dieser Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C, vorzugsweise in einem Bereich von 50% dieser Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C bis zu 90% dieser Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C. Nachfolgend ein erläuterndes Berechnungsbeispiel: 50% von ($T_{RK}=1000^\circ\text{C}$) ist: 500°C.
- 30 **[0007]** Besonders bevorzugt ist, wenn die Temperatur T_1 bei 50% bis 70%, insbesondere bei etwa 60% bis 65% von T_{RK} in °C liegt.
- [0008]** Die "Rekristallisationstemperatur T_{RK} " ist eine materialabhängige Temperatur, beträgt für gebräuchliche Spiralen etwa 900°C bis 1100°C und kann bspw. durch Messung der Temperaturabhängigkeit des relativen elektrischen Widerstands oder der Wärmekapazität bestimmt werden. Zur groben Bestimmung von T_{RK} gilt: T_{RK} ist 40% bis 50% der Schmelztemperatur des Materials in °C.
- 40 **[0009]** Vorzugsweise wird die Halbwarmumformung des Biegeabschnitts zwecks Einbringens einer vorbestimmten Kurvenform in den Kurvenabschnitt durchgeführt, während der Biegeabschnitt auf der Temperatur T_1 gehalten ist. Vorzugsweise wird die Temperatur T_1 während 0.1 Sekunde bis 100 Sekunden, vorzugsweise während 0.5 Sekunden bis 30 Sekunden, insbesondere während 0.5 Sekunden bis 5 Sekunden konstant gehalten.
- 45 **[0010]** Es ist auch denkbar, dass nach dem Erreichen einer bestimmten Temperatur T_1 die Energiezufuhr in den Biegeabschnitt erhöht, verringert oder unterbrochen wird.
- [0011]** Die Halbwarmumformung bewirkt, dass keine oder weniger innere Spannungen und/oder keiner oder weniger unerwünschte magnetische Eigenschaften in den verformten Abschnitt, d.h. den Biegeabschnitt, eingebracht werden, als durch die Kaltumformung eingebracht werden würden und im Stand der Technik durch nachgelagertes Temperieren beseitigt werden.
- 50 **[0012]** Eine typische Erwärmung kann bspw. innerhalb von 1 Sekunde bis 10 Sekunden, insbesondere innerhalb von 2 Sekunden geschehen. Je nach Material kann die Energiezufuhr, bspw. die Bestromung, entsprechend angepasst sein. Auch eine Abkühlung nach der Erwärmung kann kontrolliert geschehen, bspw. indem die Energiezufuhr kontrolliert verkleinert wird.
- 55 **[0013]** Bei einem typischen Material, welches für gebräuchliche Spiralfedern verwendet wird, bspw. PE 4000 mit folgender Massenprozentverteilung: 38%-40% Nickel, 7%-8.5% Chrom, <1% Beryllium, <1% Titan, <1% Mangan, <1% Silizium, wobei ein Massenprozentanteil der Teile von Beryllium, Titan, Mangan und Silizium zusammen zwischen 0% und 2% liegt, und der Rest aus Eisen besteht, ist T_1 im Bereich von 300°C bis 750°C, insbesondere im Bereich von

550°C bis 700°C oder im Bereich von 550°C bis 650°C, und vorzugsweise bei 600°C bis 620°C.

[0014] Vorzugsweise wird die Feder oder der Kurvenabschnitt oder der Biegeabschnitt in Schritt ii) nur während 0.1 Sekunde bis 60 Sekunden, vorzugsweise nur während 0.5 Sekunde bis 10 Sekunden, vorzugsweise nur während 0.5 Sekunden bis 5 Sekunden und insbesondere nur während 0.5 Sekunden bis 3 Sekunden oder während 1 bis 2 Sekunden auf der ersten Temperatur T_1 gehalten und dann abgekühlt.

[0015] T_1 ist vorzugsweise, je nach Material und Federdimensionen, so hoch gewählt, dass die erwünschten Effekte, insbesondere eine Verminderung von durch die Umformung eingebrachten magnetischen Effekten bzw. eine Restaurierung oder Entspannung des Materials, innerhalb des gewählten Zeitintervalls auftritt. Die Restaurationszeit bei T_1 ist vorteilhafterweise so kurz, dass ein Minimum an oder keine Zunderbildung bzw. Präzipitation von intermetallischen Partikeln auftritt. Überdies kann so vermieden werden, dass das Material der Feder zu weich wird. Zudem sind kurze Zeiten auch vorteilhaft, insofern als ein effizientes Umformverfahren möglich ist.

[0016] Es können hier auch paramagnetische Legierungen wie bspw. Nb-Ti-Legierungen verwendet werden. Vorzugsweise ist das Material des Biegeabschnitts oder des Kurvenabschnitts eine Nickel-Eisen-Legierung und/oder die erste Temperatur T_1 im Bereich von 300°C bis 750°C, vorzugsweise im Bereich von 450°C bis 700°C, bevorzugt im Bereich von 550°C bis 650°C, besonders bevorzugt im Bereich von 600°C bis 620°C, und insbesondere bei 610°C. Der Biegeabschnitt bzw. der Kurvenabschnitt wird also vor, während oder nach dem Bewegungsschritt, welcher den Abschnitt aus der Ausgangslage in die gewünschte Endlage bringt, auf die Temperatur T_1 erwärmt.

[0017] Der Bewegungsschritt kann ein Umformschritt im Sinne einer Halbwarmumformung sein oder aber eine bei Temperaturen unter T_1 einsetzende Verformung oder Deformation sein, wobei nach oder während letzterem der Biegeabschnitt erwärmt wird, bis er T_1 erreicht, und dann, nach der Bewegung, dort gehalten wird, bis sich die aufgebauten inneren Spannungen im gebogenen Material abgebaut haben und eine dauerhafte Umformung vollzogen ist.

[0018] Zwischen der Erwärmung bzw. der Halbwarmumformung kann vorgesehen sein, dass die Temperatur durch fortgesetzte konstante Energiezufuhr stabil gehalten wird. Die Erwärmung kann auch nach der Halbwarmumformung fortgesetzt werden, um dem Material noch mehr Zeit zur Relaxation zu geben. Es ist also möglich, dass während einer Periode von 1 Minute bis 3 Stunden nach der Umformung die Temperatur konstant auf T_1 gehalten wird.

[0019] Es ist auch denkbar, dass die Temperatur des Biegeabschnitts nach dem Erreichen von T_1 nicht stabilisiert wird, sondern dass man nach Erreichen von T_1 rasch die Umformung vornimmt, während die erwärmten Bereiche bspw. des Spiralbandes von selbst auskühlen, jedoch so, dass die Temperatur bei der Umformung noch derart hoch ist, dass eine Halbwarmumformung im Sinne der vorliegenden Erfindung stattfindet, also eine bleibend verformte Feder resultiert. Es ist hierbei auch möglich, die Erwärmung derart stark über eine minimale Umformungstemperatur zur Halbwarmumformung im Sinne der vorliegenden Erfindung vorzusehen, dass eine solche Abkühlung während der Vorbereitung zur Umformung gezielt ins den Prozess miteinbezogen ist und man so sicherstellt, dass das Material bei der Umformung derart warm ist, dass eine Halbwarmumformung im Sinne der vorliegenden Erfindung stattfindet.

[0020] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass eine von unerwünschten inneren Spannungen und/oder von magnetischen Effekten befreite Kurvenform statt bisher über zwei einzelne Arbeitsschritte (Kaltumformschritt und nachgeschalteter Wärmebehandlungsschritt zur Relaxation des Materials) mittels einer Halbwarmumformung oder einer Erwärmung des Biegeabschnitts auf T_1 während des Umformschritts in eine Feder, insbesondere in eine Rohspirale, einformbar ist. Der Umformschritt umfasst die Halbwarmumformung oder die bei einer Temperatur unterhalb von T_1 stattfindende Deformation als Bewegungsschritt und die nachträgliche Wärmebehandlung bei der Temperatur T_1 .

[0021] Durch das erfindungsgemässe Verfahren wird der Aufbau von solchen inneren Spannungen bzw. unerwünschten Magnetischen Eigenschaften weitgehend verhindert.

[0022] Vorzugsweise ist die Feder eine Spiralfeder. Unter dem Begriff "Spiralfeder" ist eine aus einem Spiralfederband gewundene Biegefeder, insbesondere eine Unruhspiralfeder, gemeint. Die Spiralfeder kann sich in einer Ebene (z.B. Flachspirale) oder in mehreren, entlang der Achse der Spirale versetzten Ebenen (z.B. eine Breguet-Spirale oder eine zylindrische Spiralfeder) erstrecken. Sie ist bspw. als Teil des Schwingsystems eines mechanischen Uhrwerks verwendbar. Es ist auch denkbar, dass man dieses Verfahren für die Umformung von anderen mechanischen Federn einsetzt.

[0023] Die Spiralfedern können bezüglich ihrer Grösse in "CGS"-Klassen eingeteilt werden. Die CGS-Nummer einer Spirale kann wie folgt berechnet werden:

$$CGS = C \cdot (D^2 - d^2) \text{ [in: dyn} \cdot \text{cm}^3],$$

wobei

D: äusserer Durchmesser der Spiralfeder [in: mm],
 d: innerer Durchmesser der Spiralfeder [in: mm]; und
 C: $C = (E \cdot h \cdot e^3)/(12 \cdot 1)$ [in: dyn · cm] mit

E: Elastizitätsmodul der Spiralfeder [in: N/mm²];
 h: Höhe des Spiralfederbands [in: mm];
 e: Dicke des Spiralfederbands [in: mm]; und
 l: Länge des Spiralbandes [in: mm].

