

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 702 375 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
28.10.1998 Patentblatt 1998/44

(51) Int Cl.⁶: **H01B 1/02**, C22C 9/00,
B60M 1/13

(21) Anmeldenummer: **95113311.5**

(22) Anmeldetag: **23.08.1995**

(54) **Oberleitungsdraht einer elektrischen Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke und Verfahren zu dessen Herstellung**

Overhead contact wire of high speed electrical railways and process for manufacturing the same

Fil conducteur aérien pour chemins de fer électriques à grande vitesse et procédé pour sa fabrication

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB IT LI NL SE

(30) Priorität: **15.09.1994 DE 4432929**
01.08.1995 DE 19528259

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
20.03.1996 Patentblatt 1996/12

(73) Patentinhaber: **SIEMENS**
AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Kuhrt, Christian, Dr.**
D-91334 Hemhofen (DE)
• **Fink, Arno**
D-91058 Erlangen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 023 362 **EP-A- 0 114 338**
EP-A- 0 569 036 **DE-A- 4 321 921**

EP 0 702 375 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Oberleitungsdraht einer elektrischen Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke mit einer Zugfestigkeit (R_m) des Drahtes von mindestens 550 MPa und einer elektrischen Leitfähigkeit (κ) von mindestens 65 %, bezogen auf die von geglühtem reinen Kupfer gemäß International Annealed Copper Standard (IACS). Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Oberleitungsdrahtes. Ein derartiger Oberleitungsdraht und ein entsprechendes Herstellungsverfahren gehen aus der EP 0 569 036 A hervor.

Auf Hochgeschwindigkeitsbahnstrecken ist für eine sichere Energiezufuhr über ein Oberleitungssystem eine hohe mechanische Vorspannung des Fahrdrathes eine unverzichtbare Voraussetzung. An den Fahrdrahtwerkstoff werden somit höchste Anforderungen bezüglich seiner mechanischen Zugfestigkeit R_m bei gleichzeitig hoher elektrischer Leitfähigkeit κ gestellt.

Gegenwärtig wird für den Fahrdraht der Regelerleitung Re250 der Deutschen Bahn AG mit Rillenprofil und 120 mm² Durchmesser eine CuAg-Legierung mit einem Ag-Anteil von 0,1 Gew.-% Ag-Anteil verwendet. Diese Legierung weist eine Zugfestigkeit R_m von etwa 350 MPa (N/mm²) auf bei einer Leitfähigkeit κ von etwa 95 %, bezogen auf die von geglühtem reinen Cu gemäß IACS (International Annealed Copper Standard). Der Fahrdraht ist für einen Regelbetrieb mit Fahrgeschwindigkeiten von höchstens 250 km/h ausgelegt. Er ist unter Berücksichtigung einer unvermeidbaren Abnutzung mit 125 MPa vorgespannt, d.h. mit etwa 36 % seiner Zugfestigkeit κ bzw. einer Sicherheitsmarge gegen Bruch von etwa 2,8 (vgl. "Elektrische Bahnen", 80. Jg., 1982, H. 4, Seiten 119 bis 125 oder "Eisenbahntechnische Rundschau", Bd. 35, H. 9, Sept. 1986, Seiten 593 bis 599). Diese Vorspannung wurde für eine Hochgeschwindigkeitsfahrt mit über 400 km/h kurzfristig auf 175 MPa erhöht ("Elektrische Bahnen", 86. Jg., 1988, H. 9, Seiten 268 bis 289).

Zur Auslegung der Oberleitung für einen Regelbetrieb mit Hochgeschwindigkeiten von über 300 km/h wird eine Fahrdravorspannung von bis zu 200 MPa gefordert. Dies bedingt unter Zugrundelegung der vorgenannten Sicherheitsmarge eine Fahrdraht legierung mit einer Mindestzugfestigkeit κ von etwa 550 MPa. Die Zugfestigkeit wird dabei durch Zugversuche nach DIN 50145/46 bestimmt (vgl. das Buch "Werkstoffe in der Elektrotechnik" von H. Fischer, 3. Auflage, G. Hanser Verlag München Wien, 1987, Seiten 113 bis 121).

Eine derart hohe Mindestzugfestigkeit kann z.B. mit aus der genannten EP-A zu entnehmenden Cu-Legierungen erreicht werden. Gemäß einem speziellen Ausführungsbeispiel setzt sich eine dieser Legierungen aus den Komponenten Cr (0,1 bis 1 %), Zr (0,01 bis 0,3 %), Mg (0,001 bis 0,05 %), O (maximal 10 ppm) und Cu (Rest) unter Einschluß unvermeidbarer Verunreinigungen zusammen. Die gewählte Zusammensetzung der Legierung bedingt dabei, daß ein aus den erschmolzenen Komponenten gewonnener Gießstrang nach einem Warmwalzen zu einem Ausgangsdraht entweder durch Eintauchen in ein Wasser- oder Ölbad sehr rasch abgekühlt werden muß oder nach einer langsameren Luftabkühlung anschließend einer zusätzlichen Wärmebehandlung (Lösungsglühung) mit Raschabkühlung unterzogen werden muß. Der so gewonnene Vorkörper wird dann mehreren Kaltverformungen unterzogen, die von Ausscheidungsglühungen unterbrochen sind. Wegen der generell notwendigen raschen Abkühlung des Vorprodukts von der Lösungstemperatur (860 - 1000°C) ist das bekannte Verfahren verhältnismäßig aufwendig und deshalb für eine kommerzielle Drahtfertigung wenig geeignet.

