

(19)



(11)

EP 3 783 120 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.02.2021 Patentblatt 2021/08

(51) Int Cl.:
C21D 8/06 ^(2006.01) **C21D 9/02** ^(2006.01)
C21D 9/52 ^(2006.01) **C22C 38/02** ^(2006.01)
C22C 38/04 ^(2006.01) **E01B 9/28** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19193224.3**

(22) Anmeldetag: **23.08.2019**

(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**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Vossloh Fastening Systems GmbH
 58791 Werdohl (DE)**

(72) Erfinder:
 • **HU, Lei**
57072 Siegen (DE)
 • **WOLF, Dennis**
58097 Hagen (DE)

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack
 Patent- & Rechtsanwälte
 Partnerschaftsgesellschaft mbB
 Bleichstraße 14
 40211 Düsseldorf (DE)**

(54) **FEDERDRAHT, DARAUS GEFORMTE SPANNKLEMME UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN
 EINES SOLCHEN FEDERDRAHTS**

(57) Die Erfindung stellt einen Federdraht zur Verfügung, der sich auch bei Durchmessern von mindestens 9 mm gut kaltverformen lässt, dabei jedoch verbesserte mechanische Eigenschaften besitzt. Hierzu ist ein erfindungsgemäßer Federdraht hergestellt aus einem Stahl, der aus, in Gew.-%, C: 0,35 - 0,42 %, Si: 1,5 - 1,8 %, Mn: 0,5 - 0,8 %, Cr: 0,05 - 0,25 %, Nb: 0,020 - 0,10 %, V: 0,020 - 0,10 %, N: 0,0040 - 0,0120 %, Al: ≤ 0,03 %, und als Rest Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen

besteht, wobei der Gehalt der Summe an Verunreinigungen auf höchstens 0,2 % beschränkt ist und zu den Verunreinigungen bis zu 0,025 % P und bis zu 0,025 % S zählen. Der erfindungsgemäße Federdraht eignet sich insbesondere zur Herstellung einer Spannklemme mit optimierten Gebrauchseigenschaften. Die Erfindung offenbart auch ein Verfahren, das die praxisgerechte Erzeugung von erfindungsgemäßen Federdrähten ermöglicht.

EP 3 783 120 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Federdraht, der aus einem Federstahl mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,35 - 0,42 Gew.-% hergestellt ist.

[0002] Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Spannklemme zum Niederhalten einer Schiene für Schienenfahrzeuge in einem Schienenbefestigungspunkt, die aus einem solchen Federdraht geformt ist, und ein Verfahren zur Herstellung eines Federdrahts der hier in Rede stehenden Art.

[0003] In einem "Schienenbefestigungspunkt" ist die jeweils zu befestigende Schiene auf dem Untergrund befestigt, der das Gleis, zu dem die Schiene gehört, trägt. Der Untergrund kann dabei durch eine konventionelle, aus Holz bestehende Schwelle oder durch Schwellen oder Platten gebildet sein, die aus einem Beton- oder einem Kunststoff-Werkstoff geformt sind. Der Schienenbefestigungspunkt umfasst typischerweise mindestens eine Führungsplatte, die seitlich an der Schiene anliegt und im Gebrauch die auf die Schiene wirkende Querkkräfte in den Untergrund ableitet, und eine Spannklemme, die gegen den Untergrund die Spannklemmen verspannt ist. Die Spannklemme übt mit dem Ende mindestens eines Federarms auf den Schienenfuß eine elastisch federnde Niederhaltekräfte aus, durch die die Schiene gegen den Untergrund gedrückt gehalten wird. Besonders effektiv lassen sich die Niederhaltekräfte durch W- oder ω -förmig geformte Spannklemmen aufbringen, die mit den freien Enden ihrer beiden Federarme auf den Schienenfuß wirken. Beispiele für derartig geformte Spannklemmen sind die unter URL <https://www.vossloh.com/de/produkte-und-loesungen/produktfinder/> (Auffinddatum 12. August 2019) erläuterten Produkte.

[0004] Die Federdrähte, die für die Erzeugung von Spannklemmen benötigt werden, weisen typischerweise kreisrunde Durchmesser von 9 - 15 mm auf. Dabei sind im praktischen Gebrauch die einzelnen Abschnitte einer Spannklemme, entweder überwiegend biege- oder torsionsbelastet, wobei zu der jeweils dominierenden Belastung mehr oder weniger starke Anteile der jeweils anderen Belastungsform hinzukommen können.

[0005] Die übliche Herstellungsrouten für ihre Herstellung umfasst die Arbeitsschritte "Vergießen einer Stahlschmelze zu Barren", "Durcherwärmen der Barren" und "Warmwalzen der Barren zu einem Federdraht", "Abkühlen des warmgewalzten Federdrahts" und "Ablegen oder Wickeln des Federdrahts zu einem Coil", wobei das Warmwalzen üblicherweise in mehreren Schritten durchgeführt wird, die ein Vorwalzen, Zwischenwalzen und Fertigwalzen der Bramme zu dem Federdraht umfassen. Die hierbei zu durchlaufenden Arbeitsschritte und zu beachtenden Einflussgrößen sind dem Fachmann bekannt (s. beispielsweise Stahl Fibel, 2015, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, ISBN 978-3-514-00815-1)..