Die vorliegende Erfindung betrifft vorzugsweise Spiralfedern mit einer CGS-Nummer im Bereich von 0.05 bis 35, insbesondere im Bereich von 0.25 bis 15.

[0024] Unter dem Begriff "Umformung" ist eine fertigungstechnische Verformung eines Werkstücks gemeint, wobei durch Einbringen eines Biegemoments in den umzuformenden Materialabschnitt in Kombination mit einer Erwärmung eine plastische und dauerhafte Verformung dieses Abschnitts erzeugt wird.

[0025] Durch "Kaltumformung" bei Temperaturen im Bereich der Raumtemperatur, also um 20°C, werden Störungen in das Kristallgitter eingebracht, woraus unerwünschte innere Spannungen im Material resultieren. Diese Spannungen können durch eine nachträgliche Wärmebehandlung des gestörten Materialgefüges geheilt werden. Diese Erwärmung erzeugt einen Relaxation und Restaurierung der inneren Struktur (Relaxationsglühen).

[0026] Unter dem Begriff "Warmumformung" ist eine Umformung eines Abschnitts der des Werkstücks gemeint, wobei der umzuformende Abschnitt während des Umformungsprozesses bei einer Temperatur oberhalb der Rekristallisationstemperatur des Materials dieses Abschnitts liegt. Da die Rekristallisation ein thermisch aktivierter Prozess ist, welcher durch eine Arrhenius-Gleichung beschreibbar ist, findet der Abbau von inneren Spannungen auch schon unterhalb der kritischen Temperatur, der Rekristallisationstemperatur T_{RK} , statt.

[0027] Gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren kann nun der umzuformende Abschnitt vor der Verformung auf die erste Temperatur T_1 erwärmt werden. Alternativ kann der Biegeabschnitt elastisch deformiert werden, sodass er die gewünschte Endform einnimmt und danach auf die erste Temperatur T_1 erwärmt werden. Eine weitere Möglichkeit ist, dass die Bewegung in die Endform und die Erwärmung auf T_1 parallel durchgeführt werden, wobei die beiden Prozesse nicht zwingend gleich lange dauern müssen.

[0028] Typischen Verarbeitungszeiten der Halbwarmumformung bzw. der Deformation betragen 0.1 Sekunden bis 100 Sekunden, insbesondere 0.5 Sekunden bis 5 Sekunden. Typische Zeiten der Erwärmung auf T_1 betragen etwa 0.1 Sekunde bis 100 Sekunden, insbesondere etwa 2 Sekunden bis 5 Sekunden. Dies hängt vom Querschnitt bzw. der Materialmenge, der Materialzusammensetzung und der entsprechenden Energiezufuhr ab.

[0029] Bei der erfindungsgemässen Umformung treten weniger magnetische und/oder strukturelle Störungen als bei der Kaltumformung auf, da sich das Material bereits während und auch nach dem Umformschritt, also während des Auskühlens, erholt (bzw. restauriert). Überdies sind geringere Kräfte für die erfindungsgemässe Umformung aufzuwenden als für der Kaltumformung des gleichen Materials. Weiter ist mit dem erfindungsgemässen Verfahren eine genauere Umformung als bei der Warmverformung möglich, da das Material weniger weich ist.

[0030] Der Kurvenabschnitt ist vorzugsweise ein Abschnitt der Spiralfeder, also ein Teil des Spiralbandes, vorzugsweise eine äussere Endkurve der Spiralfeder. Der Kurvenabschnitt ist der Abschnitt, welcher durch die Umformung bezüglich des Spiralenmittelpunkts bewegt wird. Der Biegeabschnitt ist der Abschnitt des Kurvenabschnitts, welcher plastisch umgeformt wird. Der Biegeabschnitt kann sich über den gesamten Kurvenabschnitt erstrecken oder nur einen Teil des Kurvenabschnitts ausmachen. Es können auch mehrere gleiche oder unterschiedliche Biegeabschnitte im Kurvenabschnitt angeordnet sein.

[0031] Bevorzugt ist, wenn die Feder eine Spiralfeder ist und der Kurvenabschnitt eine Endkurve der Spiralfeder ist. So kann bspw. eine flache Endkurve in eine Flachspiralfeder eingeformt werden. Es kann auch eine Breguet-Spirale geformt werden, indem der Biegeabschnitt eine Überleitung des Spiralbandes von einer Ebene der Spiralfeder zu einer axial versetzten Ebene ausbildet. Der Kurvenabschnitt kann also auch einen Höhenknick auf weisen.

[0032] Der Schritt des Abkühlens kann passiv durch auskühlen lassen auf Raumtemperatur oder aber aktiv durch bekannte Verfahren zur Wärmeableitung vorgenommen werden.

[0033] In einer Weiterbildung des Verfahrens wird die Feder vor Schritt i) mit einer weiteren Wärmebehandlung behandelt.

[0034] Im Falle einer Fe-Ni-Legierung kann bspw. während etwa 60 Minuten bis 180 Minuten, insbesondere während 120 Minuten, bei einer Fixierungstemperatur fixiert, welche höher als T_1 , vorzugsweise auch höher als T_{RK} ist und je nach Material bspw. im Bereich von 550°C bis 700°C, insbesondere von 610°C bis 640°C, oder bei 620°C liegt. Diese Fixierung wird vorzugsweise aber nicht notwendigerweise unter Vakuum oder Schutzatmosphäre aus bspw. Argon und/oder Stickstoff bei einem Druck von weniger als 10 bar durchgeführt. Damit werden allfällige innere Spannungen, welche vor der erfindungsgemässen Umformung eines Kurvenabschnitts bestehen, aus dem Materialgefüge entfernt.

[0035] Die Umformung nach der vorliegenden Erfindung kann, muss aber nicht unter Vakuum oder Schutzatmosphäre aus bspw. Argon und/oder Stickstoff bei einem Druck von weniger als 10 bar vorgenommen werden.

[0036] Der Biegeabschnitt, vorzugsweise der ganze Kurvenabschnitt bzw. die ganze Feder, kann nach Schritt iii) einer weiteren Wärmebehandlung unterzogen werden, bei welcher der Biegeabschnitt, vorzugsweise der ganze Kurvenabschnitt oder die ganze Feder, während 1 bis 24 Stunden auf vorzugsweise 200°C bis 400°C, insbesondere auf 300°C,

gehalten wird.

[0037] Der Kurvenabschnitt kann gleich lang wie oder weniger lang als zwei Windungen, und vorzugsweise zwischen einer Viertel- und einer halben Windung, vorzugsweise einer äusseren, insbesondere äussersten, Windung der Spiralfeder sein.

[0038] Um den Kurvenabschnitt für die Bewegung, d.h. für die Halbwarmumformung oder die bei einer Temperatur unterhalb von T_1 stattfindende Deformation, zu fixieren, kann dieser mindestens einen ersten und zweiten Greifabschnitt aufweisen. Diese Greifabschnitte werden dann jeweils festgestellt. Vorzugsweise werden diese Greifabschnitte jeweils in ein Halteelement eingebracht, wobei bei der Halbwarmverformung mindestens eines der Halteelemente bewegt wird, um die Umformung des Biegeabschnitts zu bewirken. Die Feststellung der Greifabschnitte in den Halteelementen kann durch Formschluss oder Klemmung stattfinden. Prinzipiell ist eine Feststellung entlang des Spiralbandes nicht notwendig, kann jedoch durch Klemmung mittels der Halteelemente realisiert werden. Die Feststellung in radialer Richtung, also von der Achse der Spirale weg, kann durch einen Formschluss, bspw. durch Einlegen in einen Schlitz oder auch durch Klemmung, bewerkstelligt werden.

[0039] Die Halteelemente weisen vorzugsweise eine Ausnehmung, insbesondere einen Schlitz oder ein Durchgangsloch, zum Einbringen der Greifabschnitte auf. Vorzugsweise ist sowohl eine räumliche Lage als auch eine Drehposition bezüglich mindestens einer, vorzugsweise aller drei jeweils senkrecht zueinander stehenden Raumachsen regelbar.

[0040] Besonders bevorzugt werden Halteelemente, welche als Stifte ausgebildet sind. Diese Stifte können durch Wärmeleitung und/oder zur Bestromung geeignet sein. Diese Stifte können auf einer die Bewegung verursachenden Vorrichtung festgestellt sein und ein freies Ende mit dem Schlitz oder dem Durchgangsloch aufweisen. Es ist auch denkbar, dass ein Halteelement durch einen Stift und ein anderes Halteelement durch ein Werkzeug bereitgestellt ist.

[0041] Vorzugsweise sind die Halteelemente elektrisch leitend und in elektrischem Kontakt mit der vorzugsweise elektrisch leitenden Feder. So kann über die Halteelemente die Bestromung stattfinden, ohne dass zusätzliche Kontakte angebracht werden müssen. Zudem ist sichergestellt, dass der Strom durch den entsprechenden Bestromungsabschnitt der Feder geführt ist. Überdies kann die Erwärmung vorzugsweise direkt durch elektrische oder auch thermische Leitung über diese Halteelemente im Spiralband erzeugt werden.

