(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. Februar 2012 (09.02.2012)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/016257 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B22F 3/10 (2006.01) *C22C 27/06* (2006.01)
B22F 3/16 (2006.01) *H01H 1/02* (2006.01)
B22F 3/24 (2006.01) *H01H 11/04* (2006.01)
C22C 1/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2011/000319

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. August 2011 (01.08.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
GM 484/2010 3. August 2010 (03.08.2010) AT

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **PLANSEE POWERTECH AG** [CH/CH]; Retterswill 13, CH-5703 Seon (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **KOWANDA, Claudia** [AT/CH]; Gulmstrasse 19, CH-6315 Oberägeri (CH). **MÜLLER, Frank** [CH/CH]; Kohlhofstrasse 16, CH-6043 Adligenswil (CH).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: PROCESS FOR PRODUCING A CU-CR MATERIAL BY POWDER METALLURGY

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN ZUM PULVERMETALLURGISCHEN HERSTELLEN EINES CU-CR-WERKSTOFFS

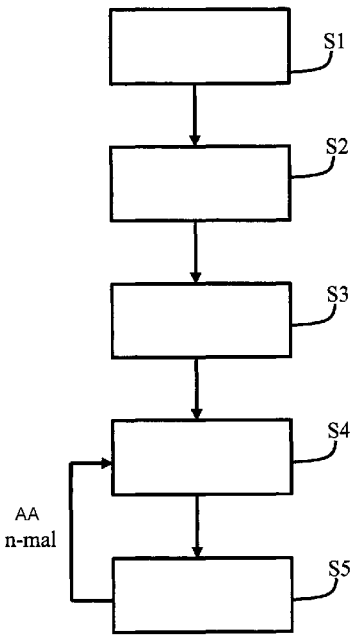


Fig. 4

AA n times

(57) **Abstract**: The invention provides a process for producing a Cu-Cr material for a switching contact, in particular for vacuum switches, by powder metallurgy, said process comprising the following steps: (S2) a Cu-Cr powder mixture formed from Cu powder and Cr powder is pressed, (S3) the pressed Cu-Cr powder mixture is sintered to form the material of the Cu-Cr switching contact. The sintering or a subsequent heat treatment process is carried out with an alternating temperature profile in which the Cu-Cr powder mixture, or the Cu-Cr material, is heated at least twice alternately above an upper temperature limit value (S4) and is cooled again below a lower temperature limit value (S5). All of the steps are carried out at temperatures at which no molten phase forms.

(57) **Zusammenfassung**: Es wird ein Verfahren zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt, insbesondere für Vakuumschalter, bereitgestellt, mit den Schritten: (S2) Pressen eines aus Cu-Pulver und Cr-Pulver gebildeten Cu-Cr-Pulvergemischs, (S3) Sintern des gepressten Cu-Cr-Pulvergemischs zu dem Werkstoff des Cu-Cr-Schaltkontakts. Das Sintern oder ein nachfolgender thermischer Behandlungsprozess wird mit einem alternierenden Temperaturprofil durchgeführt, bei dem das Cu-Cr-Pulvergemisch bzw. der Cu-Cr-Werkstoff zumindest zweimal abwechselnd über einen oberen Temperaturgrenzwert erwärmt (S4) und wieder unter einen unteren Temperaturgrenzwert abgekühlt (S5) wird. Sämtliche Schritte werden bei Temperaturen durchgeführt, bei denen sich keine schmelzflüssige Phase ausbildet.

WO 2012/016257 A2

RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

VERFAHREN ZUM PULVERMETALLURGISCHEN HERSTELLEN EINES CU-CR-WERKSTOFFS

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt, insbesondere für Vakuumschalter, sowie einen pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Schaltkontakt, insbesondere für Vakuumschalter. Es handelt sich dabei um das Herstellen eines Hochleistungs-Cu-Cr-Werkstoffs.

Es ist bekannt, als Material für Schaltkontakte, insbesondere im Einsatzbereich des Vakuumschaltprinzips, Cu-Cr-Werkstoffe einzusetzen. Das Vakuumschaltprinzip hat sich im Bereich der Mittelspannung, d.h. im Bereich von ca. 7,2 kV bis 40 kV, bereits weltweit als führendes Schaltprinzip durchgesetzt und es ist auch ein Trend zu einem Einsatz bei höheren Spannungen ersichtlich. Derartige Schaltkontakte kommen dabei z.B. sowohl bei Vakuum-Mittelspannungs-Leistungsschaltern als auch bei Vakuumschützen zum Einsatz.

Von den Schaltkontakten werden unter anderem ein über die Lebensdauer möglichst gleichbleibend hohes Schaltvermögen, eine hohe dielektrische Festigkeit und ein möglichst geringer Abbrand gefordert. Es wird erstrebt, eine hohe Abbrandfestigkeit, eine gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, eine möglichst geringe Verschweißneigung beim Schaltvorgang sowie eine hohe dielektrische Festigkeit und eine ausreichende mechanische Festigkeit des Schaltkontakts zu erzielen.

DE 10 2006 021 772 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von Kupfer-Chrom-Kontakten für Vakuumschalter. Kupfer-Chrom-Kontakte für Vakuumschalter werden dabei dadurch hergestellt, dass als Ausgangsmaterial für die Kontakte ein dünnes Kupfer-Chrom-Blech nach einem Gieß- oder Sprühverfahren mit nachfolgender rascher Abkühlung erzeugt wird. Dabei stellen sich in einer Richtung senkrecht zur Bandrichtung Konzentrationsprofile ein. Es ist auch ein Zustandsdiagramm des Cu-Cr-Systems dargestellt und beschrieben.

Wie aus dem Zustandsdiagramm ersichtlich ist, existiert in der festen Phase nahezu keine Mischbarkeit zwischen Cu und Cr. Lediglich in einem kleinen Bereich unterhalb

des Eutektikums, das sich bei einer Temperatur von ca. 1075 °C befindet, existiert ein Bereich, in dem eine geringe Löslichkeit von Cr in fester Lösung in Cu gegeben ist. Die maximale Löslichkeit von Cr in Cu in fester Lösung ist im thermodynamischen Gleichgewicht mit ca. 0,7 at.-% bei 1075 °C gegeben. Zu niedrigeren Temperaturen nimmt die Löslichkeit von Cr in Cu ab und bei 400 °C sind im thermodynamischen Gleichgewicht nur noch 0,03 at.-% Cr in Cu in fester Lösung gegeben. Ein detaillierteres Zustandsdiagramm des Cu-Cr-Systems ist z.B. in dem Handbuch von M. Hansen und K. Anderko „Constitution of Binary Alloys", McGraw-Rill Book Company, Inc. (1958) auf Seite 524 dargestellt.

Aus dem Zustandsdiagramm ergibt sich, dass bei Cu-Cr-Werkstoffen mit einem typischen Gehalt von 30-80 Gew.-% Cu und 70-20 Gew.-% Cr bei Temperaturen unterhalb des Eutektikums Cr-Körner in einer Cu-Matrix vorliegen. Aufgrund der geringen Löslichkeit von Cr in Cu in diesem Bereich, kann dabei in der Cu-Matrix ein geringer Anteil von Cr in fester Lösung vorliegen. Im Folgenden wird der Begriff Cu-Matrix auch dann verwendet, wenn ein geringer Anteil von Cr in fester Lösung in dem Cu vorhanden ist.