[0006] Aus den so erzeugten Federdrähten werden die Spannklemmen kaltgeformt. Hierzu werden von den Federdrähten Stäbe abgelängt, die dann in der Regel in mehreren Schritten zu der Spannklemme gebogen werden. Auf diese Weise ist es möglich, Spannklemmen von komplexer Formgebung zu erzeugen. Die erhaltenen Spannklemmen werden abschließend einer Wärmebehandlung unterzogen, bei der sie auf eine oberhalb der Ac3 liegenden Temperatur erwärmt und anschließend abgeschreckt werden, um durch Härten ihre mechanischen Eigenschaften zu optimieren. Ziel ist dabei die Einstellung hoher Zugfestigkeiten R_m und hoher Dehngrenzen $R_{p0,2}$. Dabei wird ein Verhältnis $R_m/R_{p0,2}$ von ≈ 1 angestrebt, um einerseits mit den Spannklemmen hohe federnde Niederhaltekräfte aufbringen zu können und um andererseits den Bereich der elastischen Verformbarkeit der Spannklemme und damit einhergehend ihr Dauerschwingfestigkeit maximal auszudehnen. Typischerweise liegen die Zugfestigkeiten R_m und Dehngrenzen $R_{p0,2}$ bei Spannklemmen der hier in Rede stehenden Art hierzu im Bereich von 1200 - 1400 MPa.

[0007] Eine Steigerung der Festigkeit durch beispielsweise die Erhöhung des Kohlenstoffgehalts sind hier durch die Anforderung, dass der Federdraht noch kaltverformt verwenden soll, Grenzen gesetzt. Ein in der Praxis für die Herstellung von Federdrähten für Spannklemmen bewährter, gemäß DIN EN 10089:2002 unter der Bezeichnung "38Si7" genormter und mit der Werkstoffnummer 1.5023 in der Stahleisen-Liste verzeichneter Stahl besteht daher aus, in Gew.-%, 0,35 - 0,42 % C, 1,50 - 1,80 % Si, 0,50 - 0,80 % Mn und als Rest aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen, wobei zu den unvermeidbaren Verunreinigungen bis zu 0,025 % P und bis zu 0,025 % S zählen.

[0008] Neben den legierungstechnischen Maßnahmen können die mechanischen Eigenschaften eines zur Herstellung von Federelementen vorgesehenen Federdrahts auch durch ein so genanntes "thermomechanisches Walzen" verbessert werden. Bei einer insbesondere auf Federdraht, der zur Herstellung von biegebelasteten Federn vorgesehen ist, abzielenden Variante eines solchen thermomechanischen Walzens wird der Federdraht in einem Temperaturbereich warmgewalzt, in dem sein Gefüge noch nicht vollständig rekristallisiert ist, der jedoch oberhalb der Ar3-Temperatur des Stahls liegt. Auf diese Weise lassen sich Federdrähte mit besonders feinem Gefüge erzeugen, welches zu einer hohen Festigkeit und einem optimierten Federverhalten der Spannklemme beiträgt (DE 195 46 204 C1). Bei einer insbesondere auf die Behandlung von Federdraht, der für die Herstellung von torsionsbelasteten Federn vorgesehen ist, anderen Variante einer thermomechanischen Umformung wird das stabförmige Ausgangsmaterial mit einer Aufheizgeschwindigkeit von wenigstens 50 K/s auf eine Temperatur oberhalb der Rekristallisationstemperatur aufgeheizt und anschließend bei einer Temperatur umgeformt, bei der sich eine dynamische und/oder statische Rekristallisation des Austenits ergibt. Der derart rekristallisierte Austenit des Umformerzeugnisses wird abgeschreckt und angelassen (DE 198 39 383 A1).

[0009] Ausgehend von dem voranstehend erläuterten Stand der Technik hat sich die Aufgabe gestellt, einen Federdraht zu schaffen, der sich auch bei Durchmessern von mindestens 9 mm gut kaltverformen lässt, dabei jedoch verbesserte mechanische Eigenschaften besitzt.

[0010] Ein diese Aufgabe lösender Federdraht besitzt gemäß der Erfindung mindestens die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale.

[0011] Darüber hinaus sollte eine Spannklemme mit optimierten Eigenschaften und ein Verfahren angegeben werden, das die praxisgerechte Erzeugung von erfindungsgemäßen Federdrähten ermöglicht.

[0012] Eine Spannklemme zum Niederhalten von Schienen für Schienenfahrzeuge in einem Schienenbefestigungspunkt, die diese Aufgabe löst, ist aus einem erfindungsgemäß beschaffenen Federdraht geformt.