Aus der US-PS 4,755,235 ist ferner ein elektrischer Draht aus einer ausscheidungsgehärteten Cu-Legierung mit Cr (0,05 bis 1,5 Gew.-%), Zr (0,05 bis 0,5 Gew.-%) und Mg (0,005 bis 0,1 Gew.-%) zu entnehmen. Auch hier soll eine Legierungsschmelze rasch abgekühlt werden (innerhalb 1 bis 2 Minuten von etwa 1200°C auf Raumtemperatur).

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Oberleitungsdraht aus einem Material anzugeben, das einerseits die genannten Mindestanforderungen bezüglich der mechanischen Zugfestigkeit R_m und der elektrischen Leitfähigkeit κ erfüllt und das andererseits eine gegenüber den bekannten Verfahren vereinfachte Herstellung des Drahtes ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Oberleitungsdraht aus einer wenigstens 5-komponentigen, aushärtbaren $\text{Cu}_a\text{Cr}_b\text{Zr}_c\text{Mg}_d\text{X}_e$ -Legierung besteht, wobei X ein Element aus der Gruppe der Elemente Al, P, S, Fe, Ni, Zn, Ag, Cd, In, Sn, Sb und Bi ist und für die Komponenten gelten soll (jeweils in Gewichtsprozent):

$$0,2 \leq b \leq 0,8,$$

$$0,02 \leq c \leq 0,4,$$

$$0,01 \leq d \leq 0,2,$$

$$0,01 \leq e \leq 0,4,$$

mit

$$a + b + c + d + e \equiv 100$$

unter Einschluß unvermeidbarer Verunreinigungselemente.

Die Erfindung geht dabei von der Erkenntnis aus, daß mit der Wahl der Mg-Komponente in Kombination mit den genannten Anteilen der übrigen Komponenten vorteilhaft auf eine besondere Behandlung des Draht-Vorproduktes in Form einer raschen Abkühlung von der Schmelz- bzw. Lösungstemperatur verzichtet werden kann. Ein aus der erfindungsgemäßen Legierung erschmolzenes, dann in üblicher Weise normal, z.B. von 1200°C auf Raumtemperatur in 5 bis 10 min, abgekühltes und gegebenenfalls noch beispielsweise durch Warmwalzen vorverformtes Ausgangsprodukt bzw. Drahtvorprodukt braucht also nur noch kaltverformt und ausgelagert zu werden, um einen Draht mit den gewünschten Eigenschaften zu erhalten. Es wurde erkannt, daß die für die X-Komponente (5. Komponente) zu wählenden Materialien vorteilhaft die Streckgrenze der Cu-Legierung erhöhen und die Umformbarkeit des Drahtvorproduktes verbessern. Diese Eigenschaften sind insbesondere von Bedeutung, wenn bei der Herstellung des Drahtes nur ein einmaliges Kaltverformen vorgesehen werden soll.

Besonders vorteilhaft wird als X-Komponente Al oder In gewählt. Die entsprechende Cu-Legierung zeichnet sich durch verhältnismäßig hohe Zugfestigkeitswerte R_m und verhältnismäßig hohe Werte der 0,01 %-Dehnungsgrenze (= technische Elastizitätsgrenze) aus.

Außerdem ist es vorteilhaft, wenn der erfindungsgemäße Draht eine Si-freie Cu-Legierung aufweist. Denn durch die Vermeidung eines Si-Anteils läßt sich so eine unerwünschte Verminderung der elektrischen Leitfähigkeit κ ausschließen (vgl. z.B. das genannte Buch "Werkstoffe in der Elektrotechnik", Seite 172).

Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß zunächst ein Drahtvorprodukt erstellt wird, wobei die Cu-Legierung erschmolzen und anschließend gegenüber einer Raschabkühlung vergleichsweise langsamer abgekühlt wird, darauf das Drahtvorprodukt mittels mindestens einer Kaltverformung in ein Drahtzwischenprodukt überführt wird, dann das Drahtzwischenprodukt mindestens einer Auslagerungswärmebehandlung unterzogen wird und gegebenenfalls die Schritte der Kaltverformung und/oder der Auslagerungsbehandlung mindestens noch einmal wiederholt werden, wobei mit der letzten Kaltverformung die Endform des Drahtes erzeugt wird. Dabei kann das Drahtvorprodukt unmittelbar aus der Schmelze der Cu-Legierung gegossen werden. Es ist aber auch möglich, ein aus der langsam erstarrten Schmelze ausgebildetes Ausgangsprodukt mittels mindestens einer Vorverformung in das Drahtvorprodukt zu überführen. Da die für eine Raschabkühlung charakteristischen Abkühlraten bei etwa 100°C/s und höher liegen, soll bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Schmelze mit vergleichsweise kleinerer Abkühlrate, insbesondere mit höchstens 20°C/s in dem wichtigen Temperaturbereich von der Schmelztemperatur auf etwa 700°C, abgekühlt werden. Unterhalb von 700°C kann die Abkühlrate noch deutlich geringer sein und beispielsweise bei 5°C/s liegen. Solche Abkühlraten lassen sich ohne größeren Aufwand realisieren, so daß das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft entsprechend einfach durchzuführen ist. Die Auslagerungswärmebehandlung wird in an sich bekannter Weise bei erhöhter Temperatur und über einen solchen Zeitraum durchgeführt, daß sich die für eine Härtung des Materials erforderlichen Ausscheidungen an den mit der Kaltverformung erzeugten Versetzungsstrukturen ausbilden.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Oberleitungsdrahtes und des Verfahrens zu seiner Herstellung gehen aus den jeweils abhängigen Ansprüchen hervor.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen noch weiter erläutert.