[0042] Die Bewegung des mindestens einen Halteelements kann durch eine Änderung einer Drehposition des Halteelements bewirkt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Bewegung durch eine Verschiebung des Halteelements in und/oder parallel zu einer Ebene der Feder und/oder nach ausserhalb der Ebene der Feder gekennzeichnet sein.

[0043] Je nach gewünschter Kurvenform können also zwei Halteelemente vorgesehen sein, wobei eines oder beide Halteelemente zur Verformung bewegt werden. Diese Bewegung kann eine räumliche Verschiebung oder Drehung um eine beliebige Achse oder eine Mehrzahl von Drehungen um verschiedene Achsen sein. Die Bewegung kann auch eine Überlagerung von mehreren solchen Bewegungen sein. Das Vorsehen von solchen Halteelementen ist vorteilhaft, weil so durch einen Bewegungsschritt die Kurvenform geformt wird; es muss nicht an zwei Stellen zeitlich verschoben ein Knick mit einem Werkzeug vorgenommen werden, wie es im Stand der Technik bspw. beim Einformen einer flachen Endkurve geschieht, sondern es wird einfach mindestens eines der Halteelemente so bewegt, dass die Kurvenform nach Abschluss dieser Bewegung eingebracht ist.

[0044] Es können weitere bewegliche oder unbewegliche Halteelemente vorgesehen sein, um die die Umformung erzeugende Bewegung der Klinge zu führen. Es ist möglich, mehr als zwei Halteelemente vorzusehen, wobei eines, zwei, drei oder alle bewegt, oder einige bewegt und die anderen nicht bewegt werden. So können bspw. zwei äussere von drei vorgesehenen Halteelemente verschoben und vorzugsweise zusätzlich verdreht werden, während das dritte, sich zwischen den beiden äusseren Halteelementen befindliche Halteelement nicht bewegt wird und die Bewegung der sich in der Umformung befindlichen Spirale stabilisieren.

[0045] Vorzugsweise sind dann mittlere Halteelemente elektrisch isolierend und wärmeisolierend bereitgestellt, sodass kein Spannungs- oder Temperaturabfall aufgrund der mittleren Halteelemente auftritt.

[0046] Überdies ist denkbar, dass die Halteelemente nicht bewegt werden, sondern dass die Deformation durch das Einspannen der Feder in den vorpositionierten Halteelementen zustande kommt.

[0047] Die Halteelemente können den jeweiligen Greifabschnitt unter einer vordefinierten Drehposition bezüglich einer Achse quer zur Längserstreckung des Greifabschnitts entlang der Feder aufnehmen. Bspw. kann der Greifabschnitt ohne zusätzliche Biegung der Feder aufgenommen werden. Es ist auch denkbar, dass die Ausrichtung des im Wesentlichen geraden Durchgangslochs oder Schlitzes winklig zum Längsverlauf des Greifabschnitts steht und das Spiralband in das Durchgangsloch oder den Schlitz gebogen werden muss.

[0048] Vorzugsweise wird die Erwärmung auf die erste Temperatur T_1 durch elektrische Bestromung des Biegeabschnitts, insbesondere des Kurvenabschnitts, erzeugt. Alternative Erwärmungsverfahren wären bspw. Bestrahlung mit elektromagnetischer Strahlung oder ein Kontaktwärmeübertrag. Der Stromfluss erzeugt aufgrund des Materialwiderstands die entsprechende Erwärmung. Die Bestromung mittels von Gleich- oder Wechselstrom geschehen. Gleichstrom wird bevorzugt. Hierzu sind die Halteelemente elektrisch leitend ausgebildet, wobei eine elektrische Spannung über zumindest eines, vorzugsweise zumindest zwei der Halteelemente angelegt wird. Eine Stromstärke kann im Bereich von 0.001 Ampere und 10 Ampere, vorzugsweise im Bereich von 0.01 Ampere bis 1 Ampere und eine Spannung,

vorzugsweise eine Gleichspannung, im Bereich von 0.1 Volt bis 25 Volt, insbesondere im Bereich von 1 Volt bis 10 Volt liegen.

[0049] Es kann auch eine gleichwirkende, materialabhängige Wechselspannung zur Energiezufuhr zwecks Erwärmung auf T_1 an den Bestromungsabschnitt angelegt werden.

[0050] Die Feder kann einen im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt mit einer Langseite von 50 Mikrometer bis 400 Mikrometer, insbesondere von 150 Mikrometer, und eine Kurzseite von 10 Mikrometer bis 60 Mikrometer, insbesondere zwischen 20 Mikrometer und 45 Mikrometer, oder 30 Mikrometer aufweisen. Grundsätzlich kann die Feder einen beliebigen Querschnitt aufweisen.

[0051] Anstatt mit Halteelementen wie oben beschrieben zu arbeiten, kann der Verformungsschritt der Halbwarmumformung oder der bei einer Temperatur unterhalb von T_1 stattfindenden Deformation auch mittels eines Formwerkzeugs mit zwei relativ zueinander beweglichen Pressbacken durchgeführt werden. Diese Pressbacken wirken komplementär zueinander. Es kann sein, dass nur eine oder beide Backen bewegt werden. Die Backen können konvex-konkave und/oder mit Ausnehmungen und Vorsprüngen versehen sein.

[0052] Zudem wird durch die Erfindung eine Feder, insbesondere eine Spiralfeder bzw. ein Uhrwerk mit einer Spiralfeder bereitgestellt.

[0053] Die vorliegende Erfindung macht die Einförmigkeit einer gewünschten Kurvenform in einen Kurvenabschnitt einer Feder also effizienter, da kein nachgeschaltetes Temperieren mehr notwendig ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0054] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden anhand die Zeichnungen beschrieben, die lediglich zur Erläuterung dienen und nicht einschränkend auszulegen sind. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 einen Kurvenabschnitt einer Spirale, welcher in zwei Stifte eingespannt ist und in einer Ausgangslage und einer durch erfindungsgemässe Umformung erreichten Endlage dargestellt ist;

Fig. 2 eine alternative Ausgestaltung der Stifte zur Ausführung der erfindungsgemässen Umformung;

Fig. 3 die Situation nach Fig. 1, wobei die Stifte anders bewegt werden, sodass der Kurvenabschnitt eine andere Endlage einnimmt;

Fig. 4 die Situation nach Fig. 1, wobei ein weiterer Stift zum Einnehmen einer komplexeren Endlage des Kurvenabschnitts vorgesehen ist;

Fig. 5 eine alternative Umformung mit einem Formwerkzeug mit zwei Pressbacken;

Fig. 6 die alternative Umformung nach Fig. 5 mit einem anderen Formwerkzeug; und

Fig. 7 die alternative Umformung nach Fig. 5 mit einem abermals anderen Formwerkzeug.

BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0055] **Figur 1** zeigt einen Ausschnitt einer aus einem Spiralband bestehenden Klinge 10, welche zu einer Spiralfeder 1 gebogen ist. Es sind die unverformte, also in Ausgangslage liegende Klinge 10a und die verformte, also in Endlage liegende Klinge 10 zu sehen. Fortan wird lediglich auf die Klinge 10 verwiesen, aus dem Kontext ist klar, ob diese die verformte oder die unverformte ist. Die Klinge 10 weist eine rechteckige Querschnittsform mit einer Langseite von etwa 150 Mikrometer und einer Kurzseite von etwa 20 Mikrometer bis 45 Mikrometer, insbesondere 30 Mikrometer auf. Figur 1 zeigt eine Draufsicht auf die Kurzseite der Klinge 10.

[0056] In der Ausgangslage folgt die unverformte Klinge 10 einer durchwegs konvex gebogenen Kurve und ist zwischen zwei Stiften 21, 22, welche als Halteelemente wirken, eingespannt. Diese Stifte 21, 22 weisen jeweils einen Schlitz 210, 220 auf. Die Stifte 21, 22 mit den Schlitz 210, 220 sind derart dimensioniert, dass die unverformte Klinge 10 in diese Schlitz 210, 220 eingelegt werden kann. Die Stifte 21, 22 weisen eine kreisförmigen Querschnitt auf, wobei ein Radius dieses Kreises das 3- bis 20-Fache der Länge der Kurzseite der Klinge 10 beträgt. Eine Tiefe des Schlitzes 210, 220 in Richtung einer Achse des jeweiligen Stiftes 21 bzw. 22 beträgt das 0.5- bis 10-Fache der Länge der Langseite der Klinge 10. Eine Schlitzbreite kann zwischen dem 2- bis 5-Fachen der Kurzseite der Klinge 10 betragen. Es können auch andere Stiftquerschnitte (Vieleck, Ellipse, ...) oder Schlitzdimensionen vorgesehen sein.

[0057] Funktionell soll der Schlitz 210, 220 derart dimensioniert sein, dass die Klinge 10 in den Schlitz 210, 220 einlegbar und durch Bewegung mindestens eines der Stifte 21, 22 erfindungsgemäss umformbar ist.

[0058] In einer Weiterbildung können die Schlitz 210, 220 die Klinge 10 leicht klemmen. Hierzu kann auch eine Klemmfeder oder eine Klemmschraube, vorzugsweise jedoch eine Klemmvorrichtung mit einer Klemmzange oder ein anderes Klemmmittel vorgesehen sein (nicht dargestellt).