Zur Herstellung von Cu-Cr-Werkstoffen für Schaltkontakte für die Vakuumschalttechnik sind rein pulvermetallurgische Verfahren, Sinter-Tränk-Verfahren und auch schmelzmetallurgische Verfahren bekannt.

Aufgrund des komplexen Zustandsdiagramms des Systems Cu-Cr, ist die direkte Herstellung von homogenen Schmelzwerkstoffen nicht möglich. Aus diesem Grund werden häufig für hochwertige Cu-Cr-Werkstoffe für Schaltkontakte für Vakuumschalter sogenannte Umschmelzwerkstoffe eingesetzt, wobei z.B. ein Umschmelzen unter Verwendung eines Lasers oder eines Lichtbogens zum Einsatz kommen kann.

Eine rein pulvermetallurgische Herstellung von Cu-Cr-Werkstoffen für Schaltkontakte für Vakuumschalter (im Folgenden auch: Vakuumschaltkontakte) stellt sich, verglichen mit einer schmelzmetallurgischen Herstellung, wesentlich wirtschaftlicher dar. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Werkstoffe bisher noch nicht in zufriedenstellendem Maße die gewünschten Eigenschaften aufweisen.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt und einen pulvermetallurgisch hergestellter Cu-Cr-Schaltkontakt bereitzustellen, die sowohl eine hohe Abbrandfestigkeit, eine gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, eine möglichst geringe Verschweißneigung beim Schaltvorgang sowie eine hohe dielektrische Festigkeit und eine ausreichende mechanische Festigkeit des Schaltkontakts bereitstellen als auch eine wirtschaftliche Herstellung ermöglichen.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Das Verfahren zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt, insbesondere für Vakuumschalter, weist die folgenden Schritte auf: Pressen eines aus Cu-Pulver und Cr-Pulver gebildeten Cu-Cr-Pulvergemischs, Sintern des gepressten Cu-Cr-Pulvergemischs zu dem Werkstoff des Cu-Cr-Schaltkontakts. Das Sintern und/oder ein nachfolgender thermischer Behandlungsprozess wird mit einem alternierenden Temperaturprofil durchgeführt, bei dem das Cu-Cr-Pulvergemisch bzw. der Cu-Cr-Werkstoff zumindest zweimal abwechselnd über einen oberen Temperaturgrenzwert erwärmt und wieder unter einen unteren Temperaturgrenzwert abgekühlt wird. Sämtliche Schritte werden bei Temperaturen durchgeführt, bei denen sich keine schmelzflüssige Phase ausbildet. Der gesamte Herstellungsprozess des Cu-Cr-Werkstoffs wird somit rein pulvermetallurgisch bei Temperaturen durchgeführt, die unterhalb der Temperatur des Eutektikums (1075 °C) des Cu-Cr-Systems liegen, sodass sich keine schmelzflüssige Phase ausbildet. Der Begriff „rein pulvermetallurgisch“ bezeichnet dabei vorliegend einen Prozess, bei dem es nicht zur Ausbildung einer schmelzflüssigen Phase kommt. Es wird entweder das Sintern oder ein nachfolgender thermischer Behandlungsprozess (oder beides) mit einem alternierenden Temperaturprofil durchgeführt. Unter einem alternierenden Temperaturprofil wird dabei verstanden, dass abwechselnd eine Temperaturerhöhung und eine Temperaturerniedrigung stattfinden, wobei eine

Temperaturerhöhung und eine Temperaturerniedrigung jeweils zumindest zweimal erfolgen. Bevorzugt erfolgen die Temperaturerhöhung und die Temperaturerniedrigung zumindest dreimal. Das alternierende Temperaturprofil kann dabei z.B. bereits bei dem Sintern des gepressten Cu-Cr-Grünlings durchlaufen werden. Es ist z.B. aber auch möglich, den bereits (konventionell) gesinterten Cu-Cr-Werkstoff in einem nachfolgenden thermischen Behandlungsprozess dem alternierenden Temperaturprofil auszusetzen. Der obere Temperaturgrenzwert kann dabei vorzugsweise so gewählt werden, dass eine möglichst große Löslichkeit von Cr in Cu in fester Lösung gegeben ist. Der untere Temperaturgrenzwert kann vorzugsweise so gewählt werden, dass eine deutlich niedrigere Löslichkeit von Cr in Cu in fester Lösung gegeben ist, als bei dem oberen Temperaturgrenzwert.

Das Herstellen des Cu-Cr-Werkstoffs kann dabei z.B. derart erfolgen, dass bereits der fertige Schaltkontakt in seiner Endform bereitgestellt wird, oder z.B. auch derart, dass der Schaltkontakt erst durch eine geeignete Nachbearbeitung seine endgültige Form erhält.

Durch die rein pulvermetallurgische Herstellung kann der Cu-Cr-Werkstoff in besonders wirtschaftlicher Weise bereitgestellt werden. Durch das alternierende Temperaturprofil (Pendelglühen) wird erreicht, dass viele Cr-Körner mit Korngrößen mit einem Querschnitt zwischen 0,1 µm² und 50 µm² (gemessen im Schliffbild) in einer Cu-Matrix ausgebildet werden. Der gebildete Cu-Cr-Werkstoff weist somit eine Korngrößenverteilung der Cr-Körner gemessen im Schliffbild auf, die ein erstes Maximum im Bereich von Korngrößen mit einem Querschnitt zwischen 0,1 µm² und 50 µm² aufweist. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung erfolgt dabei mikroskopisch in einem Schliff durch Ausmessen der Flächen der jeweiligen Cr-Körner. Unter mikroskopisch wird vorliegend lichtmikroskopisch und elektronenmikroskopisch verstanden.

In dieser Weise wird ein Cu-Cr-Werkstoff für einen Schaltkontakt bereitgestellt, der in sehr wirtschaftlicher Weise hergestellt ist und dabei gleichzeitig eine hohe Abbrandfestigkeit, eine gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, eine geringe Verschweißneigung beim Schaltvorgang sowie eine hohe dielektrische Festigkeit und eine ausreichende mechanische Festigkeit des Schaltkontakts erzielt. Durch die

Realisierung des alternierenden Temperaturprofils wird die beschriebene vorteilhafte Korngrößenverteilung auch dann problemlos erreicht, wenn relativ grobes Cr-Pulver (z.B. mit Partikeldurchmessern zwischen 20 µm und 200 µm) als Ausgangsmaterial verwendet wird.

Bei einem rein pulvermetallurgischen Herstellungsverfahren ohne Durchlaufen des alternierenden Temperaturprofils, bei dem z.B. Cu-Pulver und Cr-Pulver mit maximalen Partikeldurchmessern bis etwa 200 µm eingesetzt wird, weist der resultierende Cu-Cr-Werkstoff eine Gefügestruktur auf, bei der im Schliffbild in einer Cu-Matrix neben einigen kleineren Cr-Körnern relativ große Cr-Körner mit einem Korndurchmesser im Bereich zwischen 100 µm und 150 µm vorhanden sind. Es ergibt sich dann typischerweise eine unimodale Korngrößenverteilung mit einem Maximum z.B. bei Korngrößen im Bereich zwischen 100 µm² und 25000 µm². Dies lässt darauf schließen, dass die Partikelgrößen des Cr-Pulvers als Ausgangsmaterial in dem resultierenden Cu-Cr-Werkstoff im Wesentlichen erhalten bleiben, wenn nicht das alternierende Temperaturprofil durchlaufen wird.