Zur Herstellung eines Oberleitungsdrahtes aus einer Cu-Legierung mit der erfindungsgemäßen Zusammensetzung wird zunächst das Material aus den einzelnen Komponenten vorzugsweise in einer Schutzgasatmosphäre wie z.B. unter Ar erschmolzen. Der Sauerstoffgehalt in der Schmelze sollte nämlich möglichst niedrig sein und vorzugsweise unter 100 ppm liegen. Um eine gute Homogenität der Schmelze zu gewährleisten, muß über den Schmelzpunkt von Cu (1084°C), insbesondere auf mindestens 1200°C erhitzt werden. Gegebenenfalls kommen noch höhere Temperaturen in Frage. Deswegen wird vorteilhaft ein Induktionsschmelzen vorgesehen. Die Schmelze wird dann mit einer Abkühlgeschwindigkeit bzw. -rate (in °C/min) abgekühlt, die in dem für die Ausbildung des ausscheidungsgehärteten Materials wichtigen Temperaturbereich zwischen der Schmelztemperatur und etwa 700°C deutlich unterhalb der für eine rasche Abkühlung charakteristischen Abkühlraten von mindestens etwa 100°C/s liegt. So kommen insbesondere Abkühlraten von höchstens 20°C/s in dem genannten Temperaturbereich in Frage. Solche Abkühlraten lassen sich beispielsweise durch ein einfaches Abgießen in eine wassergekühlte Kokille unter Luft oder in einer Schutzgasatmosphäre realisieren. Auf ein Abschrecken in einem Wasser- oder Ölbad kann also vorteilhaft verzichtet werden. Das direkte Abgießen der Schmelze zu einem Vordraht mit z.B. 20 bis 30 mm Durchmesser mittels Abziehens der Schmelze durch eine wassergekühlte, horizontal gelagerte Kokille ist hier besonders geeignet.

Die gegebenenfalls zu Blöcken oder Barren abgegossene Schmelzmasse kann dann noch umgeschmolzen werden, um daraus ein hinsichtlich der Drahtform geeigneteres Drahtvorprodukt zu schaffen. Darüber hinaus läßt sich die abgekühlte Schmelzmasse durch ein Warmwalzen zu einem Drahtvorprodukt als ein Vordraht verarbeiten. Das Warm-

walzen kann sich auch in einem kontinuierlichen Schritt, einem sogenannten Gießwalzen, unmittelbar an das Erschmelzen der Cu-Legierung anschließen. Ferner ist auch ein Umschmelzen der abgekühlten Schmelzmasse zu einem Barren möglich, der z.B. durch Strangpressen zu einem Vordraht verarbeitet wird. Aus einem entsprechenden Barren können auch stiftartige Körper herausgearbeitet werden, die dann z.B. durch Rundhämmern zu einem Vordraht verformt werden. Der Vordrahtquerschnitt sollte dabei so eingestellt werden, daß bei der sich anschließenden mindestens einen Kaltverformung eine Querschnittsreduktion von 50 bis 99 %, vorzugsweise von 60 bis 95 %, erfolgt, um so den gewünschten Endquerschnitt des Oberleitungsdrahtes zu erhalten.

Das Drahtvorprodukt (bzw. der Vordraht) wird anschließend einer ersten Kaltverformung unterzogen. Eine solche Kaltverformung kann z.B. durch Pressen oder Walzen oder Hämmern, insbesondere durch Ziehen, vorgenommen werden. Der Verformungsgrad liegt dabei im allgemeinen zwischen 20 und 80 %, vorzugsweise zwischen 40 und 70 %. Beispielsweise werden drei Ziehschritte mit einer Querschnittsreduktion von 38 % bis 34 % (1. Schritt) bzw. von 34 % bis 30 % (2. Schritt) bzw. von 26 % bis 24 % (3. Schritt) gewählt. Mit dieser Kaltverformung werden in dem so zu erhaltenden Drahtzwischenprodukt in bekannter Weise Versetzungsstrukturen erzeugt, die Voraussetzung für eine hinreichende Härtung des Materials sind.