[0013] Ein Verfahren, dass die voranstehende Aufgabe löst, umfasst gemäß der Erfindung mindestens die in Anspruch 14 angegebenen Arbeitsschritte und Merkmale. Dabei versteht es sich von selbst, dass bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens der Fachmann nicht nur die in den Ansprüchen erwähnten und hier im Detail erläuterten Verfahrensschritte absolviert, sondern auch alle sonstigen Schritte und Tätigkeiten ausführt, die bei der praktischen Umsetzung derartiger Verfahren im Stand der Technik regelmäßig durchgeführt werden, wenn sich hierzu die Notwendigkeit ergibt.

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden wie der allgemeine Erfindungsgedanke nachfolgend im Einzelnen erläutert.

[0015] Im vorliegenden Text sind, soweit nicht explizit etwas anderes vermerkt ist, Angaben zu den Gehalten von Legierungsbestandteilen stets in Gew.-% gemacht.

[0016] Ein erfindungsgemäßer Federdraht ist demnach hergestellt aus einem Stahl, der aus, in Gew.-%,

C:	0,35	- 0,42%,
Si:	1,5	- 1,8%,
Mn:	0,5	- 0,8%,
Cr:	0,05	- 0,25%,
Nb:	0,020	- 0,10%,
V:	0,020	- 0,10%,
N:	0,0040	- 0,0120%,
Al:		≤ 0,03%,

und als Rest aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei der Gehalt der Summe an Verunreinigungen auf höchstens 0,2 % beschränkt ist und zu den Verunreinigungen bis zu 0,025 % P und bis zu 0,025 % S zählen.

[0017] Das erfindungsgemäß für den Federdraht vorgesehene Legierungskonzept basiert darauf, dass die Zugfestigkeit R_m und die Dehngrenze $R_{p0,2}$ durch Zugabe zusätzlicher Legierungselemente erhöht werden. Dies erlaubt es, den Kohlenstoffgehalt und damit einhergehend die Kaltverformbarkeit des Federdrahts auf einem für die praktische Verarbeitung optimal niedrigen Niveau zu halten, gleichzeitig aber die Festigkeit R_m und Dehngrenze $R_{p0,2}$ deutlich gegenüber dem Stand der Technik anzuheben. Im Einzelnen sind die einzelnen Legierungsbestandteile und ihre Gehalte in der Legierung eines erfindungsgemäßen Federdrahts wie folgt bestimmt worden:

Kohlenstoff ("C") ist im Federstahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts in Gehalten von 0,35 - 0,42 Gew.-% vorhanden, um eine gute Verformbarkeit, eine hohe Zähigkeit, eine gute Korrosionsbeständigkeit und eine geringe Empfindlichkeit gegen stress- oder wasserstoffinduzierte Rissbildung zu gewährleisten. Dabei haben sich C-Gehalte von höchstens 0,40 Gew.-%, insbesondere weniger als 0,40 Gew.-%, im Hinblick auf eine optimierte Duktilität und eine damit einhergehend optimierte Verformbarkeit bei Raumtemperatur besonders bewährt.

[0018] Silizium ("Si") ist im Stahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts in Gehalten von 1,5 - 1,8 Gew.-%, insbesondere 1,50 - 1,80 Gew.-%, vorhanden, um durch Mischkristallverfestigung eine hohe Festigkeit zu gewährleisten. Darüber hinaus sichert der hohe Si-Gehalt eine gute Beständigkeit ("Relaxationsbeständigkeit") gegen eine Abnahme der Festigkeitswerte des Federdrahts im Zuge der Wärmebehandlung, die aus erfindungsgemäßem Federdraht geformte Spannklemmen nach ihrer Kaltformgebung regelmäßig durchlaufen. Hierzu sind Si-Gehalte von mindestens 1,5 Gew.-% erforderlich. Zu hohe Si-Gehalte würden jedoch die Zähigkeit herabsetzen, das Risiko der Entkohlung im Zuge der Wärmebehandlung erhöhen und darüber hinaus zur Grobkornbildung beitragen. Daher bleibt der Si-Gehalt erfindungsgemäß auf 1,8 Gew.-% beschränkt.

[0019] Mangan ("Mn") ist im Stahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts in Gehalten von 0,5 - 0,8 Gew.-% vorhanden, um eine ausreichende Härtebarkeit des Federstahls zu gewährleisten. Darüber hinaus bindet Mn den im Stahl in der Regel herstellungsbedingt unvermeidbaren Schwefel zu MnS und verhindert so dessen schädliche Wirkung. Hierzu sind mindestens 0,5 Gew.-%, insbesondere mindestens 0,50 Gew.-%, Mn im Stahl erforderlich, wobei sich eine optimierte Wirkung bei Gehalten von mindestens 0,6 Gew.-%, insbesondere mindestens 0,60 Gew.-% oder mindestens 0,7 Gew.-%

%, einstellt. Zu hohe Mn-Gehalte würden allerdings die Spröd-Duktil-Übergangstemperatur (Ductile-Brittle-Temperature "DBTT") verschlechtern, daher ist der Mn-Gehalt auf höchstens 0,8 Gew.-%, insbesondere 0,80 Gew.-%, beschränkt.