[0059] Nach Fig. 1 ist die Ausrichtung der geraden Schlitz 210, 220, d.h. die Drehposition der Stifte 21, 22 bezüglich der Stiftachse, tangential an den Kurvenverlauf der unverformten Klinge 10 in Ausgangslage angepasst. Die Schlitz 210, 220 verlaufen also senkrecht zur Achse der Stifte 21, 22. Gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren wird nun

ein Verformung in den Kurvenabschnitt 100 zwischen den beiden Stiften 21, 22 eingebracht, indem man Abschnitte des Kurvenabschnitts, d.h. die Biegeabschnitte 1000, verbiegt, um einen Gangabstand der Spiralfeder 1 abschnittsweise zu verändern oder um das Spiralband auf eine andere, bezüglich einer Achse der Spiralfeder 1 versetzte Ebene zu führen.

[0060] Hierzu wird die Klinge 10 zuerst auf eine erste Temperatur T_1 erwärmt. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Temperatur T zumindest im Biegebereich 1000 des Kurvenabschnitts 100 durch Stromeinleitung in die elektrisch leitende Spiralfeder 1 erhöht. Hierzu wird über dem Kurvenabschnitt 100 eine elektrische Spannung angelegt. Vorzugsweise sind die Stifte 21, 22, welche den Kurvenabschnitt 100 begrenzen und feststellen, elektrisch leitend, wobei die Spannung dann direkt über die Stifte 21, 22 an die Klinge 10 angelegt wird, worauf ein Strom fließt, welcher auf Grund des elektrischen Widerstands der Leiter die Klinge 10 erwärmt.

[0061] Die lokale Erwärmung kann auch durch andere, herkömmliche Methoden wie Beflammung oder durch Kontaktwärme erzeugt werden.

[0062] Die Temperatur T des Biegeabschnitts 1000 wird lokal auf die erste Temperatur T_1 gebracht. Besonders bevorzugt wird, wenn die Klinge 10 abschnittsweise derart stark erwärmt wird, dass sie braun-rot zu glühen beginnt. Vorzugsweise wird die Klinge 10 nicht über 500°C bis 600°C geheizt, damit sie nicht zu weich wird.

[0063] Sobald die erste Temperatur T_1 erreicht ist, wird die Kurvenform durch Bewegung mindestens eines der Stifte 21, 22, nach Fig. 1 durch Bewegung des zweiten Stifts 22 entlang der Bewegungslinie 6 in Richtung des Pfeiles 5, eingeformt. Hierbei wird der Stift 22, je nach gewünschter Form, verdreht und/oder verschoben, womit die Klinge 10 aus der Ausgangslage in die gewünschte Endlage überführt wird. Nach Fig. 1 findet die Verschiebung in einer Ebene nach aussen statt, die Drehung beträgt etwa 20 Grad im Gegenuhrzeigersinn.

[0064] Durch die erhöhte Duktilität des erwärmten Spiralbandes sind bei dieser Art der Halbwarmumformung geringere Umformungskräfte als bei der Kaltverformung notwendig. Da es sich hierbei um eine Halbwarmumformung mit einer Materialtemperatur von T_1 , wie oben beschrieben. Es ist dann an dieser Stelle nicht mehr nötig, materialinterne Spannungen oder unerwünschte magnetische Eigenschaften aufgrund der Verformung durch nachträgliche Wärmebehandlung zu beseitigen, da das erfindungsgemäße Verfahren keine oder weniger solcher unerwünschten Effekte aufscheinen lässt, als eine Kaltverformung im umgeformten Material. Die Bestromung kann hierbei bis unmittelbar vor der Bewegung des mindestens einen Stifts 21, 22 oder auch bis zum Abschluss dieser Bewegung oder länger durchgeführt werden. Dies kann von Material und Geometrie der Spiralfeder 1 abhängen.

[0065] Es ist auch denkbar, dass die Halteelemente bereits vor Einspannung der Feder derart positioniert sind, dass sie die Feder in der gewünschten Endlage halten, wobei die Feder dann beim Einspannen deformiert wird. Danach wird, wie oben beschrieben, auf T_1 erwärmt.

[0066] Experimentell wurde festgestellt, dass für eine Spiralfeder 1 mit einer CGS-Nummer von 0.45 eine Stromstärke von $I = 0.1$ Ampere bei einer Spannung von ungefähr $U = 0.9$ Volt die erforderliche Erwärmung zur Umformung ergeben. Bei einer Spiralfeder 1 mit einem CGS-Wert von 7.5 hat sich herausgestellt, dass eine Stromstärke von $I = 0.2$ Ampere und eine Spannung von $U = 2.3$ Volt die Klinge 10 optimal erwärmen.

[0067] Für das erfindungsgemäße Verfahren ist es also vorteilhaft, wenn je nach Material und Geometrie der Klinge 10, ein Strom zwischen 0.01 Ampere und 1 Ampere und einer Spannung zwischen 0.1 Volt und 10 Volt an den Kurvenabschnitt bzw. an die umzuformenden Kurvenabschnitte der Spiralfeder angelegt werden.

[0068] Experimente haben gezeigt, dass bei einer Spiralfeder mit einer CGS-Nummer von 7.5 folgende Werte für die elektrische Erwärmung nutzbar sind:

Stromstärke $I = 0,1$ Ampere, Spannung $U = 2.9$ Volt;
 Stromstärke $I = 0.2$ Ampere, Spannung $U = 2.5$ Volt;
 Stromstärke $I = 0.3$ Ampere, Spannung $U = 2.0$ Volt;
 Stromstärke $I = 0.4$ Ampere, Spannung $U = 1.8$ Volt;
 Stromstärke $I = 0.6$ Ampere, Spannung $U = 1.7$ Volt;
 Stromstärke $I = 1.0$ Ampere, Spannung $U = 1.5$ Volt; und
 Stromstärke $I = 1.2$ Ampere, Spannung $U = 1.4$ Volt.

Diese Werte sind abhängig von der Länge, dem Durchmesser und der Klinge 10 und der Stifte 21, 22.

[0069] Die bestromten Abschnitte können so bspw. eine Länge von 2 Millimeter bis 20 Millimeter aufweisen.

[0070] In **Figur 2** werden als Halteelemente zwei Stifte 23, 24 gezeigt, welche sich jeweils durch das Vorhandensein einer Durchgangöffnung 230, 240 statt eines Schlitzes 210, 220 von den Stiften 21, 22 unterscheiden. Durch das Vorsehen der Durchgangöffnung 230, 240 ist auch eine kontrollierte Bewegung in Richtung der Achse des Stiftes 23, 24 möglich. Die Greifabschnitte werden besser gegriffen. Eine solche Einspannung mit den Stiften 23, 24 erlaubt es also, einen Höhenknick aus der Ebene der Spiralfeder 1 in einen Kurvenabschnitt 100 zu formen. Die Halbwarmumformung wird durch Verschieben des beweglichen Stiftes 24 in Richtung des Pfeiles 5 aus der Ebene der Spiralfeder 1 erreicht. Es kann zusätzlich noch ein Drehbewegung vorgenommen werden (nicht dargestellt). Auch hier ist es so, dass vorzugsweise über die Stifte 23, 24, welche entsprechend elektrisch leitend ausgestaltet sind, die Verformung und die

Rekristallisation in einem Arbeitsgang auszuführen. Die Halbwarmumformung nach Figur 2 kann bspw. bei der Herstellung von Breguet-Spiralen verwendet werden.

[0071] Figur 3 zeigt, dass der Kurvenabschnitt 100, welcher durch den Abschnitt der Klinge 10 zwischen den beiden Stiften 21, 22 begrenzt ist, nicht nur als Kreissegment umformbar ist, sondern dass durch die entsprechende Drehstellung des Schlitzes 210, 220 der Stifte 21, 22 eine andere Kurvenform in die Spiralfeder 1 eingebracht werden kann. Mit dem erfindungsgemässen Verfahren können also eine Vielzahl von Kurvenformen in die Spiralen eingebracht werden, wobei die Position des Stiftes 21, 22 im Raum und/oder die achsiale Drehposition des Stiftes 21, 22 geregelt werden.

[0072] Figur 4 zeigt eine Ausführungsform des Verfahrens, wobei lediglich ein Stift 21 in Ruhe bleibt und deren zwei Stifte 22, 25 bewegt werden. Die Drehstellungen der Stifte 22, 25 werden beim Verschieben der Stifte 22, 25 in der Ebene entlang der Verschiebungspfade 61, 62, 63 so geregelt, dass eine gewünschte Kurvenform aus der Halbwarmumformung resultiert. Auch hier handelt es sich um ein Verfahren der Halbwarmumformung, das heisst, die Klinge 10 ist bei der Umformung auf einer Temperatur T_1 wie oben beschrieben. Durch das Vorsehen von mehr als zwei Stiften 21, 22, 25 ist es möglich, komplexere Kurvenformen in die Spirale 1 einzubringen.

[0073] Figur 5 zeigt eine alternative Ausführungsform, welche die Verwendung von Stiften 21-25 nicht erfordert. Die Stifte 21-25 können jedoch auch hier verwendet werden, um die Halbwarmumformung besser zu führen. Auch hier wird die Klinge 10 auf die erste Temperatur T_1 erwärmt, wobei dann ein Formwerkzeug 3 mit einer ersten Pressbacke 31 und einer zweiten Pressbacke 32 verwendet werden. Die Pressbacken 31, 32 weisen komplementär zueinander geformte, einander zugeordnete erste und zweite Pressflächen 310 bzw. 320 auf, welche nach Fig. 5 rund sind. Durch Pressen des warmen Biegeabschnitts 1000 der Klinge 10 wird die Halbwarmumformung bewirkt. Durch das Vorsehen von solchen Formwerkzeugen ist es möglich, komplexere Strukturen, welche durch die Verschiebung von der Klinge 10 greifenden Stiften 21-25 im Raum nicht möglich sind. Zur Erwärmung können die Backen 31, 32 entsprechend heiss sein, oder es wird wiederum ein Strom durch den Kurvenabschnitt 100 geleitet. Zur Stromeinleitung können erneut Stifte oder andere Kontaktelemente benutzt werden.