Dem ersten Kaltverformungsschritt schließt sich dann eine erste Auslagerungswärmebehandlung des Drahtzwischenproduktes an, die vorteilhaft bei einer Temperatur zwischen 350°C und 600°C, vorzugsweise zwischen 450°C und 500°C, durchgeführt wird. Mit dieser Wärmebehandlung wird eine Härtung des Materials aufgrund von Ausscheidungen an den mit der Kaltverformung erzeugten Versetzungsstrukturen erreicht. Die Dauer dieser Wärmebehandlung liegt im allgemeinen zwischen 10 Minuten und 10 Stunden. Bei großen Chargen sind dabei erhebliche Aufheiz- und Abkühlzeiten zu berücksichtigen.

Die Verarbeitungsschritte der Kaltverformung und/oder Härtung durch Wärmebehandlung werden zweckmäßigerweise wiederholt, wobei vorteilhaft mit einer Kaltverformung abgeschlossen wird, um das gewünschte Endprodukt des Oberleitungsdrahtes im hartgezogenen Zustand zu erhalten. Wenn diese letzte Kaltverformung in nur einem Schritt vorgenommen werden soll, dann sollte die hier zu wählende Querschnittsreduktion nicht über 20 % bis 22 % betragen. Selbstverständlich kann sich aber jede Kaltverformung, also insbesondere auch die letzte Kaltverformung, aus mehreren Kaltverformungsschritten zusammensetzen.

Hinsichtlich einer möglichst einfachen Herstellung des Oberleitungsdrahtes kann man gegebenenfalls auch eine nur einstufige Kaltverformung vorsehen. Der Verformungsgrad liegt hier natürlich höher.

Für den so herzustellenden Oberleitungsdraht wird eine mindestens 5-komponentige Cu-Legierung der Zusammensetzung $\text{Cu}_a\text{Cr}_b\text{Zr}_c\text{Mg}_d\text{X}_e$ vorgesehen. Um eine Mindestfestigkeit R_m von 550 MPa und eine elektrische Leitfähigkeit κ von mindestens 65 % IACS gewährleisten zu können, werden für die einzelnen Komponenten erfindungsgemäß folgende Anteile (jeweils in Gew.-%) gewählt:

$$0,2 \leq b \leq 0,8,$$

$$0,02 \leq c \leq 0,4,$$

$$0,01 \leq d \leq 0,2,$$

$$0,01 \leq e \leq 0,4$$

und

$$a + b + c + d + e = 100 - \delta,$$

wobei δ durch den Einschluß unvermeidbarer Verunreinigungselemente in der Legierung bestimmt ist. Dieser Anteil δ an Verunreinigungselementen liegt im allgemeinen unter 100 ppm pro Verunreinigungselement.

Im Hinblick auf die geforderten Materialeigenschaften und die verhältnismäßig einfache Verarbeitungsmöglichkeit zu einem Oberleitungsdraht ist es als besonders vorteilhaft anzusehen, wenn der Anteil d der Mg-Komponente mindestens 0,05 Gew.-% beträgt. Offenbar hält dann der Mg-Zusatz auch die beiden anderen Komponenten Cr und Zr während der verhältnismäßig langsamen Abkühlungsphase der Schmelze in Lösung. Zugleich wird vorteilhaft ein Anteil b der Cr-Komponente gewählt, der mindestens 0,3 Gew.-% beträgt und vorteilhaft unter 0,6 Gew.-% liegt. Ferner sollte der Anteil c der Zr-Komponente mindestens 0,15 Gew.-% betragen. Darüber hinaus soll die Cu-Legierung des erfin-

dungsgemäßen Oberleitungsdrahtes zumindest eines der Elemente aus der Gruppe Al, P, S, Fe, Ni, Zn, Ag, Cd, In, Sn, Sb und Bi mit einem Anteil zwischen 0,01 und 0,4 Gew.-% enthalten. Diese Elemente, die im wesentlichen auch nach der Wärmebehandlung im Cu gelöst bleiben, sind insbesondere unter den folgenden zwei Gesichtspunkten von Vorteil:

- 1) Das Material besitzt gegenüber der nur 4-komponentigen CuCrZrMg-Legierung eine verbesserte Kaltumformbarkeit.
- 2) Der Kaltverfestigungsgrad während der abschließenden Kaltumformung ist vergleichsweise höher, so daß eine gegenüber der 4-komponentigen Legierung erhöhte Elastizitätsgrenze erreicht wird. Diese Vorteile kommen insbesondere bei einer nur einstufigen Kaltverformung zum Tragen.