[0020] Chrom ("Cr") ist im Federstahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts in Gehalten von 0,05 - 0,25 % vorhanden, um die Härtebarkeit des Stahls weiter zu verbessern. Dabei stellt die Anwesenheit von Cr im erfindungsgemäßen Stahl sicher, dass das Gefüge einer aus einem erfindungsgemäßen Federdraht geformten Spannklemme nach dem Härten zu mehr als 95 Flächen-% aus Martensit besteht. Durch einen C-Gehalt von mindestens 0,05 Gew.-% kann darüber hinaus die Kohlenstoffaktivität und das Risiko einer Randschichtentkohlung bei der Wärmebehandlung vermindert werden. Die positiven Effekte von Cr im Federstahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts lassen sich dabei dadurch besonders sicher nutzen, dass ein Cr-Gehalt von mindestens 0,1 Gew.-%, insbesondere mindestens 0,10 Gew.-% oder insbesondere mindestens 0,18 Gew.-%, vorgesehen wird. Bei oberhalb von 0,25 Gew.-% liegenden Cr-Gehalten besteht dagegen die Gefahr, dass die Zähigkeit und die Relaxationsbeständigkeit des Federstahls beeinträchtigt würden.

[0021] Aluminium ("Al") wird im erfindungsgemäßen Stahl nicht zur Desoxidation bei der Stahlerzeugung benötigt, kann aber dem Federstahl optional in Gehalten von bis zu 0,03 Gew.-% zugegeben werden, um die Ausprägung eines feinkörnigen Gefüges zu unterstützen. Höhere Al-Gehalte würden jedoch durch eine übermäßige Bildung von Al-Oxiden oder -Nitriden die Reinheit des Stahls eines erfindungsgemäßen Stahls und damit einhergehend seine Zähigkeit beeinträchtigen.

[0022] Niob ("Nb") ist von besonderer Bedeutung für die Erfindung und im Federstahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts in Gehalten von 0,02 - 0,1 Gew.-% vorhanden. Nb verzögert die Rekristallisation während eines im Temperaturbereich Rekristallisationsstoptemperatur - Ar₃-Temperatur des Federstahls durchgeführten thermomechanischen Walzens, durch das ein besonders feinkörniges Gefüge des erfindungsgemäßen Federdrahts erhalten wird. Gleichzeitig wird durch die Anwesenheit von Nb das Kornwachstum begrenzt, wenn der erfindungsgemäße Federdraht bei der Wärmebehandlung der aus ihm geformten Spannklemme auf Austenitisierungstemperatur erwärmt und dort gehalten wird. Im Ergebnis wird durch die erfindungsgemäße Zugabe von Nb und die dadurch bewirkte Ausprägung eines besonders feinkörnigen Gefüges, das auch über die Wärmebehandlung, die eine Spannklemme abschließend durchläuft, erhalten bleibt, eine deutliche Verbesserung der Festigkeit erzielt. Um die positive Wirkung von Nb besonders sicher einsetzen zu können, kann der Nb-Gehalt des Federstahls eines erfindungsgemäßen Federdrahts mindestens 0,0250 Gew.-%, mindestens 0,0280 Gew.-% oder mindestens 0,030 Gew.-% betragen. Besonders effektiv lässt sich Nb dabei bei Gehalten von bis zu 0,070 Gew.-%, insbesondere bis zu 0,050 Gew.-%, nutzen.

[0023] Vanadium ("V") ist im Federstahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts in Gehalten von 0,020 - 0,10 Gew.-% vorhanden. V bildet mit Kohlenstoff und Stickstoff Karbide und Nitride, die typischerweise als feine, beispielsweise 8 - 12 nm, insbesondere etwa 10 nm, große Karbonitrid-Ausscheidungen vorliegen und durch Ausscheidungshärtung wesentlich zur Steigerung der Festigkeit eines erfindungsgemäßen Federdrahts beitragen. Gleichzeitig trägt V auf diese Weise zur Relaxationsbeständigkeit des Federstahls bei, aus dem ein erfindungsgemäßer Federdraht besteht. Um die positive Wirkung von V besonders sicher einsetzen zu können, kann der V-Gehalt des Federstahls eines erfindungsgemäßen Federdrahts mindestens 0,0250 Gew.-%, mindestens 0,0280 Gew.-% oder mindestens 0,030 Gew.-% betragen. Besonders effektiv lässt sich V dabei bei Gehalten von bis zu 0,070 Gew.-%, insbesondere bis zu 0,060 Gew.-%, nutzen.

[0024] Die erfindungsgemäß kombinierte Anwesenheit von Nb und V führt im Ergebnis zu hohen Zugfestigkeiten R_m und regelmäßig annähernd gleich hohen Dehngrenzen R_{p0,2}, so dass bei einer aus erfindungsgemäßigem Federdraht hergestellten Spannklemme das Verhältnis R_m/R_{p0,2} regelmäßig im für deren Lebensdauer und Federverhalten optimalen Bereich von 1 - 1,2 liegt.