[0074] Figur 6 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens, wobei die erwärmte Klinge 10 ebenfalls zwischen zwei Pressbacken 33, 34 eines weiteren Formwerkzeugs 3 eingebracht wird. Im Unterschied zu den Backen 31, 32 nach Fig. 5 weisen diese Backen 33, 34 anders ausgeformte dritte und vierte Pressflächen 330 bzw. 340 auf. Die dritte Pressfläche 330 weist eine Ausnehmung 331 auf; die vierte Pressfläche 340 weist einen Pressvorsprung 341 auf, welcher zum Eingriff in die Ausnehmung 331 ausgebildet ist. Mit einem solchen Formwerkzeug 3 nach Fig. 6 können relative kleine Strukturen in die warme Klinge 10 eingebracht werden. Durch diese Art der Umformung gemäss Figur 6 ist es bspw. möglich, die Steifheit der Spiralfeder 1 lokal durch Einbringen von Strukturen, welche sich auf einen kurzen Abschnitt der Klinge 10 beschränkt. Kurz meint hier eine Länge bis zu einer halben Windung oder vom 0.5- bis 5-Fachen, insbesondere etwa dem 2-Fachen der Kurzseite des Querschnitts der Klinge 10. So können bspw. verschiedene an sich anschliessende Abschnitte der Klinge 10 durch verschiedene Formen in eine bestimmte Konfiguration gebracht werden, sodass gewünschte Effekte bezüglich der Steifheit der Klinge 10 erreicht werden können.

[0075] Figur 7 zeigt eine weitere Struktur, welche durch die Pressflächen 350, 351 in einen warmen Kurvenabschnitt 100 der Spirale 1 einbringbar sind.

[0076] Die Spiralfeder 1 kann also insbesondere dadurch hergestellt werden, dass das Spiralband 10 in eine Biegefeder 1 umgeformt wird und bei 600°C bis 630°C während etwa zwei Stunden im Vakuum fixiert wird. Danach wird eine Halbwarmumformung der Rohspiralfeder 1 vorgenommen, wobei bei der Halbwarmumformung zumindest der Biegeabschnitt 100 auf die erste Temperatur T_1 , vorzugsweise bei ungefähr 500°C, erwärmt wird. Alternativ kann die Spiralfeder 1 elastisch deformiert werden, sodass sie eine gewünschte Endlage einnimmt, worauf dann die Spiralfeder 1, d.h. zumindest deren Biegeabschnitt 1000 auf T_1 erwärmt wird und so die Umformung stattfindet. Es ist auch denkbar, dass die Bewegung der Feder aus einer Ausgangslage in die Endlage parallel zur Erwärmung auf T_1 vorgenommen wird.

[0077] Nach dieser Umformung kann allenfalls eine weitere thermische Behandlung durchgeführt werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	spiralförmige Biegefeder		
10a	Klinge in Ausgangslage	3	Formwerkzeug
10	Klinge in Endlage	31	erste Pressbacke
121	erster Greifabschnitt von 10	310	erste Pressfläche von 31
122	zweiter Greifabschnitt von 10	32	zweite Pressbacke
125	fünfter Greifabschnitt von 10	320	zweite Pressfläche von 32
100	Kurvenabschnitt	33	dritte Pressbacke
1000	Biegeabschnitt	330	dritte Pressfläche von 33
		331	Ausnehmung
21	erster Stift	34	vierte Pressbacke

(fortgesetzt)

	210	erster Schlitz in 21	340	vierte Pressfläche von 34
	22	zweiter Stift	341	Biegevorsprung
5	220	zweiter Schlitz in 22	350	fünfte Pressfläche
	23	dritter Stift	351	sechste Pressfläche
	230	dritter Schlitz in 23		
	24	vierter Stift	5	Bewegungsrichtung
	240	vierter Schlitz in 24		
10	25	fünfter Stift	6, 61, 62, 63	Bewegungslinie
	250	fünfter Schlitz in 25		

Patentansprüche

1. Verfahren zur Umformung einer mechanischen Feder (1), insbesondere einer Spiralfeder für ein Uhrwerk, umfassend die Schritte:

- i) Bereitstellen der Feder (1), wobei die Feder (1) mindestens einen zur Umformung vorgesehenen Kurvenabschnitt (100) mit mindestens einem Biegeabschnitt (1000) umfasst; danach
- ii) lokale Erwärmung zumindest des Biegeabschnitts (1000), insbesondere des ganzen Kurvenabschnitts (100), auf eine erste Temperatur T_1 , wobei die erste Temperatur T_1 oberhalb der Raumtemperatur und unterhalb einer Rekristallisationstemperatur T_{RK} eines Materials des Biegeabschnitts (1000) liegt; und
- iii) Bewegung des Biegeabschnitts (1000), vorzugsweise des ganzen Kurvenabschnitts (100), zwecks Einbringens einer vorbestimmten Kurvenform in den Kurvenabschnitt (100),

wobei die Bewegung gemäss Schritt iii) zeitlich nach oder während Schritt ii) erfolgt und eine Halbwarmumformung ist, oder

wobei die Bewegung nach Schritt iii) zeitlich vor Schritt ii) erfolgt und eine elastische Deformation ist, sodass der Biegeabschnitt die gewünschte Endform einnimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Temperatur T_1 über 100°C liegt und/oder in einem Bereich von 30% der Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C des Materials des Biegeabschnitts (1000) bis zu dieser Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C liegt, vorzugsweise in einem Bereich von 50% dieser Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C bis zu 70% dieser Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C, insbesondere bei 60% bis 65% dieser Rekristallisationstemperatur T_{RK} in °C liegt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Material des Biegeabschnitts (1000) bzw. des Kurvenabschnitts (100) ein Nickel-Eisen-Legierung ist und/oder die erste Temperatur T_1 im Bereich von 300°C bis 750°C liegt, vorzugsweise im Bereich von 450°C bis 700°C liegt, bevorzugt im Bereich von 550°C bis 650°C liegt, besonders bevorzugt im Bereich von 600°C bis 620°C liegt, und insbesondere bei 610°C liegt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Feder (1) oder der Kurvenabschnitt (100) oder der Biegeabschnitt (1000) in Schritt ii) nur während 0.1 Sekunde bis 60 Sekunden, vorzugsweise nur während 0.5 Sekunde bis 30 Sekunden, vorzugsweise nur während 0.5 Sekunden bis 5 Sekunden und insbesondere nur während 2 Sekunden bis 5 Sekunden des ganzen Kurvenabschnitts (100) auf der ersten Temperatur T_1 ist und dann abgekühlt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Feder (1) vor Schritt i) vorzugsweise während 100 Minuten bis 150 Minuten, insbesondere während 120 Minuten, bei einer Fixierungstemperatur fixiert wird, welche Fixierungstemperatur insbesondere im Bereich von 580°C bis 630°C, vorzugsweise im Bereich von 600°C bis 610°C, oder höher als T_1 ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Biegeabschnitt (1000), vorzugsweise der ganze Kurvenabschnitt (100) oder die ganze Feder (1), nach Schritt iii) einer weiteren Wärmebehandlung unterzogen wird, bei welcher der Biegeabschnitt (1000), vorzugsweise der ganze Kurvenabschnitt (100) oder die ganze Feder (1), während 1 bis 24 Stunden auf vorzugsweise 250°C bis 350°C, insbesondere auf 300°C, gehalten wird.

7. Verfahren nach einem Ansprüche 1 bis 6, wobei die Feder (1) eine Spiralfeder ist und/oder wobei der Kurvenabschnitt (100) gleich lang wie oder weniger lang als eine ganze Windung, vorzugsweise gleich lang wie oder weniger lang als eine halbe Windung einer vorzugsweise äusseren, insbesondere äussersten, Windung der Feder (1) ist, wobei der Kurvenabschnitt (100) vorzugsweise eine Endkurve der Spiralfeder (1) ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Kurvenabschnitt (100) mindestens einen ersten und zweiten Greifabschnitt (121,122;123,124;125) aufweist; wobei diese Greifabschnitte (121,122;123,124;125) jeweils in ein Halteelement (21,22;23,24;25) eingebracht werden, wobei bei der Bewegung des Biegeabschnitts (1000) mindestens eines der Halteelemente (21,22;23,24;25) bewegt wird, um die Umformung des Biegeabschnitts (1000) zu bewirken.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Halteelemente (21,22;23,24;25) als Stifte ausgebildet sind.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Halteelemente (21,22;23,24;25) eine Ausnehmung (210,220;230,240;250), insbesondere einen Schlitz oder ein Durchgangsloch, zum Einbringen der Greifabschnitte (121,122;123,124;125) aufweisen.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Bewegung des mindestens einen Halteelements (21,22;23,24;25) eine Änderung einer Drehposition des Halteelements (21,22;23,24;25) und/oder eine Verschiebung des Halteelements (21,22;23,24;25) im Raum umfasst.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Erwärmung auf die erste Temperatur T_1 durch elektrische Bestromung des Biegeabschnitts (1000), insbesondere des Kurvenabschnitts (100), erzeugt wird, wobei die Halteelemente (21,22;23,24;25) vorzugsweise elektrisch leitend sind und eine elektrische Spannung, vorzugsweise eine Gleichspannung, über zumindest eines, vorzugsweise zumindest zwei der Halteelemente (21,22;23,24;25) angelegt wird, wobei eine Stromstärke im Bereich von 0.001 Ampere und 10 Ampere, vorzugsweise im Bereich von 0.01 Ampere bis 1 Ampere und eine Spannung, vorzugsweise eine Gleichspannung, im Bereich von 0.1 Volt bis 25 Volt, insbesondere im Bereich von 1 Volt bis 10 Volt liegt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Feder (1) einen im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt mit einer Langseite von 50 Mikrometer bis 400 Mikrometer, insbesondere von 150 Mikrometer, und eine Kurzseite von 10 Mikrometer bis 60 Mikrometer, insbesondere zwischen 20 Mikrometer und 45 Mikrometer, oder von 30 Mikrometer aufweist.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Bewegung des Biegeabschnitts (1000) durch ein Formwerkzeug (3) mit zwei relativ zueinander beweglichen Pressbacken (31,32;33,34) durchgeführt wird.