Eine Verwendung von deutlich feinkörnigerem Cr-Pulver als Ausgangsmaterial würde hingegen zu weiteren Problemen führen. Der Herstellungsprozess würde deutlich erschwert. Feinkörnige Cr-Pulver haben einen deutlich höheren Sauerstoffanteil als grobkörnige Pulver. Dadurch wird die Einbindung der Cr-Phase in das Cu-Matrixmaterial erschwert, was eine höhere Porosität nach sich zieht. Es hat sich zudem gezeigt, dass der Grad an Verunreinigungen durch Oxide in feinen Cr-Pulverfraktionen höher ist, als in grobkörnigen Pulvern. Eine weitere Schwierigkeit bei der Verarbeitung von feinen Pulvern sind die Handhabung bezüglich der Vermeidung der Sauerstoffaufnahme während des Herstellungsprozesses sowie die Gewährleistung einer ausreichenden Arbeitsplatzsicherheit. Desweiteren würde zum Erreichen einer zufriedenstellenden Dichte und einer geringen Porosität des Werkstoffs ein höherer Pressdruck erfordert oder eine Kaltverformung des gesinterten Werkstoffs würde nötig. Mit den angegebenen Verfahrensschritten können die gewünschten Eigenschaften des Cu-Cr-Werkstoffs hingegen unter Verwendung konventioneller Produktionsanlagen in wirtschaftlicher Weise erreicht werden.

Mit dem Verfahren zum Herstellen des Cu-Cr-Werkstoffs werden eine geringe Porosität, eine hohe Dichte, ein äußerst geringer Grad an Verunreinigungen, fein und homogen isotrop verteilte Cr-Körner in einer Cu-Matrix sowie eine gleichbleibende homogene chemische Zusammensetzung des Cu-Cr-Werkstoffs erreicht. Der resultierende Cu-Cr-Werkstoff eignet sich hervorragend für Schaltkontakte für die Anwendung in der Vakuumschalttechnik, sowohl als Leistungsschalter im Hoch- und Mittelspannungsbereich als auch als Vakuumschützschalter im Niederspannungsbereich.

Gemäß einer Ausgestaltung liegt der obere Temperaturgrenzwert in einem Bereich zwischen 1065 °C und 1025 °C und der untere Temperaturgrenzwert liegt zumindest 50 °C unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts. Der untere Temperaturgrenzwert liegt bevorzugt zumindest 100 °C unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts. In diesem Fall liegt der obere Temperaturgrenzwert in einem Temperaturbereich knapp unterhalb der Temperatur des Eutektikums (1075 °C), also einem Bereich, in dem bis zu etwa 0,7 at-% Cr in der Cu-Matrix in fester Lösung gelöst werden können. Dies entspricht dem Bereich, in dem die maximale Löslichkeit von Cr in Cu in fester Lösung gegeben ist. Andererseits liegt der obere Temperaturgrenzwert weit genug unterhalb der Temperatur des Eutektikums, sodass das Ausbilden einer schmelzflüssigen Phase selbst bei leichten Temperaturschwankungen zuverlässig verhindert wird. Der untere Temperaturgrenzwert liegt deutlich unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts, also in einem Bereich in dem (im thermischen Gleichgewicht) eine wesentlich geringere Menge Cr in der Cu-Matrix in fester Lösung gelöst werden kann. Somit wird bei der Erwärmung über den oberen Temperaturgrenzwert Cr in dem Material der Cu-Matrix angereichert (bis auf maximal ca. 0,7 at-%). Bei dem Abkühlen unter den unteren Temperaturgrenzwert (was einer senkrechten Bewegung in dem Zustandsdiagramm entspricht) übersteigt die in fester Lösung gelöste Cr-Menge die diesem tieferen Temperaturwert entsprechende Löslichkeit, die deutlich geringer als 0,7 at-% ist. Folglich wird Cr aus der Cu-Matrix ausgeschieden und es bilden sich Cr-Körner mit kleinen Korngrößen aus. Bei einem wiederholten Durchlaufen des alternierenden Temperaturprofils nimmt zunächst die Anzahl der gebildeten Cr-Körner mit kleinen Korngrößen zu.

Gemäß einer Ausgestaltung weist das Verfahren ferner den Schritt auf: Mischen von Cu-Pulver und Cr-Pulver zu einem Cu-Cr-Pulvergemisch. In diesem Fall kann das Cu-Cr-Pulvergemisch in einfacher Weise durch Verwendung üblicher Cr-Pulver und Cu-Pulver bereitgestellt werden.

Gemäß einer Ausgestaltung weisen die Cu-Partikel in dem Cu-Cr-Pulvergemisch eine Partikelgrößenverteilung mit einem maximalen Partikeldurchmesser ≤ 80 µm, bevorzugt
≤ 50 µm, auf. In diesem Fall wird bei dem Sinterprozess eine zuverlässige Ausbildung der Cu-Matrix ermöglicht und der Cu-Cr-Werkstoff kann zuverlässig mit geringer Porosität und hoher Dichte bereitgestellt werden. Der maximale Partikeldurchmesser wird dabei mittels einer Siebanalyse bestimmt. Dabei wird ein Sieb mit einer entsprechenden Maschenweite (z.B. 80 µm bzw. 50 µm) verwendet und nur Partikel, die durch das Sieb fallen, werden verwendet.

Gemäß einer Ausgestaltung weisen die Cr-Partikel in dem Cu-Cr-Pulvergemisch eine Partikelgrößenverteilung mit einem maximalen Partikeldurchmesser ≤ 200 µm, bevorzugt
≤ 160 µm, auf. Der maximale Partikeldurchmesser wird wiederum mit einer Siebanalyse mit einer entsprechenden Maschenweite des Siebs bestimmt. In diesem Fall ist der Wert für den maximalen Partikeldurchmesser klein genug, um zu erreichen, dass in dem Cu-Cr-Werkstoff keine übermäßig großen Cr-Körner ausgebildet werden. Andererseits können die einzelnen Partikel auch groß genug ausgebildet sein, sodass keine übermäßige Gefahr von Verunreinigungen durch Oxide auftritt und in konventionellen Produktionsanlagen eine hohe Dichte und ein geringes Maß an Porosität erreicht werden können.

Gemäß einer Ausgestaltung weisen die Cr-Partikel in dem Cu-Cr-Pulvergemisch eine Partikelgrößenverteilung mit einem minimalen Partikeldurchmesser ≥ 20 µm, bevorzugt ≥ 32 µm, auf. Der minimale Partikeldurchmesser wird dabei ebenfalls mit einer Siebanalyse (mit einer Maschenweite von z.B. 20 µm bzw. 32 µm) bestimmt, allerdings werden in diesem Fall nur die Partikel verwendet, die nicht durch das Sieb fallen. In diesem Fall ist der minimale Partikeldurchmesser groß genug, sodass keine übermäßige Gefahr von Verunreinigungen durch Oxide auftritt und in konventionellen

Produktionsanlagen eine hohe Dichte und ein geringes Maß an Porosität erreicht werden können.