[0025] Stickstoff ("N") ist im Federstahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts in Gehalten von 0,0040 - 0,0120 Gew.-% (40 - 120 ppm) vorgesehen, um die Bildung von Vanadium-Nitriden oder Vanadium-Karbonitriden zu ermöglichen. Zu hohe N-Gehalte würden jedoch die Reckalterung des erfindungsgemäßen Federdrahts begünstigen, was der Zähigkeit erfindungsgemäßen Federdrahts und der von einer Spannklemme geforderten Dauerschwingfestigkeit diametral entgegenstehen würde. Negative Auswirkungen der Anwesenheit von N im Federstahl eines erfindungsgemäßen Federdrahts können dabei dadurch besonders sicher ausgeschlossen werden, dass der N-Gehalt auf höchstens 0,0100 Gew.-% (100 ppm) beschränkt wird.

[0026] Ein aus einem in erfindungsgemäßer Weise zusammengesetzten Federstahl bestehender Federdraht erreicht im warmgewalzten Zustand eine im Zugversuch gemäß DIN EN ISO 6892-1 ermittelte Brucheinschnürung Z von mindestens 55 % und liegt damit regelmäßig höher als die Brucheinschnürung, die bei Federdrähten ermittelt werden kann, die aus einem konventionell legierten 38Si7-Stahl bestehen.

[0027] Gleichzeitig weist er im warmgewalzten Zustand eine gemäß ASTM E112 bestimmte Feinkörnigkeit seines Gefüges von mindestens ASTM 10 auf. Diese Feinheit des Gefüges bleibt über die Kaltumformung des Federdrahts zu einer Spannklemme und die anschließende Wärmebehandlung der Spannklemme weitestgehend erhalten. So weisen erfindungsgemäße, für den Einbau in einem Schienenbefestigungspunkt fertige Spannklemmen regelmäßig eine Feinheit ihres Gefüges auf, die, nach ASTM E112 bestimmt, mindestens ASTM 8 entspricht. Dies entspricht einer Verbesserung der Feinkörnigkeit um mindestens eine der in ASTM E112 angegebenen Körnigkeits-Klassen gegenüber einer

Spannklemme, die aus einem Federdraht gebogen ist, der aus dem konventionellen 38Si7-Stahl besteht.

[0028] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines erfindungsgemäß beschaffenen Federdrahts umfasst folgende Arbeitsschritte:

- 5 a) Erschmelzen eines Stahls, der aus, in Gew.-%, C: 0,35 - 0,42 %, Si: 1,5 - 1,8 %, Mn: 0,50 - 0,80 %, Cr: 0,05 - 0,25 %, Nb: 0,020 - 0,10 %, V: 0,020 - 0,10 %, N: 0,0040 - 0,0120 %, Al: \leq 0,03 % und als Rest aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei der Gehalt der Summe an Verunreinigungen auf höchstens 0,2 % beschränkt ist und zu den Verunreinigungen bis zu 0,025 % P und bis zu 0,025 % S zählen;
- 10 b) Vergießen des Stahls zu einem Vorprodukt;
- c) Warmwalzen des Vorprodukts zu einem warmgewalzten Federdraht mit einem Enddurchmesser von 9 - 15 mm, wobei das Warmwalzen in mindestens zwei Teilschritten durchgeführt wird, wobei der Federdraht im letzten Teilschritt des Warmwalzens thermomechanisch bei einer Temperatur fertig warmgewalzt wird, die unterhalb der Rekristallisationsstoptemperatur des Stahls des Federdrahts und oberhalb der Ar3-Temperatur des Stahls des Federdrahts liegt;
- 15 d) Abkühlen des thermomechanisch fertig warmgewalzten Federdrahts mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 1 - 5 °C/s auf eine Wickeltemperatur von 550 - 650 °C;
- 20 e) Ablegen oder Wickeln des auf die Wickeltemperatur abgekühlten Federdrahts zu einem Coil;
- f) Abkühlen des Federdrahts im Coil auf Raumtemperatur.

25 **[0029]** Erfindungsgemäß wird somit der Federdraht im Zuge des Warmwalzens einem thermomechanischen Walzschrift unterzogen, bei dem er bei Temperaturen gewalzt wird, die unterhalb der Rekristallisationsstopp-Temperatur und oberhalb der Ar3-Temperatur des Stahls gewalzt wird. Als "Rekristallisationsstopp-Temperatur" wird dabei die Temperatur bezeichnet, bei der der Federdraht so weit abgekühlt ist, dass keine Rekristallisation seines bis dahin austenitischen Gefüges mehr stattfindet. Durch das im erfindungsgemäß vorgegebenen Temperaturbereich durchgeführte thermomechanische Walzen in Kombination mit der erfindungsgemäß ausgewählten Legierung, insbesondere in Folge der gleichzeitigen Anwesenheit von Nb und V, wird das besonders feinkörnige Gefüge erhalten, welches einen erfindungsgemäßen Federdraht im warmgewalzten Zustand auszeichnet.