Die genannten Anteile der einzelnen Komponenten gewährleisten eine gute Aushärtbarkeit und somit Zugfestigkeit der Legierung bei einer hinreichenden Leitfähigkeit und einer genügenden Bruchdehnung des Materials.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zugfestigkeit R_m , die Mikrohärte HV, die Leitfähigkeit κ und die Bruchdehnung ϵ_B für einige Drähte aus erfindungsgemäßen Cu-Legierungen im Vergleich zu der bekannten CuAg0.1-Legierung für verschiedene Verarbeitungszustände. Zur mechanischen Charakterisierung wurden standardmäßig die Zugfestigkeit R_m , die sogenannte 0,01 %-Dehngrenze (= technische Elastizitätsgrenze) $R_{p0,01}$ und die Bruchdehnung $\epsilon_B \cong A_{100}$ bei Raumtemperatur bestimmt. Dies geschah in Zerreißversuchen an 100 mm langen Drahtstücken mit meist 1 mm ϕ bei einer Dehngeschwindigkeit von 1 mm/min entsprechend $1,7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. An Querschliffen senkrecht zur Draht längsrichtung wurde die Mikrohärte HV₅₀ bestimmt. Die elektrische Leitfähigkeit κ wurde mit 0,2 bis 1 A Wechselstrom in Lock-in-Technik bei 370 Hz mit Hilfe einer Vierpunktmethode gemessen. Die ermittelten Leitfähigkeitswerte gelten für eine Temperatur von 20°C. Die angegebenen Eigenschaften sind bei entsprechenden Oberleitungsdrähten dieselben.

Tabelle

Legierung (in Gew.-%)	R _m (MPa)	R _{p0.01} (MPa)	HV (kp/mm ²)	K (%IACS)	ε _B (%)	Verarbeitungszustand bzw. -folge
CuCr0.5Zr0.18Mg0.05In0.1	620	430	203	70,9	2,1	Prozeß 1 (60 %), Prozeß 2 (450°C/30 min), Prozeß 1 (89 %), Prozeß 2 (480°C/30 min), Prozeß 1 (19 %)
CuCr0.5Zr0.18Mg0.05Al0.04	575	351	202	66,4	1,9	Prozeß 1 (68 %), Prozeß 2 (480°C/30 min), Prozeß 1 (22 %)
CuCr0.5Zr0.18Mg0.05In0.1	557	389	200	69,5	2,0	Prozeß 1 (68 %), Prozeß 2 (480°C/30 min), Prozeß 1 (22 %)
CuAg0.1	355	n.g.	120	96,0	1,5	Prozeß 1 (68 %)
CuAg0.1	336	n.g.	112	96,4	3,6	Prozeß 1 (31 %)

Dabei bedeuten in der Tabelle jeweils

Prozeß 1 eine Kaltverformung

und

Prozeß 2 eine Warmauslagerung;

n.g. = nicht gemessen.

Zur Herstellung der in der Tabelle aufgeführten Legierungen wurde von hochreinen Elementen (99,99 %) der Komponenten ausgegangen. Mit den Elementen wurden in einer Ar-Schutzgasatmosphäre zylindrische Reguli (ca. 60 g) in einem MgO-Tiegel induktiv erschmolzen und anschließend in einem Lichtbogenofen zu Barren (Länge ca. 10 bis 15 cm) umgeschmolzen. Aus den Barren wurden funkenerosiv und durch Drehen Stifte mit kreisförmigem Querschnitt (typisch 3 mm Durchmesser ϕ) herausgeschnitten, wobei der beim Schmelzen gebildete Schlackesack entfernt wurde. Die Stifte wurden zunächst auf ca. 2 mm ϕ rundgehämmt und anschließend auf ca. 1,5 mm ϕ gezogen. Die Kaltumformung wurde mit kleinen Stichabnahmen von 0,1 bis 0,05 mm durchgeführt. Eine relative Querschnittsreduktion beim Kaltziehen von ca. 75 %, entsprechend einer Längung von $l/l_0 = 44$, d.h. einem Umformungsgrad $\varphi = \ln(l/l_0)$ von 1,39, konnte bei allen untersuchten Legierungen aufgrund eines hohen Kaltverformungsvermögens ohne Materialfehler erzielt werden. Die Wärmebehandlungen wurden in einem Quarzrohr unter Ar-Atmosphäre durchgeführt. Nach Auslagerungsglühungen (450 bis 500°C) wurde das Material im Quarzrohr außerhalb des Ofens relativ langsam abgekühlt.

Abweichend von den in der Tabelle aufgeführten Cu-Legierungen sind insbesondere auch mit den folgenden erfindungsgemäßen Legierungen die genannten Zugfestigkeits- und Leitfähigkeitsbedingungen zu erfüllen (Angaben jeweils in Gew.-%):

CuCr	0,3	Zr	0,2	Mg	0,1	In	0,1
CuCr	0,3	Zr	0,1	Mg	0,1	Al	0,05
CuCr	0,3	Zr	0,05	Mg	0,05	In	0,15
CuCr	0,3	Zr	0,2	Mg	0,05	Al	0,085
CuCr	0,55	Zr	0,2	Mg	0,2	Sn	0,05
CuCr	0,55	Zr	0,1	Mg	0,1	Zn	0,15
CuCr	0,55	Zr	0,05	Mg	0,05	Ni	0,2
CuCr	0,55	Zr	0,05	Mg	0,2	Cd	0,05
CuCr	0,5	Zr	0,18	Mg	0,06	Ag	0,15
CuCr	0,6	Zr	0,15	Mg	0,05	Bi	0,15
CuCr	0,3	Zr	0,1	Mg	0,05	Fe	0,03
CuCr	0,4	Zr	0,1	Mg	0,08	P	0,04
CuCr	0,3	Zr	0,05	Mg	0,1	S	0,05
CuCr	0,5	Zr	0,18	Mg	0,05	Sb	0,1

Die erfindungsgemäße 5-komponentige Legierung stellt selbstverständlich nur eine Basislegierung für einen Oberleitungsdraht für elektrische Hochgeschwindigkeitsbahnen dar, zu der gegebenenfalls mindestens ein weiteres Element zu einem verhältnismäßig geringen Anteil von unter 0,1 Gew.-% hinzulegiert sein kann. Solche Zusatzelemente werden insbesondere aus den für die X-Komponente vorgesehenen Elementen ausgewählt.