Gemäß einer Ausgestaltung weist das Cu-Cr-Pulvergemisch einen Cu-Gehalt zwischen 30 Gew.-% und 80 Gew.-% und einen Cr-Gehalt zwischen 70 Gew.-% und 20 Gew.-% auf. In diesem Fall wird erreicht, dass sowohl eine hohe Abbrandfestigkeit und eine geringe Verschweißneigung als auch gute elektrische und thermische Leitfähigkeit und eine ausreichende mechanische Festigkeit bereitgestellt werden können. Wenn der Cr-Gehalt 70 Gew.-% übersteigt, führt dies zu einer merklichen Verschlechterung der thermischen sowie elektrischen Leitfähigkeit. Wenn der Cr-Gehalt kleiner als 20 Gew.-% ist, können keine zufriedenstellende Abbrandfestigkeit und Verschweißneigung erzielt werden.

Die Aufgabe wird auch durch einen pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Schaltkontakt nach Anspruch 8 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Cu-Cr-Schaltkontakt kann für Vakuumschalter ausgebildet sein.

Der pulvermetallurgisch hergestellte Cu-Cr-Schaltkontakt hat einen Cu-Gehalt zwischen 30 Gew.-% und 80 Gew.-% und einen Cr-Gehalt zwischen 70 Gew.-% und 20 Gew.-%. Der Cu-Cr-Schaltkontakt weist Cr-Körner in einer Cu-Matrix auf. Eine Korngrößenverteilung der Cr-Körner gemessen im Schliffbild weist ein erstes Maximum im Bereich von Korngrößen mit einer Querschnittsfläche zwischen 0,1 μm^2 und 50 μm^2 auf. Der Schaltkontakt ist durch einen pulvermetallurgischen Prozess aus Cu-Pulver und Cr-Pulver ohne Ausbildung einer schmelzflüssigen Phase gefertigt. Es handelt sich somit um einen rein pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Schaltkontakt.

Unter einer Cu-Matrix wird dabei ein Material verstanden, das hauptsächlich aus Cu besteht, jedoch auch einen geringen Anteil an Cr in fester Lösung aufweisen kann. Es können ferner auch Spuren an Verunreinigungen vorliegen. In der Cu-Matrix sind Cr-Körner ausgebildet. Die Korngrößenverteilung der Cr-Körner bestimmt sich dabei wie folgt: Von dem Cu-Cr-Werkstoff des Schaltkontakts wird ein Schliffbild angefertigt und mikroskopisch analysiert. Im Schliffbild werden die Cr-Körner identifiziert und die

Querschnittsflächen der Cr-Körner werden ausgemessen. Die Auswertung erfolgt dabei über einen ausreichend großen Flächenbereich bzw. verschiedene Flächenbereiche, die eine ausreichend große Gesamtfläche bilden, sodass eine repräsentative, statistische Aussage ermöglicht ist. Die Auswertung kann z.B. per Hand oder aber auch durch eine geeignete Software unterstützt durchgeführt werden. Bei einer graphischen Auftragung mit der gemessenen Querschnittsfläche auf der x-Achse und der zugehörigen Anzahl der ermittelten Cr-Körner mit der jeweiligen Querschnittsfläche pro Einheitsfläche (z.B. pro mm²) auf der y-Achse (bevorzugt jeweils in logarithmischer Darstellung), ist die Korngrößenverteilung ersichtlich. Die Korngrößenverteilung weist ein Maximum in einem Bereich von Korngrößen mit einer gemessenen Querschnittsfläche zwischen 0,1 µm² und 50 µm² auf.

Mit dem pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Schaltkontakt werden die oben in Bezug auf das Verfahren zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt beschriebenen Vorteile erreicht. Durch die rein pulvermetallurgische Herstellung ist eine besonders wirtschaftliche Herstellung ermöglicht. Aufgrund der Korngrößenverteilung mit dem Maximum im Bereich von Korngrößen mit einer Querschnittsfläche zwischen 0,1 µm² und 50 µm² weist der Cu-Cr-Schaltkontakt eine große Anzahl von feinen Cr-Körnern auf. Die feinen Cr-Körner sind dabei weitestgehend homogen verteilt. In dieser Weise ist eine sehr gute Abbrandfestigkeit erreicht. Der Cu-Cr-Schaltkontakt ist durch ein rein pulvermetallurgisches Verfahren erhältlich, bei dem Sintern oder ein nachfolgender thermischer Behandlungsprozess mit einem alternierenden Temperaturprofil durchgeführt wird, bei dem ein Cu-Cr-Pulvergemisch bzw. der Werkstoff des Cu-Cr-Schaltkontakts zumindest zweimal abwechselnd über einen oberen Temperaturgrenzwert erwärmt und wieder unter einen unteren Temperaturgrenzwert abgekühlt wird und wobei sämtliche Schritte bei Temperaturen durchgeführt werden, bei denen sich keine schmelzflüssige Phase ausbildet. Die Herstellung in einem rein pulvermetallurgischen Prozess ist an dem Cu-Cr-Schaltkontakt ersichtlich.

Gemäß einer Ausgestaltung weist die Korngrößenverteilung der Cr-Körner ein zweites Maximum im Bereich von Korngrößen mit einer Querschnittsfläche zwischen 100 µm² und 10000 µm² auf. Es liegt somit eine bimodale Cr-Phasenverteilung vor, die zwei Maxima aufweist, ein erstes Maximum bei Korngrößen mit einer

gemessenen Querschnittsfläche zwischen 0,1 µm² und 50 µm² und ein zweites Maximum bei Korngrößen mit einer gemessenen Querschnittsfläche zwischen 100 µm² und 10000 µm². Diese Korngrößenverteilung resultiert aus dem rein pulvermetallurgischen Herstellungsprozess unter Verwendung von grobem Cr-Pulver z.B. mit Partikeldurchmessern zwischen 20 µm und 200 µm.

Gemäß einer Ausgestaltung ist die Anzahl der dem ersten Maximum entsprechenden Cr-Körner größer als die Anzahl der dem zweiten Maximum entsprechenden Cr-Körner, d.h. es liegen mehr Körner vor, die eine dem ersten Maximum entsprechende Korngröße aufweisen, als Körner, die eine dem zweiten Maximum entsprechende Korngröße aufweisen. In diesem Fall liegen im Verhältnis zu der Gesamtzahl der Cr-Körner viele feine Cr-Körner mit Querschnittsflächen zwischen 0,1 µm² und 50 µm² vor. Es wird eine besonders vorteilhafte Abbrandfestigkeit erreicht. Wenn die Anzahl der dem ersten Maximum entsprechenden Cr-Körner um einen Faktor > 5 größer als die Anzahl der dem zweiten Maximum entsprechenden Cr-Körner ist, liegt ein besonders vorteilhafter Anteil an feinen Cr-Körnern mit kleiner Querschnittsfläche vor.