30 **[0030]** Gleichzeitig wird durch die Abkühlung des warmgewalzten Federdrahts mit den erfindungsgemäß vorgegebenen Abkühlgeschwindigkeiten und durch Einhaltung der erfindungsgemäß vorgeschriebenen Wickeltemperaturen von 550 - 650°C sichergestellt, dass sich in Folge von Ausscheidungshärtung ein Maximum an Härte des erfindungsgemäßen Federdrahts einstellt.

[0031] Grundsätzlich wäre es denkbar, den Warmwalz-Teilschritt "thermomechanisches Walzen" in einem separaten Arbeitsgang durchzuführen, der nach dem eigentlichen Warmwalzen des Federdrahts durchgeführt wird. Hierzu wird der dann warmgewalzte bereitgestellte Federdraht zunächst auf Austenitisierungstemperatur erwärmt, anschließend auf eine unterhalb der Rekristallisationsstoptemperatur, aber oberhalb der Ar3-Temperatur des Federstahls liegende Temperatur abgekühlt und bei dieser Temperatur mit ausreichendem Verformungsgrad warmgewalzt. Daran anschließend erfolgt die Abkühlung und das Ablegen oder Wickeln des Federdrahts wie in den Arbeitsschritten d) und e) des erfindungsgemäßen Verfahrens angegeben.

40 **[0032]** Eine technologisch und wirtschaftlich optimierte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht allerdings vor, dass alle Teilschritte des Warmwalzens (Arbeitsschritt c)) im kontinuierlichen Durchlauf absolviert werden, dass also ein auch thermomechanisch fertig warmgewalzter Federdraht vorliegt, wenn der Federdraht die jeweils genutzte Warmwalzstrecke verlässt.

[0033] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

50 **[0034]** Es wurden erfindungsgemäß legierte Schmelze E1-E5 erschmolzen, deren Zusammensetzungen in Tabelle 1 angegeben sind.

[0035] Zum Vergleich wurde eine Vergleichsschmelze V1 erschmolzen, deren Gehalte an C, Si, Mn, P, S und N den für den bekannten Stahl 38Si7 geltenden Maßgaben entsprachen, die jedoch zusätzlich auch noch Cr in einem wirksamen Gehalt aufwies. Auch die Zusammensetzung der Vergleichsschmelze V1 ist in Tabelle 1 angegeben.

55 **[0036]** Aus den Schmelzen E1 - E5, V1 sind konventionelle Barren gegossen worden, die in ebenso konventioneller Weise zu Federdrähten in mehreren Stufen vor- und zwischengewalzt worden sind, bevor sie in einer letzten Stufe des Warmwalzens fertig warmgewalzt worden sind. Diese letzte Stufe des Warmwalzens wurde als thermomechanisches Walzen durchgeführt. Hierzu ist der Federdraht vor dem Eintritt in die letzte Warmwalzstufe auf eine Temperatur abgekühlt worden, die unterhalb der hier im Bereich von 850 - 950 °C liegenden Rekristallisationsstoptemperatur der Stähle E1

- E5 und V1 und oberhalb der hier etwa 750 - 800 °C betragenden Ar3-Temperatur der Stähle E1 - E5 und V1 lag.

[0037] Die Rekristallisationsstoptemperatur des jeweiligen Federstahls, aus dem der jeweilige Federdraht E1 - E5, V1 erzeugt ist, kann in an sich bekannter Weise experimentell ermittelt oder mit Hilfe empirisch ermittelter Formeln abgeschätzt werden.

[0038] Genauso können die Ar3- und Ar1-Temperaturen des jeweiligen Federstahls, aus dem der jeweilige Federdraht E1 - E5, V1 erzeugt ist, in an sich bekannter Weise experimentell, beispielsweise mittels Dilatometrie in einem thermomechanischen Simulator bestimmt werden.

[0039] Nach dem Ende des Warmwalzens sind die erhaltenen warmgewalzten Federdrähte mit einer Abkühlrate von 1 - 5°C/s auf eine Wickeltemperatur von 550 - 650°C abgekühlt worden, bei der sie zu einem Coil gewickelt worden sind. Anschließend sind die Federdrähte im Coil auf Raumtemperatur abgekühlt worden.

[0040] An den erhaltenen warmgewalzten Federdrähten ist gemäß ASTM E112 die Kornfeinheit "ASTM_F" des Gefüges und gemäß DIN EN ISO 6892-1 die Brucheinschnürung "Z_F" bestimmt worden. Die erhaltenen Werte "ASTM_F" und "Z_F" sind für die aus den Stählen E1 - E5 und V1 bestehenden Federdrähte in Tabelle 2 angegeben.

[0041] Von den warmgewalzten, aus den Federstählen E1 - E5, V1 bestehenden Federdrähten sind Stäbe abgelängt worden, die nach einem in konventioneller Weise durchgeführten Beizen und Richten in mehreren Stufen kalt, d.h. bei Raumtemperatur, zu einer konventionell geformten, ω-förmigen Spannklemme gebogen worden sind.