Patentansprüche

1. Oberleitungsdraht einer elektrischen Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke mit einer Zugfestigkeit (R_m) des Drahtes von mindestens 550 MPa und einer elektrischen Leitfähigkeit (κ), bezogen auf die von geglühtem reinen Cu (International Annealed Copper Standard), von mindestens 65 %, bestehend aus einer wenigstens 5-komponentigen, aushärtbaren $\text{Cu}_a\text{Cr}_b\text{Zr}_c\text{Mg}_d\text{X}_e$ -Legierung, wobei X ein Element aus der Gruppe der Elemente Al, P, S, Fe, Ni, Zn, Ag, Cd, In, Sn, Sb und Bi ist und für die Komponenten (jeweils in Gew.-%) gilt:

$$0,2 \leq b \leq 0,8$$

$$0,02 \leq c \leq 0,4,$$

$$0,01 \leq d \leq 0,2,$$

$$0,01 \leq e \leq 0,4,$$

EP 0 702 375 B1

mit $a + b + c + d + e \cong 100$ unter Einschluß unvermeidbarer Verunreinigungselemente.

2. Draht nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß daß für die X_e -Komponente gilt:

5

$$0,02 \leq e \leq 0,2.$$

3. Draht nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Mg_d -Komponente gilt:

10

$$d \geq 0,05 \text{ Gew.-%}.$$

4. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Zr_c -Komponente gilt:

15

$$c \leq 0,2 \text{ Gew.-%}.$$

5. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Cr_b -Komponente gilt:

20

$$0,3 \text{ Gew.-%} \leq b \leq 0,6 \text{ Gew.-%}.$$

6. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Cu-Legierung mindestens ein weiteres Element aus der Gruppe der X-Elemente zu einem Anteil unter 0,1 Gew.-% hinzulegiert ist.

25

7. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Cu-Legierung praktisch frei von Si ist.

8. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Cu-Legierung als weitere Komponente Si mit einem Anteil von höchstens 0,1 Gew.-% enthält.

30

9. Verfahren zur Herstellung des Oberleitungsdrahtes nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **gekennzeichnet**, durch folgende Schritte:

35

- a) Es wird zunächst ein Drahtvorprodukt erstellt, wobei die Cu-Legierung erschmolzen und anschließend gegenüber einer Raschabkühlung vergleichsweise langsamer abgekühlt wird,
- b) darauf wird das Drahtvorprodukt mittels mindestens einer Kaltverformung in ein Drahtzwischenprodukt überführt,
- c) dann wird das Drahtzwischenprodukt mindestens einer Auslagerungswärmebehandlung unterzogen,
- d) gegebenenfalls werden die Schritte b) und/oder c) mindestens noch einmal wiederholt,

40

wobei mit der letzten Kaltverformung die Endform des Drahtes erzeugt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Drahtvorprodukt dadurch ausgebildet wird, daß zunächst ein Ausgangsprodukt aus den Elementen der Cu-Legierung mittels Erschmelzens und anschließender Abkühlung erstellt wird und dann das Ausgangsprodukt mittels mindestens einer Vorverformung in das Drahtvorprodukt überführt wird.

45

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mindestens eine Vorverformung bei erhöhter Temperatur vorgenommen wird.

50

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mindestens eine Vorverformung mittels Pressens und/oder Walzens und/oder Hämmerns vorgenommen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß mittels der mindestens einen Vorverformung des Ausgangsproduktes ein Drahtvorprodukt gebildet wird, dessen Querschnitt eine Querschnittsreduktion durch das mindestens eine nachfolgende Kaltverformen von 50 bis 99 %, vorzugsweise von 60 bis 95 %, erforderlich macht, um den gewünschten Endquerschnitt des Drahtes zu erhalten.

55

14. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Drahtvorprodukt aus der Schmelze der Cu-Le-gierung gegossen wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Abkühlung der Schmelze in Schritt a) im Temperaturbereich zwischen der Schmelztemperatur und 700°C mit einer Abkühlrate von unter 100°C/s, vorzugsweise von höchstens 20°C/s erfolgt.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Erschmelzen bei Schritt a) bei einer Temperatur von mindestens 1200°C vorgenommen wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens zwei Kaltverformungen vorgesehen werden, wobei mit der letzten Kaltverformung eine vergleichsweise geringere Querschnittsreduktion erfolgt.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit der ersten Kaltverformung eine Querschnittsreduktion zwischen 60 und 80 % und mit der letzten Kaltverformung eine Querschnittsreduktion zwischen 10 und 30 % erfolgt.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit der letzten Kaltverformung das Endprodukt des Drahtes erhalten wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit einer einzigen Kaltverformung des Drahtvorproduktes die Endform des Drahtes erzeugt wird.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens eine Kaltverformung mehrere Verformungsschritte umfaßt.
22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß die letzte Kaltverformung mehrere Verformungsschritte umfaßt.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mindestens eine Kaltverformung mittels Pressens und/oder Walzens und/oder Hämmerns und/oder Ziehens vorgenommen wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mindestens eine Auslagerungswärmebehandlung bei einer Temperatur zwischen 350°C und 600°C vorgenommen wird.