Gemäß einer Ausgestaltung weist der Cu-Cr-Schaltkontakt eine relative Dichte > 90 % auf. In diesem Fall werden zuverlässig eine gute elektrische und thermische Leitfähigkeit sowie eine hohe mechanische Festigkeit bereitgestellt. Eine derart hohe relative Dichte lässt sich zuverlässig bei der Verwendung von relativ grobem Cr-Pulver und Cu-Pulver in konventionellen Produktionsanlagen erzielen. Unter relativer Dichte wird dabei das Verhältnis zwischen der erreichten Dichte und der theoretisch erreichbaren Dichte für die Zusammensetzung verstanden. Die Kombination aus dieser hohen Dichte und dem hohen Anteil feiner Cr-Körner in der Cu-Matrix lässt sich durch die Kombination einer Verwendung grober Cr-Pulver (mit Partikeldurchmessern zwischen 20 µm und 200 µm) und Nutzung eines alternierenden Temperaturprofils, bei dem zumindest zweimal abwechselnd eine Erwärmung über einen oberen Temperaturgrenzwert und wieder eine Abkühlung unter einen unteren Temperaturgrenzwert erfolgt, erreichen.

Weitere Vorteile und Weiterbildungen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einer Ausführungsform unter Bezugnahme auf die Figuren.

Fig. 1 zeigt eine Korngrößenverteilung der Cr-Körner bei einem pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Werkstoff im Ausgangszustand (durchgezogene Linie) und nach Durchlaufen eines alternierenden Temperaturprofils (gestrichelte Linie).

Fig. 2 zeigt ein lichtmikroskopisches Schliffbild eines pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Werkstoffs.

Fig. 3 zeigt ein lichtmikroskopisches Schliffbild eines pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Werkstoffs nach Durchlaufen eines alternierenden Temperaturprofils.

Fig. 4 zeigt schematisch die Verfahrensschritte eines Verfahrens zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt.

Im Folgenden wird unter Bezug auf die Fig. 1 bis 4 ein Verfahren zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt für Vakuumschalter gemäß einer ersten Ausführungsform beschrieben.

In einem ersten Schritt -S1- wird Cu-Pulver mit einem maximalen Partikeldurchmesser von bevorzugt höchstens 50 µm mit Cr-Pulver mit einem maximalen Partikeldurchmesser von höchstens 200 µm (bevorzugt höchstens 160 µm) und einem minimalen Partikeldurchmesser von mindestens 20 µm (bevorzugt mindestens 32 µm) zu einem Cu-Cr-Pulvergemisch vermischt. Es wurden z.B. als Beispiele ein erstes Cu-Cr-Pulvergemisch mit einem Cr-Gehalt von 25 Gew.-% und einem Cu-Gehalt von 75 Gew.-% und ein zweites Cu-Cr-Pulvergemisch mit einem Cr-Gehalt von 43 Gew.-% und einem Cu-Gehalt von 57 Gew.-% erzeugt.

In einem zweiten Schritt -S2- wird das Cu-Cr-Pulvergemisch gepresst. Bevorzugt wird das Cu-Cr-Pulvergemisch durch Kaltpressen mit einem Pressdruck in einem Bereich zwischen 400 MPa und 850 MPa verdichtet. In einem nachfolgenden Schritt -S3- wird der derart gebildete Grünling in einem Sinterprozess bei Temperaturen in

einem Temperaturbereich deutlich unterhalb der Temperatur des Eutektikums (also deutlich unterhalb von 1075 °C) gesintert. Somit bildet sich bei keinem der Schritte -S1- bis -S3- eine schmelzflüssige Phase in dem Cu-Cr-Pulvergemisch bzw. in dem gepressten Grünling aus. Der Sinterprozess kann zum Beispiel bei Temperaturen in einem Temperaturbereich zwischen 850 °C und 1070 °C durchgeführt werden. Die Temperaturen müssen dabei hoch genug sein, dass der Sinterprozess in ausreichendem Maß und mit ausreichender Geschwindigkeit abläuft, und niedrig genug, dass sich auch bei unvermeidlichen Temperaturgradienten keine schmelzflüssige Phase ausbildet.

Ein beispielhaftes lichtmikroskopisches Schliffbild eines pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Werkstoffs nach dem Schritt -S3- ist in Fig. 2 dargestellt. In Fig. 2 ist zu erkennen, dass in einer Cu-Matrix Cr-Körner mit unterschiedlichen Korngrößen eingebunden sind. Eine eingehendere Analyse der Korngrößenverteilung bei den genannten Beispielen ergab, dass die Korngrößen der Cr-Körner im Wesentlichen den Partikelgrößen des Cr-Pulvers des Ausgangsmaterials entsprachen.

Eine Auswertung der Korngrößenverteilung der Cr-Körner in dem derart hergestellten Cu-Cr-Werkstoff ist in Fig. 1 mit einer durchgezogenen Linie dargestellt. Es wurde ein Schliffbild des Cu-Cr-Werkstoffs angefertigt und die Größe der Cr-Körner wurde mikroskopisch untersucht und ausgemessen. Dabei wurden 10 verschiedene Bereiche des Cu-Cr-Werkstoffs analysiert, um eine statistisch aussagefähige Verteilung zu erhalten. In Fig. 1 ist auf der horizontalen Achse die gemessene Querschnittsfläche der Cr-Körner in μm^2 in einer logarithmischen Skala aufgetragen. Auf der vertikalen Achse ist die entsprechende Anzahl der Körner normiert auf eine Einheitsfläche von 1 mm^2 ebenfalls in einer logarithmischen Darstellung dargestellt. Wie in Fig. 1 zu sehen ist, weist der Cu-Cr-Werkstoff in diesem Verfahrensstadium eine monomodale Korngrößenverteilung mit Korngrößen in einem Bereich zwischen etwa 10 μm^2 und 25000 μm^2 auf. Die Korngrößenverteilung weist dabei ein Maximum auf, das bei Korngrößen in einem Bereich > 100 μm^2 liegt.

Der Cu-Cr-Werkstoff wird anschließend einem thermischen Behandlungsprozess mit einem alternierenden Temperaturprofil unterworfen, wie im Folgenden beschrieben

wird. Dabei wird der Cu-Cr-Werkstoff abwechselnd auf eine Temperatur oberhalb eines oberen Temperaturgrenzwerts erwärmt und auf eine Temperatur unterhalb eines unteren Temperaturgrenzwerts abgekühlt. Dabei erfolgen das abwechselnde Erwärmen und Abkühlen zumindest zweimal. Auch bei diesen Prozessschritten wird darauf geachtet, dass sich keine schmelzflüssige Phase ausbildet, d.h. der Cu-Cr-Werkstoff wird auf Temperaturen unterhalb der Temperatur des Eutektikums (1075 °C) des Cu-Cr-Systems gehalten. Dies wird im Folgenden noch eingehender beschrieben.

In einem Schritt -S4- wird der Cu-Cr-Werkstoff auf eine Temperatur oberhalb des oberen Temperaturgrenzwerts erwärmt. Der obere Temperaturgrenzwert liegt dabei bevorzugt relativ nah unterhalb der Temperatur des Eutektikums des Cu-Cr-Systems, sodass der Cu-Cr-Werkstoff auf eine Temperatur knapp unterhalb der Temperatur des Eutektikums gebracht wird, allerdings weit genug von der Temperatur des Eutektikums entfernt, dass ein Ausbilden einer flüssigen Phase zuverlässig verhindert ist. Der obere Temperaturgrenzwert liegt somit bevorzugt in einem Bereich zwischen 1025 °C und 1065 °C.