Claims

1. A method for forming a mechanical spring (1), in particular a spiral spring for a clockwork, comprising the steps of:
 - i) providing the spring (1), wherein the spring (1) comprises at least one curved section (100) intended for forming with at least one bending section (1000); thereafter
 - ii) locally heating at least the bending section (1000), in particular the entire curved section (100), to a first temperature T_1 , wherein the first temperature T_1 is above room temperature and below a recrystallization temperature T_{RK} of a material of the bending section (1000); and
 - iii) moving the bending section (1000), preferably the entire curved section (100), for introducing a predetermined curve shape into the curved section (100),wherein the movement according to step iii) occurs temporally after or during step ii) and is a semi-hot forming, or wherein the movement according to step iii) occurs temporally before step ii) and is an elastic deformation so that the bending section takes the desired final shape.
2. The method according to claim 1, wherein the first temperature T_1 is above 100°C and/or is in a range from 30% of the recrystallization temperature T_{RK} in °C of the material of the bending section (1000) up to this recrystallization temperature T_{RK} in °C, preferably in a range from 50% of this recrystallization temperature T_{RK} in °C up to 70% of this recrystallization temperature T_{RK} in °C, in particular at 60% to 65% of this recrystallization temperature T_{RK} in °C.

3. The method according to any one of claims 1 to 3, wherein the material of the bending section (1000) or of the curved section (100) is a nickel-iron alloy and/or the first temperature T_1 lies in the range from 300°C to 750°C, preferably lies in the range from 450°C to 700°C, preferably lies in the range from 550°C to 650°C, particularly preferably lies in the range from 600°C to 620°C, and in particular lies at 610°C.
4. The method according to any one of claims 1 to 3, wherein the spring (1) or the curved section (100) or the bending section (1000) in step ii) is at the first temperature T_1 only during 0.1 second to 60 seconds, preferably only during 0.5 second to 30 seconds, more preferably only during 0.5 seconds to 5 seconds, and in particular only during 2 seconds to 5 seconds of the entire curved section (100) and is then cooled.
5. The method according to any one of claims 1 to 4, wherein the spring (1) is fixed before step i) preferably during 100 minutes to 150 minutes, in particular during 120 minutes, at a fixing temperature, which fixing temperature is in particular in the range of 580°C to 630°C, preferably in the range of 600°C to 610°C, or higher than T_1 .
6. The method according to any one of claims 1 to 5, wherein the bending section (1000), preferably the entire curved section (100) or the entire spring (1), is subjected after step iii) to a further heat treatment in which the bending section (1000), preferably the entire curved section (100) or the entire spring (1), is kept at preferably 250°C to 350°C, in particular at 300°C, for 1 to 24 hours.
7. The method according to any one of claims 1 to 6, wherein the spring (1) is a spiral spring and/or wherein the curved section (100) is as long as or less than a whole turn, preferably as long as or less than half a turn of a preferably outer, in particular outermost, turn of the spring (1), wherein the curved section (100) is preferably an end curve of the spiral spring (1).
8. The method according to any one of claims 1 to 7, wherein the curved section (100) comprises at least a first and a second gripping section (121,122;123,124;125); wherein these gripping sections (121,122;123,124;125) are each introduced into a holding element (21,22;23,24;25), wherein during the movement of the bending section (1000) at least one of the holding elements (21,22;23,24;25) is moved to effect the deformation of the bending section (1000).
9. The method according to claim 8, wherein the holding elements (21,22;23,24;25) are formed as pins.
10. The method according to claim 8 or 9, wherein the holding elements (21,22;23,24;25) have a recess (210,220;230,240;250), in particular a slot or a through hole, for the insertion of the gripping sections (121,122;123,124;125),
11. The method according to any one of the preceding claims, wherein the movement of the at least one holding element (21,22;23,24;25) comprises a change of a rotational position of the holding element (21,22;23,24;25) and/or a displacement of the holding element (21,22;23,24;25) in space.
12. The method according to one of claims 1 to 11, wherein the heating to the first temperature T_1 is generated by electrically energizing the bending section (1000), in particular the curved section (100), wherein the holding elements (21,22;23,24;25) are preferably electrically conductive and an electrical voltage, preferably a DC voltage, is applied across at least one, preferably at least two, of the holding elements (21,22;23,24;25), wherein a current strength lies in the range of 0.001 ampere and 10 ampere, preferably in the range from 0.01 ampere to 1 ampere, and a voltage, preferably a DC voltage, being in the range from 0.1 volt to 25 volt, in particular in the range from 1 volt to 10 volt.
13. The method according to any one of claims 1 to 12, wherein the spring (1) has a substantially rectangular cross-section with a long side of 50 micrometer to 400 micrometer, in particular of 150 micrometer, and a short side of 10 micrometer to 60 micrometer, in particular between 20 micrometer and 45 micrometer, or of 30 micrometer.
14. The method according to any one of claims 1 to 7, wherein the movement of the bending section (1000) is carried out by a forming tool (3) with two pressing jaws (31,32;33,34) movable relative to each other.

Revendications

1. Procédé de formage d'un ressort mécanique (1), en particulier un ressort hélicoïdal pour un mouvement d'horloge,

comprenant les étapes:

- i) fournir le ressort (1), le ressort (1) comprenant au moins une section courbe (100) prévue pour la déformation avec au moins une section de courbement (1000); puis
- ii) chauffer localement au moins la section de courbement (1000), en particulier de toute la section courbe (100), à une première température T_1 , la première température T_1 étant supérieure à la température ambiante et inférieure à une température de recristallisation T_{RK} d'un matériau de la section de courbement (1000); et
- iii) déplacement de la section de courbement (1000), de préférence de toute la section courbe (100), dans le but d'introduire une forme de courbe prédéterminée dans la section de courbe (100),

dans lequel le mouvement selon l'étape iii) a lieu après ou pendant l'étape ii) et est un forgeage à mi-chaud, ou dans lequel le mouvement selon l'étape iii) a lieu avant l'étape ii) et constitue une déformation élastique, de sorte que la section de courbement (1000) adopte la forme finale désirée.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la première température T_1 est supérieure à 100 ° C et / ou est comprise entre 30% de la température de recristallisation T_{RK} en ° C du matériau de la section de courbement (1000) à cette température de recristallisation T_{RK} en ° C, de préférence dans une plage de 50% de cette température de recristallisation T_{RK} en ° C jusqu'à 70% de cette température de recristallisation T_{RK} en ° C, en particulier à 60% à 65% de cette température de recristallisation T_{RK} en ° C.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le matériau de la section de courbement (1000) respectivement de la section courbe (100) est un alliage nickel-fer et / ou la première température T_1 est comprise entre 300 ° C et 750 ° C, de préférence est dans la plage de 450 ° C à 700 ° C, de préférence dans la plage de 550 ° C à 650 ° C, de manière particulièrement préférée dans la plage de 600 ° C à 620 ° C, et en particulier à 610 ° C.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le ressort (1) ou la section courbe (100) ou la section de courbement (1000) à l'étape ii) est à la première température T_1 seulement pendant 0,1 seconde à 60 secondes, de préférence seulement pendant 0,5 seconde à 30 secondes, de préférence seulement pendant 0,5 secondes à 5 secondes, et en particulier seulement pendant 2 secondes à 5 secondes de la totalité de la section courbe (100) et est ensuite refroidi.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le ressort (1) est fixé avant l'étape i) de préférence pendant 100 minutes à 150 minutes, en particulier pendant 120 minutes, à une température de fixation, laquelle température de fixation est notamment comprise à partir de 580 ° C à 630 ° C, de préférence dans la plage de 600 ° C à 610 ° C, ou est supérieure à T_1 .
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la section de courbement (1000), de préférence toute la section courbe (100) ou tout le ressort (1), est soumise à un autre traitement thermique après l'étape iii), au cours duquel la section de courbement (1000), de préférence la totalité de la section courbe (100) ou la totalité du ressort (1) est maintenue à 250 ° C à 350 ° C, en particulier à 300 ° C, pendant 1 à 24 heures.
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le ressort (1) est un ressort en hélicoïdal et / ou dans lequel la section courbe (100) est aussi longue ou moins longue qu'un tour complet, de préférence aussi longue ou moins longue qu'une moitié d'un demi-tour d'un tour extérieur, en particulier le plus à l'extérieur, du ressort (1), dans lequel la section courbe (100) est de préférence une courbe terminale du ressort hélicoïdal (1).
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la section de courbe (100) a au moins une première et une seconde section de préhension (121, 122; 123, 124; 125); ces sections de préhension (121, 122; 123, 124; 125) étant chacune introduites dans un élément de maintien (21, 22; 23, 24; 25), dans lequel pendant le déplacement de la section de courbement (1000) au moins l'un des éléments de maintien des éléments (21, 22; 23, 24; 25) est déplacé pour effectuer la déformation de la section de courbement (1000).
9. Procédé selon la revendication 8, les éléments de maintien (21, 22; 23, 24; 25) étant réalisés sous forme de broches.
10. Procédé selon la revendication 8 ou 9, dans lequel les éléments de maintien (21, 22; 23, 24; 25) présentent un évidement (210, 220; 230, 240; 250), en particulier une fente ou un trou traversant, pour introduire les sections de préhension (121, 122; 123, 124; 125).