Claims

1. Overhead conductor wire for a high speed electric railway line having a tensile strength (R_m) of 550 MPa and an electrical conductivity (K) relative to that of annealed pure Cu (International Annealed Copper Standard) of at least 65%, consisting of an at least 5-component age-hardenable Cu alloy of the composition $Cu_aCr_bZr_cMg_dX_e$, wherein X is an element selected from the group of elements Al, P, S, Fe, Ni, Zn, Ag, Cd, In, Sn, Sb, and Bi, with the proviso that for the components (in each case in weight percent) :

$$0.2 \leq b \leq 0.8,$$

$$0.02 \leq c \leq 0.4,$$

$$0.01 \leq d \leq 0.2,$$

$$0.01 \leq e \leq 0.4,$$

with

$a + b + c + d + e \cong 100$, including unavoidable impurity elements.

2. Wire according to claim 1, characterised in that for the X_e component:

5

$$0.02 \leq e \leq 0.2.$$

3. Wire according to claim 1 or claim 2, characterised in that for the Mg_d component:

10

$$d \geq 0.05\% \text{ by wt.}$$

4. Wire according to any one of claims 1 to 3, characterised in that for the Zr_c component:

15

$$c \leq 0.2\% \text{ by wt.}$$

5. Wire according to any one of claims 1 to 4, characterised in that for the Cr_b component:

20

$$0.3\% \text{ by wt.} \leq b \leq 0.6\% \text{ by wt.}$$

6. Wire according to any one of claims 1 to 5, characterised in that at least one further element from the group of the X elements is included in the Cu alloy in an amount less than 0.1% by wt.

25

7. Wire according to any one of claims 1 to 6, characterised in that the Cu alloy is practically free from Si.

8. Wire according to any one of claims 1 to 6, characterised in that the Cu alloy contains as a further component Si in an amount of at most 0.1% by wt.

30

9. Method for manufacturing the overhead conductor wire according to any one of claims 1 to 8, characterised by the following steps:

35

- a) a wire bar is made by first melting the Cu alloy and then cooling relatively slowly compared with a rapid cooling,
- b) the wire bar is then converted into an intermediate wire product by means of at least one cold working,
- c) the intermediate wire product is then subjected to at least one ageing heat treatment,
- d) if desired the steps b) and/or c) are repeated at least once more,

40

the final form of the wire being produced by the last cold working.

10. Method according to claim 9, characterised in that the wire bar is formed by first making a starting product from the elements of the Cu alloy by means of melting and subsequent cooling and then converting the starting product into the wire bar by at least one preforming.

45

11. Method according to claim 10, characterised in that the at least one preforming is undertaken at elevated temperature.

50

12. Method according to claim 10 or claim 11, characterised in that the at least one preforming is undertaken by means of pressing and/or rolling and/or swaging.

13. Method according to any one of claims 10 to 12, characterised in that by means of the at least one preforming of the starting product a wire bar is formed the section of which makes a reduction in area by at least one subsequent cold working of 50 to 99%, preferably of 60 to 95%, necessary in order to obtain the desired final section of the wire.

55

14. Method according to claim 9, characterised in that the wire bar is cast from the Cu alloy melt.

15. Method according to any one of claims 9 to 14, characterised in that a cooling of the melt in step a) takes place in

the temperature range between the melting temperature and 700°C at a cooling rate of less than 100°C/s, preferably of at most 20°C/s.

16. Method according to any one of claims 9 to 15, characterised in that the melting in step a) is undertaken at a temperature of at least 1200°C.

17. Method according to any one of claims 9 to 16, characterised in that at least two cold workings are performed, with a relatively small reduction in area taking place in the last cold working.

18. Method according to claim 17, characterised in that by the first cold working a reduction in area between 60 and 80% and by the last cold working a reduction in area between 10 and 30% is brought about.

19. Method according to any one of claims 9 to 18, characterised in that by the last cold working the end product of the wire is obtained.

20. Method according to any one of claims 9 to 16, characterised in that by a single cold working of the wire bar the final form of the wire is produced.

21. Method according to any one of claims 9 to 20, characterised in that at least one cold working comprises several working steps.

22. Method according to claim 21, characterised in that the last cold working comprises several working steps.

23. Method according to any one of claims 9 to 22, characterised in that the at least one cold working is effected by means of pressing and/or rolling and/or swaging and/or drawing

24. Method according to any one of claims 9 to 23, characterised in that the at least one ageing heat treatment takes place at a temperature between 350°C and 600°C.