Anschließend wird in einem Schritt -S5- der Cu-Cr-Werkstoff auf eine Temperatur unterhalb eines unteren Temperaturgrenzwerts abgekühlt. Der untere Temperaturgrenzwert liegt dabei bevorzugt in einem Bereich der sich zumindest um 50 °C unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts befindet, mehr bevorzugt in einem Bereich um mehr als 100 °C unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts. Der untere Temperaturgrenzwert liegt dabei bevorzugt höchstens 250 °C unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts, mehr bevorzugt höchstens 180 °C unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts. Der untere Temperaturgrenzwert sollte so gewählt werden, dass bei diesem eine deutlich geringere Löslichkeit von Cr in fester Lösung in Cu gegeben ist, als bei dem oberen Temperaturgrenzwert. Der Grund für diese Wahl wird noch eingehender erläutert. Z.B. kann der Cu-Cr-Werkstoff auf Temperaturen im Bereich von ca. 850 °C abgekühlt werden. Es empfiehlt sich, den unteren Temperaturgrenzwert nicht zu niedrig zu wählen, um ein ausreichendes Maß an Diffusionsprozessen in dem Cu-Cr-Werkstoff zu gewährleisten. Auf dem oberen Temperaturniveau und dem unteren Temperaturniveau wird der Cu-Cr-Werkstoff jeweils für einige Zeit gehalten.

Anschließend wird der Schritt -S4- wiederholt, d.h. der Cu-Cr-Werkstoff wird wieder auf eine Temperatur oberhalb des oberen Temperaturgrenzwerts erhöht. Nachfolgend wird der Schritt -S5- wiederholt, d.h. der Cu-Cr-Werkstoff wird wieder auf eine Temperatur unterhalb des unteren Temperaturgrenzwerts abgekühlt. Die Schritte -S4- und -S5- werden insgesamt n-mal wiederholt, jedoch insgesamt zumindest zweimal, bevorzugt mindesten dreimal. Es hat sich gezeigt, dass bei 2-maligem bis ca. 6-maligem ($2 \leq n \leq 6$) Durchlaufen der Schritte -S4- und -S5- eine Verbesserung des Cu-Cr-Werkstoffs erreicht wird und bei einer größeren Anzahl von Wiederholungen keine weitere Verbesserung zu erwarten ist. Der Cu-Cr-Werkstoff wird also einem Pendelglühen ausgesetzt. Zumindest die Schritte -S4- und -S5- werden in einem Schutzgasofen unter reduzierender Atmosphäre und/oder in einem Vakuumofen durchgeführt, um eine unerwünschte Oxidation mit Sauerstoff zu vermeiden. Anschließend wird der Herstellungsprozess beendet.

Fig. 3 zeigt ein lichtmikroskopisches Schliffbild eines pulvermetallurgisch hergestellten Cu-Cr-Werkstoffs nach Durchlaufen des beschriebenen alternierenden Temperaturprofils. In Fig. 3 ist zu erkennen, dass nach dem Durchführen des Pendelglühens der Anteil an Cr-Körnern mit einer kleinen Querschnittsfläche, verglichen mit dem Zustand vor dem Pendelglühen (vgl. Fig. 2), deutlich zugenommen hat. Eine genauere Analyse der Korngröße der Cr-Körner ergibt, dass sich eine bimodale Korngrößenverteilung eingestellt hat, die zwei Maxima aufweist.

In Fig. 1 ist als gestrichelte Linie die ermittelte Korngrößenverteilung nach dem Durchlaufen des alternierenden Temperaturprofils dargestellt. Die Korngrößenverteilung wurde in derselben Weise ermittelt, wie oben bereits in Bezug auf die durchgezogene Linie von Fig. 1 beschrieben wurde. Es ist ersichtlich, dass nach dem Pendelglühen anstelle der zuvor vorhandenen monomodalen Korngrößenverteilung (durchgezogene Linie) eine bimodale Korngrößenverteilung vorliegt. Die Korngrößenverteilung weist ein erstes Maximum in einem Bereich von Korngrößen mit einer Querschnittsfläche zwischen 0,1 μm^2 und 50 μm^2 auf. Ferner weist die Korngrößenverteilung ein zweites Maximum im Bereich von Korngrößen mit

einer Querschnittsfläche zwischen 100 µm² und 10000 µm² auf. Die Anzahl der dem ersten Maximum entsprechenden Cr-Körner ist größer als die Anzahl der dem zweiten Maximum entsprechenden Cr-Körner. Die Anzahl der dem ersten Maximum entsprechenden Cr-Körner ist um einen Faktor > 5 größer als die Anzahl der dem zweiten Maximum entsprechenden Cr-Körner. Es liegt ferner eine sehr homogene Verteilung der Cr-Körner in der Cu-Matrix vor. Der Anteil von Cr-Körnern mit einer Querschnittsfläche < 10 µm² gemessen im Schliffbild ist somit sehr hoch. Durch die thermische Behandlung mit dem alternierenden Temperaturprofil wird somit eine Verschiebung zu einem hohen Anteil an sehr kleinen fein verteilten Cr-Kornausscheidungen in der Cu-Matrix erreicht.

Mit den beschriebenen Ausgangsmaterialien mit einer relativ groben Partikelgröße des Cr-Pulvers lassen sich in einem rein pulvermetallurgischen Verfahren mit konventionellen Herstellungsanlagen sehr dichte Cu-Cr-Werkstoffe mit geringer Porosität herstellen, die zudem ein geringes Maß an Verunreinigungen aufweisen. Die rein pulvermetallurgische Herstellung ist an dem Cu-Cr-Werkstoff erkennbar. Aufgrund der sehr fein verteilten Cr-Körner weist der rein pulvermetallurgisch gefertigte Cu-Cr-Werkstoff eine hohe Abbrandfestigkeit, eine hohe dielektrische Festigkeit und eine ausreichende mechanische Festigkeit des Schaltkontakts auf.

Die Ausbildung der fein verteilten Cr-Körner in der Cu-Matrix lässt sich im Hinblick auf das z.B. in der eingangs genannten DE 10 2006 021 772 A1 dargestellte Zustandsdiagramm wie folgt erklären: Bei Temperaturen oberhalb des oberen Temperaturgrenzwerts in einem Bereich nahe unterhalb der Temperatur des Eutektikums können bis zu etwa 0,7 at-% Cr in fester Lösung in dem Material der Cu-Matrix gelöst werden (im thermodynamischen Gleichgewicht). Bei dem Abkühlen des Cu-Cr-Werkstoffs auf eine Temperatur unterhalb des unteren Temperaturgrenzwerts wird der Werkstoff auf eine Temperatur gebracht, bei der im thermodynamischen Gleichgewicht nur ein viel geringerer Anteil von Cr in fester Lösung in dem Material der Cu-Matrix gelöst werden kann. Bei dem Abkühlen wird somit Cr aus dem Material der Cu-Matrix ausgeschieden und dieses Ausscheiden erfolgt in Form von kleinen Körnern. Bei einem erneuten Erhöhen der Temperatur über den oberen Temperaturgrenzwert gelangt wieder Cr in fester Lösung in das Material der Cu-Matrix. Bei einem erneuten Absenken der Temperatur unter den

unteren Temperaturgrenzwert wird aufgrund der geringeren Löslichkeit in fester Lösung wieder Cr ausgeschieden, was zu feinen Cr-Körnern führt. In dieser Weise bildet sich die beschriebene bimodale Korngrößenverteilung der Cr-Körner aus.