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le mouvement d'au moins un élément de maintien (21, 22; 23, 24; 25) entraîne un changement de position de rotation de l'élément de maintien (21, 22; 23, 24 ; 25) et / ou un déplacement de l'élément de maintien (21,22; 23,24; 25) dans l'espace.

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, le chauffage à la première température T_1 étant généré par excitation électrique de la section de courbement (1000), en particulier de la section courbe (100), des éléments de maintien (21, 22; 23, 24; 25) étant de préférence électriquement conducteurs et une tension électrique, de préférence une tension continue est appliquée par l'intermédiaire d'au moins un, de préférence au moins deux des éléments de maintien (21, 22; 23, 24; 25), et un courant dans la plage de 0,001 ampères et 10 ampères, de préférence dans la plage de 0,01 ampère à 1 ampère et une tension, de préférence une tension continue, dans la plage de 0,1 volts à 25 volts, en particulier dans la plage de 1 volt à 10 volts.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel le ressort (1) a une section transversale sensiblement rectangulaire avec un côté long de 50 micromètres à 400 micromètres, en particulier 150 micromètres, et un côté court de 10 micromètres à 60 micromètres, en particulier entre 20 micromètres et 45 micromètres ou 30 micromètres.

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, le déplacement de la section de courbement (1000) étant réalisé par un outil de formage (3) à deux mâchoires de pression (31, 32; 33, 34) mobiles l'une par rapport à l'autre.

FIG. 1

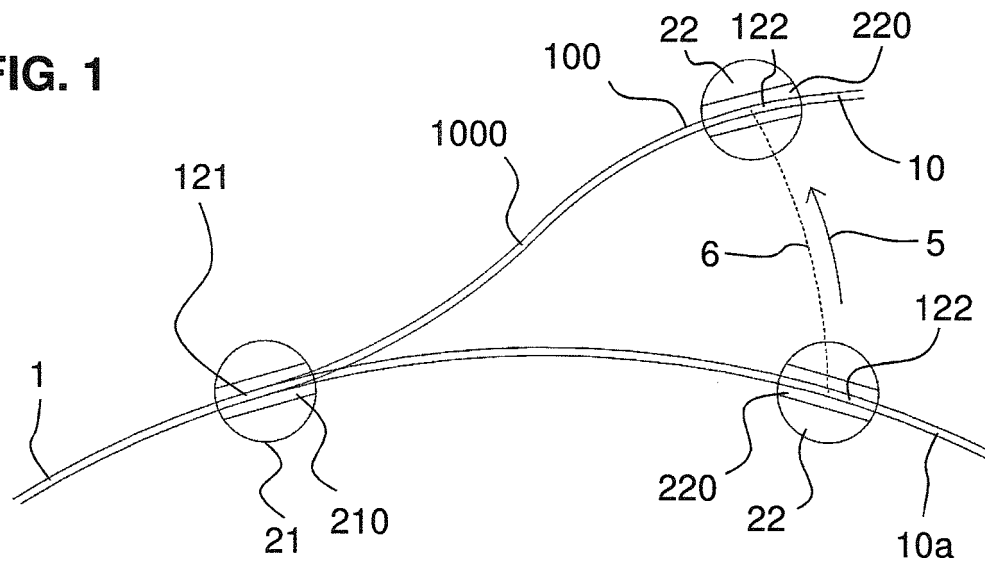
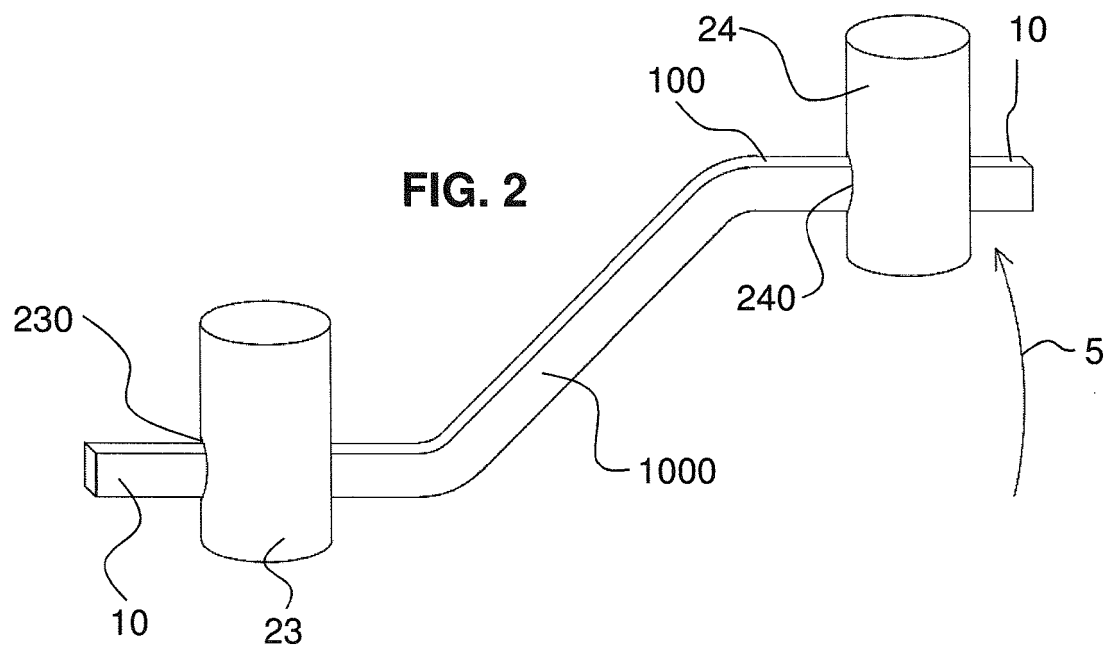