Revendications

1. Fil conducteur aérien pour chemins de fer électriques à grande vitesses lequel fil présente une résistance à la traction (R_m) égale à au moins 550 MPa et une conductibilité électrique (κ) - par rapport à celle du cuivre pur recuit (International Annealed Copper Standard) - d'au moins 65%, formé d'un alliage durcissable comprenant au moins 5 composants $Cu_aCr_bZr_cMg_dX_e$, X étant un élément appartenant au groupe des éléments Al, P, S, Fe, Ni, Zn, Ag, Cd, In, Sn, Sb et Bi et les composants vérifiant (à chaque fois en terme de % en poids) les formules suivantes:

$$0,2 \leq b \leq 0,8,$$

$$0,02 \leq c \leq 0,4,$$

$$0,01 \leq d \leq 0,2,$$

$$0,01 \leq e \leq 0,4,$$

avec $a + b + c + d + e \equiv 100$ en incluant les éléments d'impureté inévitables.

2. Fil selon la revendication 1, caractérisé en ce que les composants X_e vérifient la formule:

$$0,02 \leq e \leq 0,2.$$

3. Fil selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les composants Mg_d vérifient la formule:

EP 0 702 375 B1

$d \geq 0,05 \%$ en poids.

4. Fil selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les composants Zr_c vérifient la formule:

$c \leq 0,2 \%$ en poids.

5. Fil selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les composants Cr_b vérifient la formule:

$0,3 \%$ en poids $\leq b \leq 0,6 \%$ en poids.

6. Fil selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'on ajoute à l'alliage de Cu au moins un élément supplémentaire appartenant au groupe des éléments X dans une proportion inférieure à 0,1 % en poids.

7. Fil selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'alliage de Cu ne contient pratiquement pas de Si.

8. Fil selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'alliage de Cu contient, en tant que composants supplémentaires, du Si en proportion au plus égale à 0,1 % en poids.

9. Procédé de fabrication du fil conducteur aérien selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par les étapes suivantes:

a) on produit d'abord un précurseur du fil, l'alliage de Cu étant d'abord fondu puis refroidi de manière relativement lente par rapport à un refroidissement rapide;

b) on transforme ensuite le précurseur du fil en un produit intermédiaire de fil au moyen d'au moins un formage à froid;

c) on soumet ensuite le produit intermédiaire de fil à au moins un traitement thermique avec précipitation,

d) le cas échéant, on répète, au moins une fois encore, les étapes b) et/ou c),

la forme définitive du fil étant produite avec le dernier formage à froid.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que, pour réaliser le précurseur du fil, on produit d'abord un produit de base à partir des éléments de l'alliage de Cu au moyen d'une fusion suivie d'un refroidissement puis on transforme le produit de base en précurseur du fil au moyen d'au moins un préformage.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que le - au moins un - préformage est réalisé à température élevée.

12. Procédé selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que le - au moins un - préformage est réalisé au moyen d'un matriçage et/ou d'un laminage et/ou d'un martelage.

13. Procédé selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que l'on forme, au moyen du - au moins un - préformage du produit de base, un précurseur du fil dont la section transversale nécessite que l'on procède à une réduction de la section transversale de 50 à 99%, de préférence de 60 à 95%, au moyen du - au moins un - formage à froid qui suit, afin d'obtenir la section transversale finale souhaitée pour le fil.

14. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le précurseur du fil est coulé à partir de la masse fondue de l'alliage de Cu.

15. Procédé selon l'une des revendications 9 à 14, caractérisé en ce que l'on procède à un refroidissement de la masse fondue, dans l'étape a), dans une gamme de températures comprises entre la température de fusion et 700°C avec une vitesse de refroidissement inférieure à 100°C/s. de préférence égale au maximum à 20°C/s.

16. Procédé selon l'une des revendications 9 à 15, caractérisé en ce que la fusion dans l'étape a) est réalisée à une température égale à au moins 1200°C.

17. Procédé selon l'une des revendications 9 à 16, caractérisé en ce que l'on prévoit au moins deux formages à froid, une réduction relativement moins importante de la section transversale ayant lieu avec le dernier formage à froid.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'une réduction de la section transversale entre 60 et 80% a lieu avec le premier formage à froid et une réduction de la section transversale entre 10 et 30% a lieu avec le dernier formage à froid.

19. Procédé selon l'une des revendications 9 à 18, caractérisé en ce que le produit final du fil est obtenu avec le dernier formage à froid.

20. Procédé selon l'une des revendications 9 à 16, caractérisé en ce que la forme définitive du fil est produite avec un seul formage à froid du précurseur du fil.

21. Procédé selon l'une des revendications 9 à 20, caractérisé en ce qu'au moins un formage à froid comprend plusieurs opérations de formage.

22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que le dernier formage à froid comprend plusieurs opérations de formage.

23. Procédé selon l'une des revendications 9 à 22, caractérisé en ce que le - au moins un - formage à froid est réalisé au moyen d'un matriçage et/ou d'un laminage et/ou d'un martelage et/ou d'un tréfilage.

24. Procédé selon l'une des revendications 9 à 23, caractérisé en ce que le - au moins un - traitement thermique avec précipitation est exécuté à une température comprise entre 350°C et 600°C.