[0042] Nach dieser Kaltformgebung sind die erhaltenen Spannklemmen einer Wärmebehandlung unterzogen worden, bei der sie auf eine Austenitisierungstemperatur von 850 - 950°C durcherwärmt worden sind, so dass ihr Gefüge vollständig austenitisch war. Anschließend sind die so austenitisierten Spannklemmen in Wasser abgeschreckt worden, so dass ihr Gefüge zu mehr als 95 Flächen-% martensitisch war.

[0043] Nach dem Abschrecken haben die Spannklemmen ein Anlassen durchlaufen, bei dem sie über eine Dauer von 60 - 120 min auf eine 400 - 450°C betragende Anlasstemperatur erwärmt und dort gehalten worden sind. Anschließend sind die so angelassenen Spannklemmen an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt worden.

[0044] An den so erhaltenen Spannklemmen sind gemäß DIN EN ISO 6892-1 die Zugfestigkeit R_m und die Dehngrenze R_{p0,2} ermittelt worden. Darüber hinaus ist gemäß DIN EN ISO 148-1 als Kennwert für die Zähigkeit die Kerbschlagarbeit KV-20 bestimmt worden. Die erhaltenen Messwerte sind in Tabelle 2 aufgeführt. Es zeigte sich, dass nicht nur die Zugfestigkeit R_m und die Dehngrenze R_{p0,2} der aus erfindungsgemäß zusammengesetztem Federstahl E1 in der erfindungsgemäßen Weise erzeugten Spannklemmen bei unveränderter Kerbschlagarbeit KV-20 gegenüber den aus dem Vergleichsstahl V1 gefertigten Spannklemmen deutlich gesteigert werden konnte, sondern dass dabei auch das Verhältnis R_m/R_{p0,2} praktisch gleich geblieben ist.

[0045] Gleichzeitig wiesen die aus den erfindungsgemäßen Federstählen E1 - E5 erzeugten Spannklemmen eine deutlich bessere, gemäß ASTM E112 bestimmte Feinkörnigkeit "ASTM" des Gefüges auf als die aus dem Vergleichsstahl V1 bestehenden Spannklemmen.

[0046] Anschließend sind die aus den erfindungsgemäßen Stählen E1 - E5 und dem Vergleichsstahl V1 bestehenden Spannklemmen unter identischen Bedingungen in einem Befestigungspunkt verbaut worden und die von ihnen ausgeübten Niederhalterkräfte im Neuzustand "TL_n" und nach 3 Millionen Lastwechseln "TL_{3M}" bestimmt worden. Auch die Ergebnisse dieser Messung sind in Tabelle 2 angegeben. Es zeigt sich, dass die aus den erfindungsgemäßen Federstählen E1 - E5 bestehenden Spannklemmen nicht nur im Neuzustand eine höhere Niederhalterkraft TL_n liefern, sondern dass diese Niederhalterkraft auch nach 3 Millionen Lastwechseln nur geringfügig zurückgeht, wogegen sie bei den aus dem Vergleichsstahl V1 bestehenden Spannklemmen um einen deutlich größeren Betrag abnimmt.

Tabelle 1

Feder-stahl	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	V	N
	[Gew.-%]								[ppm]
E1	0,38	1,58	0,75	0,006	0,017	0,21	0,03	0,03	70
E2	0,37	1,55	0,74	0,010	0,014	0,21	0,03	0,06	70
E3	0,38	1,56	0,75	0,009	0,014	0,22	0,03	0,06	110
E4	0,38	1,56	0,75	0,009	0,014	0,22	0,06	0,04	70
E5	0,38	1,56	0,75	0,009	0,014	0,22	0,06	0,06	110
V1	0,38	1,56	0,63	0,009	0,016	0,22	-	-	80
Rest Eisen und sonstige unvermeidbare Verunreinigungen									

Tabelle 2

Feder-Stahl	Z _F	ASTM _F	R _m	R _{p0,2}	KV-20	ASTM	TL _n	TL _{3M}
	[%]		[MPa]	[MPa]	[J]		[kN]	[kN]
E1	58 - 60	10 - 11	1460	1320	16-18	8-9	9,6	9,4
E2	58 - 60	10 - 11	1470	1330	16-18	8-9	9,8	9,4
E3	56 - 58	10 - 11	1540	1390	14-16	8-9	10,0	9,5
E4	56 - 58	10 - 11	1530	1380	14-16	8-9	10,0	9,5
E5	56 - 58	10 - 11	1600	1440	14-16	8-9	10,2	9,7
V1	53 - 54	8 - 9	1380	1250	16-18	6-7	9,2	8,5

Patentansprüche

1. Federdraht hergestellt aus einem Stahl, der aus, in Gew.-%,

C: 0,35 - 0,42%,
Si: 1,5 - 1,8%,
Mn: 0,5 - 0,8%,
Cr: 0,05 - 0,25%,
Nb: 0,020 - 0,10%,
V: 0,020 - 0,10%,
N: 0,0040 - 0,0120%,
Al: ≤ 0,03%,

und als Rest Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei der Gehalt der Summe an Verunreinigungen auf höchstens 0,2 % beschränkt ist und zu den Verunreinigungen bis zu 0,025 % P und bis zu 0,025 % S zählen.