FIG. 2



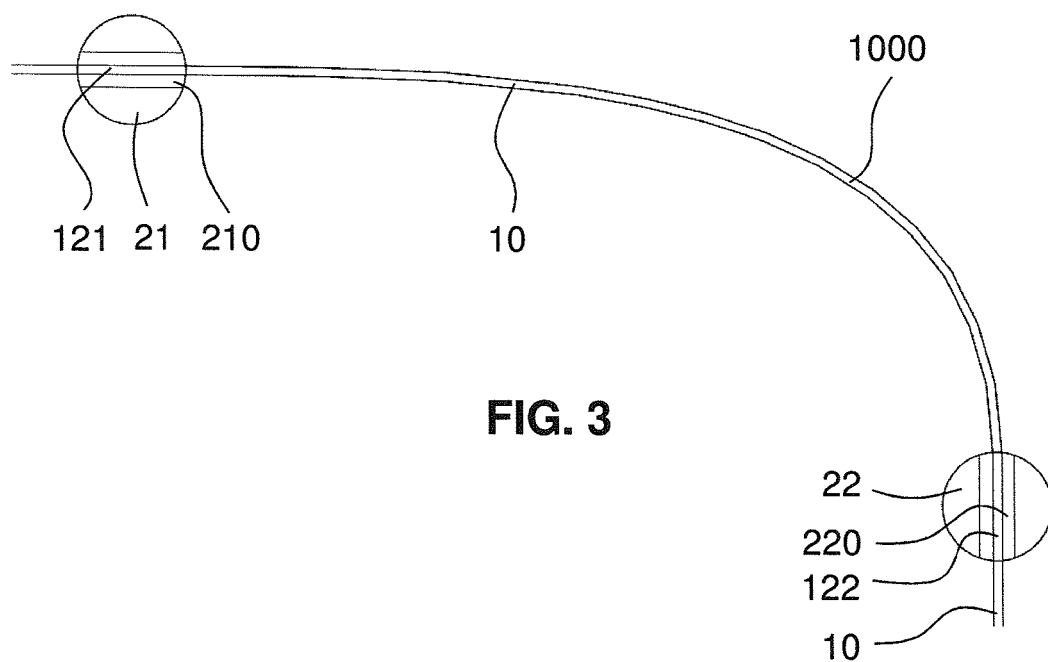


FIG. 3

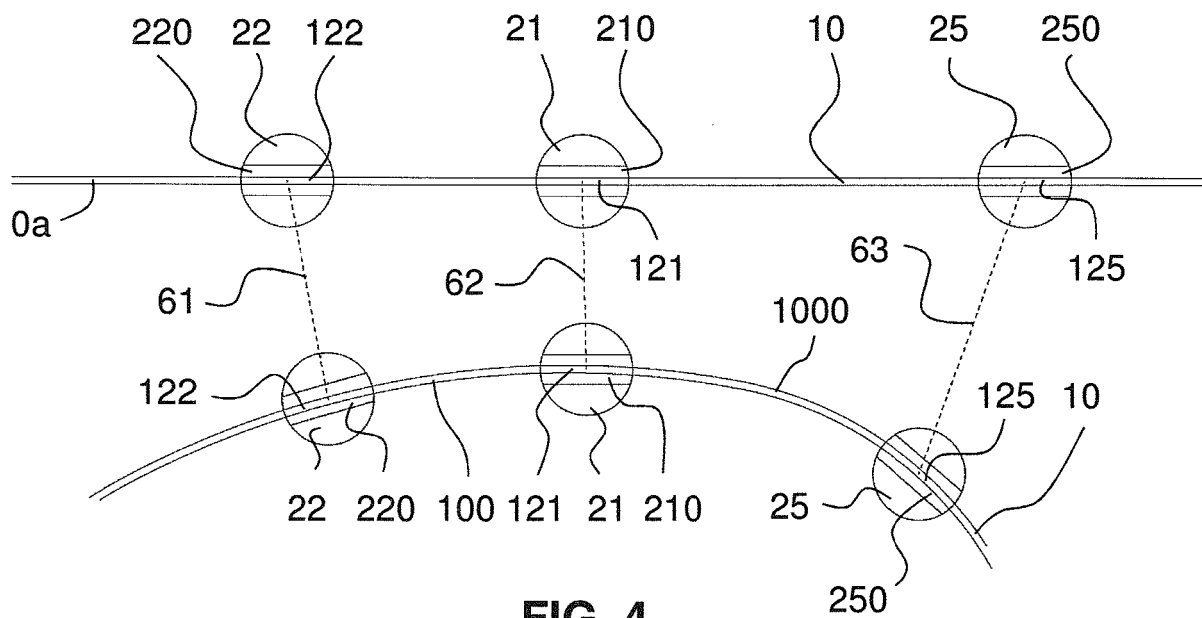


FIG. 4

FIG. 5

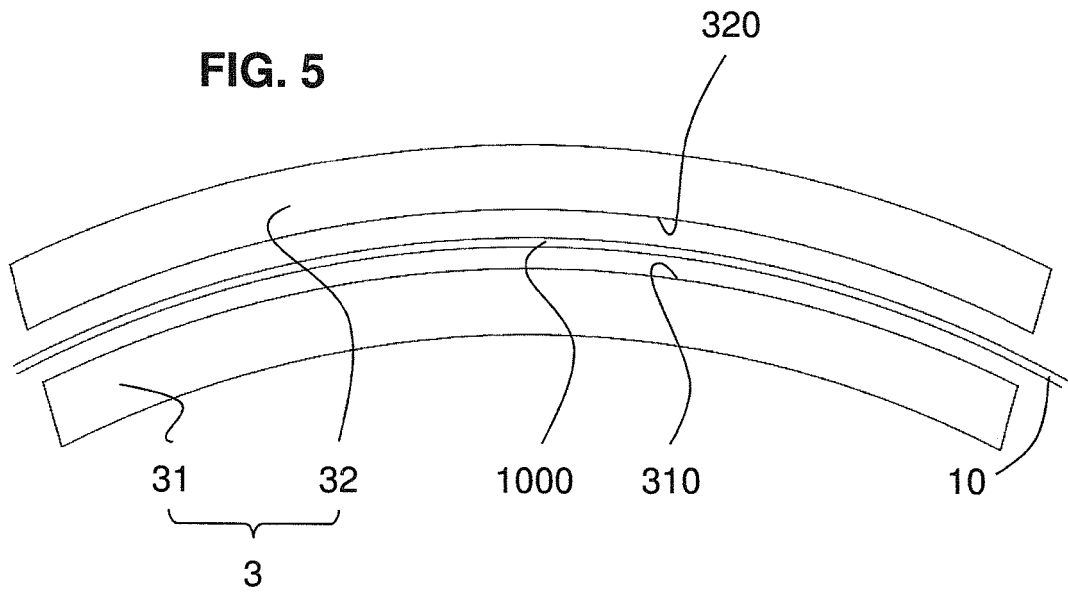
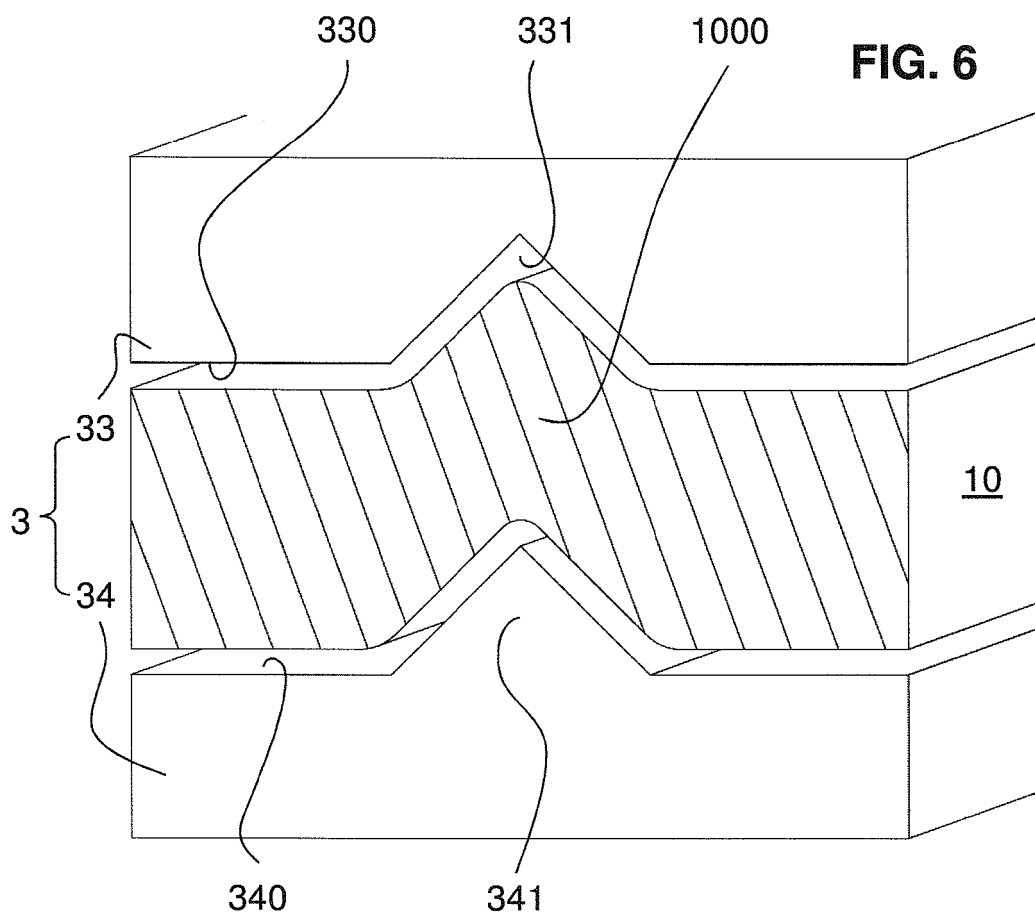


FIG. 6



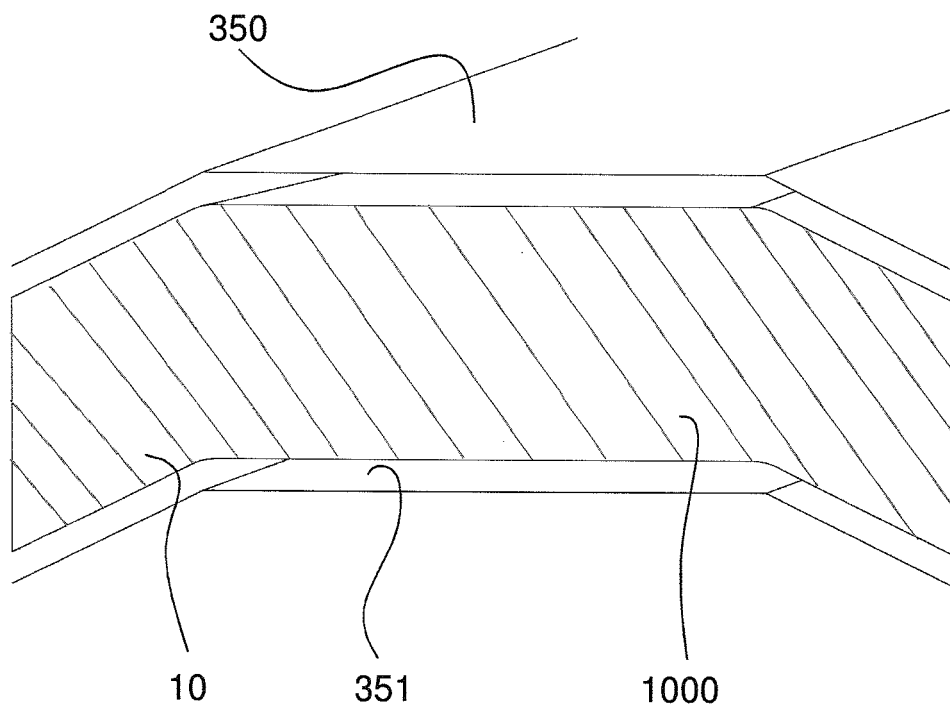


FIG. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0911707 A [0002]
- CH 706233 A2 [0003]
- US 5907524 A [0003]