Es hat sich gezeigt, dass für eine zufriedenstellende Bildung von feinen Cr-Körnern zumindest zweimal der obere Temperaturgrenzwert überschritten und der untere Temperaturgrenzwert unterschritten werden sollte. Ab einer gewissen Anzahl von Wiederholungen bei dem Pendelglühen kann allerdings keine Verbesserung der Struktur mehr beobachtet werden. Die Temperaturänderung zwischen dem hohen und dem niedrigen Temperaturniveau bei dem Pendelglühen sollte ausreichend langsam gewählt werden, dass Cr zuverlässig beim Abkühlen aus der Cu-Matrix ausgeschieden wird, andererseits aber auch nicht zu langsam, damit nicht durch Kornvergröberung wieder größere Cr-Körner entstehen.

Es wurden auch Versuche mit Cu-Cr-Pulvergemischen mit anderen Verhältnissen zwischen Cr und Cu durchgeführt, die ebenfalls zu vergleichbaren Ergebnissen führten. Auch Versuche mit einem Cr-Gehalt von 70 Gew.-% und einem Cu-Gehalt von 30 Gew.-% führten in Bezug auf die feinen Cr-Ausscheidungen zu einem vergleichbaren Ergebnis.

Obwohl beschrieben wurde, dass die Behandlung mit den alternierenden Temperaturprofil erst nach dem Schritt -S3- des Sinterns bei dem Cu-Cr-Werkstoff erfolgt, ist es z.B. auch möglich, bereits den Sinterprozess selbst mit einem alternierenden Temperaturprofil durchzuführen. In diesem Fall wird bereits der gepresste Cu-Cr-Grünling während des Sintervorgangs den Schritten -S4- und -S5- wiederholt unterworfen. In diesem Fall entfällt der separate Schritt -S3- und das Sintern erfolgt während der Schritte -S4- und -S5-.

Ansprüche

1. Verfahren zum pulvermetallurgischen Herstellen eines Cu-Cr-Werkstoffs für einen Schaltkontakt, insbesondere für Vakuumschalter, mit den Schritten:
(S2) Pressen eines aus Cu-Pulver und Cr-Pulver gebildeten Cu-Cr-Pulvergemischs,
(S3) Sintern des gepressten Cu-Cr-Pulvergemischs zu dem Werkstoff des Cu-Cr-Schaltkontakts,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Sintern und/oder ein nachfolgender thermischer Behandlungsprozess mit einem alternierenden Temperaturprofil durchgeführt wird, bei dem das Cu-Cr-Pulvergemisch bzw. der Cu-Cr-Werkstoff zumindest zweimal abwechselnd über einen oberen Temperaturgrenzwert erwärmt (S4) und wieder unter einen unteren Temperaturgrenzwert abgekühlt (S5) wird und wobei sämtliche Schritte bei Temperaturen durchgeführt werden, bei denen sich keine schmelzflüssige Phase ausbildet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der obere Temperaturgrenzwert in einem Bereich zwischen 1065 °C und 1025 °C liegt und der untere Temperaturgrenzwert zumindest 50 °C unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts liegt, bevorzugt zumindest 100 °C unterhalb des oberen Temperaturgrenzwerts.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner den Schritt aufweist: (S1) Mischen von Cu-Pulver und Cr-Pulver zu einem Cu-Cr-Pulvergemisch.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Cu-Partikel in dem Cu-Cr-Pulvergemisch eine Partikelgrößenverteilung mit einem maximalen Partikeldurchmesser ≤ 80 µm, bevorzugt ≤ 50 µm, aufweisen.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Cr-Partikel in dem Cu-Cr-Pulvergemisch eine Partikelgrößenverteilung mit einem maximalen Partikeldurchmesser ≤ 200 µm, bevorzugt ≤ 160 µm, aufweisen.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Cr-Partikel in dem Cu-Cr-Pulvergemisch eine Partikelgrößenverteilung mit einem minimalen Partikeldurchmesser ≥ 20 µm, bevorzugt ≥ 32 µm, aufweisen.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Cu-Cr-Pulvergemisch einen Cu-Gehalt zwischen 30 Gew.-% und 80 Gew.-% und einen Cr- Gehalt zwischen 70 Gew.-% und 20 Gew.-% aufweist.

8. Pulvermetallurgisch hergestellter Cu-Cr-Schaltkontakt, insbesondere für Vakuumschalter, mit einem Cu-Gehalt zwischen 30 Gew.-% und 80 Gew.-% und einem Cr-Gehalt zwischen 70 Gew.-% und 20 Gew.-% dadurch gekennzeichnet, dass
der Cu-Cr-Schaltkontakt Cr-Körner in einer Cu-Matrix aufweist und eine Korngrößenverteilung der Cr-Körner gemessen im Schliffbild ein erstes Maximum im Bereich von Korngrößen mit einer Querschnittsfläche zwischen 0,1 µm² und 50 µm² aufweist, und
der Schaltkontakt durch einen pulvermetallurgischen Prozess aus Cu-Pulver und Cr-Pulver ohne Ausbildung einer schmelzflüssigen Phase gefertigt ist.

9. Pulvermetallurgisch hergestellter Cu-Cr-Schaltkontakt nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Korngrößenverteilung der Cr-Körner ein zweites Maximum im Bereich von Korngrößen mit einer Querschnittsfläche zwischen 100 µm² und 10000 µm² aufweist.

10. Pulvermetallurgisch hergestellter Cu-Cr-Schaltkontakt nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der dem ersten Maximum

entsprechenden Cr-Körner größer als die Anzahl der dem zweiten Maximum entsprechenden Cr-Körner ist.

11. Pulvermetallurgisch hergestellter Cu-Cr-Schaltkontakt nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der dem ersten Maximum entsprechenden Cr-Körner um einen Faktor > 5 größer als die Anzahl der dem zweiten Maximum entsprechenden Cr-Körner ist.

12. Pulvermetallurgisch hergestellter Cu-Cr-Schaltkontakt nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Cu-Cr-Schaltkontakt eine relative Dichte > 90 % aufweist.