2. Federdraht nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein C-Gehalt höchstens 0,40 Gew.-% beträgt.

3. Federdraht nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Cr-Gehalt mindestens 0,1 Gew.-% beträgt.

4. Federdraht nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Cr-Gehalt mindestens 0,18 Gew.-% beträgt.

5. Federdraht nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Mn-Gehalt mindestens 0,6 Gew.-% beträgt.

6. Federdraht nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Mn-Gehalt mindestens 0,7 Gew.-% beträgt.

7. Federdraht nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Nb-Gehalt mindestens 0,030 Gew.-% beträgt.

8. Federdraht nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Nb-Gehalt höchstens 0,070 Gew.-% beträgt.

9. Federdraht nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein V-Gehalt höchstens 0,060 Gew.-% beträgt.

10. Federdraht nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein N-Gehalt mindestens 0,0060 Gew.-% beträgt.

EP 3 783 120 A1

11. Federdraht nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine im Zugversuch gemäß DIN EN ISO 6892-1 ermittelte Brucheinschnürung Z von mindestens 55 % erreicht.

12. Federdraht nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gemäß ASTM E112 bestimmte Feinkörnigkeit seines Gefüges mindestens ASTM 10 entspricht.

13. Spannklemme zum Niederhalten einer Schiene für Schienenfahrzeuge in einem Schienenbefestigungspunkt hergestellt aus einem gemäß einem der voranstehenden Ansprüche beschaffenen Federdraht.

14. Verfahren zum Herstellen eines gemäß einem der Ansprüche 11 oder 12 beschaffenen Federdrahts umfassend folgende Arbeitsschritte

a) Erschmelzen eines Stahls, der aus, in Gew.-%, C: 0,35 - 0,42 %, Si: 1,5 - 1,8 %, Mn: 0,50 - 0,80 %, Cr: 0,05 - 0,25 %, Nb: 0,020 - 0,10 %, V: 0,020 - 0,10 %, N: 0,0040 - 0,0120 %, Al: \leq 0,03 % und als Rest aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei der Gehalt der Summe an Verunreinigungen auf höchstens 0,2 % beschränkt ist und zu den Verunreinigungen bis zu 0,025 % P und bis zu 0,025 % S zählen;

b) Vergießen des Stahls zu einem Vorprodukt;

c) Warmwalzen des Vorprodukts zu einem warmgewalzten Federdraht mit einem Enddurchmesser von 9 - 15 mm, wobei das Warmwalzen in mindestens zwei Teilschritten durchgeführt wird, wobei der Federdraht im letzten Teilschritt des Warmwalzens thermomechanisch bei einer Temperatur fertig warmgewalzt wird, die unterhalb der Rekristallisationsstoptemperatur des Stahls des Federdrahts und oberhalb der Ar3-Temperatur des Stahls des Federdrahts liegt;

d) Abkühlen des thermomechanisch fertig warmgewalzten Federdrahts mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 1 - 5 °C/s auf eine Wickeltemperatur von 550 - 650 °C;

e) Ablegen oder Wickeln des auf die Wickeltemperatur abgekühlten Federdrahts zu einem Coil;

f) Abkühlen des Federdrahts im Coil auf Raumtemperatur.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilschritte des Warmwalzens (Arbeitsschritt c) im kontinuierlichen Durchlauf absolviert werden.



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 19 19 3224

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	CN 105 112 774 A (ZHEJIANG MEILI HIGH TECHNOLOGY CO LTD) 2. Dezember 2015 (2015-12-02) * Zusammenfassung *	1-15	INV. C21D8/06 C21D9/02 C21D9/52 C22C38/02 C22C38/04 E01B9/28
A	RU 2 512 695 C1 (000 MUL TIMODAL NYJ TS MIIT [RU]) 10. April 2014 (2014-04-10) * Zusammenfassung *	1-15	
A	DATABASE WPI Week 201624 Thomson Scientific, London, GB; AN 2016-17839W XP002797798, -& CN 105 401 072 A (MA'ANSHAN IRON & STEEL CO LTD) 16. März 2016 (2016-03-16) * Zusammenfassung *	1-15	
A	CN 102 719 759 B (CSR QISHUYAN INST CO LTD; UNIV BEIJING SCIENCE & TECH) 26. März 2014 (2014-03-26) * Zusammenfassung; Tabelle 1 *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21D C22C E01B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 19. Februar 2020	Prüfer Rischard, Marc
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 19 19 3224

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

19-02-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	CN 105112774	A	02-12-2015	KEINE	

15	RU 2512695	C1	10-04-2014	-----	
	CN 105401072	A	16-03-2016	KEINE	

	CN 102719759	B	26-03-2014	KEINE	

20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

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

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

- DE 19546204 C1 [0008]
- DE 19839383 A1 [0008]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Stahl Fibel. Verlag Stahleisen GmbH, 2015 [0005]