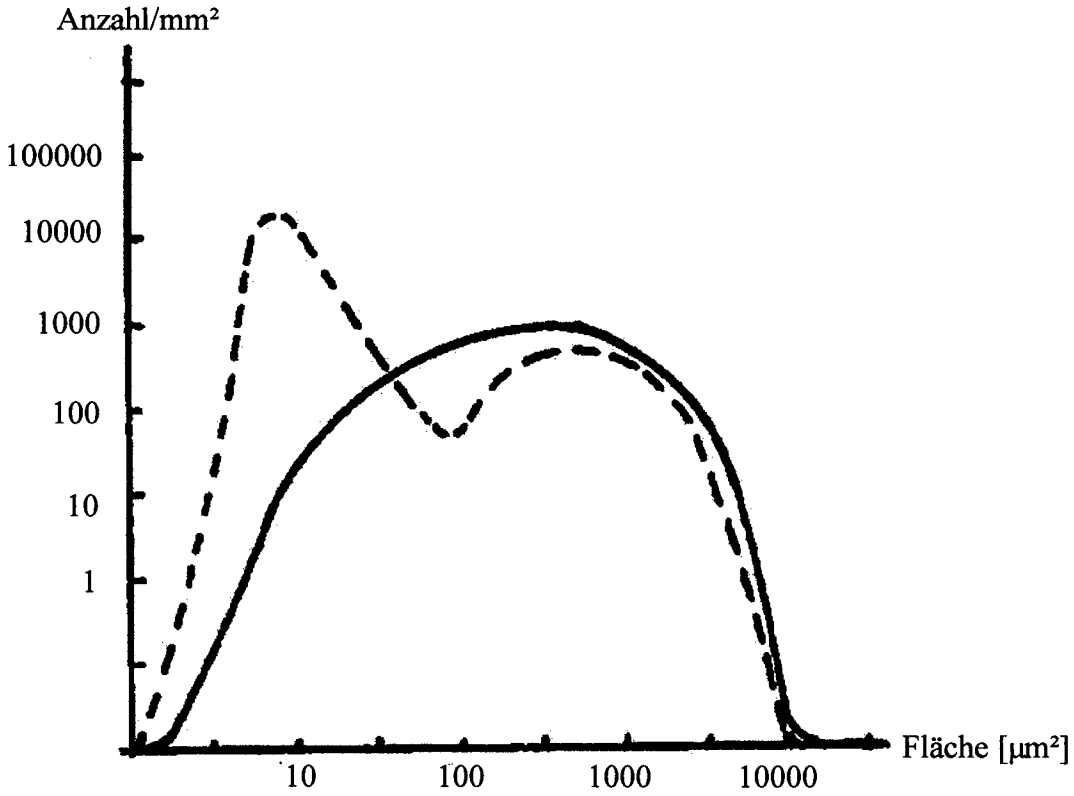

Anzahl/mm²
100000
10000
1000
100
10
1
10
100
1000
10000
Fläche [µm²]

Fig. 1

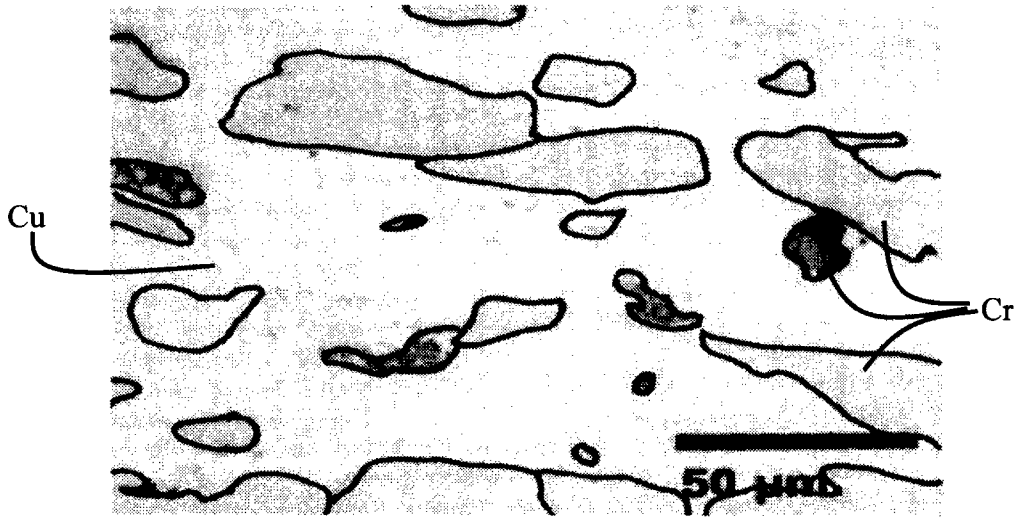


Fig. 2

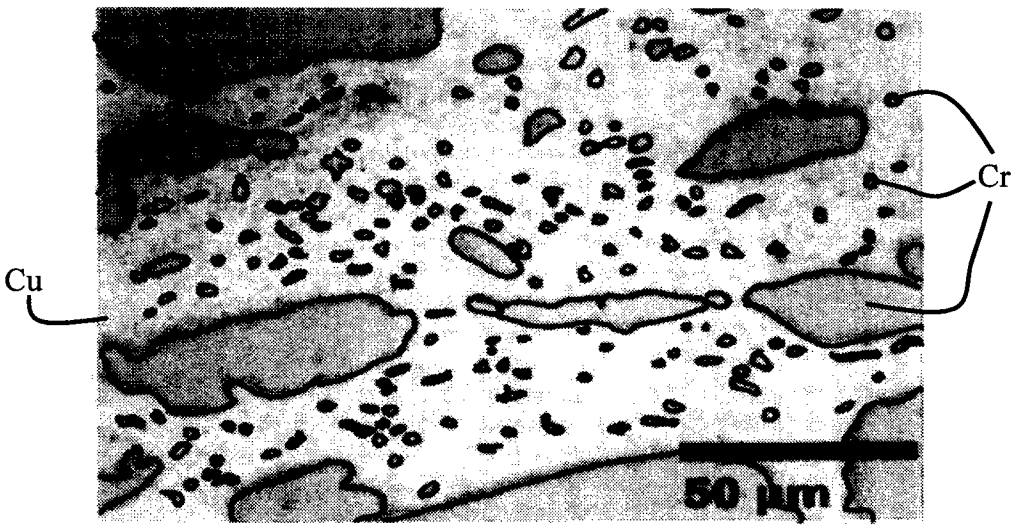


Fig. 3

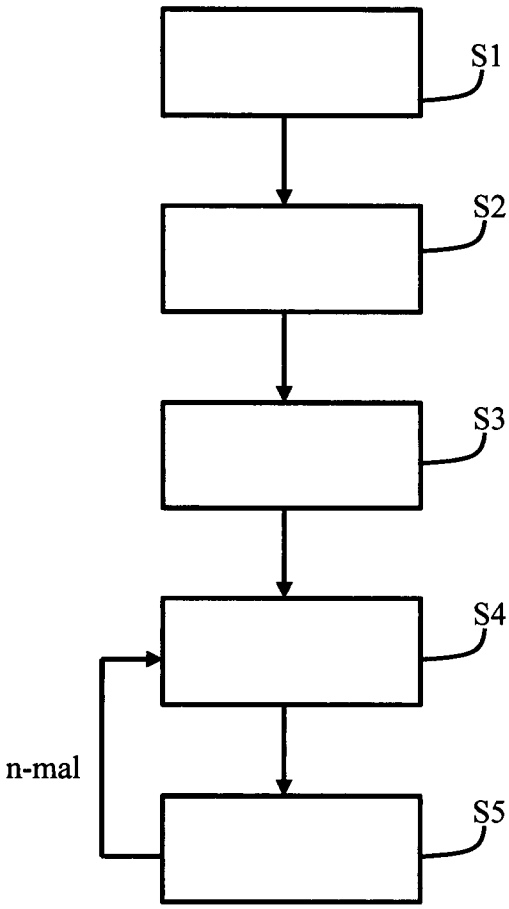


Fig. 4